

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2017

N° d'ordre : 201709

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Ecologie et Gestion des Ecosystèmes

Présentée par :

Mamadou DIATTE

Les principaux insectes ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal : Gestion intégrée de la noctuelle et de la mineuse des feuilles

Soutenue le 21 janvier 2017 devant le jury composé de :

M. Kandioura NOBA	Professeur, UCAD, Sénégal	Président
Dr Dominique BORDAT	Chercheur HDR, UCAD, Sénégal	Rapporteur
Dr Ngor FAYE	Maître de conférences, UCAD, Sénégal	Rapporteur
M. Pape Mbacké SEMBENE	Professeur, UCAD, Sénégal	Rapporteur
Dr Thierry BREVAULT	Chercheur, CIRAD-IRD, France	Examineur
Dr Emile Victor COLY	Directeur de recherche, DPV, Sénégal	Examineur
Dr Dieynaba SALL SY	Chercheur, ISRA-CDH, Sénégal	Examinatrice
M. Karamoko DIARRA	Professeur, UCAD, Sénégal	Directeur

DEDICACES

Louanges à Allah, le Tout Puissant et Miséricordieux

Paix et Salut sur son Noble Prophète MOUHAMMAD

Gloire à mon Vénéré Guide Spirituel CHEIKH AHMADOU BAMBA MBACKE Khadimoul
Rassoul

Je dédie ce travail :

A mes deux Parents pour toute l'affection et la patience dont ils ont fait montre à mon égard. Puisse Dieu leur donner une longue vie et une santé de fer.

A la mémoire de mes illustres parents et amis qui nous ont quittés. Qu'Allah par sa miséricorde les accueille dans son Paradis.

A tous mes frères et sœurs : Awa DIATTE, Pape Babacar DIATTE et à ma bien aimée Mariama Séné DIATTE. Vos soutiens et vos conseils m'ont toujours réconforté. Trouvez ici l'expression de ma gratitude.

Au Daraas Majmaoun Noreyni Fatick et Ahibahil Khadim Li nusratil diinul Khawim, vos enseignements, vos soutiens moraux et spirituels, m'ont toujours permis d'avoir le courage et la conduite nécessaire pour réussir mes études.

A tous ceux qui me sont chers et que je ne peux pas citer. Ce modeste travail vous est dédié.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Parasitologie (Equipe production et protection intégrée en agro-écosystèmes horticoles-2PIA) du Département de Biologie Animale de la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD et au Laboratoire d'Entomologie de l'ISRA-CDH. Il a été financé par l'AIRD (PEERS-BIOBIO) et le PPAO/WAAPP que nous remercions vivement.

Nous tenons également à remercier particulièrement :

Prof. Karamoko DIARRA, chef de l'équipe 2PIA et Directeur de cette thèse. Malgré vos multiples tâches, vous nous avez toujours assisté et montré un caractère de largesse, de rigueur et d'abnégation. Nous n'avons pas les mots pour vous remercier ici. Tout ce que nous pouvons vous dire c'est que nous vous serais éternellement reconnaissant.

Dr Thierry Brévault, (CIRAD, UR/AIDA), mon Maître de Stage pour sa détermination et son engagement à avoir des résultats de qualité. Votre rigueur du terrain et votre esprit analytique m'ont beaucoup forgé.

Dr Dieynaba SALL SY, chef du laboratoire d'Entomologie et directrice de l'ISRA/CDH. Nous vous remercions de nous avoir accueillis dans votre laboratoire et d'avoir accepté d'encadrer ce travail. Vos conseils et vos orientations depuis le master, m'ont sans doute propulsés à ce niveau.

Dr Emile Victor COLY, Directeur de la DPV d'avoir soutenu notre travail et de nous avoir ouvert les portes de l'ISRA-CDH. Nous vous remercions également d'avoir accepté avec bienveillance de juger cette thèse malgré toutes vos occupations. Nous vous en sommes très reconnaissants.

Dr Dominique BORDAT, (CIRAD, UR/HortSys). Recevez l'expression de notre gratitude pour votre enthousiasme, et votre disponibilité à être toujours à notre service depuis le master. Merci encore une fois.

Prof. Kandioura NOBA (UCAD) à qui nous tenons à adresser mes sincères remerciements d'avoir accepté de présider le jury malgré ses multiples charges. Soyez assuré de ma gratitude.

Prof. Ngor FAYE (UCAD), chef du département de Biologie Animale qui m'a fait un grand honneur en acceptant malgré un emploi du temps bien chargé, de juger et de délivrer un rapport pour ce travail. Trouvez ici le témoignage de ma gratitude.

Prof. Pape Mbacké SEMBENE (UCAD). Vous nous avez honorés en acceptant de juger notre travail malgré vos lourdes tâches et d'être rapporteur de cette thèse. Trouvez entre ces lignes l'expression de toute notre reconnaissance.

Toute l'équipe Production et Protection Intégrées en Agro-écosystème Horticole (2PIA) du Département de Biologie Animale sous la direction du Pr. Karamoko DIARRA.

Toute l'équipe du Laboratoire d'entomologie de l'ISRA-CDH sous la direction de Dr Dieynaba SALL SY

L'ensemble des membres de la Fédération des producteurs maraîchers des Niayes (FPMN) pour leur assistance et leur franche collaboration.

Mes remerciements vont également à l'endroit de toutes les personnes qui de près ou de loin ont participé à la réussite de ce travail.

Nom et prénoms du Candidat: Mamadou DIATTE

Titre de la thèse: Les principaux insectes ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal : Gestion intégrée de la noctuelle et de la mineuse des feuilles

Date et lieu de soutenance: le 21 janvier 2017 à l'UCAD

Jury: Président: M. Kandiouira NOBA, Professeur, UCAD, Sénégal
Membres : Dr Dominique BORDAT, Chercheur HDR, UCAD, Sénégal
Dr Ngor FAYE, Maître de conférences, UCAD, Sénégal
M. Pape Mbacké SEMBENE, Professeur, UCAD, Sénégal
Dr Thierry BREVAULT, Chercheur, CIRAD-IRD, France
Dr Emile Victor COLY, Directeur de recherche, DPV, Sénégal
Dr Dieynaba SALL SY Chercheur, ISRA-CDH, Sénégal
M. Karamoko DIARRA, Professeur, UCAD, Sénégal

RESUME :

La tomate est l'une des spéculations maraichères les plus cultivées au Sénégal. Elle crée de l'emploi et contribue au développement économique du pays. Cependant, sa production est confrontée aux attaques des ravageurs. Pour les contrôler, les agriculteurs utilisent différentes pratiques dont la plus importante est l'utilisation des insecticides chimiques avec toutes les dérives. Dans le but de proposer des méthodes de gestion intégrée des principaux insectes ravageurs de la tomate, un suivi de 98 parcelles de tomate a été effectué. Les objectifs étaient de : i) Identifier les principaux insectes ravageurs de la tomate dans la zone des Niayes, ii) Etablir une carte dynamique de leur distribution spatio-temporelle, iii) Evaluer l'effet des pratiques culturales sur les ravageurs clés de la tomate dans les Niayes et iv) Déterminer leur potentiel de régulation naturelle par les parasitoïdes. Pour les atteindre, 3 zones (sud, centre et nord) des Niayes, ont été choisies. Le suivi a été effectué sur quatre cycles de culture, d'octobre 2012 à mai 2014. Les insectes ravageurs ou leurs dégâts ont été observés sur 24 plants par parcelle, toutes les trois semaines, du repiquage à la récolte. Les chenilles récoltées ont été élevées au laboratoire. Les pratiques culturales sont recueillies par questionnaire lors des visites auprès des producteurs. Les résultats montrent que *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera : Noctuidae), est le ravageur le plus important, par la destruction des jeunes fruits. Son incidence ne diffère pas selon la zone explorée. Les dégâts sont plus importants en première partie de saison sèche, sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. La mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae), est un ravageur émergent, présent de façon prépondérante en fin de saison sèche, dans la zone sud des Niayes. La noctuelle de la tomate est attaquée par sept espèces de parasitoïdes larvaire avec un parasitisme de 22%. L'espèce *Meteorus laphygmarum* (Hymenoptera : Braconidae) est la plus abondante et la plus fréquente. Le taux de parasitisme est plus important dans les zones centre et sud que dans la zone nord. Les pratiques culturales influent les attaques de ces deux ravageurs de la tomate et sur les parasitoïdes de la noctuelle. Ces résultats sont intéressants pour appuyer les stratégies de gestion intégrées des principaux ravageurs de la tomate.

Mots-clés : *Helicoverpa armigera*, *Tuta absoluta*, ravageurs, tomate, parasitoïdes, pratiques culturales, Gestion intégrée, Niayes, Sénégal

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

AIRD :	Agence Inter-établissements de Recherche pour le Développement
ANOVA :	Analyse de variance
ANSD :	Agence Nationale de Statistique et de la Démographie
BIOBIO :	Biodiversité et gestion des Bioagresseurs dans les paysages agricoles
CABI :	Centre for Agricultural Bioscience International
CDH :	Centre pour le Développement Horticole
CIRAD :	Centre Internationale de Recherches Agronomiques pour le Développement
DPV :	Direction de la protection des végétaux
ED-SEV :	Ecole Doctorale Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement
EPPO :	European and Mediterranean Plant Protection Organization
FAO-STAT :	Food and Agriculture Organization of the United Nations-Statistic
FPMN :	Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes
FST :	Faculté des Sciences et Techniques
GEDAH :	Gestion Durable des Agro-écosystèmes Horticoles
HDR :	Habilitation à Diriger des Recherches
IRD :	Institut de Recherches pour le Développement
ISRA :	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
PEERS :	Programme d'Excellence pour l'Enseignement et la Recherche au Sud
2PIA :	Production et Protection Intégrées en Agro-écosystème Horticole
TYLCV :	Tomato Yellow Leaf Curl Virus
UCAD :	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
UR/AIDA :	Unité de recherche/Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles

UR/HortSys : Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de cultures
horticoles

WAAPP : West Africa Agricultural Productivity Program

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Adultes et chenille de <i>H. armigera</i> sur tomate (Photo D. BORDAT).....	9
Figure 2: Carte de distribution de <i>H. armigera</i> (EPPO, 2015)	9
Figure 3: Œufs d' <i>H. armigera</i> sur feuille de tomate (Photo : D. Bordat)	11
Figure 4: Chenille de <i>H. armigera</i> sur tomate: A= sur fruit, B= sur feuille.....	12
Figure 5: Stade L4 de la chenille de <i>H. armigera</i> avec différentes colorations	14
Figure 6: Chenille de <i>H. armigera</i> au stade L5.....	14
Figure 7: Pré-nymphé de <i>H. armigera</i> (Photo : D. Bordat).....	16
Figure 8: Chrysalide de <i>H. armigera</i> : A=à l'intérieur du fruit attaqué, B= dans le sol.....	17
Figure 9: Adulte de <i>H. armigera</i> (A=femelle, B= mâle) (Photo : D. Bordat).....	18
Figure 10: Cycle de développement de <i>H. armigera</i>	18
Figure 11: Parasitoïdes à la sortie de son hôte	23
Figure 12: <i>M. laphygmarum</i> A= cocon à côté d'une chenille de <i>H. armigera</i> morte, B= adulte ..	24
Figure 13: <i>Apanteles sp</i> A= cocon, B= adulte.....	25
Figure 14: Cycle de développement des Tachinaires	26
Figure 15: Carte de distribution de <i>T. absoluta</i> (EPPO, 2015)	31
Figure 16: A=Chenille de <i>T. absoluta</i> sur feuille de tomate, B= Accouplement de <i>T. absoluta</i> (Photo : D. Bordat).....	32
Figure 17: Cycle de développement de <i>T. absoluta</i>	33
Figure 18: Dégâts de <i>T. absoluta</i> A= sur feuilles, B= sur tige	34
Figure 19: A= <i>B. tabaci</i> , B= TYLC transmis sur tomate	36
Figure 20: Mouche mineuse sur feuilles de tomate	37
Figure 21: Répartition géographique des parcelles d'études dans la zone des Niayes.....	40
Figure 22: Detection of the tomato leafminer, <i>T. absoluta</i> , in the Niayes area in Senegal.....	46
Figure 23: Percentage of infested leaves in the focal tomato fields in the three surveyed zones: .	47
Figure 24: Répartition géographique des parcelles observées dans la zone des Niayes. Season 1 : oct-12-jan13, n=24 parcelles, Season 2 :fev13-mai-13n=26 parcelles, Season 3 :oct-13-jan- 14n=23 parcelles, Season 4 : fev-14-mai-14, n=25 parcelles.	52
Figure 25: Incidence (en termes de fruits attaqués) des chenilles de la noctuelle <i>H. armigera</i> , dans la zone des Niayes, lors des deux campagnes 2012-13 et 2013-14.	56

Figure 26: Dégâts sur fruits des chenilles de la noctuelle <i>H. armigera</i> , en fonction de la saison de culture (saison 1 et 3 : Octobre à Janvier, saison 2 et 4, Février à Mai).	57
Figure 27: Pourcentage de feuilles infestées par les chenilles de la mineuse de la tomate <i>T. absoluta</i> selon la zone étudiée (observations sur quatre cycles de cultures d'octobre 2012 à mai 2014).	58
Figure 28: Pourcentage de feuilles minées par les chenilles de <i>Tuta absoluta</i> , en fonction de la saison de culture (saison 1 et 3 : Octobre à Janvier, saison 2 et 4, Février à Mai)	58
Figure 29: Relation entre le pourcentage de fruits attaqués par <i>H. armigera</i> et le nombre de feuilles minées par <i>T. absoluta</i> en parcelles de tomate.	59
Figure 30: Nombre de traitements insecticides effectués au champ pendant le cycle de culture de la tomate, dans la zone des Niayes (n=38, 36 et 24, pour les zones sud, centre et nord, respectivement).	60
Figure 31: Insecticides utilisés par les producteurs pour la gestion des insectes nuisibles dans les champs de tomates échantillonné (par rapport au nombre total d'applications d'insecticides, n = 403).	60
Figure 32: Répartition géographique des parcelles d'étude dans la zone des Niayes.	71
Figure 33: Pourcentage de fruits attaqués par les chenilles de <i>H. armigera</i> selon les pratiques culturales.....	75
Figure 34: Pourcentage de feuilles infestées par <i>T. absoluta</i> selon les pratiques culturales.	76
Figure 35: Répartition géographique des parcelles d'étude dans la zone des Niayes.	84
Figure 36: Répartition géographique des parcelles d'étude dans la zone des Niayes.	96
Figure 37: Effet des types de variété de tomate sur le taux de parasitisme général (A) et sur le parasitisme causé par <i>M. laphygmarum</i> (B).	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Préférence de <i>H. armigera</i> sur les plantes-hôtes (Fatma et Pathak, 2011).....	19
Tableau 2: Incidence des principaux arthropodes ravageurs recensés sur les parcelles de tomate dans la zone des Niayes. Suivi sur quatre cycles de culture, d'octobre 2012 à mai 2014.....	54
Tableau 3: Incidence des insectes ravageurs clés de la tomate en fonction du temps après le repiquage, dans la zone des Niayes.....	55
Tableau 4: Incidence des chenilles de <i>H. armigera</i> sur des cultures maraîchères environnantes dans la zone des Niayes.	57
Tableau 5: Interaction entre les pratiques culturales et les infestations par les deux principaux ravageurs de la tomate (<i>H. armigera</i> et <i>T. absoluta</i>) dans la zone des Niayes.	74
Tableau 6: Qualité structurelle des peuplements des différentes espèces de parasitoïdes de <i>H. armigera</i> dans la zone des Niayes.....	87
Tableau 7: Taux de parasitisme des différentes espèces de parasitoïdes de <i>H. armigera</i> en fonction de la zone. NB : Sud : Chenilles récoltées= 719, Chenilles mortes= 144 ; Centre : Chenilles récoltées= 693, Chenilles mortes= 102; Nord: Chenilles récoltées= 553, Chenilles mortes= 146.....	88
Tableau 8: Chenilles de <i>H. armigera</i> parasitées par les différentes espèces de parasitoïdes selon les trois zones des Niayes.	88
Tableau 9: Richesse spécifique des parasitoïdes de <i>H. armigera</i> par stade phénologique	88
Tableau 10: Parasitisme de <i>H. armigera</i> sur tomate selon le stade larvaire.....	89
Tableau 11: Richesse spécifique des parasitoïdes de <i>H. armigera</i> par stade larvaire	89
Tableau 12: Interaction entre les pratiques culturales et le parasitisme de <i>H. armigera</i> sur tomate dans la zone des Niayes.....	98
Tableau 13: Effet des variables explicatives sur le parasitisme des chenilles de <i>H. armigera</i> dans la zone des Niayes.....	99

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME :.....	iv
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	v
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
INTRODUCTION GENERALE :	1
CHAPITRE I : <i>HELICOVERPA ARMIGERA</i> ET AUTRES RAVAGEURS DE LA TOMATE ...	6
I.1. <i>Helicoverpa armigera</i>	7
I.1.1. Systématique	7
I.1.2. Répartition géographique	9
I.1.3. Biologie	10
I.1.4. Plantes-hôtes	19
I.1.5. Les méthodes de lutte contre <i>H. armigera</i>	20
I.2. <i>Tuta absoluta</i>	31
I.2.1. Origine et répartition	31
I.2.2. Biologie	31
I.2.3. Plantes-hôtes	33
I.2.4. Symptômes et Dégâts	34
I.2.5. Méthodes de lutte.....	35
I.3. La mouche blanche.....	35
I.4. Les mouches mineuses des feuilles	37
CHAPITRE II: CADRE D'ETUDE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE	38
II.1. Cadre d'étude.....	39

II.1.1 Présentation de la zone d'étude	39
II.1.2. Milieu Physique.....	39
II.2. Approche méthodologique.....	39
II.2.1. Suivi des arthropodes ravageurs sur le terrain.....	40
II.2.2. Suivi du parasitisme au laboratoire	41
II.2.3. Enquêtes sur les pratiques culturelles.....	41
CHAPITRE III: PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DE LA TOMATE DANS LA ZONE DES NIAYES ET LEUR DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE	42
III.1. Confirmation de la présence de <i>T. absoluta</i> au Sénégal et actualisation de son status invasif (' Article1).....	43
III.1.1. Introduction	43
III.1.2. Matériel et Méthodes	45
III.1.3. Résultats.....	46
III.1.4. Discussion.....	47
III.1.5. Conclusion.....	48
III.1.6. Remerciements.....	48
III.2. Mise à jour des principaux ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal (Article2).....	49
III.2.1. Résumé	49
III.2.2. Introduction	50
III.2.3. Matériel et Méthodes	51
III.2.4. Résultats.....	53
III.2.5. Discussion.....	61
III.2.6. Conclusion.....	64
III.2.7. Remerciements.....	65
III.3. Conclusion du chapitre III.....	66

CHAPITRE IV: RELATION ENTRE LES PRATIQUES CULTURALES ET LES PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DE LA TOMATE	67
Article 3:	68
IV.1. Résumé	68
IV.2. Introduction	69
IV.3. Matériel et Methodes	70
IV.4. Résultats	72
IV.5. Discussion	76
IV.6. Conclusion.....	78
IV.7. Remerciements.....	79
Conclusion du chapitre IV	80
CHAPITRE V: . POTENTIEL DE REGULATION NATURELLE DE LA NOCTUELLE DE LA TOMATE PAR SES PARASITOÏDES.....	81
V.1. Potentiel de régulation naturelle de <i>H. armigera</i> par les parasitoïdes dans la zone des Niayes (Article4)	82
V.1.1. Résumé.....	82
V.1.2. Introduction	83
V.1.3. Matériel et Méthodes	83
V.1.4. Résultats.....	86
V.1.5. Discussion.....	90
V.1.6. Conclusion.....	92
V.1.7. Remerciements	92
V.2. Optimisation du service rendu par les parasitoïdes par un raisonnement des pratiques culturales (Article 5)	93
V.2.1. Résumé.....	93
V.2.2. Introduction	94
V.2.3. Matériel et Méthodes	95

V.2.4. Résultats.....	97
V.2.5. Discussion.....	99
V.2.6. Conclusion.....	101
V.2.7. Remerciements.....	101
V.3. Conclusion du chapitre V.....	102
RECOMMANDATIONS.....	103
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	105
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	109
ANNEXES.....	A
ANNEXE 1 : Valorisation des résultats.....	B
ANNEXE 2: Fiches de prélèvement des données.....	G

INTRODUCTION GENERALE :

L'agriculture en particulier le maraîchage constitue un moteur de développement économique en Afrique. Au Sénégal, il représente l'un des éléments les plus importants du secteur agricole. Il contribue à la réduction du chômage endémique des jeunes (Smith *et al.*, 2004). Cette activité est principalement pratiquée dans la zone des Niayes. Dans cette zone, la production s'élève à 710000 tonnes de légumes (ANDS, 2013). La tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), la deuxième spéculature la plus cultivée de ce secteur derrière l'oignon, est produite jusqu'à 160000 tonnes (ANDS, 2013). Cette spéculature crée de l'emploi et contribue de façon considérable au développement économique du pays et à la sécurité alimentaire. En plus, elle occupe une place importante aussi bien dans le marché national que dans le marché international notamment en Europe (Coly *et al.*, 2005).

Cependant, l'augmentation de la production de tomate est confrontée à de nombreuses contraintes biotiques. Au Sénégal, plusieurs pathogènes attaquent la tomate dont le Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) (D'Hondt et Russo, 1985; Camara *et al.*, 2013). Il s'y ajoute les nématodes (Netscher, 1970); Diarra *et al.*, 2010, les acariens (Huat, 2006). Mais, surtout les insectes ravageurs qui causent des dégâts directs ou sont vecteurs de maladies, qui se traduisent par des pertes de rendements et affectent la qualité des fruits (Umeh *et al.*, 2002; Mailafiya *et al.*, 2014). La noctuelle de la tomate, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera : Noctuidae), est l'un des insectes ravageurs prédominants au Sénégal. Ses chenilles peuvent occasionner des dégâts très importants allant jusqu'à 85% au Sénégal (Collingwood et Bourdouxhe, 1980), 36% au Nigeria (Mailafiya *et al.*, 2014). Au Sénégal, un nouveau ravageur, *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) a été détecté sur tomate durant ces dernières années (Pfeiffer *et al.*, 2013). Ce ravageur représente une menace pour la tomate car ses dégâts sont observés partout dans la principale zone de production maraîchère du Sénégal, la zone des Niayes (Brévault *et al.*, 2014). La mouche blanche, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera : Aleyrodidae) est un ravageur non négligeable par la transmission de maladies. La mouche blanche est le vecteur du TYLCV (Nzi *et al.*, 2010; D'Hondt et Russo, 1985), une maladie très répandue au Sénégal (Camara *et al.*, 2013).

Pour contrôler ces prédateurs, les agriculteurs utilisent différentes pratiques dont la plus importante est l'utilisation des insecticides chimiques. Cependant, l'usage de ces produits est lié à plusieurs difficultés comme leur-utilisation incorrecte, leur coût accru, l'efficacité réduite de contrôle et la contamination de l'environnement agricole (Dobson *et al.*, 2002). Il s'y ajoute l'acquisition de la résistance sur certaines familles d'insecticides comme les organophosphorés,

les avermectines et les pyréthriinoïdes (Achaleke *et al.*, 2009 ; Aheer *et al.*, 2009 ; Achaleke et Brévault, 2010).

Il devient donc essentiel, dans le but d'assurer la pérennité de la filière, de mettre en place une stratégie de gestion durable des ravageurs de la tomate. Celle-ci passe nécessairement par une connaissance des espèces nuisibles à la tomate, mais également de leur cortège parasitaire et de leurs relations avec les pratiques culturales.

La mise en place d'un programme de lutte intégrée partiellement basé sur l'efficacité des parasitoïdes peut contribuer à une diminution de l'application des insecticides dans la protection de la culture de tomate (Cameron *et al.*, 2006). Il existe des dizaines d'espèces de parasitoïdes d'*H. armigera* en Afrique (Van den Berg *et al.*, 1988 ; Streito et Nibouche, 1997), dont la plus importante est *Meteorus laphygmarum* (Hymenoptera : Braconidae) (Streito et Nibouche, 1997).

Par conséquent, il existe un besoin croissant pour les acteurs et les décideurs d'évaluer les effets des pratiques sur le contrôle des nuisibles. Certaines pratiques culturales peuvent influencer les dégâts causés par les chenilles de la noctuelle, mais également le service rendu par ses parasitoïdes.

Les pratiques culturales des systèmes maraîchers dans les pays d'Afrique de l'Ouest sont très mal connues. Les rares études réalisées dans ce domaine portent sur les applications d'insecticides, les associations culturales et leurs impacts sur les insectes ravageurs et leurs parasitoïdes. Au Cameroun, l'utilisation abusive de matières actives a conduit à une perte de sensibilité des ravageurs (Achaleke *et al.*, 2009; Achaleke et Brévault, 2010). Au Nigeria, l'application inappropriée d'insecticides, ainsi qu'un mauvais dosage sont à la base des dégâts causés par les insectes. Il a été également constaté que l'infestation était réduite dans des champs où la tomate était associée avec des céréales, des tubercules ou d'autres légumes et que la plupart des pratiques n'avaient pas d'impact sur l'abondance des insectes ravageurs (Umeh *et al.*, 2002). Au Sénégal, l'utilisation de la fumure organique de cheval et de poisson a entraîné une réduction des dégâts liés à *H. armigera* de 24%, comparé à la fumure organique de mouton (Niassy *et al.*, 2010). Les parasitoïdes sont particulièrement sensibles aux insecticides chimiques compte tenu du rôle important qu'ils jouent dans l'écosystème pour la mise en œuvre d'une stratégie de lutte intégrée des ravageurs (Shepard *et al.*, 1999).

Cependant, ces études ne sont pas basées sur une compréhension et une analyse quantitative des différentes composantes du système agricole comme les précédents culturaux, travail du sol,

densité de plantation, durée pépinière, irrigation, fertilisation, type de sol qui peuvent avoir des relations très étroites avec les techniques de gestion.

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris cette thèse, qui est réalisée dans la zone agroécologique des Niayes au Sénégal. Une zone qui présente un système de production horticole assez diversifié lié étroitement à la typologie des sols, à la topographie et surtout à la présence de l'eau dans le milieu (Fall *et al.*, 2000). Le climat chaud et sec, est caractérisé par la mousson qui souffle durant la saison humide. La pluviométrie est faible et les températures modérées sont influencées par la circulation des alizés maritimes soufflés par les courants d'airs froids du nord (Açores) (Diallo *et al.*, 2015). Ce milieu n'a pas manqué d'attirer la population et de donner également à la région toute sa vocation agronomique.

Dans le cadre de l'étude, nous avons subdivisé la région agroécologique des Niayes en trois zones différentes. Cette subdivision s'explique par l'existence d'un gradient climatique entre le Sud et le Nord qui serait à l'origine de trois sous zones éco-géographiques (Anonyme, 1990). Une région faiblement aride au sud, caractérisée par un climat soudano-sahélien et des conditions hygrométriques (température, humidité relative) basses, régulées par la mer, moyennement aride au centre distinguée par un climat soudano-sahélien et fortement aride au nord avec un climat sahélien et des températures élevées. Ce choix se justifie également par la variation des sols du nord au sud. Dans la partie sud des Niayes, les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés qui caractérisent les dunes rouges et occupant près de 70% de la région des Niayes sont prédominants, la zone centre est dominée par les sols hydromorphes des dépressions très favorables au développement du maraîchage, tandis que dans la partie nord, les sols brun-rouges iso-humiques sont plus importants (Fall *et al.*, 2001; Ndiaye *et al.*, 2012;).

L'objectif général de cette thèse est de proposer des méthodes de gestion intégrée des principaux insectes ravageurs de la tomate dans les périmètres maraichers des Niayes.

Les objectifs spécifiques sont de:

OS 1) Identifier les principaux insectes ravageurs de la tomate dans la zone des Niayes

OS 2) Etablir une carte dynamique de leur distribution spatio-temporelle

OS 3) Evaluer l'effet des pratiques culturales sur les insectes ravageurs clés de la tomate dans les Niayes

OS 4) Déterminer leur potentiel de régulation naturelle par les parasitoïdes

Les résultats de ce travail sont présentés sous forme d'articles scientifiques, il comprend cinq chapitres.

Le chapitre I, traite de la synthèse bibliographique sur les principaux insectes ravageurs de la tomate en faisant un focus sur *H. armigera* et *T. absoluta* (ravageurs clés de la tomate), leur biologie, plantes-hôtes et leurs méthodes de lutte. Le chapitre II présente la zone d'étude et explique la méthodologie adoptée durant ce travail. Le chapitre III fait une mise à jour des principaux insectes ravageurs qui menacent la production de tomate plein champ dans la zone maraichère des Niayes, leur distribution spatio-temporelle et un aperçu sur les insecticides utilisés pour lutter contre ces ravageurs (article 1 et 2). Le chapitre IV va décrire l'effet des pratiques culturales sur les attaques des deux principaux ravageurs de la tomate (article 3). Le chapitre V fera l'inventaire des différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera* présentes dans la zone des Niayes et leur relation avec les pratiques culturales de la tomate (article 4 et 5). Nous allons terminer par une conclusion générale de l'ensemble des principaux résultats obtenus durant ces travaux et enfin une liste bibliographique de toutes les références utilisées dans la thèse.

CHAPITRE I :

PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DE LA TOMATE

Dans ce chapitre, nous avons fait une revue de la bibliographie des principaux insectes ravageurs de la tomate. La succession et le volume des parties s'est fait selon l'importance des ravageurs sur la spéculation. La liste étant longue, nous nous sommes limités aux insectes ravageurs qui infligent des dégâts majeurs au Sénégal.

I.1. *Helicoverpa armigera*

I.1.1. Systématique

L'espèce *H. armigera* est un ravageur avec de nombreuses appellations. Elle est communément appelée : noctuelle de la tomate, ver de la capsule de l'Ancien Monde, foreuse des gousses etc. La situation taxonomique de *H. armigera* est très complexe et est sujette de controverses. Selon Nye (1982), elle a été décrite pour la première fois par Fabricius en 1794 sous le nom de *Noctua barbara*, mais ce nom n'a pas été largement utilisé et est invalidé en 1979. En 1808, Hübner la décrit en l'appelant *Noctua armigera*, ce nom sera très vite substitué par *Heliothis armigera* en 1816. Au début du XXe siècle, le nom d'espèce *obsoleta* et le nom de genre *Chloridea* font leurs apparitions avant d'être disqualifiés. Ce qui a suscité des désaccords entre les auteurs. Et trois appellations ont alors coexisté : *Heliothis armigera*, *Chloridea obsoleta* et *Heliothis obsoleta*. Ainsi durant plus d'un siècle, *Heliothis armigera* regroupait un ensemble d'espèces que Hardwick a appelé « le complexe des corn-earworm » et dont une large gamme était connue sous les noms de « ver de la capsule du nouveau monde » et « ver de la capsule de l'ancien monde ». Il a fallu en 1953 que l'existence de six espèces distinctes soit mise en évidence : *Heliothiszea* (Boddie, 1850) en Amérique ; *H. gelotopoeon* (Dyar, 1921) en Amérique du sud ; *H. assulta* (Guenée, 1852) en Afrique, Asie et Europe ; *H. punctigera* (Wallengren, 1860) en Australie ; et *H. hawaiiensis* (Quaintance et Brues, 1905) aux Iles Hawaï. En 1965 Hardwick révisé la systématique du « complexe des corn-earworm » et signale qu'il renferme en réalité un complexe d'espèces et de sous-espèces morphologiquement proches. Alors, sur la base des organes génitaux mâles et femelles, il scinde le groupe et suggère plus précisément que l'espèce du Nouveau Monde *H. zea* et l'espèce de l'Ancien Monde *H. armigera* sont différentes. Partant, il crée le genre *Helicoverpa* pour y rassembler ces espèces. Au sein des 80 espèces environ que constituait le genre *Heliothis*, 17 sont placées dans le nouveau genre, *Helicoverpa*, plus 11 nouvelles espèces sur la base de la présence d'écailles spécialisées sur la face inférieure des fémurs des mâles et de différences dans les organes génitaux des mâles et des femelles.

- Chez le genre *Heliothis* : il y'a absence d'écailles spécialisées, pénis dépourvu d'épines ou de cornuti, bourse séminale spiralée.

- Chez le genre *Helicoverpa* : il y'a présence d'écaillés spécialisées, pénis pourvu d'épines, bourse séminale non spiralée, alternativement dilatée et étranglée.

Malgré ces distinctions présentées par Hardwick, l'intégration du nouveau genre rencontre toujours de nombreuses réticences, comme celles de Heath et Emmet en 1983. Parce que l'ancien genre *Heliothis* est très bien installé dans la littérature et en plus l'identification nécessite une dissection. Pour Poitout (1972), ce nouveau genre a été aussitôt mis en synonymie avec *Heliothis* par Hoursin en 1965. Tous ceux-là contribuent à la persistance de l'ancien genre *Heliothis*. Mais toutefois, le travail de Hardwick est accepté d'une manière générale, et certains auteurs comme Matthews (1991) l'ont soutenu.

Dans ce nouveau genre le groupe des *zea* contient huit espèces, et le groupe des *armigera* en contient deux dont trois sous-espèces en savoir *H. armigera armigera* (Afrique, Europe, Asie continentale et Japon), *H. armigera commoni* (île Canton dans le Pacifique) et *H. armigera conferta* (Australie et îles du sud-ouest du Pacifique) (Hardwick, 1965). Parmi les caractères pris en compte dans la distinction entre *H. armigera* et *H. zea*, il y a le nombre de diverticule à la base, la longueur et le nombre de spirales, le nombre de cornuti visibles sur la vésicule et la longueur des valves (Pogue, 2004). La question maintenant qui se pose est de savoir si *H. armigera* elle-même est une espèce unique ou un complexe d'espèces comme l'a été *Heliothis*. Nibouche *et al.* (1998) ont tenté d'y apporter des éléments de réponse en comparant le polymorphisme enzymatique de populations d'Europe du Sud, d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique du Nord. Ils n'ont trouvé aucune structuration enzymatique.

La position systématique actuelle la plus générale est la suivante :

Embranchement: Arthropoda

Classe: Insecta

Ordre: Lepidoptera

Famille: Noctuidae

Sous-famille: Heliothinae

Genre: *Helicoverpa*

Espèce : *Helicoverpa armigera*



Figure 1: Adultes et chenille de *H. armigera* sur tomate (Photo D. BORDAT)

I.1.2. Répartition géographique

La noctuelle de la tomate est un insecte très cosmopolite. Plusieurs chercheurs ont étudié sa distribution géographique dont Hardwick (1965), European and Mediterranean Plant Protection Organization [EPPO] (2006), EPPO/Centre for Agricultural Bioscience International [CABI] (1997), Pogue (2004). Il ressort de toutes ces études que *H. armigera* possède une vaste aire de répartition qui excluait jusqu'en 2013 le continent américain, date pour laquelle l'espèce *H. armigera* est signalée pour la première fois au Brésil (Czepak *et al.*, 2013).

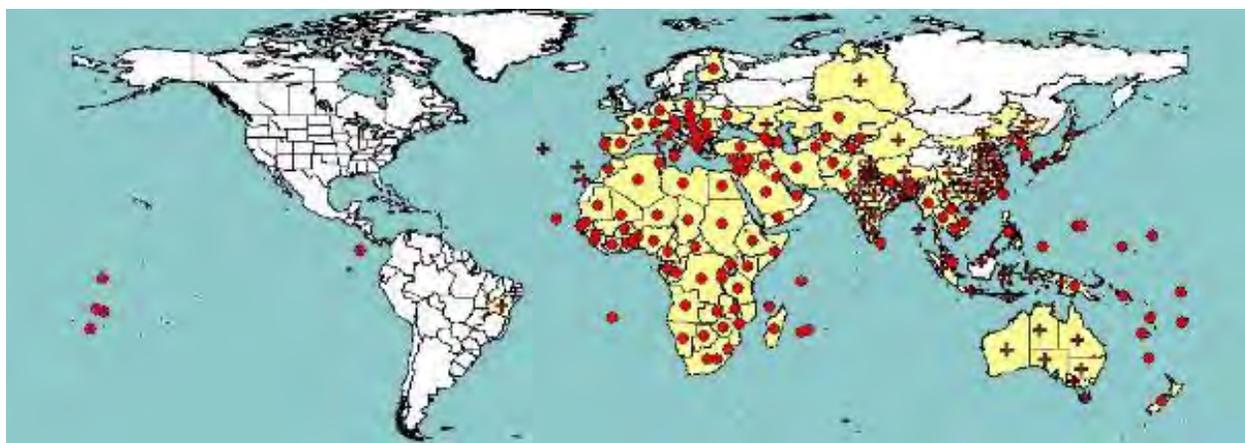


Figure 2: Carte de distribution de *H. armigera* (EPPO, 2015)

● Présence (enregistrement national) ✚ Présence (enregistrement international)

I.1.3. Biologie

La description utilisée dans ce travail a été essentiellement empruntée à Toguebaye (1981) et Ali *et al.*, (2009). Elle a été effectuée au laboratoire entre 25°C et 27°C.

I.1.3.1. Ponte

Les œufs sont pondus séparément pendant la nuit due au comportement nocturne de l'adulte (Sharma, 2001). La femelle pond en moyenne 413 œufs dans une période d'oviposition de 4 à 5 jours. L'activité de ponte coïncide avec le début de la floraison des plantes due à la préférence de l'adulte vis à vis de ces dernières (Berg et Cock, 1993).

I.1.3.2. Les œufs

Les œufs subsphériques sont pondus isolément collés au support. Ils mesurent 0,4-0,6mm. Au début de l'oviposition, ils sont de couleur blanc-jaunâtre et chatoyant, puis ils se brunissent après. Ce brunissement est dû à l'apparition des capsules céphaliques foncées des futures chenilles. Le même auteur indique en outre qu'en microscopie à balayage, les œufs apparaissent entourés d'un chorion épais dont la surface est parcourue verticalement par plusieurs côtes bien apparentes. Ces côtes dessinent, au pôle micropylaire une rosette qui entoure le micropyle. La durée du développement embryonnaire de *H. armigera* augmente lorsque la température diminue. Elle est de 11 jours à 20°C, 7 jours à 25°C et 4 jours à 30°C, avec un seuil inférieur thermique du développement fixé à 14°C (Barteková et Praslička, 2006). L'incubation dure 2 à 3 jours à 25-27°C. Les œufs qui n'éclosent pas avant 5 jours sont considérés comme infertiles. Ils sont jaunâtres et deviennent de plus en plus jaune en se déformant avant 3 jours. Le pourcentage d'œufs qui éclot augmente avec la température (Barteková et Praslička, 2006). A 25°C, ce pourcentage est aux environs de 53 %.



Figure 3: Œufs d' *H. armigera* sur feuille de tomate (Photo : D. Bordat)

I.1.3.3. Les stades larvaires

L'état larvaire de *H. armigera* comprend 5 à 6 stades et à chaque mue, les chenilles augmentent de taille et rejettent leur capsule céphalique.

