

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

**ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTE ET
DE L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV)**

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2016

N° d'ordre : 246



THÈSE DE DOCTORAT

Spécialité : Ecologie et Gestion des Ecosystèmes

Présentée par :

Babacar LABOU

**Distribution des populations de la « Teigne » *Plutella xylostella* (L), du
« Borer » *Hellula undalis* (F) et des auxiliaires dans les cultures de chou des
Niayes au Sénégal.**

Soutenue le 06 décembre 2016, devant le Jury composé de :

M. Mbacké SEMBENE	Professeur, UCAD, Sénégal	Président
Dr. Jean- François VAYSSIERES	Chercheur HDR, France	Rapporteur
Dr. Ngor FAYE	Maître de conférence, UCAD, Sénégal	Rapporteur
Dr. Mame Samba MBAYE	Maître de conférence, UCAD, Sénégal	Rapporteur
Dr. Thierry BREVAULT	Chercheur, CIRAD, France	Examineur
Dr. Dominique BORDAT	Chercheur HDR, France	Examineur
Dr. Diénaba Sall SY	Chercheur, ISRA, Sénégal	Examinatrice
M. Karamoko DIARRA	Professeur, UCAD, Sénégal	Directeur

AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Parasitologie du Département de Biologie Animale de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal) sous la direction du Professeur Karamoko DIARRA, Responsable du Master Gestion Durable des Agro-