La durée du développement larvaire diminue avec l'augmentation de la température, i.e. à 20°C, cette durée est de 39 jours tandis qu'à 25°C, elle est 24 jours et 18 jours à 30°C. Le seuil inférieur thermique du développement larvaire est de 11°C (Barteková et Praslička, 2006). La durée de vie des chenilles de *H. armigera* et l'activité des enzymes amylolytiques et protéolytiques varie selon les cultivars de tomate (Nemati kalkhoran, 2013).



A

B

Figure 4: Chenille de *H. armigera* sur tomate: A= sur fruit, B= sur feuille

I.1.3.4. Chenille de premier stade (L1)

Elle est de couleur grisâtre à rouge-brunâtre et mesure 1,40 à 2,71mm avec une capsule céphalique brune-noire portant plusieurs soies. La plaque prothoracique et l'écusson anal sont brun-sombre. Les segments thoraciques portent chacun une paire de courtes pattes articulées et terminées par une griffe, avec plusieurs soies dont la répartition varie d'un segment à l'autre. Le prothorax, le mésothorax et le métathorax portent respectivement 20, 16 et 16 soies. Les 8 des 11 segments abdominaux portent tous 2 paires de stigmates ovales, les 2 derniers segments abdominaux étant soudés. Les soies des segments abdominaux sont inégalement réparties. Le 1^{er} est recouvert de 18 soies, le 2^e de 20, les 3^e, 4^e, 5^e, 6^e, de 12 soies chacun et d'une paire de fausses pattes non articulées munies chacune d'une rangée de 5 crochets disposés en arc. Les 7^e et 8^e portent chacun 16 soies. Le segment anal porte une paire de fausses pattes terminées par une rangée de 6 petits crochets. La durée moyenne du premier stade larvaire est de 2 à 3 jours. La capsule céphalique mesure 0,27 mm.

I.1.3.5. Chenille de deuxième stade (L2)

A ce stade, les chenilles sont plus ou moins jaunâtre avec une capsule céphalique brun-foncé. Elles mesurent 4,95. L'écusson prothoracique et l'écusson anal deviennent un peu plus clairs. Les sclérites sur lesquels sont implantées les soies sont sombres et bien visibles. La chétotaxie est la même que celle des L1. Les pattes abdominales possèdent une rangée de 6 crochets alors qu'on observe 8 crochets disposés en arc au niveau des pattes anales. Sa durée moyenne est 2,87 jours. Au premier et au deuxième stade, la couleur du corps de la chenille est plus uniforme et le mouvement est très faible. La capsule céphalique est de 0,47mm.

I.1.3.6. Chenille de troisième stade (L3)

La chenille mesure 9,85 mm avec un corps brun-orangé. La capsule céphalique est brun-clair, mais le clypeus reste brun-foncé. Les sclérites portant les soies sont brun-foncé et se distinguent nettement sur tout le corps. A partir de ce stade, des fines bandes longitudinales blanches apparaissent sur la face dorsale et les flancs. La chétotaxie est la même que celle observée au niveau des L1. Les fausses pattes abdominales sont terminées par une rangée de 12 crochets tandis qu'au niveau des anales, on a une rangée de 16 crochets. Le stade dure 2,19 jours avec une capsule céphalique d'environ 0,79 mm.

I.1.3.7. Chenille de quatrième stade (L4)

Le tronc de la chenille est de couleur grisâtre, marrone, jaunâtre ou verdâtre. La longueur du corps varie selon le nombre de stade larvaire. Elle est de $18,7 \pm 1,7$ mm chez les individus à 5 stades et de $14,8 \pm 0,5$ chez les individus à 6 stades. La capsule céphalique est orangée et le clypeus brun-foncé. Plusieurs bandes blanchâtres fines et deux bandes sombres séparées par une fine bande blanchâtre parcourt le tronc et latéralement on note une bande blanchâtre large. L'écusson prothoracique est brun-foncé. La distribution des soies sur le prothorax est différente de celle des stades précédents parce qu'ici, il y'a que 16 soies. Les pattes abdominales possèdent une rangée de 15 crochets, alors que les anales ont une rangée de 18 crochets. La durée moyenne est de $2,97 \pm 0,21$ jours chez les individus à 5 stades et de $2,41 \pm 0,37$ jours chez les individus à 6

stades. La Capsule céphalique $1,39 \pm 0,03$ pour les individus à 5 stades et $1,18$ mm chez les individus à 6 stades. A partir de ce stade l'espèce devient cannibale.



Figure 5: Stade L4 de la chenille de *H. armigera* avec différentes colorations

I.1.3.8. Chenille de cinquième stade (L5)

Les chenilles sont grisâtres, verdâtres ou jaunâtres. Elles mesurent $10,65 \pm 0,18$ mm. La capsule céphalique est orangée et l'écusson prothoracique est brun-foncé parsemé de petits points blanchâtres. Sur la face dorsale, on note plusieurs petites bandes longitudinales sombres séparées par une ligne blanchâtre, les flans étant parcourus par une bande blanchâtre large. Les pattes abdominales ont 16 crochets et les anales en ont 19. La chétotaxie est identique à celle des L4. La L5 dure 2,39 jours avec une capsule céphalique d'environ 1,79 mm.



Figure 6: Chenille de *H. armigera* au stade L5

I.1.3.9. Chenille de dernier stade

Au terme de leur croissance, les chenilles prennent une couleur grisâtre, jaunâtre ou verdâtre. Elles mesurent environ 33,1 mm. La capsule céphalique est orangée et globuleuse avec plusieurs soies. Il y a présence de 3 articles au niveau des antennes, le dernier étant court et porte 2 soies : une longue et une courte. Six (6) stemmates apparaissent sur le genae. Le labre transversale et aplati, porte 6 paires de soies sur la face dorsale et est échancré en son milieu. Les maxilles se composent chacun d'un cardo, d'un stipe portant deux soies et d'une partie comprenant deux éléments successifs en forme d'anneaux incomplets et de deux petites pièces terminales : l'une externe, est le palpe maxillaire biarticulé, l'autre interne, est le lobarium. Les mandibules sont brunes avec une pointe à 4 dents noires. Le labium est composé d'un submentum et un postmentum qui sont soudés aux maxilles et un prémentum libre formé d'un sclérite basilaire, d'une filière à la forme d'un tube allongé et pointu à son extrémité et de 2 palpes labiaux courts composés de 2 articles portant chacun une soie à son extrémité. La tête ainsi que les pattes prothoraciques sont brunes à noires. Les segments thoraciques comportent chacun une paire de pattes brunes présentant une griffe et plusieurs soies. L'abdomen porte 4 paires de fausses pattes ornées chacune d'une rangée de 18 crochets et une paire de pattes anales portant une rangée de 22 crochets disposés en arc. Dans ce dernier stade, la durée moyenne est de 3,28 jours. La capsule céphalique est environ 2,59 mm.

I.1.3.10. Le stade pré-nymphal

La chenille en fin de croissance devient moue et plissée, avec une suspension de son alimentation et de son mouvement. La pré-nymphe est de couleur vert clair à jaunâtre qui vire postérieurement au brun foncé. Ce stade dure 1-3 jours avec une moyenne d'environ 2.15 jours. La moyenne de la longueur et de la largeur de la pré-nymphe de *H. armigera* varie respectivement entre 22 -29 et 3.9-5 mm.



Figure 7: Pré-nymph de *H. armigera* (Photo : D. Bordat)

I.1.3.11. Chrysalide

La nymphose de *H. armigera* peut se faire dans le sol ou à l'intérieur du fruit attaqué (Bordat, com. pers.). La chrysalide de *H. armigera* est de couleur brune avec une segmentation bien visible sur les 3 parties du corps qui sont entièrement soudées entre elles. Seuls les derniers segments abdominaux sont mobiles. La surface est lisse et arrondit aux deux extrémités. Sur la tête se distingue ventralement le clypeus, les yeux grands et délimités, les 2 antennes qui s'étendent entre les fourreaux des ailes antérieures et les gaines des pattes et la gaine de la trompe. Sur la face dorsale n'apparaît que le vertex. Les segments thoraciques sont cachés ventralement et latéralement par les ailes et les appendices, mais ils sont bien distincts du côté dorsal. Le prothorax est réduit tandis que le mésothorax est très développé. Les pattes sont facilement identifiables sur la face ventrale. L'abdomen comprend 10 segments dont les premiers sont bien délimités. Sur la face latérale, on voit 6 paires de stigmates s'ouvrant au sommet de petites éminences. Les 5^e, 6^e et 7^e segments portent à leur bord antérieur de petites dents réparties sur toutes les faces. A ce stade, le dimorphisme sexuel est apparent. Sur le côté ventrale, le 9^e urite de la chrysalide mâle porte un orifice génital représenté par une fine dépression encadrée de deux

saillies arrondies. Sur le 10^e urite, se trouve l’anus représenté par un sillon longitudinal. Les 9^e et 10^e urites de la chrysalide femelle présentent un contour irrégulier comme s’ils avaient été étirés antérieurement sur la ligne médioventrale. Le sillon génital est situé au sommet de l’angle saillant du 9^e urite alors que l’orifice anal est situé sur le 10^e urite. Chez le mâle comme chez la femelle, sur le 10^e urite prennent directement naissance 2 épines ou crémasters. Ces 2 épines sont effilées et parallèles au niveau du bord postérieur. La durée de la nymphose diminue quand la température augmente. Elle est de 10 à 14 jours avec une longueur et une largeur moyenne de 19 et 5 mm respectivement à 25°C. Barteková et Praslička (2006) parle de 18 jours à 20°C, 14 jours à 25°C et 10 jours à 30°C. Ils soutiennent en plus que le seuil inférieur thermique du développement de la chrysalide est de 8°C.



A

B

Figure 8: Chrysalide de *H. armigera* : A=à l’intérieur du fruit attaqué, B= dans le sol

I.1.3.12. Adulte

Ce sont des papillons de 35 à 40 mm d’envergure. Les ailes antérieures sont ornées, le long de leur marge extérieure, d’une ligne de 7 à 8 points noirâtres et vers leur tiers terminal, d’une bande brune transverse marquée de points clairs à centre noir. Les ailes postérieures sont claires, marginées de jaunâtre et traversées d’une large zone foncée. Le dimorphisme sexuel peut être reconnu par la couleur, le mâle est gris-vert alors que la femelle est brun-orange. Mais la femelle peut être également identifiée par la présence de touffe au niveau de l’extrémité de l’abdomen.

Selon le même auteur La femelle émerge 2 jours plus tard que le mâle, ce dernier émerge au bout de 9 jours alors que la femelle a besoins de 11 de chrysalide.

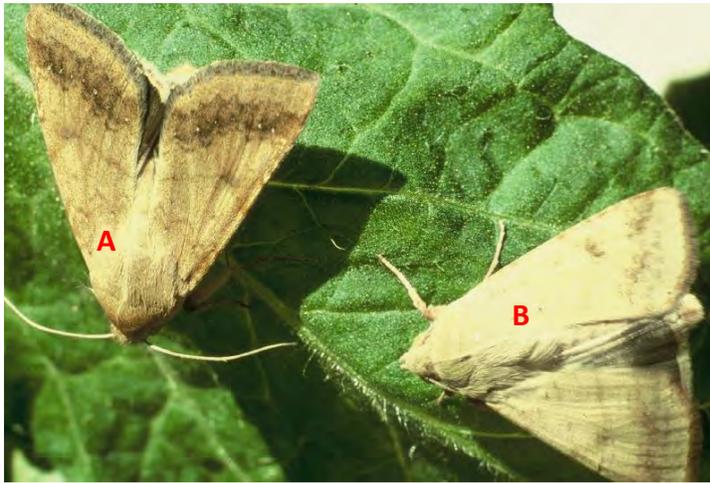


Figure 9: Adulte de *H. armigera* (A=femelle, B= mâle) (Photo : D. Bordat)

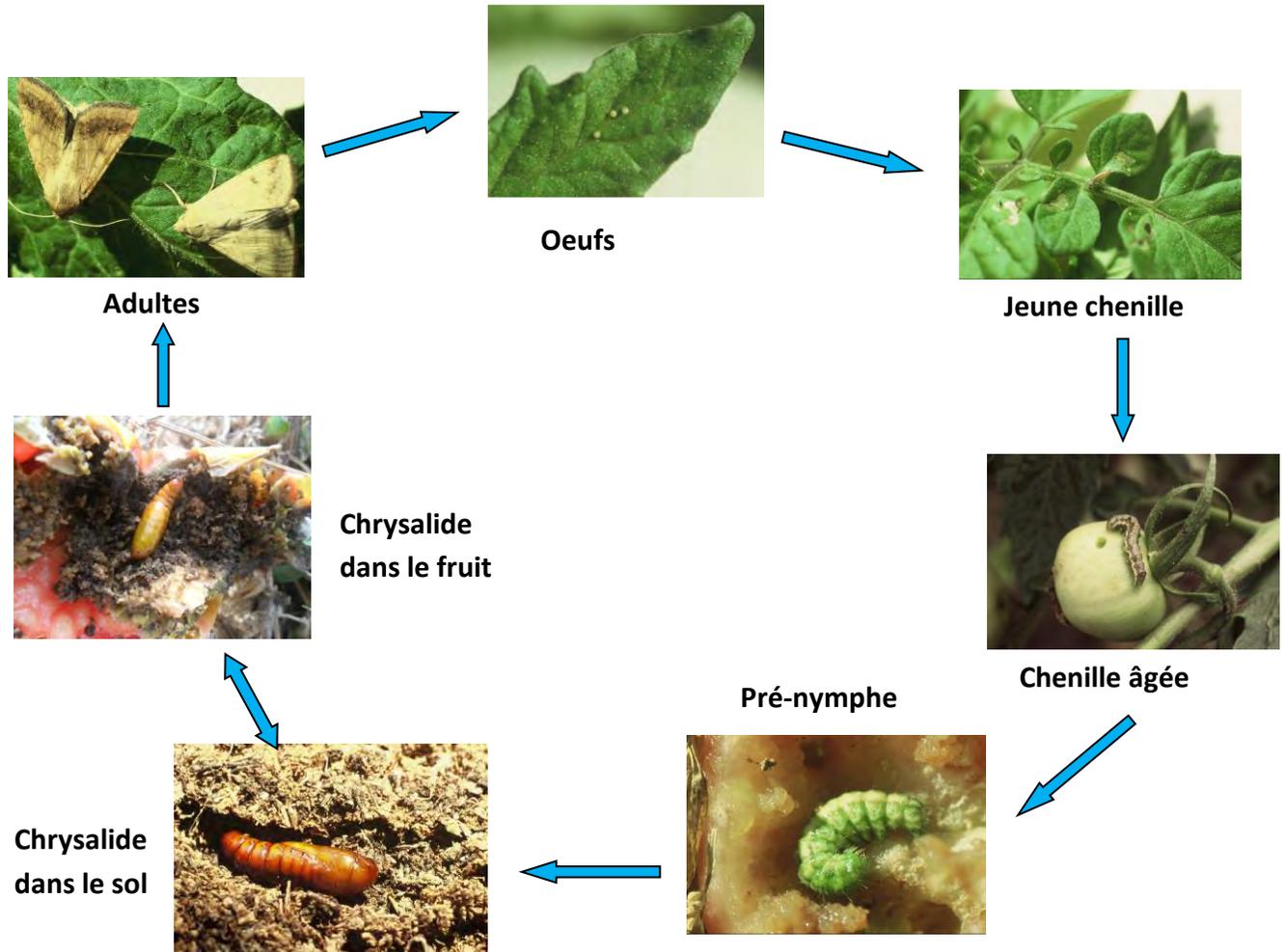


Figure 10: Cycle de développement de *H. armigera*

I.1.4. Plantes-hôtes

L'espèce *H. armigera* est un ravageur très polyphage qui attaque une large gamme d'hôtes constituée de plantes cultivées, mais aussi des plantes non cultivées (Nibouche *et al.*, 2007; Brevault *et al.*, 2012). La sélection de la plante hôte inclut la hauteur de la plante, l'application d'engrais du sol, mais surtout la présence de fleurs qui augmente considérablement l'attractivité d'une plante pour la ponte (Firempong et Zalucki, 1989). La sélection des hôtes dans les champs est principalement déterminée par l'oviposition des femelles, souvent les chenilles âgées se déplacent sur d'autres plantes une fois les conditions deviennent défavorables (Zalucki *et al.*, 1986). En Inde (Uttar Pradesh), Fatma et Pathak ont élaboré en 2011 un classement de préférence sur les plantes-hôtes de *H. armigera*.

Tableau 1: Préférence de *H. armigera* sur les plantes-hôtes (Fatma et Pathak, 2011)

Hôtes principaux	Hôtes secondaires	Hôtes accidentels
<i>Cicer arietinum</i> L. (Pois chiche)	<i>Carthamus tinctorius</i> L. (Carthame des teinturiers)	<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench (Gombo)
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Mill sp. (Pois d'angle)	<i>Glycine max</i> (L.) Merr. (Soja)	<i>Arachis hypogaea</i> L. (Arachide)
<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. (Tomate)	<i>Helianthus annuus</i> L. (Tournesol)	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> L. (Chou pommé)
<i>Pisum sativum</i> L. (Tois)	<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br. (Millet perle)	<i>Capsicum annuum</i> L. (Piment doux)
<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench (sorgho)	<i>Zea mays</i> L. (maïs).	<i>Capsicum frutescens</i> L. (Piment de cayenne)
<i>vicia faba</i> L. (Fève)		<i>Citrus aurantifolia</i> (Christm.) Swingle (Limettier mexicain)
<i>Vigna mungo</i> (L.) Hepper var. <i>mungo</i> (Haricot urd)		<i>Lablab purpureus</i> (L.) (Lablab)
<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. (Niébé).		<i>Nicotiana tabacum</i> L. (Tabac)
		<i>Solanum melongena</i> L. (Aubergine douce)

Cependant, il existe une variation dans le classement des plantes-hôtes entre population d'origine géographique différente. L'attractivité de différentes plantes-hôtes pour l'oviposition de *H. armigera* peut dépendre de l'abondance relative de ces plantes-hôtes (Firempong et Zalucki, 1990 ; Cunningham *et al.*, 1999).

Au Burkina Faso, en évaluant la contribution du sorgho, du maïs et du gombo en tant que plantes-hôtes pouvant servir de refuges pour *H. armigera*, Tiemtore précise en 2007 que le gombo s'est révélé la culture hôte la plus attractive pour l'insecte, suivi par le maïs. Au Sénégal, la noctuelle attaque sévèrement le Coton et la Tomate (Pesticide Action Network/ International POPs Elimination Network [PAN/IPEN]), 2008). On observe en plus depuis 2011, un élargissement de sa niche écologique, avec des dégâts relevés sur d'autres cultures maraîchères comme le poivron et le navet et sa présence commence à être observée sur oignon et courgette (Diarra, com. pers.).

I.1.5. Les méthodes de lutte contre *H. armigera*

I.1.5.1. La lutte chimique

L'utilisation des produits de synthèses constitue le moyen de lutte le plus utilisé contre *H. armigera*. Elle regroupe plusieurs familles d'insecticides, notamment les pyréthrinoïdes, organophosphorés, avermectines, spinosoides etc. Des résultats satisfaisants ont été obtenus avec une réduction des populations de 65% (Sam *et al.*, 2014; Katroju *et al.*, 2014), même si des problèmes ont été signalés. En effet les insecticides agissent sur les insectes nuisibles mais aussi sur la faune utile en réduisant le service que pouvait apporter cette dernière (Dobson *et al.*, 2002). Il s'y ajoute la forte toxicité de certains de ces produits sur la santé humaine et sur l'environnement, due en grande partie au manque de formation des producteurs (Thiam et Sagna, 2009). Selon le rapport de la PAN/IPEN de 2008, au niveau du Sénégal, les chenilles de la capsule ont été essentiellement combattues sur coton par les pyréthrinoïdes. Cependant, l'utilisation répétée et prolongée des matières actives de ces produits conduit à une perte de sensibilité du ravageur. Cela entraîne une acquisition rapide de la résistance sur certaines familles notamment les pyréthrinoïdes et les organophosphorés (Achaleke *et al.*, 2009; Aheer *et al.*, 2009; Achaleke et Brévault, 2010).

I.1.5.2. Résistance

La noctuelle est à l'heure actuelle insensible à plusieurs familles d'insecticides. La résistance aux pyréthrinoïdes, la famille d'insecticide la plus utilisée contre *H. armigera* est notée dans plusieurs endroits du monde. Elle a été signalée en Asie (Chaturvedi, 2007 ; Aheer, et al., 2009), en Europe (Mironidis et al., 2013), en Afrique centrale (Beyo et al., 2002 ; Achaleke et al., 2009 ; Achaleke et Brévault 2010), en Afrique occidentale (Vassal et al., 1997 ; Yara, 1999). En Afrique occidentale, les premières études sur la résistance remontent de 1997 par Vassal et al., en Côte d'Ivoire. Ils montrent une augmentation progressive de la DL50 (Dose qui tue 50% des chenilles) entre 1992 et 1996. Considérant que les superficies des cultures de coton occupent plusieurs pays d'Afrique de l'ouest allant du Sénégal au Nigeria, et compte tenu de la forte capacité de migration de l'insecte (Nibouche, 1994), il admet que ce problème de résistance ne se limite pas en Côte d'Ivoire. Au Sénégal, Moreira et al., (2002) ont réalisés des tests moléculaires; sur une souche de *H. armigera* issue du Sénégal, ont révélés deux mutations (la sérine remplacée par l'acide glutamique et l'acide aspartique par la valine) au niveau du gène codant pour le canal sodium voltage dépendant, cible principale des pyréthrinoïdes. Cependant aucun test de résistance aux insecticides n'a été jusqu'ici réalisé sur *H. armigera* au Sénégal.

L'insensibilité à d'autres familles d'insecticides souvent utilisées contre la noctuelle a été également notée. Il s'agit des organophosphorés lesquelles la résistance est observée en Asie (Ahmad et al., 1999 ; Kranthi et al., 2001 ; Chaturvedi, 2007 ; Aheer et al., 2009), en Europe (Mironidis et al., 2013). Mais aussi des carbamates (Mironidis et al., 2013), oxadiazines (Aheer, et al, 2009), organochlorés (Mironidis et al., 2013). Le développement de l'utilisation des nouveaux insecticides de synthèse comme l'abamectine a été rapidement suivi par l'apparition de résistance en Asie (Ahmad et al., 2003; Chen et al., 2011).

La résistance aux insecticides de *H. armigera* diffère d'une population en une autre et pour une population donnée, elle varie selon les types d'insecticides (Yara, 1999 ; Aheer et al., 2009). Le niveau de la résistance s'acquiert progressivement (Mironidis et al., 2013) et dépend du temps d'exposition aux produits. Sur du coton Bt (*Bacillus thuringiensis*), Wu et al., (2005) ont décelé une augmentation de la résistance des chenilles de *H. armigera* à la toxine Bt. Simultanément, le niveau de la résistance aux insecticides : lambda-cyhalothrin, phoxim et endosulfan a décliné

considérablement. Cela parce qu'après 5 générations sans exposition aux insecticides, la résistance du ravageur diminue énormément (Achaleke et Brévault, 2010).

I.1.5.2.1. Mécanisme de la résistance

Le mécanisme mise en œuvre contre les insecticides est varié, car peut dépendre d'une population en une autre (Mironidis *et al.*, 2013). La résistance de *H.armigera* aux pyréthriinoïdes est d'une hérédité autosomique. Elle a été conférée à un seul gène dominant (Achaleke et Brévault, 2010). Selon les auteurs (Martin *et al.*, 2002 ; Young *et al.*, 2006 ; Achaleke *et al.*, 2009), cette résistance est liée à l'activité d'estérases. Moreira *et al.*, (2002) notent une mutation sur une souche sénégalaise au niveau du gène codant pour le canal sodium voltage dépendant, cible principale des pyréthriinoïdes. Quand à la résistance de *H. armigera* à l'abamectine, des tests faits (Ahmad *et al.*, 2003), ont révélé qu'elle est due à une résistance croisée du mécanisme de résistance, particulièrement métabolique, qui a été déjà sélectionné au niveau des insecticides conventionnels. Chen *et al.*, (2011) confirment cela en suggérant que la résistance de *H. armigera* à l'abamectine pourrait être associée aux activités des microsomes oxydases à fonction mixte (MFO), de la carboxylestérase (CarE) et de la glutathion S-transférases (TPS), mais non à l'acétylcholinestérase (AChE). Le mécanisme commun de résistance aux organophosphorés est lié à une insensibilité à l'acétylcholinestérase chez les insectes résistants (Gunning *et al.*, 1998).

I.1.5.3. Lutte biologique

La lutte biologique est définie comme étant la suppression, le contrôle ou la régulation des populations de ravageurs à l'aide de prédateurs, parasitoïdes, pathogènes (Debach et Rossen, 1991 ; Hawkins et Cornell, 1999). Selon Van Den Berg et Cock (1993), c'est tout simplement l'utilisation d'organismes bénéfiques ou d'ennemis naturels pour le contrôle des ravageurs. Durant le cycle de développement de *H. armigera*, un taux très élevé de mortalité allant jusqu'à 99% est souvent noté chez certaines cultures hôtes comme le tournesol, le maïs et le sorgho. Les causes de mortalité vont des parasitoïdes aux prédateurs passant par les entomopathogènes ou parfois sont même inconnus (Berg et Cock, 1993). De ces résultats l'amélioration de la lutte

biologique par une manipulation des habitats et une importation d'ennemis naturels exogènes peut être envisagée.

I.1.5.3.1. Parasitoïdes

Ils sont les plus étudiés, les plus utilisés et les plus efficaces en lutte biologique. Les parasitoïdes sont des insectes qui pondent leur œufs à l'intérieur (endoparasitoïdes) ou sur (ectoparasitoïdes) le corps de leur hôte à différents stades (œuf, larve ou nymphe). La larve qui se nourrit à l'intérieur ou sur l'hôte le tue durant son cycle. Au terme de son développement, la larve du parasitoïde se nymphose puis émerge au bout de quelques jours (Dominique, com. Pers.). La noctuelle de la tomate est attaquée par une large diversité de parasitoïdes qui parasite ses œufs, chenilles et chrysalides (Berg et Cock, 1993).

En Afrique, 83 espèces de parasitoïdes de *H. armigera* et 93 genres dont l'identification n'atteint pas le niveau de l'espèce ont été répertoriés (Van den Berg *et al.*, 1988). En Afrique de l'ouest une trentaine d'espèces de parasitoïdes ont été collectées (Streito et Nibouche, 1997). Elles appartiennent essentiellement aux familles des Braconidae, Ichneumonidae, Tachinidae, Eulophidae, Scelionidae, Trichogrammatidae.



Figure 11: Parasitoïde à la sortie de son hôte

I.1.5.3.1.1. Braconidae

C'est une famille très large qui regroupe la grande majorité des parasitoïdes de *H. armigera*. Le plus important parasitoïde de la noctuelle en Afrique de l'ouest appartient à cette famille. L'espèce *M. laphygmarum* est un parasitoïde très intéressant avec des valeurs des taux hebdomadaires de parasitisme allant jusqu'à 32,9% (Streito et Nibouche, 1997). La femelle attaque les jeunes chenilles de *H. armigera*. Après la ponte c'est une larve solitaire qui se développe à l'intérieur de la chenille hôte. Au terme de son développement, la larve sort de son hôte et tisse un cocon brun à l'extérieur qui est suspendu par un fil. De cette couleur, il se diffère des *Apanteles* qui tissent un cocon de couleur blanche (Berg et Cock, 1993). Chez d'autres espèces du genre *Apanteles*, plusieurs parasitoïdes peuvent émerger de l'hôte, ce sont des parasitoïdes grégaires. D'autres espèces de Braconidae sont connues comme étant des parasitoïdes de *H. armigera* : *Cotesia kazak* (Telenga), *Microplitis croceipes* (Cresson), *Habrobracon hebetor* Say (Saxena *et al.*, 2014 ; Cameron *et al.*, 2006). La mise en œuvre d'un programme de lutte intégrée basée en partie sur l'efficacité de deux Braconidae parasitoïdes de *H. armigera*, *C. kazak* et *M. croceipes* en culture de tomate a contribué à une baisse de la demande en insecticide en Nouvelle Zélande (Cameron *et al.*, 2006).



A

B

Figure 12: *M. laphygmarum* A= cocon à côté d'une chenille de *H. armigera* morte, B= adulte



Figure 13: *Apanteles sp* A= cocon, B= adulte

I.1.5.3.1.2. Ichneumonidae

C'est une famille très large, dont les femelles parasitent le plus souvent les jeunes chenilles. *Netelia sp* pond individuellement ses œufs dans les jeunes chenilles de la noctuelle. Un seul parasitoïde se développe dans l'hôte. Au terme de son développement, il tisse un cocon à l'extérieur à partir du quel émergera l'adulte (Berg et Cock, 1993). *Charops ater* attaque plusieurs jeunes chenilles de la noctuelle et d'autres espèces de lépidoptères. Cette guêpe élancée pond un œuf dans son hôte. La durée de développement est de 14 jours, au bout duquel le parasitoïde abandonne son hôte. Ainsi, il se laisse suspendre de la plante par un fil de soie. De là, il va tisser un cocon selon un modèle très caractéristique (Berg et Cock, 1993). Un pourcentage allant jusqu'à 39.4% est enregistré par *Campoletis chlorideae* (Uchida), un parasitoïde larvaire (Fatma et Pathak, 2011).

I.1.5.3.1.3. Tachinidae

D'après Berg et Cock (1993) Les Tachinaires forment une famille importante de Diptères. Les asticots de ces mouches sont endoparasites de divers insectes. Le mécanisme de développement diffère selon les espèces. Les unes déposent leurs œufs directement sur l'hôte, les autres pondent sur les feuilles des plantes où les chenilles se nourrissent. Les œufs seront ingérés par ces dernières lors de l'alimentation. En outre certaines pondent, incubent, et terminent leur développement sur les feuilles des plantes. L'asticot néonate cherche et pénètre activement la

peau de l'hôte. Deux espèces sont connues en Afrique pour *H. armigera*, *Linnaemya longilostris* au Kenya, *Palexorista laxa* (Curran) en Tanzanie occidentale.

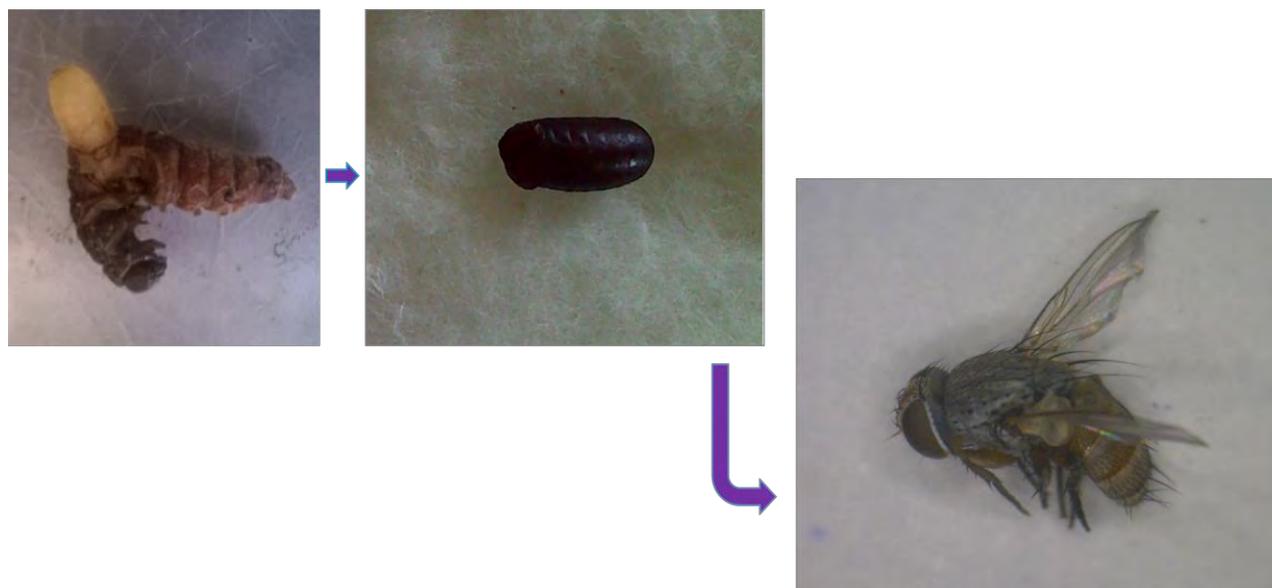


Figure 14: Développement des Tachinaires

I.1.5.3.1.4. Chalcididae

L'espèce la plus connue sur *H. armigera* est *Euplectrus laphygmae* Ferriere. C'est une espèce ectoparasitoïde, cosmopolite retrouvée partout en Afrique tropical. Il parasite des chenilles de plusieurs papillons, en récurrence *H. armigera*. La guêpe femelle paralyse la chenille hôte avant de déposer ses œufs sur son corps. Le nombre d'œuf pondue dépend de la taille de l'hôte. Il va de 3 à 6 par hôte. Les néonates commencent à s'alimenter sur leur hôte en liquéfiant d'abord le contenu de son corps puis en le suçant à travers la peau. Le corps de la chenille attaquée s'affaisse progressivement quand le contenu de son corps est consommé. Au terme de son développement, le parasitoïde tisse son cocon sous la dépouille de la chenille (Berg et Cock, 1993).

I.1.5.3.1.5. Scelionidae

Ce sont des parasitoïdes extrêmement petits qui attaquent le plus souvent les œufs des Papillons et des Punaises. En Afrique, *Telenomus ullyetti* Nixon est la seule espèce de cette famille qui

parasite *H. armigera*. Ce parasitoïde spécialiste attaque exclusivement les jeunes œufs. Un seul œuf est déposé sur l'hôte où il boucle son cycle de développement. A la fin du cycle, c'est un parasitoïde adulte qui émerge directement de l'œuf hôte. L'œuf parasité change de couleur durant le développement de *T. ullyetti*. Il va du jaune-blanc au gris. La femelle pond entre 30 et 90 œufs pour une période de 18 jours. La durée du cycle entre l'œuf et l'adulte est de 14 à 20 jours (Berg et Cock, 1993).

I.1.5.3.1.6. Trichogrammatidae

Selon Berg et Cock (1993), les trichogrammes sont des minuscules guêpes à corps robuste, difficilement observable à l'œil nu. Ce sont des parasitoïdes d'œuf de plusieurs papillons. Mais à la différence de *T. ullyetti*, ils attaquent plusieurs autres espèces en dehors de la noctuelle de la tomate. Environ 1 trichogramme sur 3 peut se développer sur un œuf de *H. armigera*. Les trichogrammes peuvent causer d'importante mortalité allant jusqu'à 19,4% sur les œufs de la noctuelle au champ (Fatma et Pathak, 2011). Au Kenya, sept espèces de parasitoïdes ont été recensées sur les œufs de *H. armigera* sur le tournesol, le maïs, le sorgho et le coton (Van den Berg et al., (1993). Les plus communs d'entre eux sont : *Trichogrammatoidea lutea*, *T. armigera*, *T. eldana*, *T. simmondsi*. Streito et Nibouche (1997), ont observé au Burkina Faso deux espèces de *Trichogrammatoidea* sur coton. Au Sénégal la découverte d'une souche autochtone de trichogrammes parasitant naturellement *Rhaguva sp.* déprédateur de chandelle du mil a été faite depuis les années 80 (Couilloud, 1981). L'œuf attaqué change de couleur et vire au noir lorsque le parasitoïde se développe. De là, les œufs âgés parasités par *Trichogrammatoidea spp* peuvent être reconnus sur le terrain. Pour émerger, le jeune parasitoïde crée une ouverture circulaire en mastiquant une partie du chorion. L'œuf parasité dure environ 12 jours avant émergence, comparé à 4 jours pour l'œuf non parasité.

I.1.5.3.2. Entomopathogènes

De nos jours, la lutte biologique est de plus en plus orientée sur l'intérêt de certaines maladies d'insectes. En effet, selon Toguebaye (1981), la sélection des pathogènes d'insectes doit se faire selon des critères précis dont les plus importants sont la spécificité vis-à-vis de l'espèce nuisible

avec peu ou pas de pathogénicité à l'égard d'autres insectes, la production en grande quantité des germes et la conservation de ces germes.

I.1.5.3.1.1. Microsporidies

Il s'agit surtout des espèces du genre *Nosema*, ce sont des agents pathogènes pour *H. armigera*. Mais cette pathogénéité dépend de la dose des spores et du stade larvaire. Toguebaye, en étudiant l'infestation expérimentale de *H. armigera* par *N. manierae* a conclu en 1981 que chez les chenilles de même stade, le taux de mortalité est d'autant plus élevé que la quantité de spores ingérées ou inoculées est plus grande, et que les larves sont d'autant plus sensibles à la microsporidiose qu'elles sont jeunes.

I.1.5.3.1.2. Virus

Environ 1600 espèces de virus ont été isolées sur 1100 espèces d'insectes et d'acariens. Certaines d'entre elles infectent seulement les Arthropodes et d'autres Crustacés. Cependant, en pratique, seuls les Baculovirus sont actuellement utilisés comme agents de lutte biologique (Dent, 1991). Les Baculovirus sont des entomopathogènes largement utilisées comme bio-insecticides pour contrôler plusieurs parasites de l'agriculture et plus récemment en tant que vecteurs d'expression de protéines et de vecteurs de thérapie génique (Gómez et Villamizar, 2013). L'intérêt insecticide des Baculovirus se justifie par la formation de polyèdres qui protègent les virions contre le rayonnement solaire ce qui lui confère un niveau raisonnable de persistance dans l'environnement. Il existe deux modes de dissémination de ces virions : l'une permettant la transmission de l'infection de cellules à cellules par l'intermédiaire des virions libres, l'autre permettant la transmission de l'infection d'individu à individu par l'intermédiaire des virions inclus dans les polyèdres (Toguebaye, com. Pers.). Une de ses caractéristiques principales est sa grande spécificité d'hôte, comprenant une gamme très étroite d'espèces d'insectes, qui appartiennent souvent à la même famille. Les principaux mécanismes d'action des Baculovirus impliquent la spécificité d'entrer dans les cellules hôtes, la possibilité de la réplication du génome viral, le contrôle des processus biochimiques et moléculaires des insectes et les interactions virus-hôte régulant la multiplication de l'agent infectieux (Gómez et Villamizar, 2013). Parmi les Baculovirus, le genre polyèdre nucléaire ou Nuclear Polyhedrosis Virus ou nucleopolyhedrovirus

(NPV) est le plus commun contre *H. armigera*. Son efficacité est fonction du nombre de jour après épandage (Mane *et al.*, 2013). Selon Mane *et al.*, (2013), un maximum de 7 jours peut être atteint, avec des rendements intéressants sur tournesol (779 kg/ha). L'un des potentialités de *H. armigera*, nucleopolyhedrovirus (HaNPV) est sa capacité de bourgeonnement due en grande partie au gène tardif or f81 (Ha81) (Li *et al.*, 2014). Au Sénégal, Coly et Diop ont conclu en 1985 que la souche Vex 0784 du virus de la polyedrose nucléaire a montré un bon comportement dans le contrôle des populations de la noctuelle sur tomate.

I.1.5.3.1.3. Nématodes

C'est un groupe qui constitue un grand intérêt insecticide par son large spectre d'action, son temps létal court et son élevage facile. Ils causent aussi des effets intermédiaires: stérilité, baisse de la fécondité, perturbations du développement, aberrations de comportement.

Contre *H. armigera*, entomopathogenic nematodes (EPNs) constitue un bon potentiel en lutte biologique. Shahina *et al.*, (2014) ont évalué l'infectivité de quatre isolats à savoir *Steinernema pakistanense*, *S. asiaticum* *S. feltiae* (Rhabditida: Steinernematidae) et *Heterorhabditis indica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) contre les foreurs du cotonnier. L'espèce *H. armigera* a montré une sensibilité vis-à-vis des pathogènes. Ce pendant *S. pakistanense* reste le plus virulent des EPNs.

I.1.5.3.3. Prédateurs

Ce sont des organismes qui sont pour la plus part généralistes. Les prédateurs sont souvent très abondants dans les cultures où ils consomment les œufs et les larves de différentes espèces de ravageurs. Parmi les prédateurs de *H. armigera*, les Anthocorides et les fourmis, notamment *Pheidole spp*, *Myrmecaria spp* et *Camponotus spp* étaient suffisamment présents et répandus au Kenya pour requérir une importance dans la suppression du ravageur (van den Berg *et al.*, 1993; Berg et Cock, 1993). Leur abondance fluctue selon les sites.

I.1.5.3.4. Associations culturelles

Ce sont des pratiques culturelles qui consistent à associer la culture avec une autre plante qui soit attractive pour le ravageur cible et donc lui servira de refuge afin d'épargner la culture, soit répulsive pour le ravageur cible donc lui éloignera de la culture.

En ce qui concerne le ver de la capsule de l'ancien monde, des essais d'association ont été faits au Burkina Faso par Tiemtoreen 2007 afin de mettre en évidence une attractivité du gombo, du maïs et du sorgho sur *H. armigera* dans l'optique de réduire l'exposition du ravageur aux toxines *Bt* du coton en vue de retarder le phénomène de résistance. Cette étude a montré que le gombo a abrité plus de chenilles, suivi du maïs et du sorgho. Toujours dans cette étude, Tiemtore a montré que le gombo attire plus de chenilles de *H. armigera* que la tomate. D'où son intérêt dans les associations culturelles avec cette dernière. Le Rosier d'inde (*Tagetes erecta*) semblerait également avoir une bonne attractivité pour *H. armigera* (PAN/IPEN, 2008).

I.1.5.3.5. Lutte intégrée

La gestion intégrée des ravageurs est définie comme étant la sélection, l'intégration et la mise en œuvre du contrôle des ravageurs basé sur la prédiction des conséquences économiques, écologiques et sociologiques, permet une utilisation maximale des agents de contrôle, y compris les conditions météorologiques, les organismes pathogènes, les prédateurs et les parasites (Bottrell, 1979). Un certain nombre d'agents microbiens entomopathogènes infecte un large éventail d'insectes et causent des épizooties de temps à temps. L'espèce *Bacillus thuringiensis* (Bt) et le virus Nuclearpolyhedrosis (NPV) sont deux agents pathogènes potentiels pour *H. armigera*. Selon Qayyum *et al.*, (2015), la sensibilité des chenilles de *H. armigera* diminue en fonction du stade larvaire. Ses études ont montré une plus grande mortalité au niveau du deuxième stade larvaire (95,45%) en comparaison au quatrième stade larvaire (82,48%) dans l'application combinée de *Bacillus thuringiensis* (Bt) et Nuclearpolyhedrosis virus (NPV). La réduction de la nymphose, l'émergence des adultes et l'éclosion des œufs ont été trouvés directement liés à la pathogénicité des agents appliqués.

femelles peuvent pondre jusqu'à 260 œufs, en général au niveau des jeunes bourgeons et jeunes feuilles (Anonyme, 2010). Les œufs sont de très petite taille de forme cylindrique et de couleur crème à jaunâtre. Le ravageur passe par 4 stades de développement : œuf, chenille, chrysalide et adulte (Blancard, 2012). Après l'éclosion, les jeunes larves pénètrent dans les feuilles, les tiges ou les fruits quelque soit le stade de développement du plant de tomate. Les chenilles creusent des galeries dans lesquelles elles se développent. Une fois le développement larvaire achevé (4 stades successifs), les chenilles se transforment en chrysalides soit dans les galeries, soit à la surface des plantes-hôtes dans un cocon ou bien dans le sol (Torres *et al.*, 2001). Les adultes mâles vivent 6 à 7 jours et les femelles 10 à 15 jours. Le cycle de développement de *T. absoluta* varie selon la température et l'humidité relative. Il est de 21,1 jours à 26°C et une HR de 87% et 29,4 jours à 23,4°C et une HR de 75% (Boualem *et al.*, 2012).



A

B

Figure 16: A=Chenille de *T. absoluta* sur feuille de tomate, B= Accouplement de *T. absoluta* (Photo : D. Bordat)

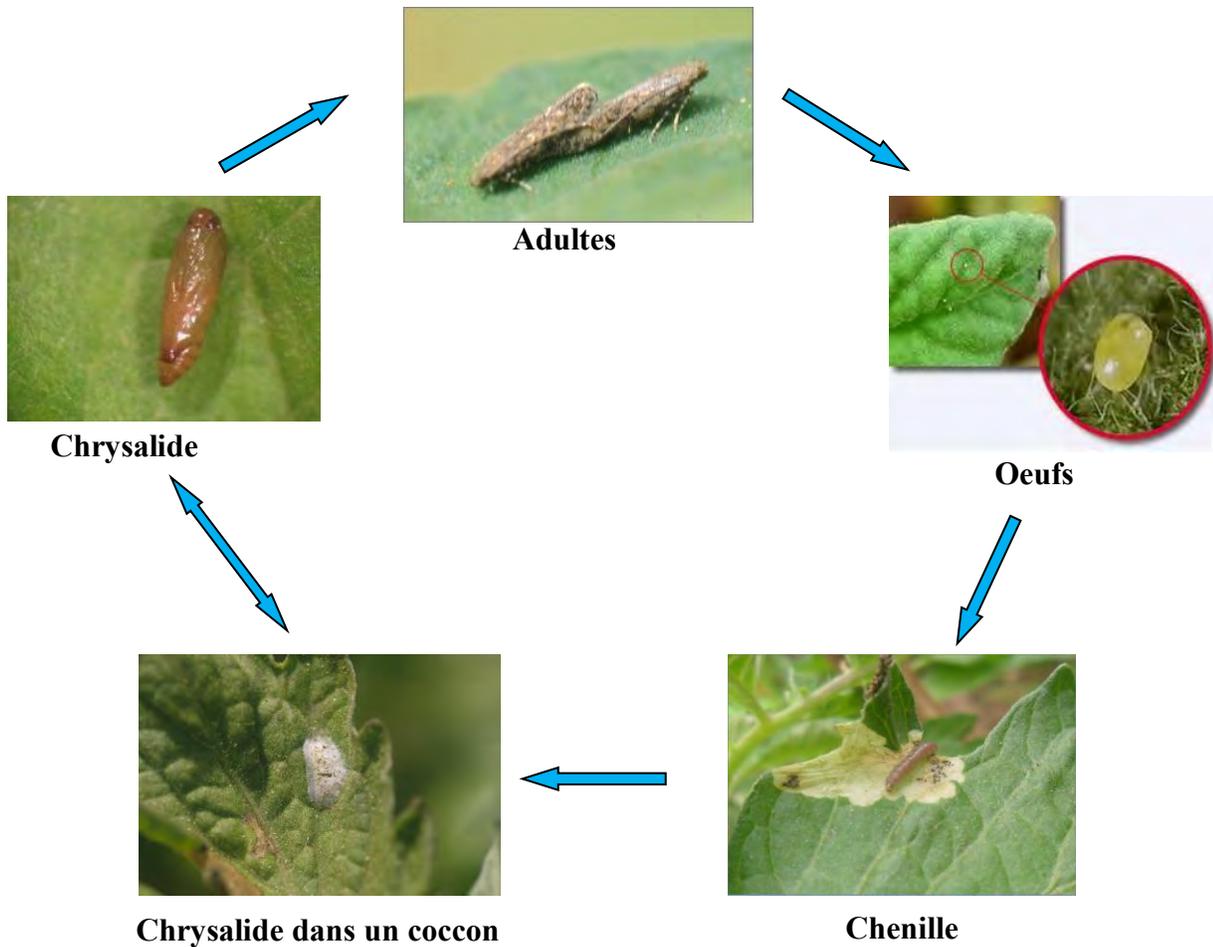


Figure 17: Cycle de développement de *T. absoluta*

I.2.3. Plantes-hôtes

La mineuse de la tomate est oligophage qui attaque essentiellement les plantes de la famille des Solonacées (Pereyra et Sánchez, 2006). Au Sénégal, la principale plante hôte est la tomate, mais sa présence sur d'autres espèces de Solanaceae cultivées telles que la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), l'aubergine douce (*S. melongena*), l'aubergine amère (*S. aethiopicum*), le poivron et le piment (*Capsicum spp.*) a également été observée (Wychuys *et al.*, 2013; Brévault *et al.*, 2014).

I.2.4. Symptômes et Dégâts

L'insecte est un ravageur très redoutable pouvant causer des pertes sur les tomates allant jusqu'à 80 à 100% (Desneux *et al.*, 2010; Brévault *et al.*, 2014 ; Attrassi, 2015). La première attaque est observée sur les parties apicales de la plante, à savoir les feuilles et les jeunes plants (pépinière). Les chenilles attaquent le parenchyme des feuilles (mines), mais sont également capables de creuser des galeries dans les jeunes tiges et dans les fruits. Les attaques se manifestent par l'apparition sur les feuilles des galeries blanchâtres (seuls les épidermes de la feuille reste, le parenchyme est consommée par les chenilles) contenant chacun une chenille et ses excréments. Au fil du temps, les galeries se nécrosent et brunissent. Les chenilles attaquent les fruits verts comme les fruits mûrs. Les tomates sont nécroses sur le calice ou affiche des trous de sortie sur leur surface. Les fruits sont alors invendables et impropres à la consommation (Attrassi, 2015). Au Sénégal, les dégâts du ravageur sont observés partout dans la principale zone de production maraichère du Sénégal, la zone des Niayes. Ces dégâts sont plus importants au niveau de la zone sud des Niayes où des parcelles abandonnées par les producteurs ont été déjà détectées (Brévault *et al.*, 2014).



A

B

Figure 18: Dégâts de *T. absoluta* A= sur feuilles, B= sur tige

I.2.5. Méthodes de lutte

Plusieurs méthodes de lutte sont utilisées pour contrôler ce ravageur. La méthode chimique utilisant des avermectines, des organophosphorés, des pyréthriinoïdes est la plus utilisée pour le contrôle du ravageur (Lietti *et al.*, 2005). Cependant, il a été signalé la réduction de l'efficacité de certains de ces insecticides contre ce ravageur (Siqueira *et al.*, 2000 ; Lietti *et al.*, 2005). D'autres alternatives sont alors utilisées comme les méthodes culturales par des labours profonds afin de détruire les chrysalides, le repiquage de plants sains (Larrain, 1992).

Il s'y ajoute la lutte biologique par utilisation des entomopathogènes comme *Beauveria* sp, qui peut contrôler jusqu' à 100% les populations du ravageur (Badaoui *et al.*, 2011). La mineuse est également l'hôte de plusieurs espèces de parasitoïdes et prédateurs. Sur plus de 70 arthropodes, 20% prédateurs et 80% de parasitoïdes ont été signalés comme ennemis du ravageur (Zappala *et al.*, 2013). Parmi les parasitoïdes il y'a ceux du genre *Trichogramma* (ei *T. achaeae*, *T. sp*), qui attaquent les œufs de *T. absoluta*, mais aussi d'autres parasitoïdes larvaires comme *Bracon nigricans* Szépligeti, *Neochrysocharis formosa* (Westwood), *Stenomesus sp. near japonicus* et *Necrmenus sp. near artynes* (Chailleux *et al.*, 2012 ; Biondi *et al.*, 2013). Les Mirides sont les principaux prédateurs de *T. absoluta*. Ils s'agissent de *Macrolophus pygmaeus* (Rambur), *Nesidiocoris tenuis* (Reuter), *Dicyphus* sp (Biondi *et al.*, 2013). Au laboratoire, la combinaison du prédateur *M. pygmaeus* et du parasitoïde *T. achaeae* peut augmenter le niveau de control du ravageur à un niveau que l'utilisation de la Miride prédatrice seule ne pourrait atteindre (Chailleux *et al.*, 2013).

I.3. La mouche blanche

La mouche blanche *B. tabaci* est le ravageur le plus important des régions tropicales et subtropicales (Brown *et al.*, 1995). Plusieurs biotypes de *B. tabaci* existent dont le plus répandu est le biotype B (Polston et Anderson, 1997; Hanafi, 2000). La mouche blanche est souvent localisée sur la face inférieure du feuillage où elle dépose les œufs et suce la sève de la plante (Naika *et al.*, 2005 ; Nguessan, 1986). La succion de la sève par les larves et l'adulte entraîne des dégâts directs qui se manifestent par la diminution de la vigueur, la maturité précoce et une

coloration irrégulière des fruits de tomate (Hanafi, 2000). Les dégâts indirects sont matérialisés par la transmission de viroses dont la plus importante est le Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV) qui est la plus grave maladie virale de la tomate dans les régions tropicales et subtropicales (Czosnek et Laterrot, 1997; Moriones et Navas-Castillo, 2000; Delatte *et al.*, 2003). Les dégâts causés par le ravageur sont non seulement dus au prélèvement de liquides végétaux, à la transmission de virus, mais également à la production d'un abondant miellat défavorable à la photosynthèse (Bordat et Arvanitakis, 2004).

La mouche adulte est de couleur blanche, à une longueur de 1 à 2 mm. L'espèce est un ravageur très polyphage puisqu'on le trouve sur la tomate, la pomme de terre, l'aubergine, la patate douce et le haricot (Collingwood *et al.*, 1984).

La lutte est basée sur une élimination soigneuse ou sur la maîtrise des plantes adventices spontanées, sur l'arrachage à temps des pieds de tomates infectées, sur le déplacement de l'époque du repiquage. Des Hyménoptères Chalcidiens, des genres *Encarsia* et *Eretmocerus*, notamment, limitent les populations de l'aleurode.



A

B

Figure 19: A= *B. tabaci*, B= TYLC transmis sur tomate

I.4. Les mouches mineuses des feuilles

Les mouches mineuses des feuilles englobent une diversité d'espèce appartenant à la famille des Agromizididae. Selon Bordat et Arvanitakis (2004), seules *Liriomyza trifolii* (Burgess) et *L. sativae* ont été recensées comme ravageurs de la tomate au Sénégal. L'espèce *L. trifolii* a été reportée pour la première fois dans la région du cap vert en 1980 (Bourdouxhe, 1982). Les mineuses sont des mouches luisantes, de petite taille (2-3 mm), noires et jaunes, qui pondent leurs œufs dans les feuilles. Elles minent les feuilles et créent des galeries d'une façon typique qui leur a valu le nom de mineuses « serpentines ». Selon Messiaen *et al.*, (1991), les mouches mineuses, souvent d'une importance secondaire peuvent causer des dégâts importants sur le feuillage pouvant même assécher les feuilles. La nymphose a eu lieu dans le sol. Au Sénégal, *L. trifolii* peut avoir une grande incidence sur les cultures avec des pertes allant jusqu'à 41% et une densité moyenne de 111 asticots par plant (Coly *et al.*, 1993).

Plusieurs méthodes de lutte sont employées contre cette mouche. La lutte biologique contre ce ravageur utilise une diversité d'espèce de parasitoïdes dont le plus important est *Hemiptarsensus semialbiclava* (Girault) (Eulophidae) (Neuenschwander *et al.*, 1987).



Figure 20: Mines de la mouche mineuse sur feuilles de tomate

CHAPITRE II:

CADRE D'ETUDE ET APPROCHE METHODOLOGIQUE

Ce chapitre comprend deux parties : le cadre d'étude et l'approche méthodologique. Dans le cadre d'étude, nous avons présenté la zone d'étude, sa localisation et ses caractéristiques physiques justifiant son choix. Dans l'approche méthodologique, il est expliqué en détail la méthode adoptée durant toute la durée de l'étude pour répondre aux objectifs de départ.

II.1. Cadre d'étude

II.1.1 Présentation de la zone d'étude

Ce travail a été effectué dans trois zones (Sud, Centre, Nord) des Niayes au Sénégal, le long d'un transect de Dakar - Saint-Louis. La zone des Niayes s'étend sur une longueur de 180 km bordant la frange maritime du Nord du pays partant de Dakar à Saint-Louis en passant par la bordure Ouest de Thiès et de Louga. Sa largeur varie de 05 à 30 km à l'intérieur des terres.

II.1.2. Milieu Physique

La zone des Niayes constitue un milieu assez original caractérisé par des dunes et des dépressions souvent inondées par l'affleurement de la nappe phréatique et par un climat assez favorable. Inscrites dans la moitié sud de la zone sahélienne, les Niayes sont déterminés par l'alternance de deux saisons annuelles : une saison humide concentrée sur trois mois (juillet, août et septembre) et une saison sèche qui dure les autres neuf mois et durant laquelle se succède deux cycles de culture maraîchère. Un premier, de septembre à janvier et un second cycle de février à mai. Le climat chaud et sec, est caractérisé par la mousson qui souffle durant la saison humide. La pluviométrie est faible et dépasse rarement 450 mm/an. Les températures sont modérées et influencées par la circulation des alizés maritimes soufflés par les courants d'airs froids du nord (Açores). La température moyenne mensuelle la plus chaude oscille autour de 28°C et la température minimale est inférieure à 18°C. Entre mai et juin, la présence de l'harmattan peut élever la température à un maximum de 31°C (Diallo *et al.*, 2015).

II.2. Approche méthodologique

Le suivi a été effectué dans trois zones (Sud, Centre, Nord) des Niayes, le long d'un transect de Dakar - Saint-Louis. Dans chaque zone, 7 à 11 parcelles de tomate, distantes de 2 à 3 km l'une de l'autre ont été ciblées. Au total 98 parcelles ont été sélectionnées dans l'étude. Ce travail a été effectué sur quatre cycles de cultures, entre octobre 2012 et mai 2014. Les parcelles d'étude ont été géo référencées par GPS. (Figure 21).

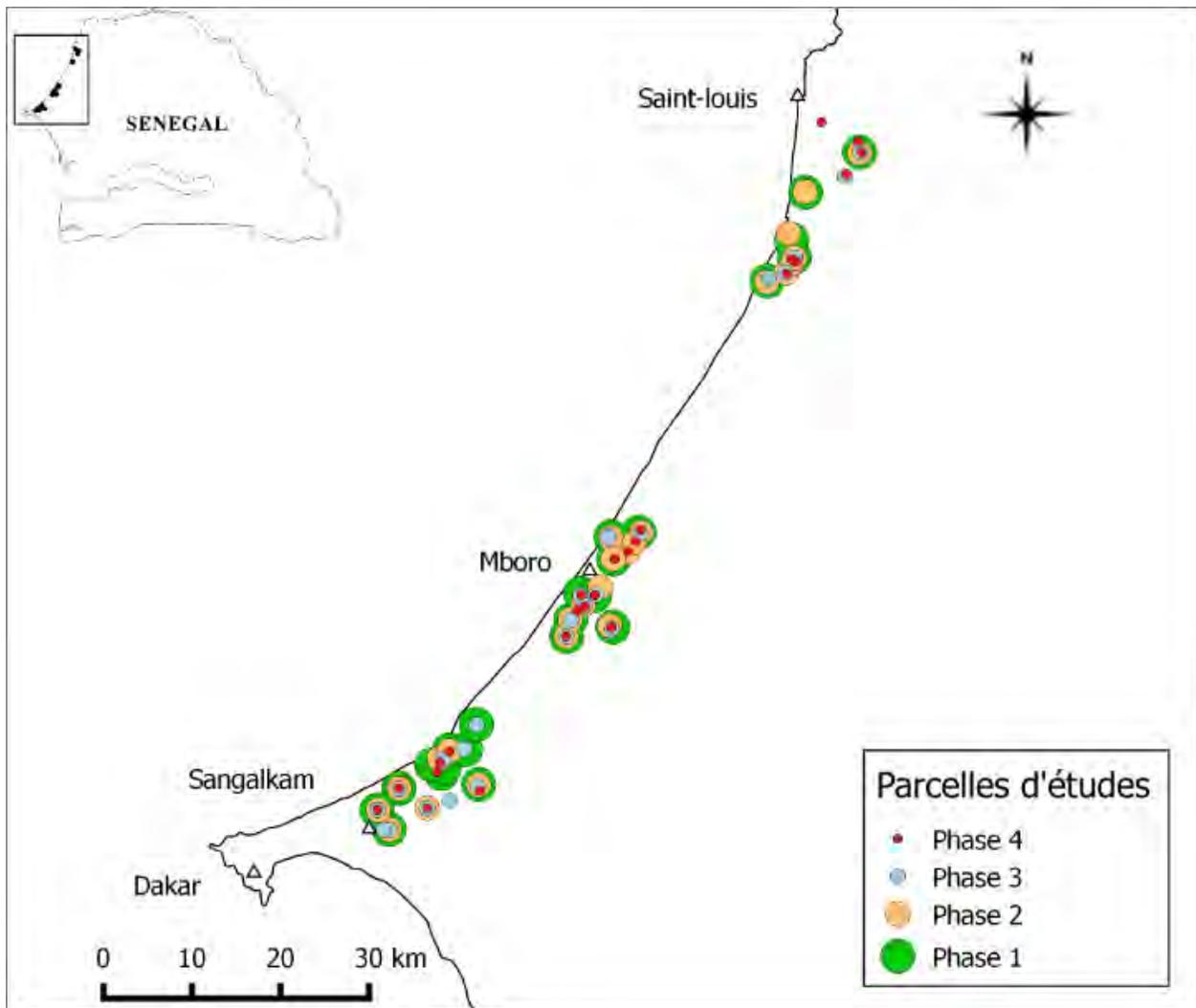


Figure 21: Répartition géographique des parcelles d'études dans la zone des Niayes.

Phase 1 : oct12-jan13, n=24 parcelles ; Phase 2 : fev13-mai-13n=26 parcelles ; Phase 3 : oct-13 jan-14, n=23 parcelles ; Phase 4 : fév.-14-mai-14, n=25 parcelles.

II.2.1. Suivi des arthropodes ravageurs sur le terrain

L'échantillonnage des ravageurs se faisait toutes les trois semaines pour une parcelle donnée, depuis le repiquage jusqu'à la première date de récolte. Dans chaque parcelle, 24 plants de tomate ont été observés aléatoirement pour la présence des ravageurs. Trois feuilles situées à différents niveaux de la plante sont observées (une en haut, une au milieu et une en bas) pour la présence d'insectes ravageurs. Pour les dégâts sur les fruits, le nombre de fruits sains et le nombre attaqués ont été dénombrés. Pour chaque parcelle, les chenilles de *H. armigera* retrouvées ont été

prélevées et ramenées au laboratoire pour le suivi du parasitisme. Au total, 1965 chenilles ont été collectées sur tomate. Les autres cultures présentes sur le périmètre ont été également inspectées afin de déterminer la présence des chenilles de *H. armigera*.

II.2.2. Suivi du parasitisme au laboratoire

Au laboratoire, les chenilles ont été isolées dans des tubes numérotés et leurs stades larvaires déterminés. Elles ont été ensuite élevées dans des boîtes contenant du milieu artificiel (Southland Products, USA). Un suivi journalier de chaque chenille est effectué jusqu'à la mort de l'insecte, la sortie de l'adulte ou du parasitoïde. Les parasitoïdes émergés sont comptés et conservés à l'alcool 90° pour identification. L'identification a été faite par le Dr. G. Delvare (CIRAD).

II.2.2.1. Préparation du milieu artificiel

Le milieu artificiel est un produit fini en poudre importé des Etats Unies, spécifique à la noctuelle. Au laboratoire, 44g de la poudre ont été mélangées à 250 ml d'eau préalablement chauffées à 100°C. La poudre est progressivement mélangée à l'eau tout en agitant pour éviter la formation d'agrégats. Le mélange est ensuite versé dans un pot et laissé à l'air libre jusqu'au refroidissement avant d'être gardé dans un réfrigérateur.

II.2.3. Enquêtes sur les pratiques culturales

Les données sur les pratiques culturales de chaque parcelle sont recueillies par questionnaire lors de chaque visite auprès des producteurs (précédent cultural, travail du sol, mode d'irrigation, variété, date de semis, date de repiquage, traitements insecticides, fertilisation, date de récolte, etc.).

Pour la mesure des facteurs climatiques, des enregistreurs de température d'humidité relative (Hobo, Prosensor) sont installés dans 6 parcelles, suivant 2 par zone.

CHAPITRE III:

PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DE LA TOMATE DANS LA ZONE DES NIAYES ET LEUR DISTRIBUTION SPATIO- TEMPORELLE

Ce chapitre est rédigé sous la forme de deux sous-chapitres. Il fait état des principaux insectes ravageurs qui menacent la production de tomate plein champ dans la zone maraîchère des Niayes. Il a permis de réactualiser la liste des principaux insectes ravageurs de la tomate. Au cours de ce chapitre, nous avons confirmé la présence de *Tuta absoluta* au Sénégal et nous avons montré son caractère de ravageur émergent. Nous avons classé les différents insectes ravageurs rencontrés sur tomate dans la zone des Niayes selon leur importance ou leurs dégâts. Ensuite nous avons fait le focus sur les deux ravageurs clés pour étudier leur distribution spatio-temporelle, mais également leurs sensibilités aux traitements insecticides sur tomate. La relation entre ces deux ravageurs a été également étudiée. Le caractère d'espèce envahissante de la noctuelle de la tomate a été montré.

III.1. Confirmation de la présence de *T. absoluta* au Sénégal et actualisation de son status invasif (Article 1)

Article1:

***Tuta absoluta*: a new threat to tomato production in sub-Saharan Africa?**

T. Brévault, S. Sylla, M. Diatte, G. Bernadas & K. Diarra

Accepté dans African Entomology

III.1.1. Introduction

In sub-Saharan Africa, vegetable crops are an essential component of sustainable development, with a significant contribution to food security and nutritional balance, but also an important source of income for poor-resource growers, especially in urban and peri-urban areas (FAO, 2012). However, a major constraint to growing field horticultural crops is the reduction in yield and quality caused by insect pests by direct feeding or as plant disease vectors (James *et al.* 2010; Ekesi *et al.*, 2011). Chemical control is the main control strategy implemented by growers to cope with insect pests (Ngowi *et al.*, 2007; Grzywacz *et al.*, 2010). Extensive and sometimes inappropriate use of chemical insecticides to control insect pests increases production costs and negatively impacts food safety (residues), human health and environment, especially biodiversity and beneficial arthropods (Desneux *et al.*, 2007; Biondi *et al.*, 2012). The implementation of effective and ecologically-sound integrated pest management (IPM) strategies is needed to develop sustainable vegetable production.

The recent detection of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Senegal, Niger, Sudan and Ethiopia (Pfeiffer *et al.*, 2013; USDA-APHIS 2013), is a serious threat to tomato production in the rest of Africa South of Sahara. In Senegal, tomato production has significantly increased in recent years (50 to 180,000 tons from 2000 to 2011) to

meet urban demand for fresh market or processing tomato (FAO, 2013), in addition to the development of greenhouse production dedicated to export. Main economic losses in field-grown tomato are due to fruitworms (*Helicoverpa armigera*), leafminer flies (*Lyriomyza trifolii*), and whiteflies (*Bemisia tabaci*) which can spread Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV). The tomato leafminer, also known as the South American tomato pinworm, is an invasive species native to South America where it is a major pest of tomato crops. It was reported for the first time in Spain in 2006 and has spread throughout the Mediterranean Basin and Europe (Desneux *et al.*, 2010), and is now reaching the Middle East (see distribution map on www.tutaabsoluta.com), causing severe damage in open field and greenhouse tomato production (Desneux *et al.*, 2011; Seplyarsky *et al.*, 2010). Tomato plants may be attacked at any developmental stage. Mines on leaves and bore holes on stems and fruits by larvae negatively affect crop yield and fruit quality. Insecticide spraying is the main method adopted by growers to control *T. absoluta*, but effective control is difficult to achieve because of endophytic behaviour of larvae and rapid evolution of resistance in field populations (Lietti *et al.*, 2005). The main host plant of *T. absoluta* is tomato (*Lycopersicon esculentum*), but other cultivated Solanaceous plants such as potato (*Solanum tuberosum*), eggplant (*S. melongena*), pepper and hot pepper (*Capsicum* spp.) are alternative host plants (Wyckhuys *et al.*, 2012). The tomato leafminer has been also detected on bean plants (*Phaseolus vulgaris*) in Sicilia (EPPO, 2009).

The speed with which *T. absoluta* is spreading through Europe, Asia and Africa suggests that the leafminer will colonize sub-Saharan Africa in a very near future. There is, however, potential for effective biological control of this invasive pest by indigenous predators or parasitoids, as recently reported in France (Biondi *et al.*, 2013), Italy (Ferracini *et al.*, 2012, Zappalà *et al.*, 2012), and Tunisia (Abbes *et al.*, 2013). To improve monitoring programs and to design effective management strategies of the tomato leafminer populations in sub-Saharan Africa, it is urgent to strengthen our knowledge on the dynamics of invasion and the bio-ecology of the pest. The objective of this study was to draw up an update on the invasion status of *T. absoluta* in the main vegetable-producing area in Senegal.

III.1.2. Materiel and Methods

An extensive survey was carried out during the 2012-2013 growing season on a set of 50 tomato fields located in three zones (South, Centre and North) of the Niayes area in Senegal (Figure 20). Twenty-four and twenty-six focal fields were surveyed during the cold-dry season (Season 1, Oct.-12 to Jan.-13) and the hot-dry season (Season 2, Feb.-13 to May-13), respectively. A survey was conducted every three weeks from transplanting to harvest on 24 randomly selected plants in each focal field. Three leaves per plant (from lower, intermediate and upper canopy) and immature fruits were carefully inspected for the presence/absence of mines and bore holes, respectively (Torres *et al.* 2001). During this survey, a set of 30 fields of eggplant (*Solanum melongena*), Ethiopian eggplant (*Solanum aethiopicum*, locally called *diakhatu*), potato (*Solanum tuberosum*) or sweet pepper (*Caspicum annuum*), located in the neighbour of focal fields were inspected once for presence/absence of *T. absoluta* mines.

Proportions of infested fields according to zone and season were compared using χ^2 -test. The effect of season and zone on the proportion of infested leaves was analyzed with multiple logistic regression assuming a binomial distribution of the data (GLM logit function). The effect of the explanatory variables was assessed using an analysis of type III with the criterion of maximum likelihood ratio. Analyses were performed with XLSTAT version 2013.2.03 (Addinsoft, 2003).

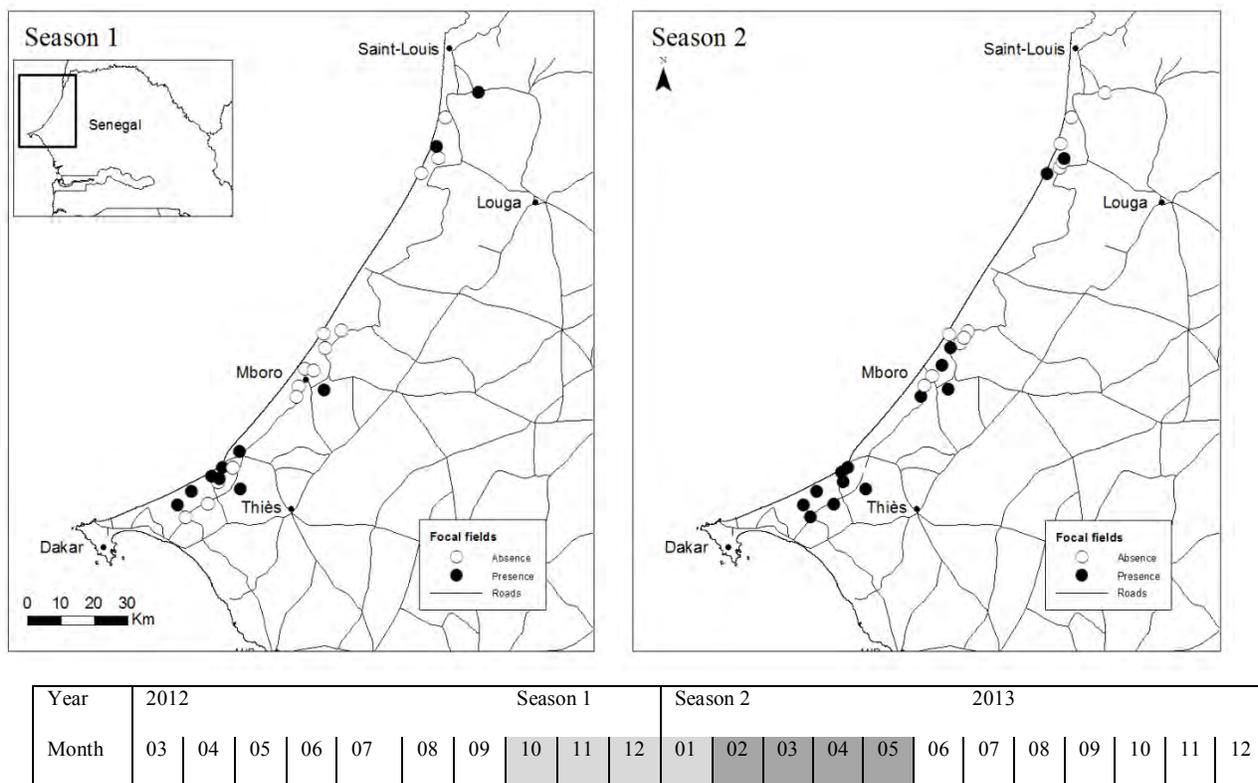


Figure 22: Detection of the tomato leafminer, *T. absoluta*, in the Niayes area in Senegal.

Season 1: 24 fields from Oct.-12 to Jan.-13. Season 2: 26 fields from Feb.-13 to May-13.

III.1.3. Results

Typical *T. absoluta* mining damage to the leaves of tomato was observed throughout the Niayes (Figure 20). Adult samples were sent to Dominique Bordat (CIRAD, Montpellier, France) for further identification. No difference in the frequency of infested fields ($\chi^2 = 1.3$, $df = 1$, $P = 0.258$) was observed between Season 1 (10/24 fields, 0.42) and Season 2 (15/26 fields, 0.58). Over the two seasons, the frequency of infested fields was significantly greater in the South zone (0.80) than in the Centre (0.28) or in the North (0.33) zones ($\chi^2 = 12.6$, $df = 2$, $P = 0.002$). During Season 2, all the studied fields from the South zone were infested by *T. absoluta*. The proportion of infested leaves was significantly greater in the South zone than in the Centre or in the North zones ($\chi^2 = 1109.1$, $df = 2$, $P < 0.001$) (Figure 21). There was no significant effect of the season ($\chi^2 = 1.7$, $df = 1$, $P = 0.195$), but a significant interaction between season and zone ($\chi^2 = 11.1$, $df = 2$, $P = 0.001$). During this survey, presence of *T. absoluta* was also detected on

eggplant (7/11 fields) and Ethiopian eggplant fields (3/9 fields), but not on potato (0/4 fields) or sweet pepper (0/6 fields).

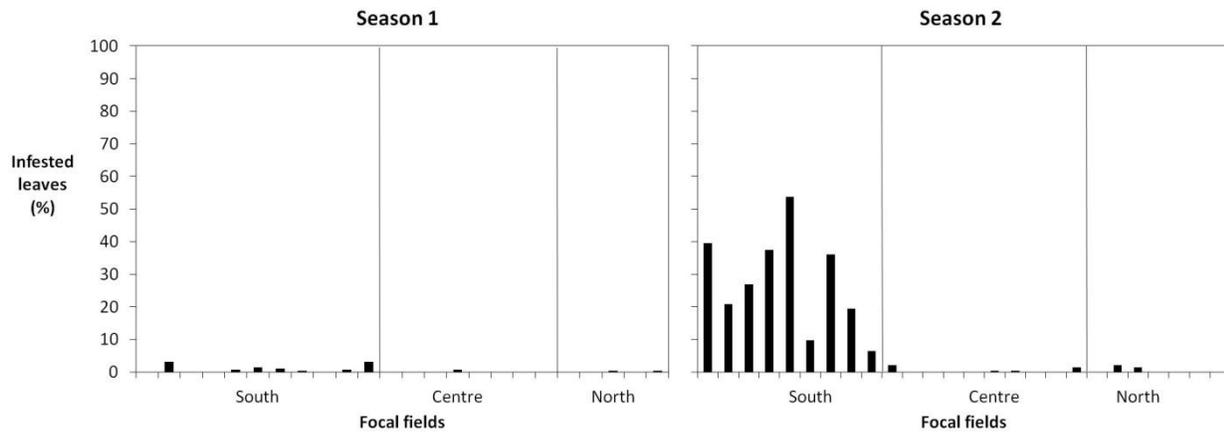


Figure 23: Percentage of infested leaves in the focal tomato fields in the three surveyed zones:

South, Centre and North of Niayes. Season 1) 24 fields from Oct.-12 to Jan.-13. Season 2) 26 fields from Feb.-13 to May-13. A total of 216-288 leaves (24 plants x 3 leaves each x 3-4 sampling dates) were observed for each focal field.

III.1.4. Discussion

The recent detection in Senegal of the tomato leafminer, *T. absoluta*, and its rapid geographic spreading, is a real concern for tomato production in the Africa South of Sahara. Colonization of the Mediterranean basin has been extremely fast, with a geographical range extension of ca. 4,000 km in about 5 years (Desneux *et al.*, 2011). Our results show that *T. absoluta* populations are already established across the main vegetable producing area of Senegal (Niayes). Occurrence of *T. absoluta* was found in half the monitored tomato fields (25/50) causing significant crop damage in the South zone of the Niayes during the 2013 hot-dry season (from Feb. to May). In this zone, four fields (out of nine fields) were abandoned by growers as a result of *T. absoluta* crop damage. Dramatic crop losses due to *T. absoluta* could result in the substantial increase of broad-spectrum insecticide use with economic and environmental impacts, in addition to the disruption of on-going IPM and biological programs for other pests.

Presence of *T. absoluta* was also detected in the South and Centre zones on other crops such as eggplant and Ethiopian eggplant (*diakhatu*). The threat posed by *T. absoluta* invasion is therefore not limited to tomato, but may concern other major crops from the family Solanaceae. In addition, legumes should also be monitored as potential alternative host plant for *T. absoluta* (Desneux *et al.*, 2010), especially groundnut (*Arachis hypogaea*) which is extensively cultivated in Senegal and West Africa.

Research on the genetic diversity of *T. absoluta* populations in Senegal and in West Africa is needed, however, to determine the routes of invasion. Especially, research issue should address the likelihood of multiple introductions from different sources, including locations and populations. Results could in order to improve measures to prevent new introductions, to predict potential for future range extension of the pest, and to control invasive populations (Estoup & Guillemaud 2010). As reported by Urbaneja *et al.*, (2012) in the Mediterranean Basin, the incidence of *T. absoluta* may also decline, due to the increase in growers' knowledge of pest control strategies and the growing impact of natural enemies.

III.1.5. Conclusion

To design integrated pest management strategies, it will be critical to assess the role of source or sink of host plants (including wild secondary host plants) in the population dynamics of the pest across the agricultural landscape, the potential of indigenous natural enemies for biological regulation in the newly invaded area, and the effect of crop management on abundance of *T. absoluta* populations and conservation of indigenous natural enemies. Coordinated efforts should be also deployed amongst stakeholders, research specialists and extensionists, to implement effective monitoring systems and area-wide pest management.

III.1.6. Acknowledgements

We thank Ousmane Ndoye and Sidy Gueye (Fédération des Producteurs Maraîchers des Niayes), Mambodj Fall, Babacar Labou, Dominique Bordat and Solange Guerin, for their technical assistance. This research study was supported by AIRD, Programme d'Excellence pour l'Enseignement et la Recherche au Sud.

III.2. Mise à jour des principaux ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal (Article2)

Article 2

Complexe des arthropodes ravageurs et leurs dégâts associés dans les parcelles de tomate plein champ au Sénégal

Mamadou Diatte, Thierry Brévault, Serigne Sylla, Etienne Tendeng, Dienaba Sall-Sy, Karamoko Diarra

Accepté dans IJTIS

III.2.1. Résumé

La tomate est l'une des spéculations les plus importantes en termes de revenus dans le secteur horticole au Sénégal. Néanmoins, sa production rencontre d'énormes contraintes, liées notamment à la pression des insectes ravageurs. La détection récente de la mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae), constitue même une sérieuse menace pour la pérennité de la filière. L'objectif de cette étude était (i) d'établir un diagnostic des principaux insectes ravageurs des cultures de tomate dans la zone maraîchère des Niayes, et (ii) d'en évaluer la variabilité spatio-temporelle. Un total de 98 parcelles de tomate, réparties selon un gradient Sud-Nord de la zone des Niayes, a été suivi sur quatre cycles de culture, d'octobre 2012 à mai 2014. Toutes les trois semaines, du repiquage à la récolte, les insectes ravageurs ou leurs dégâts ont été observés sur 24 plants par parcelle. Le diagnostic montre que la noctuelle de la tomate, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae), est le ravageur le plus important, par la destruction des jeunes fruits (0-30% des fruits attaqués). Son incidence ne diffère pas selon la zone explorée. Les dégâts sont plus importants en première partie de saison sèche, sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. La mineuse, *T. absoluta*, est un ravageur émergent (0-60% de feuilles minées), présent de façon prépondérante en fin de saison sèche, dans la zone sud des Niayes. Ce travail fournit des informations pertinentes pour adapter les stratégies de gestion des insectes ravageurs de la tomate dans les périmètres maraichers des Niayes.

Key words: tomate, arthropodes ravageurs, incidence, *Tuta absoluta*, *Helicoverpa armigera*, Sénégal

III.2.2. Introduction

L'agriculture en particulier le maraîchage constitue un moteur de développement économique en Afrique. La tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) est l'une des spéculations les plus importantes en termes de production dans le secteur horticole. Au Sénégal, la production de tomate est passée de 40.000 à 190.000 tonnes entre 2000 et 2013 (FAO, 2015). Elle crée de l'emploi et contribue de façon considérable au développement économique du pays et à la sécurité alimentaire. Au Sénégal, la zone des Niayes représente le bassin de la production horticole. Elle fournit plus de 80 % de la production nationale en légumes et 40 % en fruits, soit au total une production annuelle de l'ordre de 386 000 tonnes (DPS, 2003). Cependant, l'augmentation de la production de tomates est confrontée à de nombreuses contraintes biotiques. Au Sénégal, plusieurs pathogènes attaquent la tomate dont le TYLCV (Camara *et al.*, 2013; D'Hondt et Russo, 1985). Il s'y ajoute les nématodes (Diarra *et al.*, 2010 ; Netscher, 1970), les acariens (Huat, 2006). Mais, surtout les insectes ravageurs qui causent des dégâts directs ou sont vecteurs de maladies, qui se traduisent par des pertes de rendements et affectent la qualité des fruits (Umeh *et al.*, 2002; Mailafiya *et al.*, 2014). La noctuelle de la tomate, *H. armigera*, constitue l'insecte ravageur prédominant au Sénégal. Ses chenilles peuvent occasionner des dégâts très importants allant jusqu'à 85% au Sénégal (Collingwood et Bourdouxhe, 1980), 36% au Nigeria (Mailafiya *et al.*, 2014). Au Sénégal, un nouveau ravageur, *Tuta absoluta* a été détecté sur tomate durant ces dernières années (Pfeiffer *et al.*, 2013). Ce ravageur représente une menace pour la tomate car ses dégâts sont observés partout dans la principale zone de production maraîchère du Sénégal, la zone des Niayes (Brévault *et al.*, 2014). Il s'y ajoute la mouche blanche, *Bemisia tabaci* qui est vecteur du TYLC (Nzi *et al.*, 2010, D'Hondt et Russo, 1985), une maladie très répandue au Sénégal (Camara *et al.*, 2013). Pour contrôler ces insectes ravageurs, les agriculteurs font recours le plus souvent aux insecticides chimiques (Sam *et al.*, 2014 ; Katroju *et al.*, 2014). Cependant, l'utilisation abusive de ces matières actives conduit à une perte de sensibilité des ravageurs (Achaleke *et al.*, 2009 ; Aheer *et al.*, 2009 ; Achaleke et Brévault, 2010). En plus l'utilisation incorrecte des insecticides entraîne des coûts accrus, une efficacité réduite de contrôle et une contamination de l'environnement agricole (Dobson *et al.*, 2002). Il y a donc urgence de mettre sur place de nouvelles approches agro écologiques visant à réduire au maximum les pesticides. Cependant,

l'amélioration des stratégies de gestion demande beaucoup de mieux connaître l'incidence de ces ravageurs dans les périmètres maraichers et la dynamique spatio-temporelle de leurs populations au Sénégal.

L'étude avait pour objectif de (i) identifier les principaux insectes ravageurs de la tomate dans la principale zone de production maraîchère au Sénégal (Niayes), (ii) évaluer la variabilité spatio-temporelle des infestations des principaux insectes ravageurs. (iii) évaluer les dégâts sur d'autres cultures maraichères hôtes. Pour conduire cette étude, nous avons réalisé des observations sur un réseau de 98 parcelles suivant quatre cycles de cultures. Les résultats sont discutés en vue d'adapter les stratégies de gestion des insectes ravageurs de la tomate dans les périmètres maraichers de la zone des Niayes.

III.2.3. Matériel et Méthodes

III.2.3.1. Parcelles d'observation

Ce travail a été effectué dans trois secteurs de la zone des Niayes (figure 22). La région des Niayes s'étire sur une longueur de 180 km, et sa largeur varie de 10 à 30 km à l'intérieur des terres. Elle constitue un milieu assez original caractérisé par des dunes et des dépressions souvent inondées par l'affleurement de la nappe phréatique et par un climat assez favorable. Inscrites dans la moitié sud de la zone sahélienne, les Niayes sont déterminés par l'alternance de deux saisons annuelles : une saison humide concentrée sur trois mois (juillet, août et septembre) et une saison sèche qui dure les autres neuf mois et durant laquelle se succède deux cycles de culture maraîchère. Les parcelles d'observation ont été sélectionnées dans trois secteurs (Sud, Centre, Nord) de la zone des Niayes, le long d'un transect Dakar-Saint-Louis (Figure 22). Les échantillonnages ont été effectués sur quatre cycles de cultures, entre octobre 2012 et mai 2014 (Figure 22). Chaque parcelle choisie est distante d'au moins deux km de l'autre. Chaque parcelle est géo-référencée par GPS. Pour la mesure des facteurs climatiques, des enregistreurs de température d'humidité relative (Hobo, Prosensor) sont installés dans six parcelles (deux par zone).

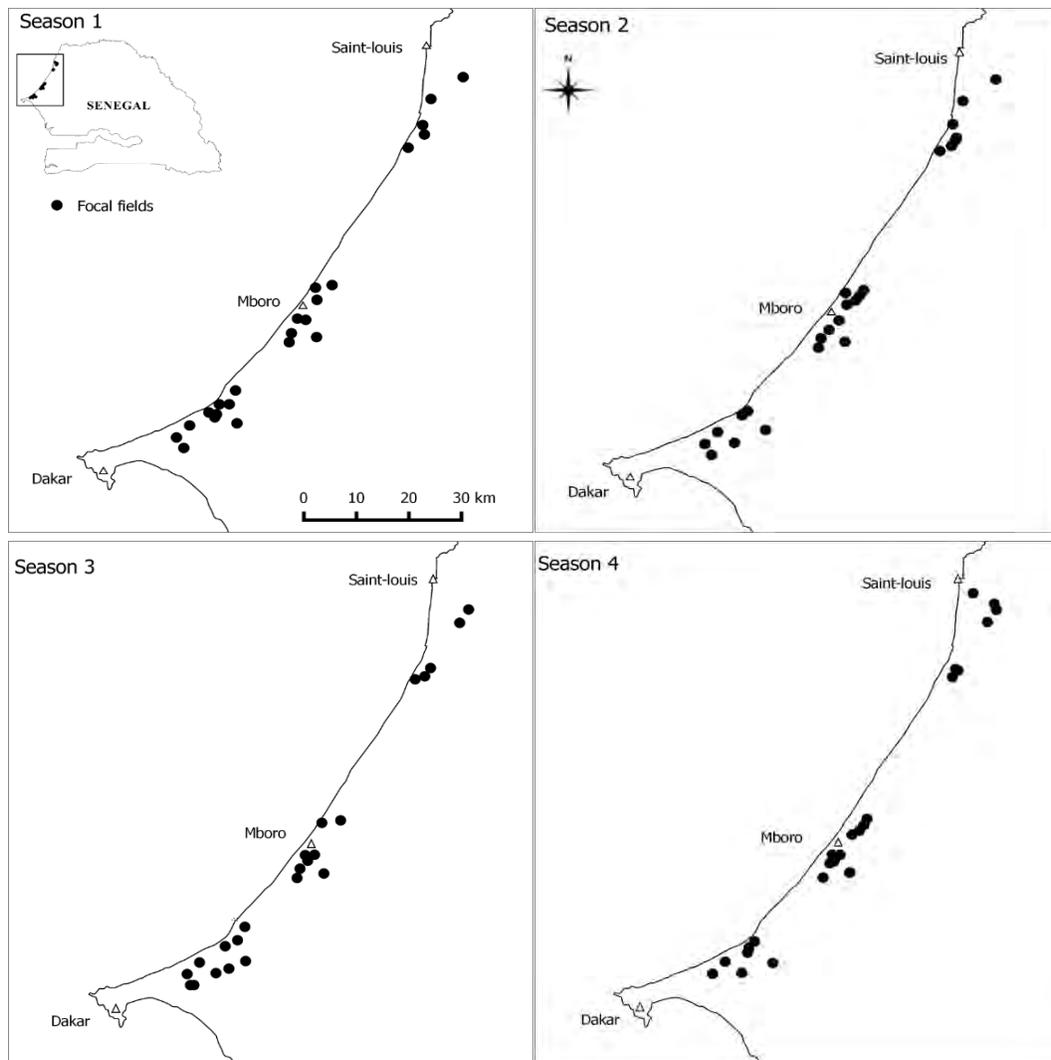


Figure 24: Répartition géographique des parcelles observées dans la zone des Niayes. Season 1 : oct-12-jan13, n=24 parcelles, Season 2 : fev13-mai-13n=26 parcelles, Season 3 : oct-13-jan-14n=23 parcelles, Season 4 : fev-14-mai-14, n=25 parcelles.

III.2.3.2. Suivi des arthropodes ravageurs

L'échantillonnage des insectes ravageurs a été réalisé sur quatre cycles de culture en saison sèche, sur deux campagnes successives, de septembre 2012-mai 2013 et octo-14 à Mai 2014. L'échantillonnage des insectes se faisait toutes les trois semaines pour une parcelle donnée, depuis le repiquage jusqu'à la première date de récolte. Dans chaque parcelle, 24 plants de tomate ont été observés aléatoirement pour la présence des ravageurs. Trois feuilles situés à différents niveaux de la plante sont observées (une en haut, une au milieu et une en bas) pour la présence d'insectes ravageurs. Les dégâts sur les fruits sont observés. Dans le cas de *H. armigera*, d'autres

cultures présentes sur le périmètre ont été également inspectées afin de déterminer la présence des chenilles.

III.2.3.3. Enquêtes sur les pratiques phytosanitaires

Pour chaque parcelle d'observation, une enquête auprès du producteur est réalisée pour connaître la date de semis de la pépinière, la date de repiquage, le nombre de traitements insecticides réalisés et les produits utilisés.

III.2.3.4. Analyses statistiques des données

L'effet des variables année, zone, saison et âge de la plante sur le pourcentage de plants infestés par les principaux ravageurs recensés a été analysé à l'aide d'une régression logistique en considérant une distribution binomiale des données (GLM, fonction logit). L'effet des variables explicatives a été évalué à partir d'une analyse de type II utilisant le critère du rapport de maximum de vraisemblance (XLSTAT Version 7.5.2, Addinsoft). Les représentations graphiques des données sous forme de box plot donnent des indications sur la tendance centrale des valeurs, leur variabilité, la symétrie de la distribution et la présence de valeurs atypiques. Des tests non paramétriques de Kruskal Wallis ont été utilisés pour évaluer l'effet de la zone du groupe d'insecticides utilisés sur le nombre d'insecticide appliqué et l'effet du groupe d'insecticides utilisés sur l'incidence de *H. armigera* et *T. absoluta* dans les parcelles étudiées. Des ANOVA ont été utilisées pour évaluer l'effet de la saison et de la zone sur la température.

III.2.4. Résultats

III.2.4.1. Incidence des arthropodes ravageurs

La noctuelle, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera, Noctuidae), est le ravageur le plus présent, avec une occurrence de 91.8% dans les parcelles surveillées. Il cause des dommages significatifs sur les fruits (jusqu'à 28% des fruits attaqués) (Tableau 2).

Tableau 2: Incidence des principaux arthropodes ravageurs recensés dans les parcelles de tomate dans la zone des Niayes. Suivi sur quatre cycles de culture, d’octobre 2012 à mai 2014.

Order	Family	Species	Variable	Mean (n = 98)	Max
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Helicoverpa armigera</i>	Occurrence (%)	91.8	
			Infested leaves (%)	1.3	5.9
			Damaged fruits (%)	4.9	28.2
	Gelechiidae	<i>Tuta absoluta</i>	Occurrence (%)	53.1	
			Infested leaves (%)	4.6	59.7
Diptera	Agromyzidae	<i>Liriomyza spp.</i>	Occurrence (%)	82.7	
			Infested leaves (%)	4.0	22.9
Hemiptera	Aleurodidae	<i>Bemisia tabaci</i>	Occurrence (%)	44.9	
			Infested leaves (%)	1.9	24.1
			Virus-infected plants (%)	13.0	100
	Aphididae		Occurrence (%)	10.2	
			Infested leaves (%)	0.2	11.1
	Miridae		Occurrence (%)	11.2	
			Infested leaves (%)	0.1	2.4
	Cicadellidae		Occurrence (%)	9.2	
			Infested leaves (%)	0.0	0.7
Acari	Tetranychidae	<i>Tetranychus spp.</i>	Occurrence (%)	15.3	
			Infested plants (%)	0.6	25.0

¹ Occurrence: percentage of infested fields.

La mouche mineuse, *Liriomyza spp.*, est également très présente dans les parcelles (82.7%). Des mines sont observées sur 4% des feuilles en moyenne, avec un maximum à 22.9%. Des mines de la mineuse de la tomate, *T. absoluta*, sont détectés dans plus de la moitié des parcelles, sur 4.6 % des feuilles en moyenne. Une infestation de 59.7% a été atteinte sur une parcelle. Les mouches blanches, *Bemisia tabaci*, sont observées sur près de la moitié des parcelles. Leur présence, même en faible densité (1.9 % infested leaves), peut cependant provoquer d’importantes pertes suite à la vection de viroses (jusqu’à 100 % de plants infectés par le TYLCV (Tomato yellow leaf curl virus). On relève une faible incidence des pucerons, mirides, cicadelles ou acariens.

III.2.4.2. Dynamique des infestations en cours de culture

Des dégâts de chenilles de *H. armigera* sur feuilles sont observés avant floraison (avant 20 JAR) et augmentent légèrement à partir de la floraison ($\chi^2 = 27.7$, $df = 4$, $P < 0.001$). La proportion de fruits endommagés par les chenilles de *H. armigera* démarre dès l’apparition de jeunes fruits et

augmente significativement en cours de fructification ($\chi^2 = 185.1$, $df = 3$, $P < 0.001$). On observe en moyenne 8.6 % de fruits attaqués à l'approche de la récolte, avec jusqu'à 38% de fruits attaqués dans une parcelle. La mineuse, *T. absoluta*, infeste les plants de tomate dès le stade végétatif, pour atteindre le maximum pendant la période de floraison-fructification ($\chi^2 = 99.9$, $df = 4$, $P < 0.001$). On note, pour une parcelle, un maximum de 80% de feuilles minées (Tableau 3).

Tableau 3: Incidence des insectes ravageurs clés de la tomate en fonction du temps après le repiquage, dans la zone des Niayes.

Suivi sur quatre cycles de culture, d'octobre 2012 à mai 2014. Les plants de tomate sont repiqués en moyenne 4 semaines après semis en pépinière.

Species	Variable	Days post planting					
		0-20	21-40	41-60	61-80	>80	
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Stage		Vegetative	Early flowering	fruiting	Fruiting	Harvest
	Occurrence (%)		21.1 d	46.7 c	73.6 b	86.0 ab	100 a
<i>Helicoverpa armigera</i>	Infested leaves (%)	Mean	0.7 b	1.4 a	1.5 a	1.7 a	0.2 b
		Max.	11.1	11	14	10	2.8
	Damaged fruits (%)	Mean		1.2 d	3.7 c	7.4 b	8.6 a
		Max.		14.8	33.9	38.2	23.0
<i>Tuta absoluta</i>	Occurrence (%)		23.9	30.0	39.1	24.5	28.6
	Infested leaves (%)	Mean	2.8 c	3.2 c	5.7 a	4.2 b	0.5 d
		Max.	59.7	52.8	87.5	75.0	80.0
<i>Liriomyza spp.</i>	Occurrence (%)		53.5	58.9	50.6	41.5	28.6
	Infested leaves (%)	Mean	4.2	4.3	4.0	3.7	2.6
		Max.	29.2	38.9	45.8	38.9	16.7
<i>Bemisia tabaci</i>	Occurrence (%)		28.2 a	31.1 a	18.4 ab	5.7 b	7.1 b
	Infested leaves (%)	Mean	3.2 b	4.1 a	0.8 c	0.1 c	0.1 c
		Max.	54.2	70.8	18.1	1.4	1.4

¹Occurrence: percentage of infested fields.

L'incidence de *Liriomyza* sp. ($\chi^2 = 7.7$, $df = 4$, $P = 0.104$) ne varie pas au cours du cycle de la culture. On note cependant que certaines parcelles peuvent subir des dégâts importants, avec environ un tiers de feuilles minées en début de cycle. L'espèce *B. tabaci* est surtout présente en début de cycle ($\chi^2 = 167.5$, $df = 4$, $P < 0.001$), avec une incidence importante dans certaines parcelles (jusqu'à 70%).

III.2.4.3. Incidence spatio-temporelle de *H. armigera*

L'incidence de la noctuelle de la tomate, en termes de fruits attaqués, ne varie pas de façon significative ($\chi^2 = 5.8$, $df = 2$, $P = 0.410$) entre les zones étudiées (Figure 23).

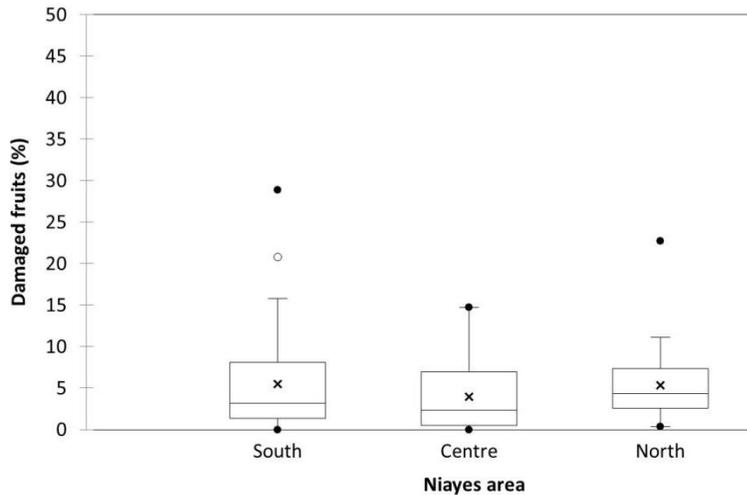


Figure 25: Incidence (en termes de fruits attaqués) des chenilles de la noctuelle *H. armigera*, dans la zone des Niayes, lors des deux campagnes 2012-13 et 2013-14.

Le bord inférieur de la boîte représente le premier quartile (Q1). La médiane est représentée par la ligne du milieu (-), la moyennepar (x). Le troisième quartile (Q3) correspond au bord supérieur de la boîte. Deux intervalles sont définis de part et d'autre des premier et troisième quartiles : $IQ1 = [Q1 - 1,5 \times (Q3 - Q1), Q1]$ et $IQ3 = [Q3, Q3 + 1,5 \times (Q3 - Q1)]$. Les cercles pleins (●) représentent les valeurs min et max, tandis que les cercles vides (○) représentent des valeurs extrêmes supérieures à $IQ1$ et $IQ3$.

Les dégâts sur fruits des chenilles de la noctuelle de la tomate, *H. armigera*, sont plus importants en première partie de saison sèche ($\chi^2 = 179.1$, $df = 1$, $P < 0.001$). Ils sont globalement plus importants en année 1 d'observation ($\chi^2 = 86.8$, $df = 1$, $P < 0.001$).

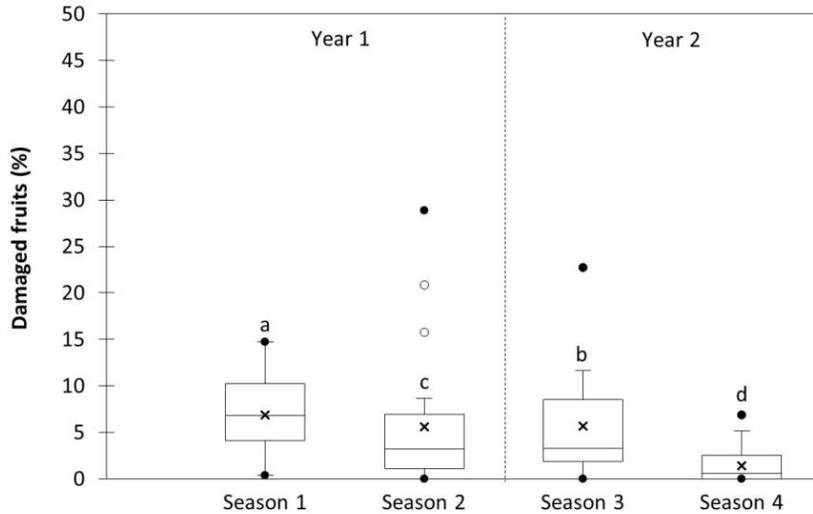


Figure 26: Dégâts sur fruits des chenilles de la noctuelle *H. armigera*, en fonction de la saison de culture (saison 1 et 3 : Octobre à Janvier, saison 2 et 4, Février à Mai).

Des dégâts de *H. armigera* sont observés sur d'autres cultures maraîchères : poivron (*Capsicum frutescens*), Aubergine (*Solanum melongena*), Diakhatou (*S. aethiopicum*) fruits, Cou pommé (*Brassica olearcea*) (Tableau 4).

Tableau 4: Incidence des chenilles de *H. armigera* sur les autres cultures maraîchères dans la zone des Niayes.

	Crop			
	Sweet pepper	Cabbage	Eggplant	Ethiopian eggplant
Monitored Fields	34	116	56	17
Infested fields (%)	38.2	29.3	25.0	11.8
Infested plants (%)	3.6	0.8	1.7	0.7
Max infested plants (%)	37.5	9.4	25.0	8.3

III.2.4.4. Incidence spatio-temporelle de *T. absoluta*

La mineuse, *T. absoluta*, est un ravageur émergent (0-60% de feuilles minées), présent de façon prépondérante dans la zone sud des Niayes ($\chi^2 = 645.5$, $df = 2$, $P < 0.001$) (Figure 25).

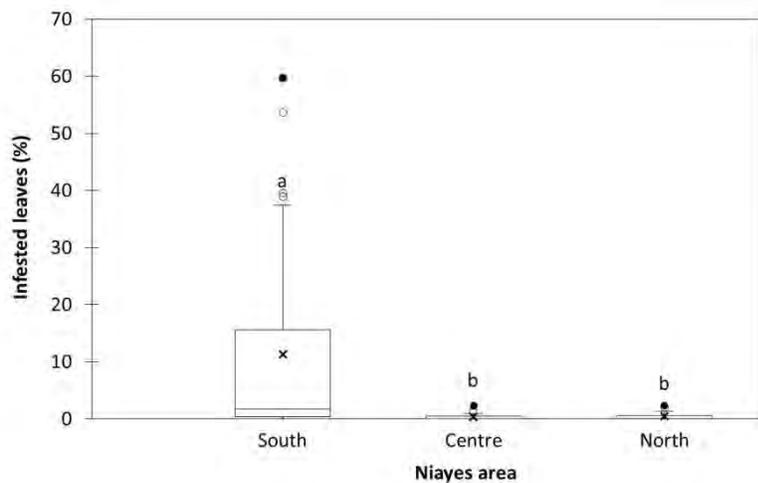


Figure 27: Pourcentage de feuilles infestées par les chenilles de la mineuse de la tomate *T. absoluta* selon la zone étudiée (observations sur quatre cycles de cultures d’octobre 2012 à mai 2014).

On note un effet significatif du positionnement dans le temps du cycle de culture sur l’incidence de la mineuse ($\chi^2 = 533.2$, $df = 3$, $P < 0.001$). Le pourcentage de feuilles minées par des chenilles de *T. absoluta* est significativement plus élevé en année 1 (5.5%) qu’en année 2 (3.7%) ($\chi^2 = 62.8$, $df = 1$, $P < 0.001$), et plus importante en fin de saison sèche ($\chi^2 = 558.9$, $df = 1$, $P < 0.001$) (Figure 26).

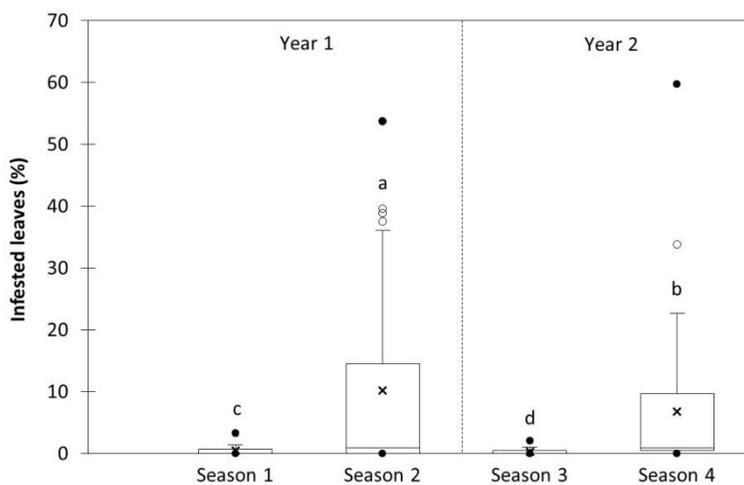


Figure 28: Pourcentage de feuilles minées par les chenilles de *Tuta absoluta*, en fonction de la saison de culture (saison 1 et 3 : Octobre à Janvier, saison 2 et 4, Février à Mai)

Pour les parcelles étudiées, aucune relation n'est observée entre les taux d'infestations de *H. armigera* et ceux de *T. absoluta* ($r^2 = 0.02$, $P = 0.160$) (Figure 27).

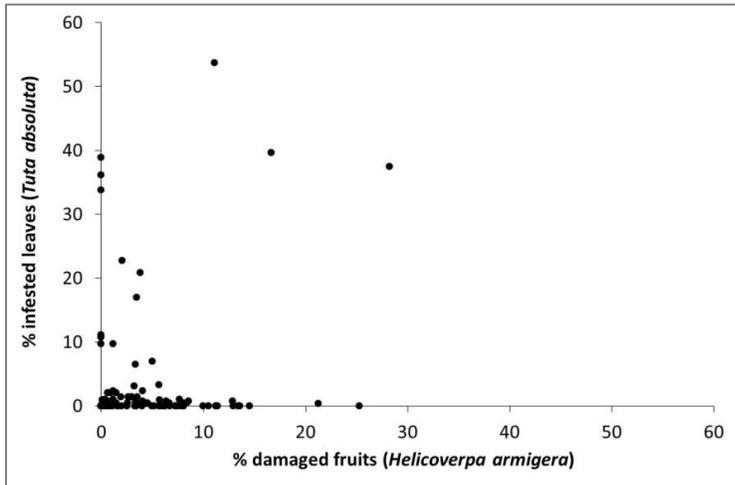


Figure 29: Relation entre le pourcentage de fruits attaqués par *H. armigera* et le nombre de feuilles minées par *T. absoluta* en parcelles de tomate.

III.2.4.5. Pratiques phytosanitaires

Le nombre moyen d'applications d'insecticides était de 3,4 ; 3,2 et 4,5 sur le cycle des cultures dans les zones Sud, Centre et Nord des Niayes, respectivement. Aucune différence significative n'a été observée entre les zones ($K = 5,9$, $df = 2$, $p = 0,054$) (Figure 28). Le nombre d'applications d'insecticides était significativement corrélée à la proportion (transformation log) de fruits attaqués par *H. armigera* ($r = 0,24$, $P = 0,019$), mais pas à la proportion de feuilles infestées par *T. absoluta* ($r = -0,07$, $P = 0,508$). La plupart des applications ont été faites avec des insecticides à large spectre, y compris les organophosphorés, les formulations à base de pyréthriinoïdes (> 60% des pyréthriinoïdes étaient des formulations binaires ou ternaires y compris des néonicotinoïdes ou des organophosphorés), ou avermectines (abamectine) (Figure 29). Une faible proportion des applications d'insecticides (6%) a été faite avec des biopesticides, y compris *Bacillus thuringiensis* ou de l'huile de neem à des formulations commerciales. D'autres insecticides incluent : indoxacarbe (oxadiazine), méthomyl (carbamate), imidaclopride (néonicotinoïde) et dicofol (organochlorés).

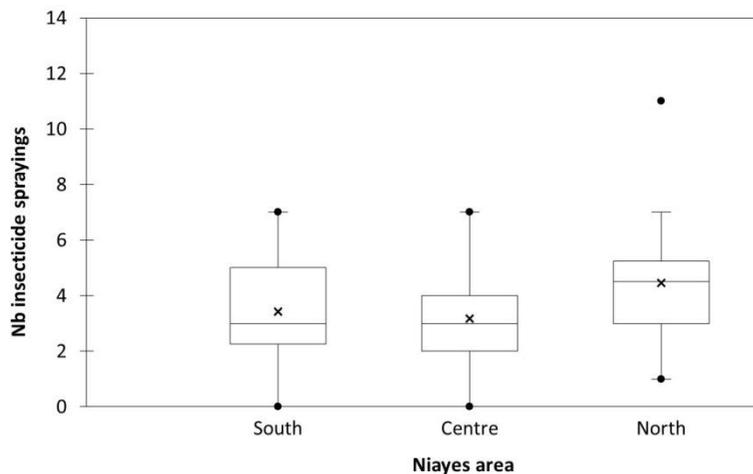


Figure 30: Nombre de traitements insecticides effectués au champ pendant le cycle de culture de la tomate, dans la zone des Niayas (n=38, 36 et 24, pour les zones sud, centre et nord, respectivement).

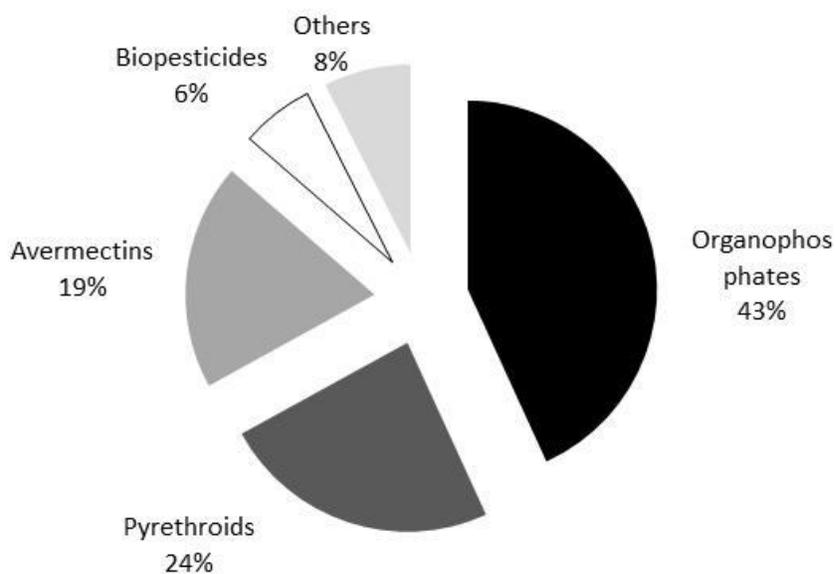


Figure 31: Insecticides utilisés par les producteurs pour la gestion des insectes nuisibles dans les champs de tomates échantillonné (par rapport au nombre total d'applications d'insecticides, n = 403).

III.2.5. Discussion

III.2.5.1. L'irruption d'un ravageur invasif : *Tuta absoluta*

Les insectes ravageurs constituent une contrainte majeure pour la production de tomate au Sénégal. Nos résultats montrent que la noctuelle de la tomate, *H. armigera*, reste le ravageur le plus important, de par sa prévalence (91.8% dans les parcelles) et par la destruction des jeunes fruits (0-30% des fruits attaqués). Les chenilles peuvent être observées sur feuilles dès le stade végétatif, mais surtout à partir de la floraison. Les dommages commencent dès l'apparition des jeunes fruits et augmentent significativement en cours de fructification. Ces résultats confirment ceux de Singh (2013). On observe en moyenne 8,6 % de fruits attaqués à l'approche de la récolte, avec jusqu'à 38% de fruits attaqués dans une parcelle. Les dégâts sur fruits sont plus importants en première partie de saison sèche, c'est-à-dire sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. Ces résultats confirment ceux de Nibouche et Poitout, (1994) qui stipulent que les attaques sur les cultures maraîchères (essentiellement la tomate) de *H. armigera* au Burkina Faso se produisent entre octobre et février-mars. En avril et mai, le ravageur n'est pas actif. Les premières infestations des cultures maraichères viendraient des cultures de saison de pluies. Compte tenu de la forte capacité de migration du ravageur qui, après la dispersion des papillons vers les cultures annuelles à la fin de la saison maraichère, la migration inverse représente principalement la reconstitution des populations en début de la saison suivante, (Brévault *et al.*, 2008; Nibouche et Poitout, 1994). Son incidence ne diffère pas selon la zone des Niayes explorée. La noctuelle est une espèce ubiquiste et très cosmopolite qui peut vivre dans divers milieux.

La noctuelle a été retrouvée sur d'autres plantes-hôtes comme le poivron (*Capsicum annuum*), le chou (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.), l'aubergine (*Solanum melongena*) et l'aubergine amère (*Solanum aethiopicum*) avec des dégâts très élevés. Sa présence sur d'autres plantes (pomme de terre, piment, oignon, navet, courge, courgette, laitue) a été également notée durant nos prospections. Ces résultats confirment le caractère polyphage de *H. armigera* (Nibouche *et al.*, 2007; Brévault *et al.*, 2012). Par contre selon le classement de (Fatma et Pathak, 2011), *Brassica oleracea* var. *capitata* L. (Chou pommé), *Capsicum annuum* L. (Piment doux), et *Solanum melongena* L. (Aubergine douce) sont considérées comme des plantes-hôtes accidentelle de *H. armigera*. La forte infestation trouvée sur ces cultures laisserait donc supposer que la noctuelle

est un ravageur envahissant qui serait en train d'élargir encore sa niche écologique. La gestion du ravageur doit donc prendre en compte l'environnement paysager.

La mineuse de la tomate, *T. absoluta*, est un ravageur émergent (0-60% de feuilles minées). Elle colonise la moitié des parcelles étudiée (53%) et la distribution est essentiellement concentrée dans la zone sud des Niayes, où des parcelles de production de tomate ont été abandonnées suite à des attaques du ravageur. Ces résultats confirment ceux de Brévault *et al.*, (2014). En fait, l'agro écologie de la zone sud qui peut regrouper des cultures hôtes de la mineuse proches les unes des autres, telles que la pomme de terre (*Solanum tuberosum*), l'aubergine douce (*S. melongena*), l'aubergine amère (*S. aethiopicum*) le poivron et le piment (*Capsicum spp.*) (Wychuys *et al.*, 2013; Brévault *et al.*, 2014)., serait favorable au développement de *T. absoluta*. En plus les basses températures qui régissent cette zone seraient un atout pour la prolifération et l'adaptation d'un invasif dont la durée du cycle de développement est négativement corrélée avec la température (Boualem *et al.*, 2012). Le ravageur pourrait regagner d'autres territoires dans un future proche (Pfeiffer *et al.*, 2013).

L'infestation des plants de tomate débute dès le stade végétatif, voire en pépinière, pour atteindre le maximum pendant la période de floraison-fructification. La présence de *T. absoluta* dans la zone sud est particulièrement notée en fin de saison sèche. L'espèce *T. absoluta*, aurait besoins de l'installation de ses hôtes qui font rares durant la saison des pluies, pour se multiplier.

Pour les parcelles étudiées, aucune relation n'est cependant observée entre les taux d'infestations de *H. armigera* et ceux de *T. absoluta*. Il y'aurait une absence de compétition entre les deux ravageurs. Ceci serait expliqué par le fait que l'espèce *T. absoluta* est essentiellement une défoliatrice où la chenille mine les feuilles, consomme le mésophile et laisse l'épiderme intact (Ferracini *et al.*, 2012). Ainsi elle peut causer des baisses de rendement allant jusqu'à 100% (Desneux *et al.*, 2010). Alors que *H. armigera* est plutôt un ravageur de fruit avec des dégâts jusqu'à 85% (Collingwood et Bourdouxhe, 1980). Leur assemblage constituerait alors une menace pour la production de la tomate au Sénégal.

L'incidence de *Liriomyza sp.* est importante dans certaines parcelles qui peuvent subir des dégâts importants, avec environ un tiers de feuilles minées en début de cycle. L'espèce *Liriomyza sp* est un ravageur qui ne doit pas être négligé. Il peut avoir une grande incidence sur les cultures avec des pertes allant jusqu'à 41% et une densité moyenne de 111 asticots par plant (Coly *et al.*, 1993).

La mouche blanche (*B. tabaci*), observée dans les parcelles de tomate avec une infestation souvent très élevée est considérée comme l'un des principaux ravageurs de la tomate (Umeh *et al.*, 2002), car peut causer des dégâts économiques très importants par la transmission de viroses (D'Hondt et Russo, 1985). Selon le même auteur le tomato yellow leaf curl virus (TYLC) peut être transmise de tomate à tomate par *B. tabaci*.

III.2.5.2. Les traitements insecticides

Globalement, le nombre de traitements insecticides au champ est modéré, avec 3-4 traitements en moyenne. On note cependant certaines dérives, avec plus de 6 traitements pour certaines parcelles. La majorité des producteurs appartient à un groupe qui utilise majoritairement (65%) des organophosphorés. On distingue trois autres groupes plus réduits qui utilisent principalement des pyréthrinoïdes et des neonicotinoïdes (souvent des produits binaires) ou des avermectines (abamectine), ou des biopesticides. Ces résultats signalent une utilisation modérée des pesticides par les producteurs de la zone des Niayes. On observe cependant certaines mauvaises pratiques liées au nombre de traitement. Mais également une utilisation très importante d'organophosphorés comme l'a bien montré les études antérieures (Ngom *et al.*, 2012; Cissé *et al.*, 2006; Cissé *et al.*, 2003). Les organophosphorés sont une famille d'insecticides à large spectre d'action renfermant des matières actives très toxiques comme le métamidophos (pesticide de classe Ib), interdit de vente dans les pays en développement (Van der Valk et Everts, 2003). Ceux-ci confirment l'insuffisance de la réglementation relative à l'usage des pesticides au Sénégal (Cissé *et al.*, 2006).

L'incidence de *H. armigera* ou *T. absoluta* dans les parcelles n'est pas expliquée par les stratégies d'utilisation des produits insecticides. Les ravageurs auraient développés une résistance contre ces familles d'insecticides. L'insensibilité aux organophosphorés, la famille la plus utilisée dans cette zone a été observée en Asie (Aheer *et al.*, 2009; Kranthi *et al.*, 2001) et en Europe (Mironidis *et al.*, 2013). La résistance aux pyréthrinoïdes, est notée en Afrique centrale (Brevault *et al.*, 2002; Achaleke et Brévault, 2010; Achaleke *et al.*, 2009), en Afrique occidentale (Vassal *et al.*, 1997). Considérant que les superficies des cultures de coton occupent plusieurs pays d'Afrique de l'ouest allant du Sénégal au Nigeria, et compte tenu de la forte capacité de migration de l'insecte, Vassal *et al.*, 1997 admet que ce problème de résistance ne se limite pas en Côte d'Ivoire. Au Sénégal, Moreira *et al.*, (2002) ont réalisés des tests moléculaires, sur une

souche de *H. armigera* issue du Sénégal et révèlent deux mutations (la sérine remplacée par l'acide glutamique et l'acide aspartique par la valine) au niveau du gène codant pour le canal sodium voltage dépendant, cible principale des pyréthriinoïdes. Le développement de l'utilisation des nouveaux insecticides de synthèse comme l'abamectine a été rapidement suivi par l'apparition de résistance en Asie (Ahmad *et al.*, 2003 ; Chen *et al.*, 2011).

En outre les organophosphorés et les pyréthriinoïdes seraient toxiques aux ennemis naturels de *H. armigera* (Momanyi *et al.*, 2012).

Il conviendrait de favoriser la mise à disposition d'insecticides plus sélectifs, et de renforcer la formation des producteurs à l'utilisation raisonnée des insecticides pour limiter les impacts sur l'environnement et sur la santé.

III.2.6. Conclusion

Ce travail nous a permis d'établir un diagnostic des principaux insectes ravageurs des cultures de tomate dans la zone maraîchère des Niayes, et d'en évaluer la variabilité spatio-temporelle.

Nos résultats montrent que la noctuelle de la tomate, *H. armigera*, reste le ravageur le plus important, de par sa prévalence (91,8% dans les parcelles) et par la destruction des jeunes fruits (0-30% des fruits attaqués). Les chenilles peuvent être observées sur feuilles dès le stade végétatif, mais surtout à partir de la floraison. Les dommages commencent dès l'apparition des jeunes fruits et augmentent significativement en cours de fructification. Les dégâts sur fruits sont plus importants en première partie de saison sèche, c'est-à-dire sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. Son incidence ne diffère pas selon la zone des Niayes explorée. La mineuse de la tomate, *T. absoluta*, est un ravageur émergent (0-60% de feuilles minées). Elle colonise la moitié des parcelles étudiées (53%) et la distribution est essentiellement concentrée dans la zone sud des Niayes, où des parcelles de production de tomate ont été abandonnées suite à des attaques du ravageur. L'infestation des plants de tomate débute dès le stade végétatif, voire en pépinière, pour atteindre le maximum pendant la période de floraison-fructification. La présence de *T. absoluta* dans la zone sud est particulièrement notée en fin de saison sèche. Pour les parcelles étudiées, aucune relation n'est cependant observée entre les taux d'infestations de *H. armigera* et ceux de *T. absoluta*.

L'incidence de *Liriomyza sp.* est importante dans certaines parcelles qui peuvent subir des dégâts importants, avec environ un tiers de feuilles minées en début de cycle.

La mouche blanche, *B. tabaci* est observée dans les parcelles de tomate avec une infestation souvent très élevée. Des études supplémentaires sont nécessaires pour voir les paramètres de ces ravageurs clés de la tomate et confirmer les interactions entre ces ravageurs.

Cette étude donne des informations importantes pour adapter les stratégies de gestion des insectes ravageurs de la tomate dans les périmètres maraîchers de la zone des Niayes.

III.2.7. Remerciements

Nous exprimons nos sincères gratitude à l'AIRD (PEERS-BIOBIO) et au programme de production agricole en Afrique de l'ouest (PPAAO/WAAPP) pour leurs soutiens financiers. Nous remercions profondément les personnes et les organismes qui sont intervenus lors de cette étude. Il s'agit particulièrement de O. Ndoye et S. Gueye (FPMN, Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes), et des étudiants en masters et doctorants de l'équipe 2PIA de l'UCAD pour l'aide apportée lors des prélèvements sur le terrain.

III.3. Conclusion du chapitre III

Ce chapitre nous a permis :

D'actualiser les principaux insectes ravageurs de la tomate dans la principale zone de production maraîchère au Sénégal.

L'espèce *H. armigera*, reste le ravageur le plus important, de par sa prévalence et par la destruction des jeunes fruits. *T. absoluta*, est un ravageur émergent qui colonise la moitié des parcelles étudiées. La noctuelle de la tomate est une espèce envahissante car elle est entrain d'élargir sa gamme d'hôte. A l'opposé, *T. absoluta* constitue une espèce invasive.

D'identifier une lutte éco-éthologique de ces ravageurs clés.

Les chenilles de *H. armigera* peuvent être observées sur feuilles dès le stade végétatif, mais surtout à partir de la floraison. Les dommages commencent dès l'apparition des jeunes fruits et augmentent significativement en cours de fructification. Les dégâts sur fruits sont plus importants en première partie de saison sèche, c'est-à-dire sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. Son incidence ne diffère pas selon la zone des Niayes explorée. La distribution de la mineuse de la tomate, *T. absoluta*, est essentiellement concentrée dans la zone sud des Niayes. L'infestation des plants de tomate débute dès le stade végétatif, voire en pépinière, pour atteindre le maximum pendant la période de floraison-fructification. La présence de *T. absoluta* dans la zone sud est particulièrement notée en fin de saison sèche. La présence de ces ravageurs pour les deux principales campagnes de production ainsi que leur cohabitation sur la tomate avec une absence de compétition, représente une menace annoncée sur la filière tomate au Sénégal.

Il s'avère alors indispensable de mettre sur place des méthodes supplémentaire de gestion intégrée de ces ravageurs. C'est l'objet des chapitres qui vont suivre. Le chapitre III proposera une stratégie de lutte basée sur un raisonnement des pratiques culturales.

CHAPITRE IV:

RELATION ENTRE LES PRATIQUES CULTURALES ET LES PRINCIPAUX INSECTES RAVAGEURS DE LA TOMATE

Ce chapitre est rédigé sous forme d'un seul article. Il décrit des méthodes de lutte basées sur un raisonnement des pratiques culturales. Ce chapitre a permis de voir l'effet des pratiques culturales de la tomate sur *H. armigera* et *Tuta absoluta*, ses ravageurs clés dans la zone des Niayes. A l'issue de ce chapitre, nous connaissons les différentes pratiques à réguler pour une bonne gestion de ces ravageurs.

Article 3:

Des pratiques culturales influent sur les attaques de deux ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal

Mamadou Diatte, Thierry Brévault, Dienaba Sall-Sy, Karamoko Diarra

Accepté dans IJBCS

IV.1. Résumé

La culture de tomate est attaquée par plusieurs ravageurs dont *Helicoverpa armigera* et *Tuta absoluta*. Dans le but d'évaluer l'effet des pratiques culturales de la tomate sur ces principaux ravageurs dans les Niayes (Sénégal), un échantillonnage de 98 parcelles est effectué, sur quatre cycles de culture en saison sèche, de 2012 à 2014. Les pratiques culturales sont recueillies par questionnaire lors des visites auprès des producteurs. Les résultats ont montré que l'incidence de *H. armigera* et de *T. absoluta* est négativement corrélée à la distance à la mer. La densité des plants dans les parcelles et la durée des plants en pépinière sont négativement corrélées à l'intensité des attaques de *H. armigera* et *T. absoluta*. Le nombre de traitements insecticides est négativement corrélé à l'infestation de *T. absoluta*. Le type de préparation du sol influe sur les infestations de *T. absoluta*. Les attaques de *H. armigera* varient en fonction du type d'irrigation. Les autres pratiques n'avaient pas d'effets sur les infestations de *T. absoluta* et *H. armigera*. Cette étude permet de connaître les relations entre les pratiques culturales et les insectes ravageurs de la tomate et peut ainsi renforcer les stratégies de gestion durable des bioagresseurs.

Mots clés : Pratiques culturales, *Helicoverpa armigera*, *Tuta absoluta*, tomate, traitements insecticides, Sénégal

IV.2. Introduction

Au Sénégal, la tomate est la deuxième spéculacion maraîchère la plus cultivée derrière l'oignon. Elle représente 22,53% de la production globale de légumes estimée, à 710000 tonnes (ANDS, 2013). Elle compte parmi les légumes les plus consommés (Huat et David-Benz, 2000).

Cette culture est cependant soumise à de nombreuses contraintes, dont la menace permanente des ravageurs (Mailafiya *et al.*, 2014; Choudourou *et al.*, 2012). Au Sénégal, deux Lépidoptères ; la "Noctuelle de la tomate", *H. armigera* (Hübner); Noctuidae et la "mineuse sud-américaine", *T. absoluta* (Meyrick); Gelechiidae sont les ravageurs principaux de la tomate. Les dégâts des chenilles de la noctuelle peuvent atteindre 28% (Diatte *et al.*, 2016). Quant à *T. absoluta*, elle constitue une menace pour la production de tomates depuis sa détection en 2012 au Sénégal (Pfeiffer *et al.*, 2013). *T. absoluta* est signalée partout dans les Niayes avec des pertes allant jusqu'à pousser à l'abandon des parcelles par les producteurs de la zone Sud (Brévault *et al.*, 2014).

Les pratiques culturales sur la tomate peuvent influencer sur la prolifération des insectes ravageurs. Les impacts de ces pratiques dans les systèmes maraîchers en Afrique sont peu connus. Les quelques études réalisées dans ce domaine portent sur les applications d'insecticides, les associations culturales, l'utilisation de fumure organique et leurs impacts sur les insectes ravageurs. Au Cameroun, l'utilisation abusive de matières actives a conduit à une perte de sensibilité des ravageurs (Achaleke *et al.*, 2009; Achaleke et Brévault, 2010). Au Nigeria, l'application inappropriée d'insecticides ainsi qu'un mauvais dosage sont à la base des dégâts causés par les insectes. Il a été également constaté que l'infestation était réduite dans des champs où la tomate était associée avec des céréales, des tubercules ou d'autres légumes et que la plupart des pratiques n'avaient pas d'impact sur l'abondance des insectes ravageurs (Umeh *et al.*, 2002). Au Sénégal, l'utilisation de la fumure organique de cheval et de poisson a entraîné une réduction des dégâts liés à *H. armigera* de 24%, comparé à la fumure organique de mouton (Niassy *et al.*, 2010).

Peu d'études sur l'impact des pratiques culturales sur l'infestation des ravageurs de la tomate ont été jusque-là menées au Sénégal. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'influence des pratiques culturales sur les deux principaux insectes ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal. Il

s'agissait de faire un échantillonnage d'insectes sur un réseau de 98 parcelles de 2012 à 2014 et de questionner les producteurs sur leurs pratiques culturales.

IV.3. Matériel et Methodes

IV.3.1. Sites d'échantillonnages

Ce travail a été effectué dans la zone des Niayes au Sénégal. Cette zone s'étend sur une longueur de 180 km bordant la frange maritime du Nord du pays partant de Dakar à Saint-Louis en passant par la bordure Ouest de Thiès et de Louga. Sa largeur varie de 5 à 30 km à l'intérieur des terres. Elle constitue un milieu original caractérisé par des dunes et des dépressions souvent inondées par l'affleurement de la nappe phréatique et par un climat assez favorable aux cultures maraîchères. Inscrites dans la moitié Sud de la zone sahélienne, les Niayes sont caractérisées par l'alternance de deux saisons : une saison humide concentrée sur trois mois (juillet, août et septembre) et une saison sèche qui dure les autres neuf mois et durant laquelle se succède deux cycles de cultures maraîchères. Le climat chaud et sec, est caractérisé par la mousson qui souffle durant la saison humide. La pluviométrie est faible et dépasse rarement 450 mm/an. Les températures sont modérées et influencées par la circulation des alizés maritimes soufflés par les courants d'airs froids du nord (Açores). La température moyenne mensuelle la plus chaude oscille autour de 28 °C et la température minimale est inférieure à 18 °C. Entre mai et juin, la présence de l'harmattan peut élever la température à un maximum de 31 °C (Diallo *et al.*, 2015). Les sols varient du nord au sud. Leur nature et leur distribution s'articulent autour des grands ensembles géomorphologiques présents sur le territoire. On distingue ainsi six types de sols (Fall *et al.*, 2001): les sols minéraux bruts d'apport qui caractérisent les dunes vives dans lesquelles l'évolution des sols y est pratiquement nulle; les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés qui caractérisent les dunes rouges et occupant près de 70% de la région des Niayes; les sols brun-rouges iso-humiques que l'on rencontre dans la partie nord-ouest de Louga et sud-ouest de Saint-Louis; les vertisols rencontrés dans les dépressions à argile gonflante, localisées dans la zone de Sébikotane (plateau de Bargny), sur l'axe Somone et le lac Tanma; les sols halomorphes caractérisés par leur salinité et/ou alcalinité, situés aux environs des lagunes côtières barrées par les cordons dunaires et les sols hydromorphes des dépressions très favorables au développement du maraîchage.

Un suivi de 98 parcelles d'études a été effectué dans trois zones (Sud, Centre, Nord) des Niayes, le long d'un transect de Dakar à Saint-Louis. Ce travail a été effectué sur quatre cycles de cultures, entre octobre 2012 et mai 2014. Les parcelles d'étude ont été géo référencées par GPS. Elles étaient distantes l'une de l'autre d'au moins deux kilomètres (Figure 30).

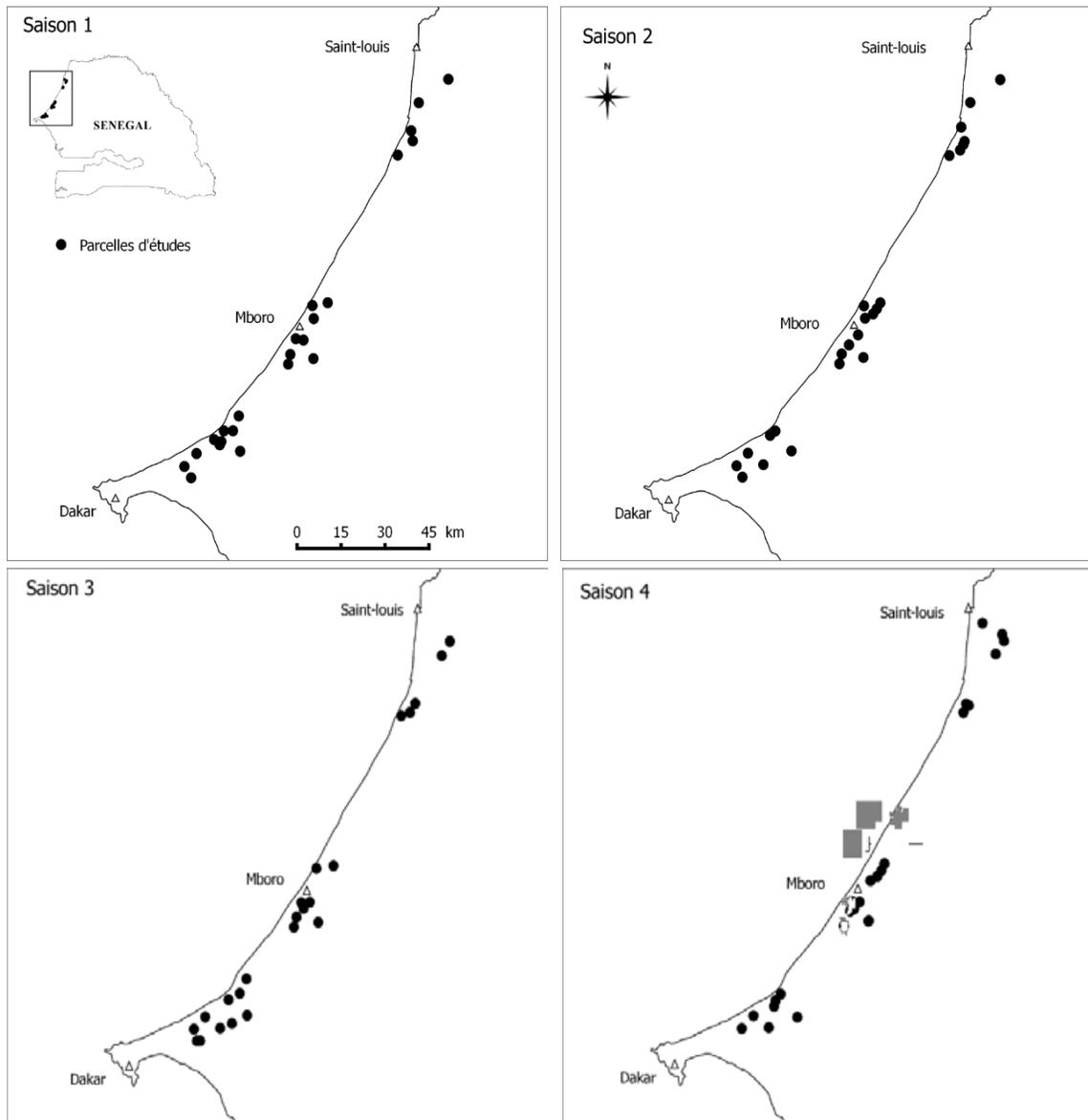


Figure 32: Répartition géographique des parcelles d'étude dans la zone des Niayes.

Phase 1 : oct-12-jan13, n=24 parcelles ; Phase 2 : fev.13-mai-13n=26 parcelles ; Phase 3 : oct.-13-jan-14, n=23 parcelles ; Phase 4 : fév.-14-mai-14, n=25 parcelles.

IV.3.2. Echantillonnage proprement dit

L'échantillonnage se déroulait toutes les trois semaines dans chaque parcelle, depuis le repiquage jusqu'à la première date de récolte. Dans chaque parcelle, 24 plants identifiés aléatoirement sont observés. Trois feuilles situées à différents niveaux de la plante sont observées (une en haut, une au milieu et une en bas) pour calculer le pourcentage de feuille infesté par *T. absoluta*. Le nombre total de fruit et le nombre de fruit attaqués par *H. armigera* ont été également dénombrés afin d'évaluer l'incidence de ce ravageur.

IV.3.3. Enquêtes

Parallèlement aux échantillonnages, les données sur les pratiques culturales (précédent cultural, travail du sol, type de sol, mode d'irrigation, variété, traitement insecticide, fertilisation, date de semis, date de repiquage, date de récolte, association culturale) de chaque parcelle sont notées. Elles ont été recueillies par questionnaire lors de chaque visite auprès des producteurs.

Le calcul de la densité a été faite par l'intermédiaire d'un carré de densité, qui est un carré de 1m² posé au hasard dans la parcelle pour y effectuer un comptage de tous les plants et mauvaises herbes. Au total, 5 carrés de densité ont été posés dans chaque parcelle, ensuite le calcul de la moyenne a permis d'obtenir la densité de la parcelle.

IV.3.4. Analyse statistique des données

Les données recueillies sont enregistrées dans un tableur Excel et analysées avec le logiciel Minitab 17. L'effet des pratiques sur les populations de ravageurs a été déterminé par une analyse de variance (ANOVA) et une corrélation. Une corrélation de Pearson a été utilisée au seuil de significativité de 5%. Pour les ANOVA, les moyennes ont été séparées avec le test de Tukey ($P < 0,05$). Préalablement aux analyses, une transformation de type $\log_{10}(x+1)$ a été appliquée aux données pour garantir la normalité des distributions et l'égalité des variances.

IV.4. Résultats

Les pratiques culturales ont une influence sur les deux principaux insectes ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal (Tableau 5 ; Figures 31 et 32).

L'incidence de *H. armigera* et de *T. absoluta* est négativement corrélée à la distance à la mer ($p < 0,01$). La densité des plants dans les parcelles est négativement corrélées à l'intensité des attaques de *H. armigera* ($p < 0,05$) et *T. absoluta* ($p < 0,01$). La durée des plants en pépinière est négativement corrélées à l'intensité des attaques de *H. armigera* ($p < 0,05$) et *T. absoluta* ($p < 0,01$). Le nombre de traitements insecticides est négativement corrélé à l'infestation de *T. absoluta* ($p < 0,01$) (Tableau 5). Aucune corrélation n'est observée entre le nombre de traitements insecticides et les attaques de *H. armigera*.

Tableau 5: Interaction entre les pratiques culturales et les infestations par les deux principaux ravageurs de la tomate (*H. armigera* et *T. absoluta*) dans la zone des Niayes.

Variables	% fruit Ha	%_inf_Tuta	Di_mer	d_pl/m ²	d_herbe/ m ²	Dr_Pep	fum_eq_N	urée	npk	Nb_tr_ins	tr_pep	Assoc	tr_bio	tr_bin
% fruit Ha	1	0,138	-0,301**	-0,236*	-0,044	-0,220*	-0,067	0,150	0,032	0,146	-0,031	0,006	0,097	-0,063
%_inf_Tuta	0,138	1	-0,342**	-0,207*	-0,151	-0,322**	-0,157	-0,195	-0,135	-0,316**	-0,167	0,105	0,042	-0,194
Di_sea	-0,301**	-0,342**	1	0,378**	0,291**	0,706***	0,087	0,042	0,135	0,141	0,032	-0,062	-0,001	-0,001
d_pl/m ²	-0,236*	-0,207*	0,378***	1	0,163	0,340**	0,028	-0,066	-0,261*	0,250*	-0,099	-0,119	-0,175	4
d_herbe	-0,044	-0,151	0,291**	0,163	1	0,294**	0,087	-0,116	0,162	0,072	0,049	0,161	0,134	-0,130
Dr_Pep	-0,220*	-0,322**	0,706***	0,340**	0,294**	1	0,054	0,137	0,063	0,210*	0,006	0,040	0,049	0,039
fum_eq_N	-0,067	-0,157	0,087	0,028	0,087	0,054	1	0,044	0,108	0,096	0,297**	0,049	-0,069	0,121
Urée	0,150	-0,195	0,042	-0,066	-0,116	0,137	0,044	1	0,056	0,438***	0,146	0,203*	0,028	0,140
Npk	0,032	-0,135	0,135	-0,261*	0,162	0,063	0,108	0,056	1	0,093	0,117	0,105	0,166	0,073
Nb_tr_ins	0,146	-0,316**	0,141	0,250*	0,072	0,210*	0,096	0,438***	0,093	1	0,297**	0,228*	0,083	0,176
tr_pep	-0,031	-0,167	0,032	-0,099	0,049	0,006	0,297**	0,146	0,117	0,297**	1	0,131	0,030	0,204*
Assoc	0,006	0,105	-0,062	-0,119	0,161	0,040	0,049	0,203*	0,105	0,228*	0,131	1	0,106	-0,079
Nb_tr_bio	0,097	0,042	-0,001	-0,175	0,134	0,049	-0,069	0,028	0,166	0,083	0,030	0,106	1	-0,123
Nb_tr_bin	-0,063	-0,194	-0,001	-0,014	-0,130	0,039	0,121	0,140	0,073	0,176	0,204*	-0,079	-0,123	1

N= 98 parcelles : Di_mer=Distance à la mer ; d_pl/m²= densité plants/m² ; d_herbe= densité herbe/m² ; Dr_cycle=Durée du cycle de la culture ; Dr_Pep= Durée de la pépinière ; fum_eq_N= Équivalent azote dans la Fumure ; urée= Application Urée ; npk= Application d'engrais minérale ; Nb_tr_ins= Nombre traitement insecticides durant la culture ; tr_pep= Nombre traitement insecticides durant la pépinière ; Assoc= Association culturale ; tr_bio= Nombre de traitements insecticides biologiques ; tr_bin= Nombre traitement insecticides binaire ; %_inf_Ha=pourcentage de feuille infestée par des chenilles de *H. armigera*. (*p< 0,05, **p< 0,01, ***p< 0,001; test de Pearson).

Le type d'irrigation des plants influe sur les infestations de *H. armigera* ($dl=3$, $F=3,22$, $P<0,05$). Les parcelles irriguées avec des asperseurs (0,08%), des lances (0,04%), des arrosoirs et des seaux (0,04%), ont été moins infestées par *H. armigera* que les autres parcelles irriguées par les techniques du goutte-à-goutte et de décrue (0,09%) (Figure 31). Les infestations dues à *H. armigera* n'ont pas été influencées par le précédent cultural ($dl=5$; $F=1,29$, $P=0,273$), le type de sol ($dl=2$, $F=0,23$, $P=0,791$), le type de préparation du sol ($dl=3$, $F=0,39$, $P=0,762$), l'application ou non de fumure ($dl=1$, $F=0,65$, $P=0,424$), la variété ($dl=2$, $F=0,130$, $P=0,88$) (Figure 31).

Le type de préparation du sol influe sur les infestations de *T. absoluta* ($dl=2$, $F=8,29$, $P<0,01$). Les infestations sont plus élevées dans les parcelles labourées à la « daba » (33%) que dans celles qui sont hersées (7%) ou travaillées mécaniquement (7%) (Figure 32). Les infestations dues à *T. absoluta* n'ont pas été influencées par le précédent cultural ($dl=5$, $F= 0,58$, $P= 0,714$), le type de sol ($dl=2$, $F= 0,91$, $P= 0,427$), l'application ou non de fumure ($dl=1$, $F= 0,727$, $P= 0,41$), le type d'irrigation ($dl=4$, $F= 1,57$, $P= 0,245$) et la variété ($dl=2$, $F= 1,01$, $P= 0,406$) (Figure 32).

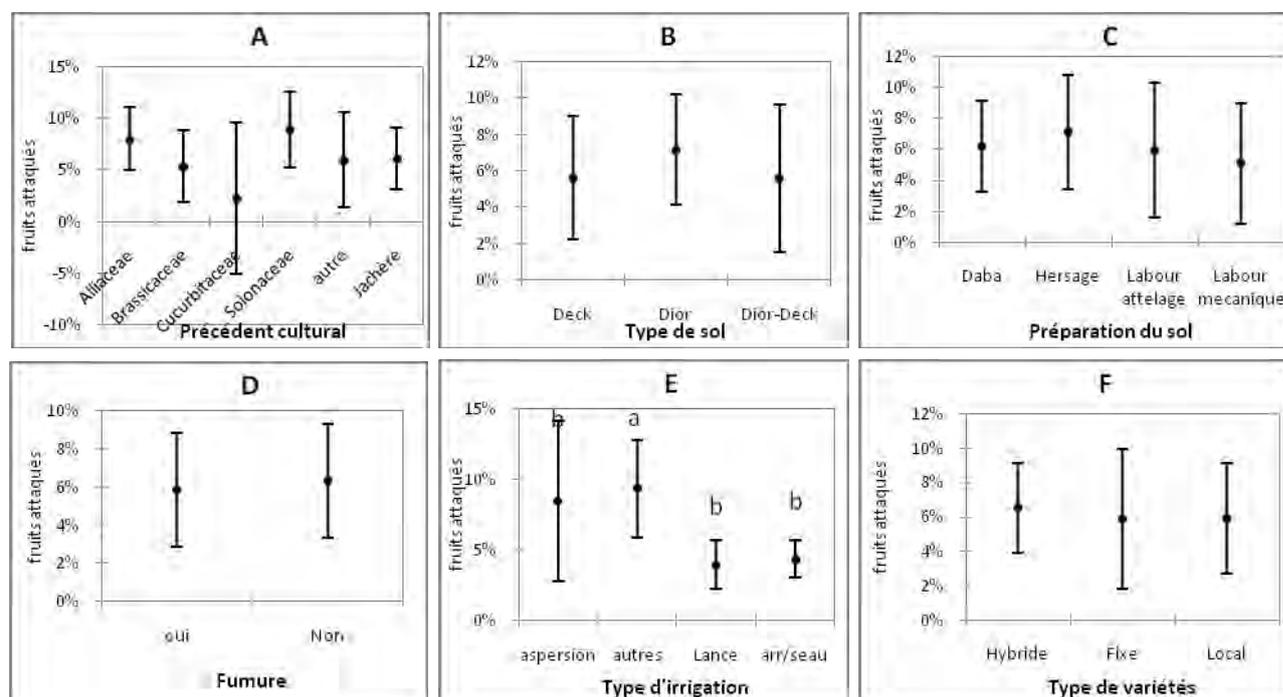


Figure 33: Pourcentage de fruits atteints par les chenilles de *H. armigera* selon les pratiques culturales.

N= 98 parcelles : A : précédent cultural, B : Type de sol, C : préparation du sol, D : fumure, E : type d'irrigation : (autres= décrue, goutte à goutte ; arr/seau=arrosoir et seau), F : Type de variétés. (ANOVA, test de comparaison de Tukey au seuil de 5%).

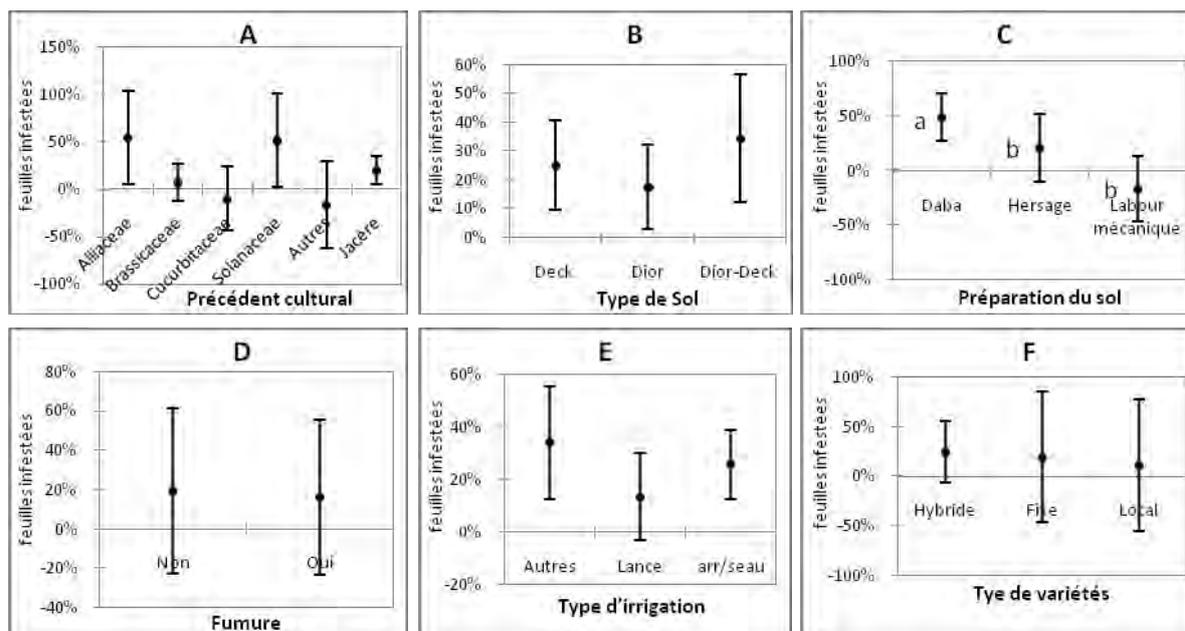


Figure 34: Pourcentage de feuilles infestées par *T. absoluta* selon les pratiques culturales.

N= 98 parcelles : A : précédent cultural, B : Type de sol, C : préparation du sol, D : fumure, E : type d'irrigation : (autres= décrue, goutte à goutte ; arr/seau=arrosoir et seau), F : Type de variétés. (ANOVA, test de comparaison de Tukey au seuil de 5%).

IV.5. Discussion

Les résultats de la présente étude révèlent que les pratiques culturales influencent les attaques des ravageurs. L'incidence de *H. armigera* (0 et 29% de fruits) et de *T. absoluta* (0 et 60% de feuilles infestées), est plus élevée au niveau des parcelles situées au bord de la mer. Au niveau du littoral, notamment entre Saint-Louis et Dakar, les alizés qui soufflent le long de la côte provoquent une baisse des températures avec une moyenne des maximales diurnes qui est de 24°C de janvier à mars et entre 25 et 27°C en avril, mai et décembre. Ces faibles températures sont propices au développement de *T. absoluta*, qui est un ravageur invasif, originaire des zones tempérées (Europe, méditerranéen) où il provoque d'importants dégâts allant jusqu'à 27% dans les cultures de tomate (Desneux *et al.*, 2010; Desneux *et al.*, 2011). La vitesse de développement de *T. absoluta* augmente lorsque la température baisse. Il est de 21,1 jours à 26°C et 29,4 jours à 23,4°C (Boualem *et al.*, 2012). Cela est à l'origine de plusieurs dégâts sur tomate dans les Niayes (60% de feuilles infestées) (Sylla *et al.*, 2016). *H. armigera* est un ravageur qui évolue dans les zones plus chaudes avec un optimum de développement compris entre 25 °C et 27 °C (Mironidis et Savopoulou-Soultani, 2008). Sa présence en bordure des côtes pourrait s'expliquer par la disponibilité de la ressource. En effet, la tomate est une plante

des basses températures avec un optimum de croissance qui se situe entre 21 °C et 24 °C (Naika *et al.*, 2005).

La densité des plants dans les parcelles compris entre 2 et 20 plants/m² est négativement corrélées à l'intensité des attaques de *H. armigera* et *T. absoluta*. La forte densité des plants de tomate favoriserait le développement des ennemis naturels. Les plants de tomate constitueraient un habitat et un abri qui va favoriser et améliorer la régulation naturelle par les auxiliaires. Toutefois, il a été montré que les paysages diversifiés détiennent plus de potentiel pour la conservation de la biodiversité et le maintien de la fonction de contrôle des ravageurs (Landis *et al.*, 2000; Bianchi *et al.*, 2006 ; Chaplin-Kramer *et al.*, 2011;; Chaplin-Kramer *et al.*, 2013).

La durée des plants en pépinière est négativement corrélées à l'intensité des attaques de *H. armigera* et *T. absoluta*. Les plants repiqués sont en effet plus vigoureux à 30 jours de pépinière, donc plus résistants aux attaques des bioagresseurs. La production de plants sains et vigoureux pourrait être une méthode efficace pour renforcer les stratégies de gestion des ravageurs.

Le nombre de traitements insecticides compris entre 0 et 11 traitements par cycle de culture est négativement corrélé à l'infestation de *T. absoluta*. Ce résultat montre que les insecticides sont efficaces contre la mineuse de la tomate. En fait, *T. absoluta* est un nouveau ravageur qui vient d'être signalé dans les périmètres maraichers des Niayes avec des dégâts allant jusqu'à 55% de feuilles minées en zone Sud (Pfeiffer *et al.*, 2013; Brévault *et al.*, 2014). Sa gestion est faite par des insecticides chimiques de diverses familles dont les plus importantes sont les organophosphorés, les pyréthrinoïdes et les avermectines (Diatte *et al.*, 2015). Les populations du ravageur n'ont pas encore développé une résistance par rapport aux insecticides contrairement au Brésil (Siqueira *et al.*, 2000) et en Argentine (Lietti *et al.*, 2005) où des formes de résistance ont été signalées. Aucune corrélation n'est observée entre le nombre de traitements insecticides et les attaques de *H. armigera*. Ce phénomène pourrait s'expliquer par une absence d'efficacité des produits chimiques contre la noctuelle de la tomate. En effet, *H. armigera* est à l'heure actuelle insensible à plusieurs familles d'insecticides à travers le monde. Sa résistance est signalée en Asie (Aheer, *et al.*, 2009), en Europe (Mironidis *et al.*, 2013), en Afrique centrale (Achaleke et Brévault 2010 ; Achaleke *et al.*, 2009) en Afrique occidentale (Martin *et al.*, 2000 ; Martin *et al.*, 2002). Au Sénégal, *H. armigera* serait insensible aux pyréthrinoïdes et aux organophosphorés dans certaines zones des Niayes et de la vallée du Fleuve Sénégal (Brévault, communication personnelle).

Les attaques des fruits par les chenilles de *H. armigera* ont été influencées par le type d'irrigation. Les parcelles irriguées avec des aspersoirs, des lances, des arrosoirs et des seaux ont été moins infestées par *H. armigera* que les autres parcelles irriguées par les techniques du goutte-à-goutte et de décrue. En effet, les techniques d'aspersion lessiveraient les plants, entraînant la disparition des chenilles néonates et des œufs. Cette action est favorisée par le fait que les œufs sont déposés de préférence sur les feuilles les plus hautes (Mabbett et Nachapong, 1983 ; Firempong et Zalucki, 1990).

Le type de préparation du sol influe sur les infestations de *T. absoluta*. Les infestations sont plus élevées dans les parcelles labourées à la « daba » que dans celles qui sont hersées ou travaillées mécaniquement. Ceci pourrait être dû au travail profond du sol qui serait à l'origine de la destruction des chrysalides de *T. absoluta* qui se développent en partie dans le sol (Torres *et al.*, 2001).

IV.6. Conclusion

Ce travail a permis de montrer que les pratiques culturales ont une influence sur les deux principaux insectes ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal. L'incidence de *H. armigera* et de *T. absoluta* est plus élevée au niveau des côtes. Plus la densité des plants dans les parcelles est élevée, moins il y a d'attaques dues à *H. armigera* et *T. absoluta*. Plus la vigueur des plants en pépinières est grande, moins il y a d'infestation liée à *H. armigera* et *T. absoluta*. L'infestation due à *T. absoluta* est contrôlée par les traitements insecticides utilisés dans la zone. Le type d'irrigation du sol influe sur les infestations de *H. armigera*. Les techniques d'irrigation utilisant les aspersoirs, les lances, les arrosoirs et les seaux défavorisent la prolifération de *H. armigera*. Le type de préparation du sol influe sur les infestations de *T. absoluta*. Les infestations sont plus élevées dans les parcelles labourées à la « daba » que dans celles qui sont hersées ou travaillées mécaniquement. Des études approfondies sont nécessaires pour affiner les interactions qui existent entre les différents paramètres explicatifs. Cette étude permettra un renforcement des stratégies de gestion durable des ravageurs de la tomate en tenant compte des pratiques culturales qui influent sur la prolifération des ravageurs.

IV.7. Remerciements

Nous exprimons nos sincères gratitude à l'AIRD (PEERS-BIOBIO) et au programme de production agricole en Afrique de l'ouest (PPAAO/WAAPP) pour leurs soutiens financiers. Nous remercions profondément les personnes et les organismes qui sont intervenus lors de cette étude. Il s'agit particulièrement de O. Ndoye et S. Gueye (FPMN, Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes), et des étudiants en masters et doctorants de l'équipe 2PIA de l'UCAD pour l'aide apportée lors des prélèvements sur le terrain.

Conclusion du chapitre IV

A l'issue du chapitre III, nous avons retenu qu'il est possible de réguler les attaques de *H. armigera* et de *T. absoluta* sur toamte en jouant sur les pratiques culturales.

Certaines pratiques comme l'éloignement des parcelles à la mer, la forte densité des plants, l'augmentation de la durée des plants en pépinière font baisser les attaques de ces deux ravageurs.

Les populations de *T. absoluta* sont sensibles aux nombre de traitement insecticides, parcontre celles de *H. armigera*en restent indifférentes.

Les techniques d'irrigation utilisant les aspersoirs, les lances, les arrosoirs et les seaux défavorisent la prolifération de *H. armigera*. Les infestations de *T. absoluta* sont plus élevées dans les parcelles labourées à la « daba » que dans celles qui sont hersées ou travaillées mécaniquement.

Dautres pratiques comme le précédent cultural, le type de sol, l'application ou non de fumure et la variété n'ont aucune influence sur les infestions des ravageurs.

Il est cependant nécessaire dans le principe d'une lutte intégrée de solliciter le service des auxiliaires pour une gestion plus efficace et durable des ravageurs. C'est l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE V:

POTENTIEL DE REGULATION NATURELLE DE LA NOCTUELLE DE LA TOMATE PAR SES PARASITOÏDES

Ce chapitre fait état du potentiel de régulation naturelle par les parasitoïdes du principal ravageur de la tomate dans la zone des Niayes. Il est constitué de deux sous-chapitres. Le premier sous-chapitre a permis de recenser les différentes espèces parasitoïdes de *H. armigera* et d'évaluer l'effet de différents facteurs (zone, phénologie de la plante et le stade larvaire) sur le parasitisme. Dans le second, nous avons évalué les relations entre les pratiques culturales et les parasitoïdes pour une bonne exploitation du service rendu par ces parasitoïdes.

V.1. Potentiel de régulation naturelle de *H. armigera* par les parasitoïdes dans la zone des Niayes (Article4)

Article 4

Impact de la zone, de la phénologie de la plante et du stade larvaire sur la diversité des parasitoïdes et leur taux de parasitisme sur *Helicoverpa armigera* au Sénégal.

Mamadou Diatte, Thierry Brévault, Dienaba Sall-Sy, Karamoko Diarra

Soumis dans International Journal of Pest Management

V.1.1. Résumé

Une étude a été effectuée dans la zone des Niayes au Sénégal entre 2012 et 2014 sur quatre cycles de culture. L'objectif était de i) faire un inventaire des différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera* présentes dans la zone des Niayes, ii) étudier l'impact de la zone, de la phénologie de la plante et du stade larvaire sur le taux de parasitisme. La noctuelle de la tomate est attaquée par sept espèces de parasitoïdes appartenant à la famille des Braconidae (*Meteorus laphygmarum*, *Apanteles* sp., *Cotesia* sp. et *Bracon* sp.), Chalcididae (*Brachymeria marmonti*), Eulophidae (*Euplectrus* sp) et Tachinidae. Les Braconidae sont dominants avec 57,1% de richesse relative. L'espèce *Meteorus laphygmarum* est plus abondante (76%) et la plus fréquente (75,8%). Une moyenne globale de 22% de chenilles parasitées a été observée. Le taux de parasitisme varie suivant la zone. Il est plus important dans les zones centre (35%) et sud (25,5%) que dans la zone nord (6,32%). Aucun parasitoïde n'a été observé sur les 58 œufs ramenés du terrain. *Meteorus laphygmarum* est présente dans toutes les zones. Elle est dominante dans les zones centre (25,5%) et sud (17,3%). Le stade phénologique n'a pas eu d'impact sur le taux de parasitisme. Le stade larvaire influe sur le taux de parasitisme de *H. armigera*. Le parasitisme est plus élevé au niveau des premiers stades larvaires L1 (26,1%), L2 (30,8%), L3 (32,3%) et L4 (28,5%), qu'au niveau des derniers stades L5 (3,1%) et L6 (0,9%). Ces résultats contribuent à mieux comprendre le potentiel régulateur des ennemis naturels et leurs importances dans des stratégies de gestion intégrée de la noctuelle de la tomate (IPM).

Mots clés : Parasitoïdes, lutte biologique, *Helicoverpa armigera*, tomate, Sénégal.

V.1.2. Introduction

La noctuelle de la tomate, *H. armigera* est un ravageur très polyphage, capable de coloniser de nombreuses cultures, mais aussi des plantes non cultivées (Nibouche *et al.*, 2007; Brevault *et al.*, 2012). Au Sénégal, l'insecte a été observé sur la tomate, le poivron, l'aubergine, le jakhatou et le chou. Il est le ravageur le plus présent sur tomate, avec une occurrence de 91,8% dans les parcelles suivies et des dégâts allant jusqu'à 28% sur les fruits (Diatte *et al.*, 2016).

Le contrôle du bioagresseur est basé sur les insecticides chimiques (Sam *et al.*, 2014 ; Katroju *et al.*, 2014). Cependant l'utilisation répétée et prolongée des matières actives de ces produits conduit à une perte de sensibilité du ravageur. Cela entraîne une acquisition rapide de la résistance sur certaines familles de pesticides, notamment les pyréthrinoïdes et les organophosphorés (Achaleke *et al.*, 2009 ; Aheer *et al.*, 2009 ; Achaleke et Brevault, 2010).

Il est donc indispensable de mettre en place une stratégie de gestion intégrée des ravageurs pour renforcer les méthodes de lutte existantes. Ceci nécessite non seulement une connaissance des parasitoïdes indigènes, mais également de leur distribution. La mise en place d'un programme de lutte intégrée partiellement basé sur l'efficacité des parasitoïdes peut contribuer à une diminution de l'application des insecticides (Cameron *et al.*, 2006). Il existe plusieurs espèces de parasitoïdes de *H. armigera* en Afrique (Berg *et al.*, 1988; Streito et Nibouche, 1997), dont la plus dominante est *Meteorus laphygmarum* Brues (*Braconidae*) (Streito et Nibouche, 1997). Au Sénégal, aucune étude n'a été jusqu'ici faite sur les parasitoïdes de *H. armigera*.

Ce présent travail avait pour objectif de i) faire un inventaire des différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera* présentes dans la zone des Niayes ii) étudier l'impact de la zone, de la phénologie de la plante et du stade larvaire sur le parasitisme.

V.1.3. Matériel et Méthodes

V.1.3.1. Choix de la zone d'étude

Ce travail a été effectué dans la zone des Niayes au Sénégal. Cette zone s'étend sur une longueur de 180 km bordant la frange maritime du Nord du pays partant de Dakar à Saint-Louis en passant par la bordure Ouest de Thiès et de Louga. Sa largeur varie de cinq à 30 km à l'intérieur des terres. Elle constitue un milieu original caractérisé par des dunes et des dépressions souvent inondées par l'affleurement de la nappe phréatique et par un climat assez

favorable aux cultures maraîchères. Inscrites dans la moitié sud de la zone sahélienne, les Niayes sont caractérisées par l’alternance de deux saisons : une saison humide concentrée sur trois mois (juillet, août et septembre) et une saison sèche qui dure les autres neuf mois et durant laquelle se succède deux cycles de cultures maraîchères. Au total 62 parcelles de tomate ont été sélectionnées durant l’étude. Les parcelles d’études, géo référencées par GPS, étaient distantes l’une de l’autre d’au moins deux kilomètres (figure 33).

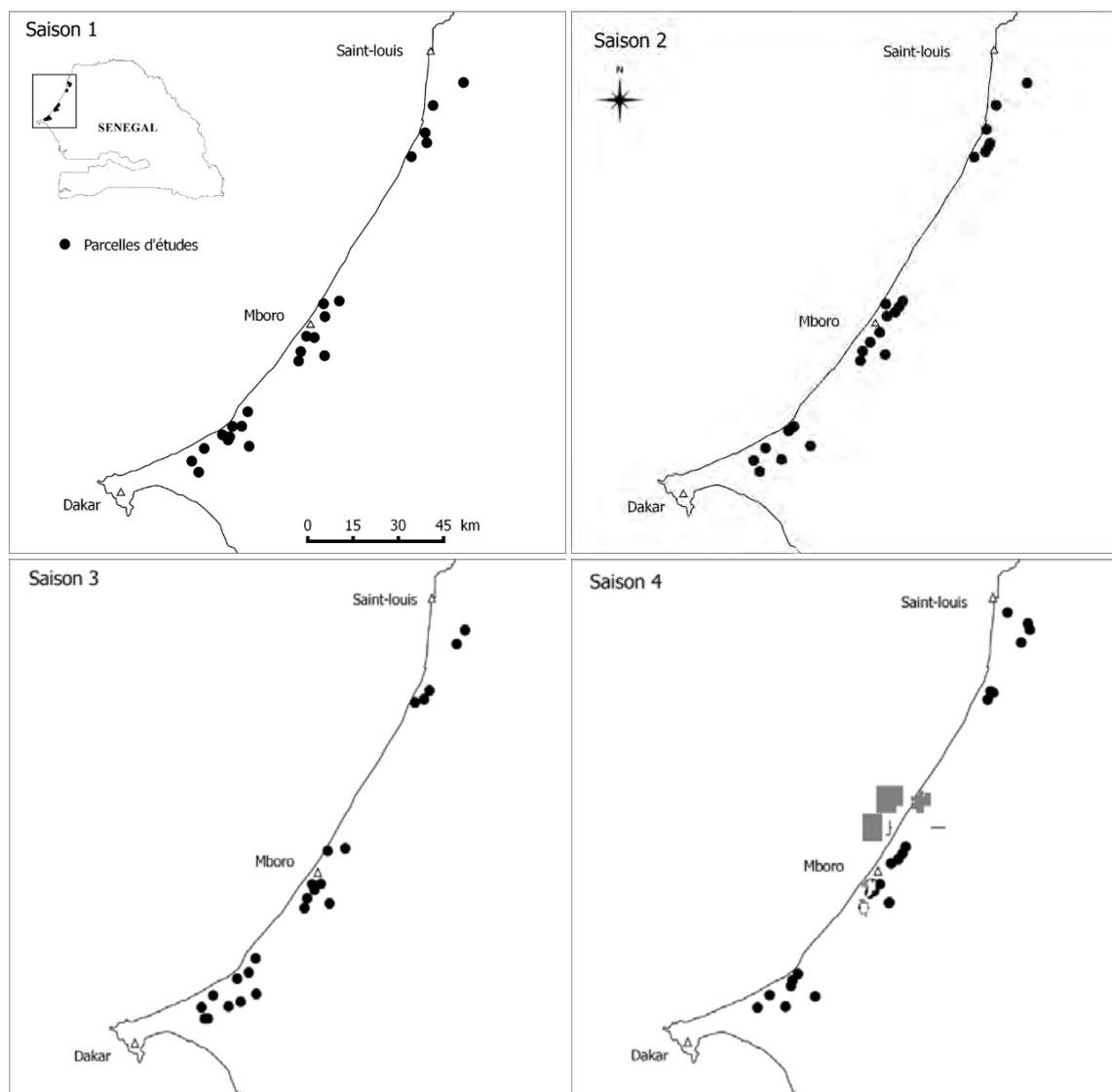


Figure 35: Répartition géographique des parcelles d’étude dans la zone des Niayes.

Phase 1 : oct-12-jan13, n=24 parcelles ; Phase 2 : fev13-mai-13n= 15 parcelles ; Phase 3 : oct-13-jan-14, n= 17 parcelles ; Phase 4 : fév.-14-mai-14, n= 6 parcelles.

V.1.3.2. Récolte des chenilles de *H. armigera* sur le terrain

Elle a été réalisée sur deux années successives, de septembre 2012 à Mai 2014, durant deux cycles de culture réalisées en saison sèche : septembre-janvier et février-mai. La récolte des insectes ont été faites toutes les trois semaines pour une parcelle donnée, depuis le repiquage jusqu'à la première date de récolte. Pour chaque parcelle, les chenilles de *H. armigera* ont été prélevées et ramenées au laboratoire pour le suivi du parasitisme. Au total, 1965 chenilles ont été collectées sur tomate.

V.1.3.3. Suivi du parasitisme au laboratoire

Au laboratoire, les chenilles ont été isolées dans des tubes numérotés et leurs stades larvaires déterminés. Elles ont été ensuite élevées dans des boîtes contenant du milieu artificiel (Southland Products, USA). Un suivi journalier de chaque chenille est effectué jusqu'à la mort de l'insecte, la sortie de l'adulte ou du parasitoïde. Les parasitoïdes émergés sont comptés et identifiés. L'identification a été faite par le Dr. G. Delvare (CIRAD).

IV.1.3.4. Préparation du milieu artificiel

Le milieu artificiel est un produit fini en poudre importé des Etats Unies, spécifique à la noctuelle. Au laboratoire, 44g de la poudre ont été mélangées à 250 ml d'eau préalablement chauffées à 100°C. La poudre est progressivement mélangée à l'eau tout en agitant pour éviter la formation d'agrégats. Le mélange est ensuite versé dans un pot et laissé à l'air libre jusqu'à refroidissement avant d'être gardé dans un réfrigérateur.

V.1.3.5. Analyses statistiques

L'analyse de la qualité structurelle des peuplements des différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera* a été effectuée à l'aide du logiciel Statview version 4.55 (Statview 1996). Plusieurs paramètres de qualité structurelle ont été calculés : la richesse spécifique (S), la richesse relative (SR), l'abondance ou effectif et l'abondance relative. La richesse spécifique (S) par rapport à un site ou à une catégorie biologique donnée du milieu d'étude désigne le nombre total d'espèces différentes que compte le site ou la catégorie biologique considéré. La richesse relative (SR) (exprimé en %) d'une catégorie biologique (famille ou genre) correspond au rapport de sa richesse spécifique au nombre total d'espèces présentes dans le milieu considéré. L'Abondance (ou effectif) qui désigne le nombre d'individus de l'espèce

dans un milieu ou une catégorie donné. L'Abondance relative (Abr) (exprimée en %) d'un site ou d'une catégorie biologique par rapport à une espèce donnée correspond au rapport du nombre d'individus de cette espèce au nombre total des individus dans le site ou la catégorie considéré. Elle est calculée à partir de la formule :

$$\text{Abr} = \text{Na}/\text{N} \times 100$$

Na= nombre d'individus de l'espèce a ; N= nombre total d'individus récoltés.

La fréquence ou l'occurrence (F) d'une espèce qui est le rapport (exprimé en %), du nombre de relevés ou une espèce est présente sur le nombre total de relevés effectués. Elle est calculée à partir de la formule :

$$\text{F} = \text{Pa}/\text{P} \times 100$$

Pa= nombre de prélèvements où se trouve l'espèce a ; P= nombre total de prélèvements.

L'analyse de l'impact du taux de parasitisme en fonction de la zone et du stade larvaire a été comparée en utilisant le test de Kruskal-Wallis. Quand un effet significatif est détecté, des tests de comparaison multiple sont utilisés pour séparer les modalités en utilisant le logiciel statistique R (version 3.2.3 R., 2016), avec l'ajout du package nparcomp à la version de base. Le test de Tuckey à 5% a été utilisé pour la comparaison des moyennes. Le pourcentage de parasitisme a été calculé en utilisant la formule de McCutcheon (1987).

$$\% \text{Parasitisme} = \frac{\text{Nombre de larves parasitées}}{\text{Nombre de larves récoltées} - \text{Nombre de larves mortes}}$$

V.1.4. Résultats

V.1.4.1. Inventaire des différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera*

Au total sept espèces de parasitoïdes appartenant à la famille des Braconidae (*Meteorus laphygmarum*, *Apanteles* sp., *Cotesia* sp. et *Bracon* sp.), Chalcididae (*Brachymeria marmonti*), Eulophidae (*Euplectrus* sp) et des Tachinidae ont été rencontrées dans la zone des Niayes. La richesse relative est plus élevée chez les Braconidae (57,1%). *Meteorus laphygmarum* est la plus abondante (76%) et la plus fréquente (75,8%) des espèces rencontrées (Tableau 6).

Tableau 6: Qualité structurale des peuplements des différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera* dans la zone des Niayes.

Ordre	Familles	Espèces	Richesse spécifique	Richesse relative %	Abondance	Abondance %	Occurrence %
Hymenoptera	Braconidae	<i>Meteorus laphygmarum</i>			297	76,0	75,8
		<i>Apanteles sp</i>	4	57,1	22	5,6	12,9
		<i>Cotesia sp</i>			1	0,3	1,6
		<i>Bracon sp</i>			2	0,5	1,6
	Chalcididae	<i>Brachimeria marmonti</i>	1	14,3	1	0,3	1,6
	Eulophidae	<i>Euplectrus sp</i>	1	14,3	3	0,8	4,8
Diptera	Tachinidae	<i>Trachinaire</i>	1	14,3	3	0,8	3,2
-	-	<i>Parasitoïdes indéterminés</i>	-	-	62	15,9	45,2
Total			7	100	391	100	100

V.1.4.2. Impact de la zone sur le parasitisme

Le parasitisme de *H. armigera* varie en fonction de la zone. Le taux global du parasitisme est plus important dans les zones centre et sud, avec respectivement 35% et 25,5% des chenilles parasitées, que dans la zone nord (6,32%) ($\chi^2 = 38.38$, $df=2$, $P < 0.001$) (Tableau 7). L'impact de la zone sur le parasitisme a été calculé en fonction des espèces. Chez *M. laphygmarum*, le parasitisme est plus important dans les zones centre (25,5%) et sud (17,3%) que nord (4,1%) ($\chi^2 = 29.72$; $df =2$, $P < 0.001$). Chez *Apanteles sp* ($\chi^2 = 6.22$; $df =2$, $P < 0.05$) et les parasitoïdes indéterminés ($\chi^2 = 6.04$; $df=2$, $P < 0.05$), le parasitisme est plus important dans la zone centre, que nord (Tableau 7). Aucun parasitoïde n'a été observé sur les 58 œufs ramenés du terrain. En moyenne, 22% des chenilles récoltées dans les trois sites ont été parasitées. La richesse spécifique est plus importante dans les zones Sud (5/7) et Centre (4/7) que dans la zone Nord (2/7) (Tableau 8).

Tableau 7: Taux de parasitisme des différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera* en fonction de la zone. NB : Sud : Chenilles récoltées= 719, Chenilles mortes= 144 ; Centre : Chenilles récoltées= 693, Chenilles mortes= 102; Nord: Chenilles récoltées= 553, Chenilles mortes= 146

	Sud	Centre	Nord	Moyenne globale
<i>Meteorus laphygmarum</i>	17,3 a	25,5 a	4,1 b	15,6
<i>Apanteles sp</i>	1,4 ab	3,2 a	0 b	1,5
<i>Cotesia sp</i>	0,0	0,0	0,6	0,2
<i>Brachymeria marmonti</i>	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>Bracon sp</i>	1,5	0,0	0,0	0,5
<i>Euplectrus sp</i>	0,4	0,3	0,0	0,2
<i>Trachinaire</i>	0,0	0,2	0,0	0,1
<i>Parasitoïdes indéterminés</i>	4,9 ab	5,8 a	1,6 b	4,1
Moyenne globale	25,5 a	35 a	6,3 b	22,3

Le long d'une ligne, les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test non paramétrique, Tuckey)

Tableau 8: Chenilles de *H. armigera* parasitées par les différentes espèces de parasitoïdes selon les trois zones des Niays.

NB : Sud : Chenilles s récoltées=719; Centre : Chenilles récoltées= 693; Nord: Chenilles récoltées= 553

	Zones		
	Sud	Centre	Nord
Richesse spécifique	5	4	2

V.1.4.3. Impact de la phénologie sur le parasitisme

.Le stade phénologique n'influe pas sur le taux de parasitisme ($\chi^2 = 27.05$; $df=4$, $P=0,06$) Toutefois, il a été noté que la richesse spécifique des parasitoïdes est plus importante durant les premiers stades (tableau 9).

Tableau 9: Richesse spécifique des parasitoïdes de *H. armigera* par stade phénologique

NB : JAR : [0-20]: Chenilles récoltées= 161; JAR : [21-40]: Chenilles récoltées= 292; JAR : [41-60]: Chenilles récoltées= 805; JAR : [61-80]: Chenilles récoltées= 570; JAR : [81-100]: Chenilles récoltées= 137

	Jour Après Repiquage (JAR)				
	[0-20]	[21-40]	[41-60]	[61-80]	[81-100]
	Végétatif	Début-floraison	Floraison-fructification	Fructification	Récolte
Richesse spécifique	5	3	5	3	1

V.1.4.4. Impact du stade larvaire sur le parasitisme.

Le stade larvaire influe sur le taux de parasitisme de *H. armigera*. Le taux de parasitisme est plus élevé au niveau des premiers stades L1 (26,1%), L2 (30,8%), L3 (32,3%) et L4 (28,5%), qu'au niveau des derniers stades L5 (3,1%) et L6 (0,9%) ($\chi^2 = 50.36$; $df = 5$, $P < 0.001$). L'impact du stade larvaire sur le parasitisme a été calculé en fonction des espèces. Chez *M. laphygmarum*, le parasitisme est plus important dans les premiers stades (L1, L2, L3, L4) ($\chi^2 = 42.77$; $df = 5$, $P < 0.001$) (Tableau 10).

La richesse spécifique est plus importante dans les stades larvaires intermédiaires (L2 à L4) que dans les derniers stades (Tableau 11).

Tableau 10: Parasitisme de *H. armigera* sur tomate selon le stade larvaire

NB : L1 : Chenilles récoltées= 53, Chenilles mortes= 20; L2 : Chenilles récoltées= 182, Chenilles mortes= 45 ; L3 : Chenilles récoltées= 609, Chenilles mortes= 134 ; L4 : Chenilles récoltées= 872, Chenilles mortes= 151 ; L5 : Chenilles récoltées= 209, Chenilles mortes= 37 ; L6 : Chenilles récoltées= 40, Chenilles mortes= 5

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	Moyenne globale
<i>Meteorus laphygmarum</i>	23,8 a	15,8 ab	21,4 a	23,4 a	2,2 b	0,9 b	14,6
<i>Apanteles sp</i>	0,0	5,2	3,0	0,2	0,0	0,0	1,4
<i>Cotesia sp</i>	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
<i>Brachymeria marmonti</i>	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>Bracon sp</i>	0,0	1,8	0,0	1,0	0,0	0,0	0,5
<i>Euplectrus sp</i>	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2
<i>Trachinaire</i>	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Parasitoïdes indéterminés</i>	0 b	6,8 a	7,5 a	3,9 a	0,9 b	0,0 b	3,2
Moyenne globale	26,1 a	30,8 a	32,3 a	28,5 a	3,1 b	0,9 b	20,3

Le long d'une ligne, les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test non paramétrique, Tuckey)

Tableau 11: Richesse spécifique des parasitoïdes de *H. armigera* par stade larvaire

NB : L1 : Chenilles récoltées=53; L2 : Chenilles récoltées= 182; L3: Chenilles récoltées= 609; L4 : Chenilles récoltées= 872; L5 : Chenilles récoltées= 209; L6 : Chenilles récoltées= 40

	Nombre de chenilles parasitées (Min - Max)					
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Richesse spécifique	2	4	4	4	1	1

V.1.5. Discussion

Sept espèces de parasitoïdes larvaires de *H. armigera* ont été observées durant cette étude. Streito et Nibouche (1997), sur coton au Burkina Faso, en ont récoltées 11. *Bracon sp.*, *Brachymeria marmonti* et *Euplectrus sp.* n'ont pas été recensés par ces auteurs. Contrairement à Nibouche *et al.*, (2007) qui ont observé dix espèces de Tachinaires sur tomate en Afrique de l'ouest, nous n'avons pu en observer qu'une seule. Les ennemis naturels de *H. armigera* en Afrique présentent toutefois une grande diversité (Van den Berg *et al.*, 1988). Un total de 83 parasitoïdes ont été identifiés à l'échelle de l'espèce et 93 à l'échelle du genre. La plupart ont été signalés en Afrique de l'ouest et en Afrique de l'est et sont des parasitoïdes larvaires appartenant à la famille des Ichneumonidae, des Braconidae et des Tachinidae.

Peu d'œufs ont été récoltés sur le terrain et aucun d'entre eux n'a été parasité, contrairement à Van den Berg *et al.*, (1993), qui ont enregistré sept espèces de parasitoïdes d'œufs au Kenya sur le tournesol, le maïs, le sorgho et le coton et à Streito et Nibouche (1997), qui ont observé au Burkina Faso deux espèces de *Trichogrammatoidea* sur coton. Au Sénégal la découverte d'une souche autochtone de trichogrammes parasitant naturellement *Rhaguva sp.* déprédateur de chandelle du mil a été faite depuis les années 80 (Couilloud, 1981). Cela indique que des études supplémentaires pourraient contribuer à mieux connaître la biodiversité des parasitoïdes d'œufs de *H. armigera*.

Environ 22% en moyenne des chenilles de *H. armigera* récoltées ont été parasitées. Le parasitisme est plus important dans les zones sud et centre que dans la zone nord. La diversification des cultures dans ces zones pourrait expliquer en partie ce phénomène. Les paysages diversifiés ont plus de potentiel pour la conservation de la biodiversité et le maintien de la fonction de contrôle des ravageurs (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011; 2013; Bianchi *et al.*, 2006, Landis *et al.*, 2000; Maalouly *et al.*, 2013 ; Morandin *et al.*, 2014).

L'espèce *M. laphygmarum* est la plus abondante des espèces rencontrées. Ces résultats confirment ceux de Nibouche *et al.*, (2007) sur coton. Le parasitoïde attaque tous les stades larvaires et est présent dans toutes les zones. Ce parasitoïde a un fort potentiel de régulation avec des taux de parasitisme pouvant aller jusqu'à 25,5% dans la zone centre. *M. laphygmarum* a été décrite par Van den Berg *et al.* (1988) et Van Den Berg et Cock (1993). Selon ces auteurs *M. laphygmarum* est un parasitoïde solitaire. Après la ponte, la larve se développe à l'intérieur de la chenille hôte. Au terme de son développement, la larve sort de

son hôte et tisse un cocon brun à l'extérieur. De cette couleur, il se diffère des *Apanteles* qui tissent un cocon de couleur blanche.

L'évolution du taux parasitisme au cours du stade phénologique de la culture ne montre aucune différence significative. Beaucoup d'études ont montré que les chenilles de *H. armigera* sur tomate se nourrissent préférentiellement sur les fleurs et les fruits après leurs éclosion (Manjunath *et al.*, 1970 ; Jallow *et al.*, 2001; Diatte *et al.*, 2016). Les parasitoïdes sont population-dépendante, dont les réponses comportementales sont induites par les odeurs émises par les chenilles et les substances volatiles des plantes suite aux dégâts mécaniques provoqués par ces chenilles (Yan et Wang, 2006). Nous nous attendions alors à une augmentation des populations de parasitoïdes durant les périodes floraison-fructification. Ces résultats prouvent que le service rendu par les parasitoïdes peut être exploité à tout moment du cycle de la culture. Les parasitoïdes de *H. armigera* sont plus diversifiées au stade végétatif (avant 20 jours après repiquage) et en fin de floraison-début fructification (41-60 jours après repiquage).

Les premiers stades larvaires (L1, L2, L3 et L4) sont plus parasités que les derniers stades (L5 et L6). La sensibilité des différents stades larvaires de la noctuelle ont été étudiée sur différentes espèces de parasitoïdes comme *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae), *Microplitis croceipes* Cresson (Hymenoptera: Braconidae), *Hyposoter didymator* (Thunberg) (Hymenoptera: Ichneumonidae). Il ressort de toutes ces études que les parasitoïdes attaquent préférentiellement les troisièmes et quatrièmes stades larvaires (L3, L4) (Lewis, 1970 ; Mironidis et Savopoulou-Soultani, 2009 ; Saxena *et al.*, 2012). Ce résultat pourrait s'expliquer d'une part par le fait que les chenilles des premiers stades sont moins vigoureuses. De ce fait, elles constitueraient une proie facile pour les adultes des parasitoïdes qui, doivent immobiliser leurs hôtes avant la ponte (Diarra, com. pers.). Par contre les chenilles de derniers stades, par leur habileté et leur agressivité élevée (Sigsgaard *et al.*, 2002; Kakimoto *et al.*, 2003), ne seraient pas facile à être immobilisées par les parasitoïdes. D'autre part, les chenilles des premiers stades sont plus exposées car se retrouvent essentiellement sur les feuilles et les fleurs, alors que les chenilles de derniers stades vivent principalement dans les fruits, donc moins exposées.

V.1.6. Conclusion

Cette étude nous a permis d'identifier les différentes espèces de parasitoïdes associées à *H. armigera* sur tomate et d'étudier l'impact de la zone, de la phénologie de la plante et du stade larvaire sur le taux de parasitisme.

Au total sept espèces de parasitoïdes appartenant à la famille des Braconidae (*M. laphygmarum*, *Apanteles sp.*, *Cotesia sp.* et *Bracon sp.*), Chalcididae (*B. marmonti*) et Eulophidae (*Euplectrus sp.*) et Tachinidae sont rencontrées dans la zone des Niayes. Ces parasitoïdes sont plus importants et plus diversifiés dans les zone centre et sud, avec un parasitisme global de 22%. Aucun parasitoïde n'a été observé sur les 58 œufs ramenés du terrain. L'espèce *M. laphygmarum* est plus abondante et plus fréquente parmi toutes les espèces. Elle est plus importante dans la zone centre. Le stade phénologique n'influe pas sur le taux de parasitisme. Le stade larvaire influe sur le parasitisme de *H. armigera*. Le taux de parasitisme est plus élevé au niveau des premiers stades (L1, L2, L3, L4) qu'au niveau des derniers stades. Le parasitisme de *M. laphygmarum* est plus important au niveau des premiers stades (L1, L2, L3, L4).

Des études approfondies sont nécessaires pour connaître les traits de vie de ces différentes espèces de parasitoïdes. Il serait également important d'étudier les parasitoïdes d'œufs de la noctuelle de la tomate dans cette zone des Niayes. Ces résultats sont importants pour comprendre le potentiel régulateur de la noctuelle de la tomate par ses ennemis naturels et son utilisation dans les stratégies de gestion intégrée du ravageur (IPM).

V.1.7. Remerciements

Ces travaux ont bénéficié du soutien financier de l'AIRD (PEERS-BIOBIO) et du programme de production agricole en Afrique de l'ouest (PPAAO/WAAPP. Nous remercions le Dr. G. Delvare (CIRAD), pour avoir identifié les parasitoïdes, les membres de la Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes (FPMN) ainsi que les étudiants en master Gedah et les doctorants de l'équipe 2PIA de l'UCAD pour l'aide apportée lors des prélèvements sur le terrain. Nous exprimons nos remerciements au Dr E.V. Coly (DPV, Sénégal), pour l'aide apportée dans le déroulement de ce travail.

V.2. Optimisation du service rendu par les parasitoïdes par un raisonnement des pratiques culturelles (Article 5)

Article 5

Influence des pratiques culturelles sur les parasitoïdes de *H. armigera* au Sénégal

Mamadou Diatte, Thierry Brévault, Dienaba Sall-Sy, Karamoko Diarra

En cours

V.2.1. Résumé

Les parasitoïdes de *H. armigera* sont influencés par les pratiques culturelles sur la tomate. Afin d'évaluer l'effet des pratiques culturelles sur le parasitisme de *H. armigera*, 61 parcelles de tomate ont été choisies dans les Niayes. Au total, 1965 chenilles ont été collectées, sur quatre cycles de culture en saison sèche, de 2012 à 2014. Les pratiques culturelles sont recueillies par questionnaire lors des visites auprès des producteurs. Les résultats ont montré que le taux de parasitisme de *H. armigera* diminue lorsque le nombre de traitement insecticide augmente. L'espèce *Apanteles* sp est positivement corrélée à la durée du cycle de la culture de tomate et à l'association culturelle. *B. marmonti* est moins abondant quand il y'a beaucoup de traitement insecticide. *E.* sp est influencée par la densité des herbes dans les parcelles et le type de préparation de sol. Le type de variété influe sur le taux de parasitisme. Il est plus élevé sur les variétés locales et les variétés hybrides par rapport aux variétés fixées. L'espèce *M. laphygmaruma* la même tendance, elle est plus abondante dans les variétés locales par rapport aux autres variétés. Ces résultats permettront de renforcer les stratégies de gestion intégrés de la noctuelle de la tomate.

Mots clés : *H. armigera*, Tomate, Parasitoïdes, pratiques culturelles, Sénégal

V.2.2. Introduction

La noctuelle de la tomate, *H. armigera* est un ravageur très polyphage, capable de coloniser de nombreuses cultures, mais aussi des plantes non cultivées (Nibouche *et al.*, 2007; Brevault *et al.*, 2012). Au Sénégal, l'insecte a été observé sur la tomate, le poivron, l'aubergine, le jakhatou et le chou. Il est le ravageur le plus présent sur tomate, avec une occurrence de 91,8% dans les parcelles suivies et des dégâts allant jusqu'à 28% sur les fruits (Diatte *et al.*, 2016).

Le contrôle du bioagresseur est basé sur les insecticides chimiques (Sam *et al.*, 2014 ; Katroju *et al.*, 2014). Cependant l'utilisation répétée et prolongée des matières actives de ces produits conduit à une perte de sensibilité du ravageur. Cela entraîne une acquisition rapide de la résistance sur certaines familles de pesticides, notamment les pyréthriinoïdes et les organophosphorés (Achaleke *et al.*, 2009 ; Aheer *et al.*, 2009 ; Achaleke et Brévault, 2010).

Il est donc indispensable de mettre en place une stratégie de gestion intégrée des ravageurs pour renforcer les méthodes de lutte existantes. Ceci nécessite non seulement une connaissance des parasitoïdes locaux, de leur distribution mais également de leurs relations avec les pratiques culturales. La mise en place d'un programme de lutte intégrée partiellement basé sur l'efficacité des parasitoïdes peut contribuer à une diminution de l'application des insecticides (Cameron *et al.*, 2006). Il existe plusieurs espèces de parasitoïdes de *H. armigera* en Afrique (Berg *et al.*, 1988; Streito et Nibouche, 1997). Au Sénégal, sept espèces de parasitoïde ont été recensées dans la zone des Niayes (Diatte *et al.*, 2016).

Ce pendant certaines pratiques culturales peuvent influencer le service rendu par ces parasitoïdes. Les parasitoïdes sont particulièrement sensibles aux insecticides chimiques compte tenu du rôle important qu'ils jouent dans l'écosystème pour la mise en œuvre d'une stratégie de lutte intégrée des ravageurs (Shepard *et al.*, 1999).

Ce présent travail avait pour objectif d'évaluer l'effet des pratiques culturales sur le parasitisme de *H. armigera* dans les Niayes au Sénégal.

V.2.3. Matériel et Méthodes

Choix de la zone d'étude

Ce travail a été effectué dans la zone des Niayes au Sénégal. Cette zone s'étend sur une longueur de 180 km bordant la frange maritime du Nord du pays partant de Dakar à Saint-Louis en passant par la bordure Ouest de Thiès et de Louga. Sa largeur varie de cinq à 30 km à l'intérieur des terres. Elle constitue un milieu original caractérisé par des dunes et des dépressions souvent inondées par l'affleurement de la nappe phréatique et par un climat assez favorable aux cultures maraîchères. Inscrites dans la moitié sud de la zone sahélienne, les Niayes sont caractérisées par l'alternance de deux saisons : une saison humide concentrée sur trois mois (juillet, août et septembre) et une saison sèche qui dure les autres neuf mois et durant laquelle se succède deux cycles de cultures maraîchères.

Au total 61 parcelles de tomate ont été sélectionnées durant l'étude. Les parcelles d'études, géo référencées par GPS, étaient distantes l'une de l'autre d'au moins deux kilomètres (figure 34).

V.2.3.1. Collecte des chenilles de *H. armigera* sur le terrain

Elle a été réalisée sur deux années successives, de septembre 2012 à Mai 2014, durant deux cycles de culture réalisées en saison sèche : septembre-janvier et février-mai. La récolte des insectes ont été faites toutes les trois semaines pour une parcelle donnée, depuis le repiquage jusqu'à la première date de récolte. Pour chaque parcelle, les chenilles de *H. armigera* ont été prélevées et ramenées au laboratoire pour le suivi du parasitisme. Au total, 1965 chenilles ont été collectées sur tomate.

V.2.3.2. Suivi du parasitisme au laboratoire

Au laboratoire, les chenilles ont été isolées dans des tubes numérotés. Elles ont été ensuite élevées dans des boîtes contenant du milieu artificiel (Southland Products, USA). Un suivi journalier de chaque chenille est effectué jusqu'à la mort de l'insecte, la sortie de l'adulte ou du parasitoïde. Les parasitoïdes émergés sont comptés et identifiés. L'identification a été faite par le Dr. G. Delvare (CIRAD).

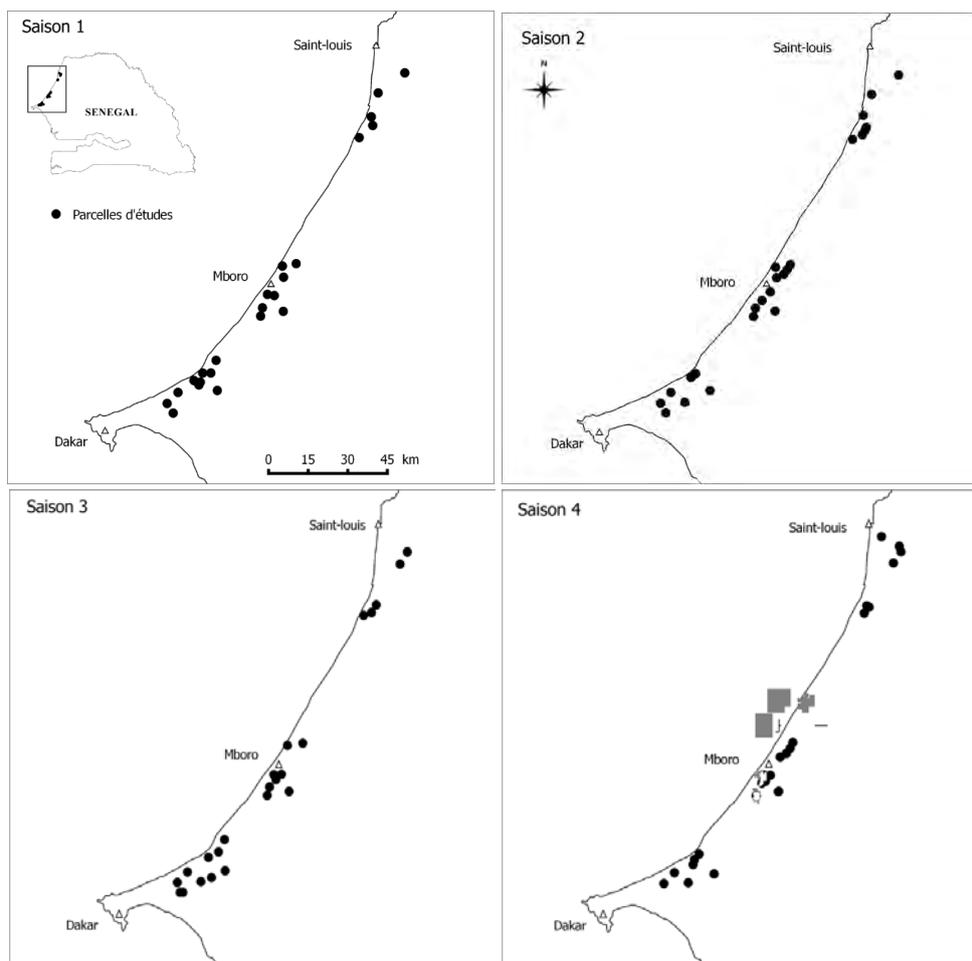


Figure 36: Répartition géographique des parcelles d'étude dans la zone des Niayes.

Phase 1 : oct-12-jan13, n=24 parcelles ; Phase 2 : fev13-mai-13n= 15 parcelles ; Phase 3 : oct-13-jan-14, n= 17 parcelles ; Phase 4 : fév.-14-mai-14, n= 6 parcelles.

V.2.3.3. Préparation du milieu artificiel

Le milieu artificiel est un produit fini en poudre importé des Etats Unies, spécifique à la noctuelle. Au laboratoire, 44g de la poudre ont été mélangées à 250 ml d'eau préalablement chauffées à 100°C. La poudre est progressivement mélangée à l'eau tout en agitant pour éviter la formation d'agrégats. Le mélange est ensuite versé dans un pot et laissé à l'air libre jusqu'à refroidissement avant d'être gardé dans un réfrigérateur.

V.2.3.4. Enquêtes

Parallèlement aux échantillonnages, les données sur les pratiques culturales (précédent cultural, travail du sol, type de sol, mode d'irrigation, variété, traitement insecticide, fertilisation, date de semi, date de repiquage, date de récolte, association culturale) de chaque

parcelle sont notées. Elles ont été recueillies par questionnaire lors de chaque visite auprès des producteurs.

V.2.3.5. Analyses statistiques

Les données recueillies sont enregistrées dans un tableur Excel et analysées avec les logiciels Minitab 17. L'effet des pratiques sur les populations de ravageurs a été déterminé par une analyse de variance (ANOVA) et une corrélation. Une corrélation de Pearson au seuil de significativité de 5% a été effectuée. Pour les ANOVA, les moyennes ont été séparées avec le test de Tukey ($P < 0,05$). Préalablement aux analyses, une transformation de type $\log_{10}(x+1)$ a été appliquée aux données pour garantir la normalité des distributions et l'égalité des variances.

V.2.4. Résultats

Les pratiques culturales de la tomate ont une influence sur le parasitisme de *H. armigera* dans les Niayes au Sénégal (Tableau 12 ; Tableau 13; Figures 35).

Le taux de parasitisme de *H. armigera* est négativement corrélé au nombre de traitements des insecticides de synthèse. L'espèce *Apanteles sp* est positivement corrélée à la durée du cycle de la culture de tomate et à l'association culturale. *B. marmonti* est négativement corrélée au nombre de traitement insecticide (Tableau 12). *Euplectrus sp* est influencée par la densité des herbes dans les parcelles et le type de préparation de sol (Tableau 12 et 13). Les insecticides naturels (Neem, Bt) n'ont aucun effet sur le parasitisme.

Le type de variété influe sur le taux de parasitisme global de *H. armigera* et sur le taux de parasitisme causé par *M. laphygmarum*. Le taux de parasitisme global est significativement plus élevé sur les variétés locales et les variétés hybrides par rapport aux variétés fixées (dl=2 ; $F=6,866$; $P=0,002$). L'espèce *M. laphygmarum* a la même tendance, elle est plus abondante dans les variétés locales par rapport aux autres variétés (dl=2 ; $F=5,657$; $P=0,006$). *Cotesia sp* est influencée par le précédent cultural (dl=5 ; $F=2,475$; $P=0,043$). (Tableau 13, Figure 35). Les autres pratiques culturales n'ont aucune influence sur le parasitisme.

Aucune relation n'a été notée entre le parasitisme et les différentes familles d'insecticides.

Tableau 12: Interaction entre les pratiques culturales et le parasitisme de *H. armigera* sur tomatodans la zone des Niayes.

Variables	d_herbe/																				
	Di_mer	d_pl/m ²	m ²	Dr_cycle	Dr_Pep	urée	Npk	Nb_tr_ins	tr_pep	Assoc	tr_bio	tr_bin	Parasitisme	<i>Apanteles sp</i>	<i>Bracon sp</i>	<i>Cotesia sp</i>	<i>Euplectrus sp</i>	<i>Tach.</i>	<i>B. marmonti</i>	<i>M. laphygmarum</i>	
Di_mer	1	0,027	0,281*	-0,169	0,146	-0,125	0,199	-0,261*	-0,054	-0,177	-0,122	-0,132	0,018	-0,133	-0,126	-0,127	-0,035	-0,102	0,205	-0,028	
d_pl/m ²	0,027	1	0,102	0,022	0,006	-0,289*	-0,392**	0,057	-0,234	-0,192	-0,186	-0,168	-0,038	0,025	-0,026	-0,110	-0,118	0,095	-0,167	0,070	
d_herbe/ m ²	0,281*	0,102	1	0,254*	0,093	-0,280*	0,164	-0,075	-0,132	0,144	0,060	-0,279*	0,181	0,208	-0,149	0,104	0,284*	0,058	0,104	0,104	
Dr_cycle	-0,169	0,022	0,254*	1	0,213	-0,156	-0,022	0,050	0,028	0,172	0,284*	-0,090	0,165	0,369**	-0,145	0,087	0,000	0,124	0,192	0,132	
Dr_Pep	0,146	0,006	0,093	0,213	1	0,050	-0,042	-0,063	-0,197	-0,015	0,045	-0,021	0,158	-0,073	-0,151	0,047	0,084	-0,159	-0,052	-0,130	
urée	-0,125	-0,289*	-0,280*	-0,156	0,050	1	0,014	0,450***	0,157	0,286*	0,212	0,075	-0,161	-0,113	0,058	-0,065	-0,054	-0,092	-0,188	-0,127	
npk	0,199	0,392**	0,164	-0,022	-0,042	0,014	1	-0,058	0,153	0,106	0,081	-0,047	0,012	-0,126	0,240	-0,082	0,011	-0,117	-0,082	-0,053	
Nb_tr_ins	-0,261*	0,057	-0,075	0,050	-0,063	0,450***	-0,058	1	0,401**	0,308*	0,181	0,170	-0,364**	-0,025	0,116	-0,026	-0,052	-0,087	-0,309*	-0,096	
tr_pep	-0,054	-0,234	-0,132	0,028	-0,197	0,157	0,153	0,401**	1	0,087	0,127	0,259*	-0,045	-0,087	0,134	-0,066	0,125	0,049	-0,066	0,130	
Assoc	-0,177	-0,192	0,144	0,172	-0,015	0,286*	0,106	0,308*	0,087	1	0,239	-0,115	-0,092	0,467***	-0,053	-0,053	-0,084	-0,076	-0,053	0,004	
tr_bio	-0,122	-0,186	0,060	0,284*	0,045	0,212	0,081	0,181	0,127	0,239	1	-0,109	-0,126	-0,058	-0,031	0,075	0,089	-0,045	-0,031	-0,139	
tr_bin	-0,132	-0,168	-0,279*	-0,090	-0,021	0,075	-0,047	0,170	0,259*	-0,115	-0,109	1	0,215	-0,037	0,119	-0,058	-0,043	-0,020	-0,058	0,169	
Parasitisme	0,018	-0,038	0,181	0,165	0,158	-0,161	0,012	-0,364**	-0,045	-0,092	-0,126	0,215	1	0,271*	0,053	-0,039	0,384**	0,083	0,078	0,531***	
<i>Apanteles sp</i>	-0,133	0,025	0,208	0,369**	-0,073	-0,113	-0,126	-0,025	-0,087	0,467***	-0,058	-0,037	0,271*	1	-0,031	-0,031	-0,049	0,040	-0,031	0,290*	
<i>Bracon sp</i>	-0,126	-0,026	-0,149	-0,145	-0,151	0,058	0,240	0,116	0,134	-0,053	-0,031	0,119	0,053	-0,031	1	-0,017	-0,026	-0,024	-0,017	-0,085	
<i>Cotesia sp</i>	-0,127	-0,110	0,104	0,087	0,047	-0,065	-0,082	-0,026	-0,066	-0,053	0,075	-0,058	-0,039	-0,031	-0,017	1	-0,026	-0,024	-0,017	0,005	
<i>Euplectrus sp</i>	-0,035	-0,118	0,284*	0,000	0,084	-0,054	0,011	-0,052	0,125	-0,084	0,089	-0,043	0,384**	-0,049	-0,026	-0,026	1	-0,038	-0,026	0,048	
<i>Tach.</i>	-0,102	0,095	0,058	0,124	-0,159	-0,092	-0,117	-0,087	0,049	-0,076	-0,045	-0,020	0,083	0,040	-0,024	-0,024	-0,038	1	-0,024	0,543***	
<i>B. marmonti</i>	0,205	-0,167	0,104	0,192	-0,052	-0,188	-0,082	-0,309*	-0,066	-0,053	-0,031	-0,058	0,078	-0,031	-0,017	-0,017	-0,026	-0,024	1	0,054	
<i>M. laphygmarum</i>	-0,028	0,070	0,104	0,132	-0,130	-0,127	-0,053	-0,096	0,130	0,004	-0,139	0,169	0,531***	0,290*	-0,085	0,005	0,048	0,543***	0,054	1	

N= 61 parcelles : Di_mer=Distance à la mer ; d_pl/m²= densité plants/m² ; d_herbe/m² = densité herbe/m² ; Dr_cycle=Durée du cycle de la culture ; Dr_Pep= Durée de la pépinière ; urée= Application Urée ; npk= Application d'engrais minérale ; Nb_tr_ins= Nombre traitement insecticides durant la culture ; tr_pep= Nombre traitement insecticides durant la pépinière ; Assoc= Association culturale ; tr_bio= Nombre de traitements insecticides biologiques ; tr_bin= Nombre traitement insecticides binaire ; Parasitisme=pourcentage de chenilles parasitées. *Apanteles sp*= % de chenilles parasitées par *Apanteles sp* ; *Bracon sp*= % de chenilles parasitées par *Bracon sp* ; *Cotesia sp*= % de chenilles parasitées par *Cotesia sp* ; *Euplectrus sp*= % de chenilles parasitées par *Euplectrus sp* ; *Tach.*= % de chenilles parasitées par des *Tachinaires* ; *B. marmonti sp*= % de chenilles parasitées par *Brachimeria marmonti* ; *M. laphygmarum*= % de chenilles parasitées par *Meteorus laphygmarum*. (*p< 0,05, **p< 0,01, ***p< 0,001; test de Pearson).

Tableau 13: Effet des variables explicatives sur le parasitisme des chenilles de *H. armigera* dans la zone des Niayes

Variables dépendantes	Parasitisme général						Parasitisme dû à <i>Apanteles sp</i>		Parasitisme dû à <i>Cotesia sp</i>		Parasitisme dû à <i>Euplectrus sp</i>		Parasitisme dû à <i>Brachimeria sp</i>		Parasitisme dû aux <i>Tachinaires</i>		Parasitisme dû à <i>M. laphygmarum</i>	
	dl	F	de P	Valeur F	Valeur de P	F	de P	F	de P	F	de P	F	de P	F	de P	F	de P	
Type de Sol	2	0,187	0,830	0,283	0,755	0,158	0,854	0,158	0,854	0,407	0,667	2,694	0,076	0,867	0,426	1,594	0,212	
Précédent cultural	5	0,813	0,545	1,154	0,344	0,705	0,622	2,475	0,043	0,554	0,735	0,410	0,840	0,447	0,813	0,803	0,553	
Type de préparation du sol	3	2,705	0,054	0,113	0,952	0,208	0,891	0,208	0,891	3,477	0,022	0,208	0,891	1,917	0,137	2,663	0,057	
Variétés	2	6,866	0,002	2,369	0,104	0,779	0,464	1,000	0,375	2,091	0,134	1,000	0,375	1,315	0,277	5,657	0,006	
Type d'irrigation	5	2,695	0,054	0,427	0,735	0,291	0,831	0,291	0,831	1,968	0,129	18,377	0,0001	0,182	0,909	0,735	0,535	

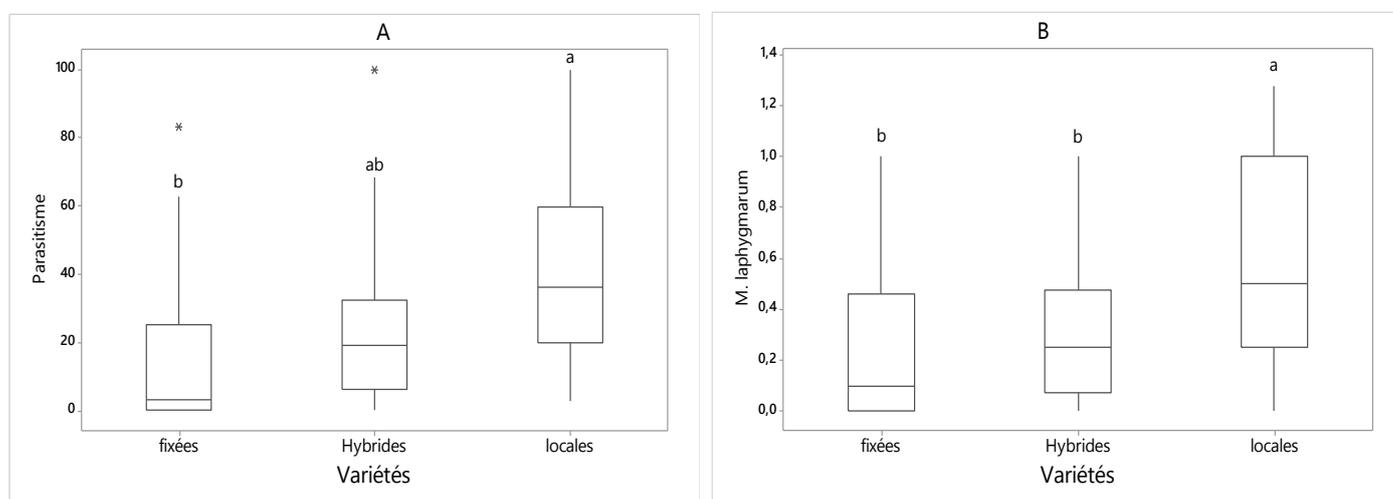


Figure 37: Effet des types de variétés de tomate sur le taux de parasitisme général (A) et sur le parasitisme causé par *M. laphygmarum* (B).

N= 61 parcelles. Les barres qui ont la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (ANOVA, test de comparaison de Tukey).

V.2.5. Discussion

Les résultats montrent que les pratiques culturales, influent sur le parasitisme de *H. armigera* sur tomate dans la zone des Niayes. Le taux de parasitisme global de *H. armigera* et le taux de parasitisme dû à *B. marmorata* diminuent lorsque l'utilisation des insecticides augmente. L'utilisation des pesticides de synthèse est nuisible pour les parasitoïdes (Wang *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2014; Guantai *et al.*, 2015 ; Singh *et al.*, 2015 ; Hussain *et al.*, 2015). Ceux-là entraîne une réduction du service rendu par les parasitoïdes rendant ainsi les attaques par *H. armigera* élevées inversement au nombre de traitement insecticides (Diatte *et al.*, 2016). Les insecticides naturels n'ont aucun effet sur le parasitisme. Ce résultat suggère que ces

insecticides sont propices pour une gestion agro écologiques de la noctuelle de la tomate. Les insecticides naturels agissent efficacement lorsqu'ils ont ingérés par les ravageurs et ne sont pas nocifs pour les parasitoïdes (Liu *et al.*, 2005 ; Walker *et al.*, 2007 ; Singh *et al.*, 2015 ; Tunca *et al.*, 2016).

L'espèce *Apanteles* sp est positivement corrélée à la durée du cycle de la culture de tomate et à l'association culturale. La régulation de *H. armigera* par *Apanteles* sp serait plus efficace avec les variétés à long cycle. Ce résultat est très intéressant en lutte biologique contre la noctuelle, qui est un ravageur très attaquée par *Apanteles* sp. Ce parasitoïde est le deuxième ennemi de *H. armigera* dans la zone des Niayes avec une occurrence de 6,1% (Diatte *et al.*, 2016). Les associations culturales rendent les parcelles plus complexes et plus diversifiées. Or, les paysages diversifiés détiennent plus de potentiel pour la conservation de la biodiversité et le maintien de la fonction de contrôle des ravageurs (Bianchi *et al.*, 2006 ; Chaplin-Kramer *et al.*, 2011 ; Chaplin-Kramer *et al.*, 2013).

L'espèce *E.* sp est influencée par la densité des herbes dans les parcelles et le type de préparation de sol. La densité des herbes constituerait un abri et un refuge pour cet ectoparasitoïdes. En fait, après attaque, *E.* sp serait très exposé par rapport aux endoparasitoïdes pour être arraché de son hôte avant la fin de son cycle dans les écosystèmes à faible densité d'herbe. En outre les mauvaises herbes permettraient une diversification de l'habitat. La gestion de l'habitat, une forme de conservation de la lutte biologique, est une approche écologique visant à favoriser les ennemis naturels et à améliorer la lutte biologique dans les systèmes agricoles (Landis *et al.*, 2000).

Le type de variété influe sur le taux de parasitisme global de *H. armigera* et sur le taux de parasitisme causé par *M. laphygmarum*. Le taux de parasitisme global est plus élevé sur les variétés locales et les variétés hybrides par rapport aux variétés fixées. L'espèce *M. laphygmaruma* la même tendance, elle est plus abondante dans les variétés locales par rapport aux autres variétés. Les variétés locales seraient plus attractives pour les parasitoïdes de *H. armigera*. *M. laphygmarum*, le parasitoïde de *H. armigera* le plus abondant dans la zone des Niayes avec une occurrence de 80,1% (Diatte *et al.*, 2016), serait plus inféodé aux variétés locales.

Aucune différence n'a été notée entre les différentes familles d'insecticides.

V.2.6. Conclusion

Ce travail a montré que les pratiques culturales de la tomate ont un effet sur le parasitisme de *H. armigera* dans les Niayes au Sénégal. Le taux de parasitisme global de *H. armigera* et le taux de parasitisme dû à *B. marmonti* diminuent lorsque l'utilisation des insecticides augmente. L'espèce *Apanteles sp* est plus abondante sur les variétés à cycle long. Elle est aussi influencée par l'association culturale. *Euplectrus sp* est influencée par la densité des herbes dans les parcelles et le type de préparation de sol.

Le type de variété influe sur le taux de parasitisme global de *H. armigera* et sur le taux de parasitisme causé par *M. laphygmarum*. Le taux de parasitisme global est significativement plus élevé sur les variétés locales et les variétés hybrides par rapport aux variétés fixées. Des études supplémentaires sont nécessaires pour vérifier les interactions qui existent entre les paramètres explicatives. Ces résultats permettront de renforcer les stratégies de gestion intégrés de la noctuelle de la tomate.

V.2.7. Remerciements

Ces travaux ont bénéficié du soutien financier de l'AIRD (PEERS-BIOBIO) et du programme de production agricole en Afrique de l'ouest (PPAAO/WAAPP). Nous remercions le Dr. G. Delvare (CIRAD), pour avoir identifié les parasitoïdes, O. Ndoye et S. Gueye de la Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes (FPMN) ainsi que les étudiants en master Gedah et les doctorants de l'équipe 2PIA de l'UCAD pour l'aide apportée lors des prélèvements sur le terrain. Nous exprimons nos remerciements au Dr. E.V. Coly (DPV, Sénégal), pour l'aide apportée dans le déroulement de ce travail.

V.3. Conclusion du chapitre V

A l'issue de ce chapitre,

Nous avons pu recenser les différentes espèces de parasitoïdes de *H. armigera* dans la zone des Niayes, leur distribution spatio-temporelle et l'effet des pratiques culturales sur ces parasitoïdes.

Au total sept espèces de parasitoïdes sont rencontrées dans la zone des Niayes avec un parasitisme global de 22%.

Ces parasitoïdes sont plus importants et plus diversifiés dans les zone centre et sud. Aucun parasitoïde n'a été observé sur les 58 œufs ramenés du terrain. Le stade phénologique n'influe pas sur le taux de parasitisme. Le stade larvaire influe sur le parasitisme de *H. armigera*. Le taux de parasitisme est plus élevé au niveau des premiers stades (L1, L2, L3, L4) qu'au niveau des derniers stades.

Les pratiques culturales de la tomate ont un effet sur le parasitisme de *H. armigera*. Le taux de parasitisme diminue lorsque l'utilisation des insecticides augmente.

Ce chapitre a montré la capacité des parasitoïdes à réguler les attaques de *H. armigera* et les bonnes pratiques à mettre en œuvre pour une meilleure exploitation des services de ces auxiliaires.

RECOMMENDATIONS

A l'issue de cette thèse quelques recommandations peuvent être formulées pour une gestion efficace de la noctuelle de la tomate et de la mineuse des feuilles de tomate, principaux insectes ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal.

Noctuelle de la tomate :

Il est conseillé de :

- Commencer les traitements dès le début de la floraison et les maintenir jusqu'à la nouaison de tous les fruits
- Appliquer des insecticides naturels (Neem, Bt) pour éviter la résistance et favoriser le service des parasitoïdes
- Cultiver de préférence la tomate en deuxième partie de saison sèche (A partir de février)
- Eviter de cultiver la tomate au bord de la mer
- Favoriser l'arrosage avec les asperseurs ou la lance pour lessiver les chenilles
- Faire durer les plants en pépinière pour plus de vigueur

Mineuse des feuilles de tomate :

Pour une bonne gestion de *T. absoluta*, il est recommandé de :

- Commencer les traitements depuis la pépinière et l'intensifier au début de la nouaison
- Eviter de cultiver la tomate en deuxième partie de saison sèche (février-juin) dans la zone sud des Niayes
- Eviter de cultiver la tomate au bord de la mer pour des problèmes climatiques
- Faire durer les plants en pépinière pour plus de vigueur

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Cette étude avait comme objectif global de proposer des stratégies de gestion durable des ravageurs clés de la tomate dans les périmètres maraichers des Niayes. Il s'agissait de:

- **Identifier les principaux insectes ravageurs de la tomate afin d'établir une carte dynamique de leur distribution spatio-temporelle dans la zone des Niayes**

Les résultats ont montré que la noctuelle de la tomate, *H. armigera*, reste le ravageur le plus important, de par sa prévalence (91,8% dans les parcelles) et par la destruction des jeunes fruits (0-30% des fruits attaqués). Les chenilles peuvent être observées sur feuilles dès le stade végétatif, mais surtout à partir de la floraison. Les dommages commencent dès l'apparition des jeunes fruits et augmentent significativement en cours de fructification. Les dégâts sur fruits sont plus importants en première partie de saison sèche, c'est-à-dire sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. Son incidence ne diffère pas selon la zone des Niayes explorée. La mineuse de la tomate, *T. absoluta* est bien établie dans la zone des Niayes. *T. absoluta* est un ravageur émergent (0-60% de feuilles minées). Elle colonise la moitié des parcelles étudiées (53%) et la distribution est essentiellement concentrée dans la zone sud des Niayes, où des parcelles de production de tomate ont été abandonnées suite à des attaques du ravageur. L'infestation des plants de tomate débute dès le stade végétatif, voire en pépinière, pour atteindre le maximum pendant la période de floraison-fructification. La présence de *T. absoluta* dans la zone sud est particulièrement notée en fin de saison sèche. Pour les parcelles étudiées, aucune relation n'est cependant observée entre les taux d'infestations de *H. armigera* et ceux de *T. absoluta*. L'incidence de *Liriomyza sp.* est importante dans certaines parcelles qui peuvent subir des dégâts importants, avec environ un tiers de feuilles minées en début de cycle. La mouche blanche (*B. tabaci*), est observée dans les parcelles de tomate avec une infestation souvent très élevée.

- **Evaluer l'effet des pratiques culturales sur les ravageurs clés de la tomate dans les Niayes**

L'incidence de *H. armigera* et de *T. absoluta* est plus élevée au niveau des côtes. Plus la densité des plants dans les parcelles est élevée, moins il y a d'attaques dues à *H. armigera* et *T. absoluta*. Plus la vigueur des plants en pépinières est grande, moins il y a d'infestation liée à *H. armigera* et *T. absoluta*. L'infestation due à *T. absoluta* est contrôlée par les traitements insecticides utilisés dans la zone. Aucune corrélation n'est observée entre le nombre de traitements insecticides et les attaques de *H. armigera*. Le type d'irrigation des plants influence sur les infestations de *H. armigera*. Les techniques d'irrigation utilisant les aspersion, les lances, les arrosoirs et les seaux défavorisent la prolifération de *H. armigera*. Le type de

préparation du sol influe sur les infestations de *T. absoluta*. Les infestations sont plus élevées dans les parcelles labourées à la « daba » que dans celles qui sont hersées ou travaillées mécaniquement.

- **Déterminer le potentiel de régulation naturelle de *H. armigera* par les parasitoïdes**

Dans cette partie, nous avons identifié les différentes espèces de parasitoïdes associées à *H. armigera* sur tomate dans la zone des Niayes et étudié l'impact des pratiques culturales sur le taux de parasitisme. Au total sept espèces de parasitoïdes appartenant à la famille des Braconidae (*M. laphygmarum*, *Apanteles sp.*, *Cotesia sp.* et *Bracon sp.*), Chalcididae (*B. marmonti*) et Eulophidae (*Euplectrus sp.*) et Tachinidae sont rencontrées dans la zone des Niayes. Ces parasitoïdes sont plus importants et plus diversifiés dans les zone centre et sud, avec un parasitisme global de 22%. Aucun parasitoïde n'a été observé sur les 58 œufs ramenés du terrain. L'espèce *M. laphygmarum* est plus abondante et plus fréquente parmi toutes les espèces. Elle est plus importante dans la zone centre. Le stade phénologique n'influe pas sur le taux de parasitisme. Le stade larvaire influe sur le parasitisme de *H. armigera*. Le taux de parasitisme est plus élevé au niveau des premiers stades (L1, L2, L3, L4) qu'au niveau des derniers stades. Le parasitisme de *M. laphygmarum* est plus important au niveau des premiers stades (L1, L2, L3, L4). Le taux de parasitisme global de *H. armigera* et le taux de parasitisme dû à *B. marmonti* diminuent lorsque l'utilisation des insecticides augmente. L'espèce *Apanteles sp.* est plus abondante sur les variétés à cycle long. Elle est aussi influencée par l'association culturale. L'espèce *E. sp.* est influencée par la densité des herbes dans les parcelles et le type de préparation de sol. Le type de variété influe sur le taux de parasitisme global de *H. armigera* et sur le taux de parasitisme causé par *M. laphygmarum*. Le taux de parasitisme global est significativement plus élevé sur les variétés locales et les variétés hybrides par rapport aux variétés fixées.

L'ensemble des informations collectées nous ont permis de mieux comprendre les menaces que la production de tomate doit faire face, mais nous ouvrent également des stratégies de gestion basée sur les parasitoïdes et les pratiques culturales.

PERSPECTIVES :

Après ce travail, il serait intéressant d'approfondir les études afin de :

- Réactualiser les paramètres de vie de ces ravageurs clés de la tomate et confirmer le sens de leurs interactions.
- Elargir la recherche sur la gamme d'hôte de *H. armigera* et sa préférence vis à vis de ces plantes-hôtes
- Affiner les interactions qui existent entre les différentes pratiques culturales et la relation précise de chacune d'elles avec les ravageurs
- Etudier la gestion intégrée des autres ravageurs de la tomate comme *Lyriomiza*, les Hemiptères etc.
- Pousser l'inventaire des parasitoïdes de *H. armigera* dans des parcelles non traitées, en particulier sur les parasitoïdes d'œufs de la noctuelle de la tomate
- Reportier les parasitoïdes de *T. absoluta*
- Etudier les traits de vie de ces différentes espèces de parasitoïdes
- Evaluer l'effet de la plante hôte sur le parasitisme de *H. armigera*
- Faire des tests de résistance au laboratoire pour voir l'explication nette du manque de contrôle des insecticides vis-à-vis de *H. armigera*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbes, K., Biondi, A., Zappala, L. Chermiti, B., 2013. Fortuitous parasitoids of the invasive tomato leafminer *Tuta absoluta* in Tunisia. *Phytoparasitica* DOI 10.1007/s12600-013-0341-x.
- Achaleke, J., Brévault, T., 2010. Inheritance and stability of pyrethroid resistance in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Central Africa. *Pest Manag. Sci.* 66, 137–141.
- Achaleke, J., Martin, T., Ghogomu, R.T., Vaissayre, M., Brévault, T., 2009. Esterase-mediated resistance to pyrethroids in field populations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from Central Africa. *Pest Manag. Sci.* 65, 1147–1154.
- Aheer, G.M., Aziz, M.A., Hameed, A., Ali, A., 2009. Evaluation of resistance to different insecticides in field strains of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Punjab, Pakistan. *Entomol. Res.* 39, 159–167.
- Ahmad, M., Arif, M.I., Ahmad, Z., 2003. Susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to new chemistries in Pakistan. *Crop Prot.* 22, 539–544.
- Ahmad, M., Iqbal Arif, M., Ahmad, Z., 1999. Patterns of resistance to organophosphate insecticides in field populations of *Helicoverpa armigera* in Pakistan. *Pestic. Sci.* 55, 626–632.
- Ali, A., Choudhury, R.A., Ahmad, Z., Rahman, F., Khan, F.R. ET Ahmad, S.K. 2009. Some biological characteristics of *Helicoverpa armigera* on chickpea. *Tunisian Journal of Plant Protection* 4: 99-106.
- ANDS (Agence Nationale de la Démographie et de la Statistique), 2013. Situation Économique et Sociale Du Sénégal en 2011. 109pp.
- Attrassi, K., 2015. Study of the Evaluation of Damage Caused By *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelichidae) on Tomato Field in Morocco. *Int. J. Emerg. Trends Sci. Technol.* 2.
- Badaoui, M.I., Berkani, A., Lotmani, B., 2011. Les entomopathogènes autochtones, nouvel espoir dans le contrôle biologique de *Tuta absoluta* Meyrick 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae) en Algérie. *Entomol. Faun.-Faun. Entomol.*
- Barteková, A., Praslička, J., 2006. The effect of ambient temperature on the development of cotton boll-worm (*Helicoverpa armigera* Hübner, 1808). *Plant Protect. Sci.* 42, 135–138.

- Berg, H.V.D., Cock, M.J.W., 1993. Stage-Specific Mortality of *Helicoverpa armigera* in Three Smallholder Crops in Kenya. *J. Appl. Ecol.* 30, 640.
- Bianchi, F., Booij, C.J.H., Tschamtker, T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 1715–1727.
- Biondi, A., Chailleux, A., Lambion, J., Han, P., Zappalà, L., Desneux, N., 2013. Indigenous natural enemies attacking *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in southern France. *Egypt. J. Biol. Pest Control* 23, 117.
- Biondi, A., Desneux, N., Siscaro, G., Zappala, L., 2012. Using organic-certified rather than synthetic pesticides may not be safer for biological control agents: selectivity and side effects of 14 pesticides on the predator *Orius laevigatus*. *Chemosphere* 87, 803-812.
- Blancard, D., 2012. *Maladies de la tomate : connaître et maîtriser les maladies et les ravageurs*. Ed. INRA, Paris. 232p.
- Bottrell, D.R., 1979. *Integrated pest management*. xv 120 pp.
- Boualem, M., Allaoui, H., Hamadi, R., Medjahed, M., 2012. Biologie et complexe des ennemis naturels de *Tuta absoluta* à Mostaganem (Algérie). *EPPO Bull.* 42, 268–274.
- Brévault, T., Sylla, S., Diatte, M., Bernadas, G., Diarra, K., 2014. *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae): A New Threat to Tomato Production in Sub-Saharan Africa. *Afr. Entomol.* 22(2), 441–444.
- Brevault, T., Beyo, J., Nibouche, S., Vaissayre, M., 2002. La résistance des insectes aux insecticides.
- Brevault, T., Nibouche, S., Achaleke, J., Carrière, Y., 2012. Assessing the role of non-cotton refuges in delaying *Helicoverpa armigera* resistance to Bt cotton in West Africa. *Evol. Appl.* 5, 53–65.
- Brown, J. K., Frohlich, D. R., Rosell, R. C., 1995. The sweet-potato or silver leaf whiteflies: Biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex. *Annual Review of Entomology* 40, 511–534.

- Camara, M., Mbaye, A.A., Noba, K., Samb, P.I., Diao, S., Cilas, C., 2013. Field screening of tomato genotypes for resistance to Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) disease in Senegal. *Crop Prot.* 44, 59–65.
- Camara, M., Mbaye, A.A., Samba, S.A.N., Gueye, T., 2013. Evaluation de la virose du jaunissement et de l'enroulement en cuillère des feuilles de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) sur divers cultivars au Sénégal. *Afr. Netw. Sci. Technol. Inst. ANSTI Réseau Afr. d'Institutions Sci. Technol. RAIST* 12, 91.
- Cameron, P.J., Walker, G.P., Herman, T.J.B., Wallace, A.R., 2006. Incidence of the introduced parasitoids *Cotesia kazak* and *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) from *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in tomatoes, sweet corn, and lucerne in New Zealand. *Biol. Control* 39, 375–384.
- Chailleux, A., Bearez, P., Pizzol, J., Amiens-Desneux, E., Ramirez-Romero, R., Desneux, N., 2013. Potential for combined use of parasitoids and generalist predators for biological control of the key invasive tomato pest *Tuta absoluta*. *J. Pest Sci.* 86, 533–541.
- Chailleux, A., Desneux, N., Seguret, J., Khanh, H.D.T., Maignet, P., Tabone, E., 2012. Assessing European egg parasitoids as a mean of controlling the invasive South American tomato pinworm *Tuta absoluta*.
- Chaplin-Kramer, R., de Valpine, P., Mills, N.J., Kremen, C., 2013. Detecting pest control services across spatial and temporal scales. *Agric. Ecosyst. Environ.* 181, 206–212.
- Chaplin-Kramer, R., O'Rourke, M.E., Blitzer, E.J., Kremen, C., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecol. Lett.* 14, 922–932.
- Chen, Q., Lu, F.P., Xu, X.L., Lu, H., 2011. Relationships between abam-ectin resistance and the activities of detoxification enzymes in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in: 2011 International Conference on Agricultural and Biosystems Engineering, Am-Sterdam, Netherlands. *Advances in Biomedical Engineering*. pp. 136–139.
- Choudourou D.C., Agbaka, A., Adjakpa, J.B., Koutchika, R.E., Adjalian, E.J.N., 2012. Inventaire préliminaire de l'entomofaune des champs de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la Commune de Djakotomey au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4):1798–1804.

- Cissé, I., Fall, S.T., Badiane, M., Diop, Y.M., Diouf, A., 2006. Horticulture et usage des pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. Inst. Sénégal. Rech. Agric. 1–9.
- Cissé, I., Tandia, A.A., Fall, S.T., Diop, E.H.S., 2003. Usage incontrôlé des pesticides en agriculture périurbaine : cas de la zone des Niayes au Sénégal. Cah. Agric. 12, 181–186.
- Collingwood, E.F., Bourdouxhe, L. Defranc, M., 1984. Les principaux ennemis des cultures maraîchères du Sénégal. 2e ED. CDH, Dakar, 95 p.
- Collingwood, E.F., Bourdouxhe, L., 1980. Trials with Decamethrin for the Control of *Heliothis armigera* on Tomatoes in Senegal. Int. J. Pest Manag. 26, 3–7.
- Coly, E.V., Bordat, D., Letourmy, P., 1993. Incidence of damage by *Liriomyza trifolii* to kidney bean and tomato yields in Senegal., in: *Liriomyza*. Proceedings. Mission de Cooperation Phytosanitaire, pp. 87–92.
- Coly, E.V., Seck, P.A., Mbaye, A.A., 2005. Les productions horticoles. Bilan Rech. Agric. Agroaliment au Sénégal. Institut sénégalais de recherches agricole.
- Couilloud, R., 1981. Lutte biologique à l'aide d'Hyménoptères parasites du genre *Trichogramma* contre certains Lépidoptères ravageurs dans les systèmes de cultures sahéliens = Biological control with hymenopteran parasites of the genus *Trichogramma* of some lepidopteran pests in sahelian crop systems.
- 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. Bull. Entomol. Res. 89, 201–207.
- Czepak, C., Albernaz, K.C., Vivan, L.M., Guimarães, H.O., Carvalhais, T., 2013. First reported occurrence of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. Pesqui. Agropecuária Trop. 43, 110–113.
- Czosnek, H., Laterrot, H., 1997. A worldwide survey of tomato yellow leaf curl viruses. Arch. Virol. 142: 1391-1406.
- D'Hondt, M.D., Russo, M., 1985. Tomato yellow leaf curl in Senegal. J. Phytopathol. 112, 153–160.

Delatte, H., Dalmon, A., Rist, D., Soustrade, I., Wuster, G., Lett, J.M., Goldbach, W.R., Peterschmitt, M., Reynaud, B., 2003. Tomato yellow leaf curl virus can be acquired and transmitted by *Bemisia tabaci* (Gennadius) from tomato fruit. *Plant Dis.* 87(1): 1297-1300.

Desneux, N., Luna, M.G., Guillemaud, T., Urbaneja, A., 2011. The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*, continues to spread in Afro-Eurasia and beyond: the new threat to tomato world production. *J. of Pest Sci.* 84:403-408.

Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K.A.G., Burgio, G., Arpaia, S., Narvaez-Vasquez, C.A., Gonzalez-Cabrera, J., Ruescas, D.C., Tabone, E., Frandon, J., Pizzol, J., Poncet, C., Cabello, T., Urbaneja, A., 2010. Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *J. of Pest Sci.* 83:197-215.

Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J.M., 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology* 52: 81–106.

Diallo, M.D., Ngamb, T., Tine, A.K., Guisse, M., Ndiaye, O., Saleh, M.M., Diallo, A., Diop, A., Guisse, A., 2015. Caractérisation agropédologique des sols de mboltime dans la zone des niayes (Sénégal). *Agron. Afr.* 27, 57 – 67.

Diarra, K., Mbodj, I., Niang, Y., Kooyman, C., 2010. Utilisation de *Paecilomyces lilacinus* (Champignon nématocide) comme méthode de remplacement pour la lutte contre les nématodes de la tomate, en vue d'une production durable dans les zones urbaines et périurbaines (Dakar, Sénégal), in: *International Symposium on Urban and Peri-Urban Horticulture in the Century of Cities: Lessons, Challenges, Opportunitites* 1021. pp. 433–444.

Diatte, M., Brévault, T., Sylla, S., Tendeng, E., Sall-Sy, D., Diarra, K., 2016. Arthropod pest complex and associated damage in field-grown tomato in Senegal. *Int. J. of Tropic. Ins. Sci.* accepted.

Diatte, M., Brévault T., Sall-Sy, D., Diarra, K., 2016. Parasitoid control of the tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera*, in farmer fields in Senegal. *Jol. of economic Entomol.* Submitted.

Dobson, H., Cooper, J., Manyangarirwa, W., Karuma, J., Chiimba, W., 2002. Integrated vegetable pest management: safe and sustainable protection of small-scale brassicas and tomatoes. 179.

DPS, (Direction de la prévention de la Statistique) (2003). Situation économique et sociale du Sénégal. (DPS), p. 197p.

Ekesi, S., Chabi-olaye, A., Subramanian, S. Borgemeister, C., 2011. Horticultural Pest Management and the African Economy: Successes, Challenges and Opportunities in a Changing Global Environment. *Acta Horticulturae* 911: 165-183

EPPO/CABI, 1997. *Helicoverpa armigera*. In: Quarantine Pests for Europe, 2nd edn, pp. 289–294. CAB International, Wallingford (GB).

EPPO, 2006. Distribution maps of Quarantine Pests. *Helicoverpa armigera*. www.eppo.org/QUARANTINE/insects/Helicoverpa_armigera/HELIAR_map.htm.

EPPO, 2009. *Tuta absoluta* found on *Phaseolus vulgaris* in Sicilia (IT). No 8 EPPO Reporting Service: 16 pp

EPPO, 2015. PQR-EPPO database on quarantine pests (available online). <http://www.eppo.int>

Ereyra, P.C., Sánchez, N.E., 2006. Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotrop. Entomol.* 35, 671–676.

Estoup, A., Guillemaud, T., 2010. Reconstructing the routes of invasion: what for, how and so what? *Molecular Ecology* 19: 4113-4130.

Fall, A.S., Fall, S. T., Cisse, I., Badiane, A.N., Diao, M.B., Fall, C.A., 2001. Caractérisation de la zone des Niayes. In *CITES Horticoles en Sursis? L’Agriculture Urbaine les Grandes Niayes au Sénégal*. IDRC.

Fall, S.T., Fall, A.S., Cissé, I., Badiane, A., Fall, C.A., Diao, M.B., 2000. Intégration horticulture-élevage dans les systèmes agricoles urbains de la zone des Niayes (Sénégal). *Bull. APAD*.

FAO, 2015. FAOSTAT database.

FAO, 2012. Growing greener cities in Africa. First status report on urban and peri-urban horticulture in Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 116 pp.

FAO, 2013. FAOSTAT database. Available online at: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.

Fatma, Z., Pathak, P.H., 2011. Food plants of *Helicoverpa armigera* (Hübner) and extent of parasitism by its parasitoids *Trichogramma Chilonis* Ishii and *Campoletis chloridae* Uchida- a field study. *Int J Entomol* 2, 31–39.

Ferracini, C., Ingegno, B.L., Navone, P., Ferrari, E., Mosti, M., Tavella, L., Alma, A., 2012. Adaptation of Indigenous Larval Parasitoids to *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Italy. *J. Econ. Entomol.* 105, 1311–1319.

Firempong, S., Zalucki M.P., 1990. Host Plant-Selection by *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera, Noctuidae)-Role of Certain Plant Attributes. *Aust. J. Zool.* 37(6):675–683.

Firempong, S., Zalucki, M., 1989. Host Plant-Selection by *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera, Noctuidae) - Role of Certain Plant Attributes. *Aust. J. Zool.* 37, 675–683.

Gómez Valderrama, J., Villamizar, L., 2013. Baculovirus: Hosts and specificity. *Rev. Colomb. Biotecnol.* 15, 143–155.

Grzywacz, D., Rossbach, A., Rauf, A., Russella, D.A., Srinivasan, R. Shelton, A.M. 2010. Current control methods for diamondback moth and other brassica insect pests and the prospects for improved management with lepidopteran-resistant Bt vegetable brassicas in Asia and Africa. *Crop Protection* 29: 68–79.

Guantai, M.M., Ogol, C., Salifu, D., Kasina, J.M., Akutse, K.S., Fiaboe, K.K.M., 2015. Differential effects of pesticide applications on *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) and its parasitoids on pea in Central Kenya. *J. Econ. Entomol.* 108, 662–671.

Gunning, R.V., Moores, G.D., Devonshire, A.L., 1998. Insensitive Acetylcholinesterase and Resistance to Organophosphates in Australian *Helicoverpa armigera*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 62, 147–151.

Hanafi, A., 2000. La mouche blanche et le virus des feuilles en cuillère de la tomate (TYLC). Transfert de technologie en Agriculture. Bulletin Mensuel d'Information et de Liaison du PNTTA N° 73, Rabat, Maroc: MADREF/DERD, 4 p.

Hardwick, D.F. 1965. The corn earworm complex. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 40, 1-247.

Heath, J.; Emmet, A.M., 1983. The moths and butterflies of Great Britain and Ireland. Vol. 10. Noctuidae and Agaristidae, pp. 296-301. Harley Books, Colchester, Royaume-Uni.

Huat, J., David-Benz, H., 2000. La tomate d'industrie au Sénégal: performances de la production et enjeux pour la filière. Legoupil JC Dancette C Godon P Maïga IM Ndiaye KM Ed Pour Un Dév. Durable Agric. Irriguée Dans Zone Soudano-Sahél. PSIWECARD-CORAF. 2000, 167–87.

Huat, J., 2006. Facteurs limitatifs du rendement de la tomate industrielle en périmètres irrigués au Nord Sénégal. Cah. Agric. 15, 293–300.

Hussain, D., Ali, H., Qasim, M., Khan, J., 2015. Insecticidal Susceptibility and Effectiveness of *Trichogramma chilonis* as Parasitoids of Tomato Fruit Borer, *Helicoverpa armigera*. Pak. J. Zool. 47, 1427–1432.

James, B., Atcha-ahowe, C., Godonou, I., Baimey, H., Goergen, H., Sikirou, R. Toko, M. 2010. Integrated pest management in vegetable production: a guide for extension workers in West Africa. International Institute of tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 120 pp.

Kakimoto, T., Fujisaki, K., Miyatake, T., 2003. Egg Laying Preference, Larval Dispersion, and Cannibalism in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 96, 793–798.

Katroju, R.K., Cherukuri, S.R., Vemuri, S.B., 2014. Bio-efficacy of insecticides against fruit borer (*Helicoverpa armigera*) in Tomato (*Lycopersicon esculentum*). Int. J. Appl. Biol. Pharm. Technol. 5, 239–243.

Kranthi, K. R., Jadhav, D.R., Wanjari, R.R., Shakir Ali, S., Russell, D., 2001. Carbamate and organophosphate resistance in cotton pests in India, 1995 to 1999. Bull. Entomol. Res. 91, 37–46.

Landis, D.A., Wratten, S. D., Gurr, G.M., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annu. Rev. Entomol. 45, 175–201.

Larrain, P., 1992. Plagas en cultivos bajo plástico. IPA La Platina 73, p. 41-52.

Lewis, W.J., 1970. Study of Species and Instars of Larval *Heliothis* Parasitized by *Microplitis croceipes*. J. Econ. Entomol. 63, 363–365.

- Li, X.-F., Yu, H., Zhang, C.-X., Chen, H., Wang, D., 2014. *Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus orf81 is a late gene involved in budded virus production. Arch. Virol. 1–12.
- Lietti, M.M.M., Botto, E., Alzogaray, R.A., 2005. Insecticide resistance in Argentine populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Neotrop. Entomol. 34, 113–119.
- Liu, X., Zhang, Q., Zhao, J.-Z., Cai, Q., Xu, H., Li, J., 2005. Effects of the Cry1Ac toxin of *Bacillus thuringiensis* on *Microplitis mediator*, a parasitoid of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. Entomol. Exp. Appl. 114, 205–213.
- Maalouly, M., Franck, P., Bouvier, J.-C., Toubon, J.-F., Lavigne, C., 2013. Codling moth parasitism is affected by semi-natural habitats and agricultural practices at orchard and landscape levels. Agric. Ecosyst. Environ. 169, 33–42.
- Mabbett, T. H., Nachapong, M., 1983. Some aspects of oviposition by *Heliothis armigera* pertinent to cotton pest management in Thailand. Int. J. Pest Manag. 29(2):159–165.
- Mailafiya, D.M., Degri, M.M., Maina, Y.T., Gadzama, U.N., Galadima, I.B., 2014. Preliminary Studies on Insect Pest Incidence on Tomato in Bama, Borno State, Nigeria.
- Mane, P.N., Rathod, P.K., Balode, K.L., Deshmukh, S.N., Chakravarthy, A.K., Verghese, A., 2013. Efficacy of microbials and botanicals against *Helicoverpa armigera* (Hubner) in Sunflower., in: Current Biotica. Current Biotica, pp. 241–245.
- Manjunath, T.M., Phalak, V.R., Subramanian, S., 1970. First records of egg parasites of *Heliothis armigera* (Hubn.) (Lep.: Noctuidae) in India. Tech. Bull. Commonw. Inst. Biol. Control 111–115.
- Martin T, Chandre F, Ochou OG, 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., Hala-N’Klo, F., Vassal, J.-M., Vaissayre, M., 2000. Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), in West Africa. Pest Manag. Sci. 56, 549–554.

- Matthews, M., 1991. Classification of the Heliothinae. Bulletin of the Natural Resources Institute No.44. Natural Resources Institute, Chatham, Royaume-Uni.
- Messiaen, C.M., Rouxel, F., Blancard, D., Lafon, R., 1991. Les maladies des plantes maraîchères. [En ligne]. 3e éd Paris. www.agrisenegal_com Tomate.mht.
- Mironidis, G.K., Kapantaidaki, D., Bentila, M., Morou, E., Savopoulou-Soultani, M., Vontas, J., 2013. Resurgence of the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* in northern Greece associated with insecticide resistance. Insect Sci. 20, 505–512.
- Mironidis, G.K., Savopoulou-Soultani, M., 2009. Development, survival and growth rate of the Hyposoter didymator–*Helicoverpa armigera* parasitoid–host system: Effect of host instar at parasitism. Biol. Control 49, 58–67.
- Momanyi, G., Maranga, R., Sithanatham, S., Agong, S., Matoka, C.M., Hassan, S.A., 2012. Evaluation of persistence and relative toxicity of some pest control products to adults of two native trichogrammatid species in Kenya. BioControl 57, 591–601.
- Morandin, L.A., Long, R.F., Kremen, C., 2014. Hedgerows enhance beneficial insects on adjacent tomato fields in an intensive agricultural landscape. Agric. Eco. Env. 189, 164–170.
- Moreira, C., Schiffers, B., Haubruge, E., 2002. Caractérisation de la résistance au Sénégal d'*Helicoverpa armigera* Hübner (Lépidoptère, Noctuidae) par bioessai et méthodes moléculaires. Parasitica 58.
- Moriones, E., Navas-Castillo, J., 2000. Tomato yellow leaf curl virus, an emerging virus complex causing epidemics worldwide. VirusRes. 71: 123-134.
- Naika, S. De jeud, J.V.L., De jeffau, M., Hilmi, M et Vandam, B., 2005. La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed Wageningen, Pays bas. 105p.
- Ndiaye, O., Diallo, A., Matty, F., Thiaw, A., Fall, R.D., Guisse, A., 2012. Caractérisation des sols de la zone des Niayes de Pikine et de Saint Louis (Sénégal). Int. J. Biol. Chem. Sci. 6, 519–528.
- Nemati Kalkhoran, M., Naseri, B., Rahimi Namin, F., Kouhi, D. 2013. Life table parameters and digestive enzymes activity of *Helicoverpa armigera* (Lep.: Noctuidae) on different tomato cultivars. Journal of Entomological Society of Iran. 33 : (2).

- Netscher, C., 1970. Les nématodes parasites des cultures maraîchères au Sénégal. Cah. ORSTOM Sér. Biol. 11, 209–229.
- Neuenschwander, P., Murphy, S.T., Coly, E.V., 1987. Introduction of exotic parasitic wasps for the control of *Liriomyza trifolii* (Dipt., Agromyzidae) in Senegal. Int. J. Pest Manag. 33, 290–297.
- Ngom, S., Seydou, T., Thiam, M.B., Anastasie, M., 2012. Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. Synthèse Rev. Sci. Technol. 25, 119–130.
- Ngowi, A.V.F., Mbise, T.J., Ijani, A.S.M., London, L. Ajayi, O.C. 2007. Pesticides use by smallholder farmers in vegetable production in Northern Tanzania. Crop Prot. 26: 1617–1624.
- Nguessan K.P., 1986. Epidémiologie et mécanismes de résistance de l'enroulement du gombo. Rapport de stage. Abidjan, Côte d'Ivoire: Ecole Nationale des Sciences Agronomiques (ENSA), 32 p.
- Niassy, S., Diarra, K., Niang, Y., Niang, S., Pfeifer, H.R., 2010. Effect of organic fertilizers on the susceptibility of tomato *Lycopersicon esculentum*: Solanaceae to *Helicoverpa armigera* Lepidoptera: Noctuidae in the Niayes area Senegal. Res. J. Agric. Biol. Sci. 6(6):708–12.
- Nibouche, S. 1998. *Helicoverpa* (=Heliiothis) *armigera* (Hubner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae, Heliiothinae). Montpellier: CIRAD-CA. 51p.
- Nibouche, S., Poitout, S., 1994. Cycle évolutif de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) dans l'ouest du Burkina Faso: biologie, écologie et variabilité géographique des populations = Life history of *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) in Western Burkina Faso: biology, ecology and geographic variability of populations.
- Nibouche, S., Guerard, N., Martin, P., Vaissayre, M., 2007. Modelling the role of refuges for sustainable management of dual-gene Bt cotton in West African smallholder farming systems. Crop Prot. 26, 828–836.
- Nye, I., 1982. The nomenclature of Heliiothis and associated taxa (Lepidoptera; Noctuidae): past and present. In Reed W. (ed) Proceedings of the workshop on Heliiothis management. ICRISAT, Patancheru. Inde, 3-8.

PAN/IPEN, 2008. Interdiction de l'endosulfan dans les pays du sahel en Afrique de l'ouest. 55. www.ipen.org/ipenweb/documents/.../rap%20endosulfan_french.pdf.

Pereyra, P.C., Sánchez, N.E., 2006. Effect of two solanaceous plants on developmental and population parameters of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Neotrop.Entomol.* 35, 671–676.

Pfeiffer, D.G., Muniappan, R., Sall, D., Diatta, P., Diongue, A., Dieng, E.O., 2013. First Record of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) in Senegal. *Fla. Entomol.* 96, 661–662.

Pogue, M. G., 2004. A New Synonym of *Helicoverpa zea* (Boddie) and Differentiation of Adult Males of *H. zea* and *H. armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae: Heliiothinae). *Annals of the Entomological Society of America*. [En ligne]. 97 : 6. 1222-1226.

Poitout, S., 1972. *Helicoverpa armigera* Hb. In *Traité d'Entomologie Appliquée à l'agriculture*. BALACHOWSKI A. S. 2 (2), 1431-1445.

Polston, J. E., Anderson, P.K., 1997. The emergence of whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the western hemisphere. *Plant Dis.* 81 (12), 1358-1369.

Qayyum, M.A., Waqas Wakil, Arif, M.J., Sahi, S.T., 2015. *Bacillus thuringiensis* and Nuclear polyhedrosis virus for the enhanced bio-control of *Helicoverpa armigera*. *Int. J. Agric. Biol.* 17, 1043–1048.

Sam, G.A., Osekre, E.A., Mochiah, M.B., Kwoseh, C., 2014. Evaluation of Insecticides for the Management of Insect Pests of Tomato, *Solanum lycopersicon* L. *J. Biol. Agric. Healthc.* 4, 49–57.

Saxena, H., Ponnusamy, D., Asif Iquebal, M., 2012. Seasonal parasitism and biological characteristics of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae)—a potential larval ectoparasitoid of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in a chickpea ecosystem. *Biocontrol Sci. Technol.* 22, 305–318.

Seplyarsky, V., Weiss, M., Haberman, A., 2010. *Tuta absoluta* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae), a new invasive species in Israel. *Phytoparasitica* 38, 445-446.

Shahina, F., Tabassum, K.A., Habib, M.A., 2014. Potential of EPN in management of cotton bollworms in Pakistan. *Pak. J. Nematol.* 32, 85–90.

Sigsgaard, L., Greenstone, M.H., Duffield, S.J., 2002. Egg cannibalism in *Helicoverpa armigera* on sorghum and pigeonpea. *BioControl* 47, 151–165.

Singh, K., 2013. Seasonal abundance of fruit borer, *Helicoverpa armigera* (Hubner) and its impact on marketable fruit production in tomato, *Lycopersicon esculentum* (Mill.). *Agric. Sci. Dig.- Res. J.* 33, 247–252.

Singh, N.K., Agrawal, N., Mishra, P.K., Singh, S., 2015. Effect of chemical insecticides, bio-pesticides and botanicals on parasitization and emergence of *Trichogramma chilonis* (Ishii)-an egg parasitoid of lepidopteran pests. *J. Exp. Zool. India* 18, 437–440.

Siqueira, H.Á.A., Guedes, R.N.C., Picanço, M.C., 2000. Insecticide resistance in populations of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Agric. For. Entomol.* 2, 147–153.

Smith, O.B., CIRAD (Organization), 2004. Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone enjeux, concepts et méthode. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement ; Centre recherches pour le développement international, Paris; Ottawa.

Streito, J.C., Nibouche, S., 1997. First observations on the parasitoids associated with lepidopterous pests of cotton in Burkina Faso. *Entomophaga* 42, 543–557.

Sylla, S., Brévault, T., Bal, A.B., Tendeng, E., Sow, A., Diatte, M., Desneux, N., Diarra, K., 2016. Rapid spread and damage to tomato crops of the invasive pest, *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae), in Senegal. *Plos one*. Submitted.

Tiemtore, C.B., 2007. Rôle des planteshôtes dans le maintien de la sensibilité de *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera : Noctuidae) aux toxines du coton Bt au Burkina Faso. [En ligne]. 36. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Gestion Intégrée Des Ressources Naturelles, Système De Production. Option : Protection des végétaux. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (U.P.B).

Toguebaye, B.S., 1981. Etude de l'infestation expérimentale d'*Heliothis armigera* hubner, 1808 (lepidoptere, noctuidae) par *Nosema manierae* n. sp. microsporidie parasite de *Chilo zacconius blezenski*, 1970 (lepidoptere, pyralidae). 261. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de 3ème cycle de parasitologie, pathologie et relations ecophysiologiques, Université des Sciences et Techniques du Languedoc.

Torres, J.B., Faria, C.A., Evangelista, W.S., Pratisoli, D., 2001. Within-plant distribution of the leaf miner *Tuta absoluta* (Meyrick) immatures in processing tomatoes, with notes on plant phenology. *Int. J. Pest Manag.* 47(3):173–78.

Tunca, H., Tath, S., Moran, H.H., Ozkan, C., 2016. Effects of some botanical insecticides on the egg parasitoid *Trichogramma pintoi* voegele (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Fresenius Environ. Bull.* 25, 429–443.

Umeh, V.C., Kuku, F.O., Nwanguma, E.I., Adebayo, O.S., Manga, A.A., 2002. A survey of the insect pests and farmers' practices in the cropping of tomato in Nigeria. *Tropicultura* 20, 181–186.

Urbaneja, A., Gonzales-cabrera, J., Arno, J. Gabarra, R., 2012. Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin. *Pest Management Science* 68: 1215-1222.

USDA-APHIS, 2013. Federal import quarantine order for host materials of tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick). http://wwwaphisusdagov/import_export/plants/plant_imports/

Van Den Berg, H., Cock, M.J.W., 1993. African bollworm and its natural enemies in Kenya. 51 p.

Van den Berg, H., Cock, M.J.W., Oduor, G.I., Onsongo, E.K., 1993. Incidence of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies on smallholder crops in Kenya. *Bull. Entomol. Res.* 83, 321–328.

Van den Berg, H., Cock, M.J.W., Oduor, G.I., Onsongo, E.K., 1993. Incidence of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies on smallholder crops in Kenya. *Bull. Entomol. Res.* 83, 321–328.

Van den Berg, H., Waage, J.K., Cock, M.J.W., 1988. Natural enemies of *Helicoverpa armigera* in Africa. a review. 81 pp.

Van der Valk, H., Everts, J.W., 2003. Directives sur le Criquet pèlerin 6. Précautions d'usage pour la santé humaine et l'environnement. FAO. 49 p.

Vassal, J.M., Vaissayre, M., Martin, T., 1997. Decrease in the susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Hübner)(Lepidoptera: Noctuidae) to pyrethroid insecticides in Côte d'Ivoire. *Resist. Pest Manag.* 9, 14–15.

- Walker, G.P., Cameron, P.J., MacDonald, F.M., Madhusudhan, V.V., Wallace, A.R., 2007. Impacts of *Bacillus thuringiensis* toxins on parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) of *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biol. Control* 40, 142–151.
- Wang, Y., Chen, L., An, X., Jiang, J., Wang, Q., Cai, L., Zhao, X., 2013. Susceptibility to selected insecticides and risk assessment in the insect egg parasitoid *Trichogramma confusum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *J. Econ. Entomol.* 106, 142–149.
- Wang, Y., Wu, C., Cang, T., Yang, L., Yu, W., Zhao, X., Wang, Q., Cai, L., 2014. Toxicity risk of insecticides to the insect egg parasitoid *Trichogramma evanescens* Westwood (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Manag. Sci.* 70, 398–404.
- Wychuys, K., Bordat, D., Desneux, N., Fuentes Quintero, L.S., 2013. *Tuta absoluta* (Meyrick) 2 : Un ravageur invasif des cultures maraîchères pour l’Afrique sub-saharienne
- Wyckhuys, K., Bordat, D., Desneux, N., Fuentes Quintero, L.S., 2012. *Tuta absoluta* (Meyrick) : un ravageur invasif des cultures maraîchères pour l’Afrique sub-saharienne. Nouveaux ravageurs & maladies invasives, COLEACP-PIP. 12 pp.
- Yan, Z.-G., Wang, C.-Z., 2006. Similar attractiveness of maize volatiles induced by *Helicoverpa armigera* and *Pseudaletia separata* to the generalist parasitoid *Campoletis chloridae*. *Entomol. Exp. Appl.* 118, 87–96.
- Zalucki, M.P., Darglish, G., Firempong, S., Twine, P., 1986. The biology and ecology of *Heliothis armigera* (Hubner) and *Heliothis punctigera* Wallengren (Lepidoptera, Noctuidae) in Australia - what do we know. *Australian Journal of Zoology* 34, 779-814.
- Zappala, L., Bernardo, U., Iondi, A., Cocco, A., Deliperi, S., Delrio, G., Giorgini, M., Pedata, P., Rapisarda, C., Garzia, G.T., Siscaro, G., 2012. Recruitment of native parasitoids by the exotic pest *Tuta absoluta* (Meyrick) in Southern Italy. *Bulletin of Insectology* 65: 51-61.
- Zappala, L., Biondi, A., Alma, A., Al-Jboory, I.J., Arno, J., Bayram, A., Chailleux, A., El-Arnaouty, A., Gerling, D., Guenaoui, Y., 2013. Natural enemies of the South American moth, *Tuta absoluta*, in Europe, North Africa and Middle East, and their potential use in pest control strategies. *J. Pest Sci.* 86, 635–647.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Valorisation des résultats

Annexe 1.1. Brévault T, Sylla S, Diatte M, Bernadas G, Diarra K. 2014. *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae): A New Threat to Tomato Production in Sub-Saharan Africa. *Afr. Entomol.* 22(2): 441–444.

***Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae): a new threat to tomato production in sub-Saharan Africa**

T. Brévault^{1,2}, S. Sylla³, M. Diatte³, G. Bernadas² & K. Diarra^{3*}

¹ CIRAD, PERSYST, UPR SCA, Avenue Agropolis, F-34398, Montpellier Cedex 5, France

² BIOPASS, ISRA-IRD-LICAD, Campus de Bel-Air, B.P. 1386, Dakar, Sénégal

³ Département Biologie Animale, Production et Protection Intégrées en Agrosystèmes Horticoles, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, B.P. 5005, Dakar, Sénégal

In sub-Saharan Africa, vegetable crops are an essential component of sustainable development, with a significant contribution to food security and nutritional balance, but also an important source of income for resource-poor growers, especially in urban and peri-urban areas (FAO 2012). However, a major constraint to growing field horticultural crops is the reduction in yield and quality caused by insect pests by direct feeding or as plant disease vectors (James *et al.* 2010; Ekesi *et al.* 2011). Chemical control is the main control strategy implemented by growers to cope with insect pests (Ngowi *et al.* 2007; Grzywacz *et al.* 2010). Extensive and sometimes inappropriate use of chemical insecticides to control insect pests increases production costs and negatively impacts food safety (residues), human health and environment, especially biodiversity and beneficial arthropods (Desneux *et al.* 2007; Biondi *et al.* 2012). The implementation of effective and ecologically-sound integrated pest management (IPM) strategies is needed to develop sustainable vegetable production.

The recent detection of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae),

2006 and has spread throughout the Mediterranean Basin and Europe (Desneux *et al.* 2010), and is now reaching the Middle East (see distribution map at www.tutaabsoluta.com), causing severe damage in open field and greenhouse tomato production (Seplyarsky *et al.* 2010; Desneux *et al.* 2011). Tomato plants may be attacked at any developmental stage. Mines on leaves and bore holes on stems and fruits by larvae negatively affect crop yield and fruit quality. Insecticide spraying is the main method adopted by growers to control *T. absoluta*, but effective control is difficult to achieve because of the endophytic behaviour of larvae and rapid evolution of resistance in field populations (Liotti *et al.* 2005). The main host plant of *T. absoluta* is tomato (*Lycopersicon esculentum* L.), but other cultivated solanaceous plants such as potato (*Solanum tuberosum* L.), eggplant (*S. melongena* L.), pepper and hot pepper (*Capsicum* spp.) are alternative host plants (Wyckhuys *et al.* 2012).

The speed with which *T. absoluta* is spreading through Europe, Asia and Africa suggests that the leafminer will colonize sub-Saharan Africa in the very near future. There is, however, potential for

Annexe 1.2. Diatte M, Brévault T, Sall-Sy D, DiarraK. 2016. Des pratiques culturelles influent sur les attaques de deux ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal. Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(2): 681-693.



Available online at <http://www.ijbcs.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(2): 681-693, April 2016

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>

Des pratiques culturelles influent sur les attaques de deux ravageurs de la tomate dans les Niayes au Sénégal

Mamadou DIATTE^{1,2*}, Thierry BRÉVAULT^{3,4}, Diénaba SALL-SY²
et Karamoko DIARRA¹

¹UCAD, Equipe Production et Protection Intégrées en Agro écosystèmes Horticoles - 2PIA,
Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Sénégal.

²ISRA, Centre pour le Développement Horticole, CDH, Dakar, Sénégal.

³BIOPASS, ISRA-UCAD-IRD, Dakar, Senegal.

⁴CIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France.

*Auteur correspondant ; E-mail: mamadou.diatte@hotmail.fr; Tel.: +221 77 232 49 96

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos sincères gratitude à l'AIIRD (PEERS-BIOBIO) et au programme de production agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP) pour avoir soutenu financièrement cette étude.

Annexe 1.3. Diatte M., Brévault T., Labou B., Sylla S., Ndoye O., Diarra K. 2014. Suivi des ravageurs de la tomate dans la zone des Niayes. Restitution des resultats du projet Biobio (Biodiversité et gestion des bioagresseurs dans les paysages agricoles). FPMN. Zone sud, centre et nord des Niayes, Sénégal.



The image shows the cover of a report. At the top, there are five logos: the University of Cheikh Antoine Diop (UCAD), CIRAD (LA RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT), ISRA, AIRD (Agence), and FPMN. Below the logos is a circular photograph of a green tomato with a small insect on it. To the right of the photo, the title 'Suivi des ravageurs de la tomate dans la zone des Niayes' is written in white text on a green background. Below the title, it says 'Par Mamadou DIATTE, Doctorant à l'UCAD'. At the bottom left, the date '18 janvier 2014' is written. At the bottom center, it says 'Première Restitution du projet Biobio'. At the bottom right, there is a small number '1'.

Annexe 1. 4. Fiche technique de gestion de la noctuelle de la tomate

Fiche Technique de gestion de *Helicoverpa armigera*

Présentation-Dégâts



C'est un papillon, qui au stade chenille mange l'intérieur des fruits, les feuilles et les fleurs. Les chenilles creusent des galeries dans les fruits. Cela entraîne l'apparition de pourriture qui rend le fruit inconsommable



Biologie-Ecologie

Les larves peuvent être observées sur les feuilles dès le stade végétatif, mais surtout à partir de la floraison. Les dommages commencent dès l'apparition des jeunes fruits et augmentent significativement en cours de fructification. Les dégâts sur fruits sont plus importants en première partie de saison sèche, c'est-à-dire sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. Son incidence ne diffère pas selon la zone des Niayes explorée.

Prévention des dégâts

- Commencer les traitements dès le début de la floraison et les maintenir jusqu'à la nouaison de tous les fruits
- Appliquer des insecticides biologiques (Neem, Bt) pour éviter la résistance et favoriser le service des parasitoïdes
- Cultiver de préférence la tomate en deuxième partie de saison sèche (février-mai)
- Eviter de cultiver la tomate au bord de la mer
- Favoriser l'arrosage avec les asperseurs ou la lance pour lessiver les chenilles
- Faire durer les plants en pépinière

Annexe 1. 5. Fiche technique de gestion de la mineuse de la tomate

Fiche Technique de gestion de *Tuta absoluta*

Présentation-Dégâts



C'est un micro-lépidoptère dont les chenilles attaquent le parenchyme des feuilles (mines), mais sont également capables de creuser des galeries dans les jeunes tiges et dans les fruits.



Biologie-Ecologie

La mineuse de la tomate, peut coloniser plus de la moitié des parcelles d'une zone. Dans la zone des Niayes, la distribution est essentiellement concentrée dans la zone Sud, où des parcelles de production de tomate ont été abandonnées suite à des attaques du ravageur. L'infestation des plants de tomate débute dès le stade végétatif, voire en pépinière, pour atteindre le maximum pendant la période de floraison-fructification. Les attaques sont particulièrement notées en fin de saison sèche.

Prévention des dégâts

- Commencer les traitements depuis la pépinière et l'intensifier au début de la nouaison
- Eviter de cultiver la tomate en deuxième partie de saison sèche (février-juin) dans la zone Sud des Niayes
- Eviter de cultiver la tomate au bord de la mer
- Faire durer les plants en pépinière

ANNEXE 2: Fiches de prélèvement des données**Annexe 2.1. Fiches d'observation des ravageurs**

- Fiche 1 : Observation des Dégâts sur fruits

FICHE TERRAIN**TOMATE**

Date	Code parcelle	N° plant	Stade	Nb fruits verts	Nb fruits mûrs	Nb fruits Ha	Nb chenilles Ha	Nb fruits Tuta	Virose flétrisse. Champ	Autres (préciser)
		1								
		2								
		3								
		4								
		5								
		6								
		7								
		8								
		9								
		10								
		11								
		12								
		13								
		14								
		15								
		16								
		17								
		18								
		19								
		20								
		21								
		22								
		23								
		24								

- Fiche 2 : Observation des dégâts sur feuilles

FICHE TERRAIN

TOMATE

Date N°parc.	N° plant	N° feuille	Nb ad. mouch.	Nb pucer.	Acariens	Mirides	Cicadelles	Nb min. Lirio.	Nb mines <i>Tuta</i>	Nb larv. <i>Tuta</i>	Nb chenilles <i>H. armigera</i>	Autres (préciser)	
	1	1											
		2											
		3											
	2	1											
		2											
		3											
	3	1											
		2											
		3											
	4	1											
		2											
		3											
	5	1											
		2											
		3											
	6	1											
		2											
		3											
	7	1											
		2											
		3											
	8	1											
		2											
		3											
	9	1											
		2											
		3											
	10	1											
		2											
		3											
11	1												
	2												
	3												
...	1												
	2												
	3												
...	1												
	2												
	3												
...	1												
	2												
	3												
...	1												
	2												
	3												
24	1												
	2												
	3												

Résumé

La tomate est l'une des spéculations maraichères les plus cultivées au Sénégal. Elle crée de l'emploi et contribue au développement économique du pays. Cependant, sa production est confrontée aux attaques des ravageurs. Pour les contrôler, les agriculteurs utilisent différentes pratiques dont la plus importante est l'utilisation des insecticides chimiques avec toutes les dérives. Dans le but de proposer des méthodes de gestion intégrée des principaux insectes ravageurs de la tomate, un suivi de 98 parcelles de tomate a été effectué. Les objectifs étaient de : i) Identifier les principaux insectes ravageurs de la tomate dans la zone des Niayes, ii) Etablir une carte dynamique de leur distribution spatio-temporelle, iii) Evaluer l'effet des pratiques culturales sur les ravageurs clés de la tomate dans les Niayes et iv) Déterminer leur potentiel de régulation naturelle par les parasitoïdes. Pour les atteindre, 3 zones (sud, centre et nord) des Niayes, ont été choisies. Le suivi a été effectué sur quatre cycles de culture, d'octobre 2012 à mai 2014. Les insectes ravageurs ou leurs dégâts ont été observés sur 24 plants par parcelle, toutes les trois semaines, du repiquage à la récolte. Les chenilles récoltées ont été élevées au laboratoire. Les pratiques culturales sont recueillies par questionnaire lors des visites auprès des producteurs. Les résultats montrent que *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera : Noctuidae), est le ravageur le plus important, par la destruction des jeunes fruits. Son incidence ne diffère pas selon la zone explorée. Les dégâts sont plus importants en première partie de saison sèche, sur le premier cycle de culture suivant immédiatement la fin de la saison des pluies. La mineuse de la tomate, *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae), est un ravageur émergent, présent de façon prépondérante en fin de saison sèche, dans la zone sud des Niayes. La noctuelle de la tomate est attaquée par sept espèces de parasitoïdes larvaire avec un parasitisme de 22%. L'espèce *Meteorus laphygmarum* (Hymenoptera : Braconidae) est la plus abondante et la plus fréquente. Le taux de parasitisme est plus important dans les zones centre et sud que dans la zone nord. Les pratiques culturales influent les attaques de ces deux ravageurs de la tomate et sur les parasitoïdes de la noctuelle. Ces résultats sont intéressants pour appuyer les stratégies de gestion intégrées des principaux ravageurs de la tomate.

Gestion intégrée des principaux insectes ravageurs de la tomate dans les périmètres maraichers des Niayes au Sénégal

Abstract

The tomato is one of the most vegetables crop cultivated in Senegal. It creates jobs and contributes to economic development. However, its production is facing pest attacks. To control, farmers use different practices. The most important is the use of chemical insecticides with all drift. In order to propose integrated management methods for the main tomato insect pests, 98 tomato patches were monitored. The objectives were to: i) Identify the main insect pests of the tomato in the Niayes area, ii) Establish a dynamic map of their spatio-temporal distribution, iii) Evaluate the effect of cultural practices on key pests of tomatoes in the Niayes and iv) Determine their potential of natural regulation by parasitoids. To reach them, 3 zones (south, center and north) of the Niayes were chosen. The monitoring was done on four crop cycles, from October 2012 to May 2014. Insect pests and their damage was observed on 24 plants per plot every three weeks, from transplanting to harvest. The collected caterpillars were reared in the laboratory. Cultural practices are collected by questionnaire during visits from producers. The results show that *H. armigera*, is the most important pest, considering the destruction of young fruit. Its incidence did not differ between the explored zone. Damage is most important in the first part of the dry season, the first crop cycle immediately following the end of the rainy season. The tomato leafminer, *T. absoluta* is an emerging pest, present predominantly in the late dry season, in the southern zone of the Niayes area. The tomato bollworm is attacked by seven species of larval parasitoids with 22% of parasitism. The *Meteorus laphygmarum* species is the most abundant and the most common. The parasitism rate was higher in the central and southern zone compared to the north. No parasitoid was observed on the 58 eggs brought from field. Cultural practices affect attacks from both pests of tomato and tomato bollworm parasitoids. These results are interesting to support integrated management strategies of the major pests of tomato.

Discipline : Ecologie et Gestion des Ecosystèmes

Mots-clés : *Helicoverpa armigera*, *Tuta absoluta*, ravageurs, tomate, parasitoïdes, pratiques culturales, Gestion intégrée, Niayes, Sénégal
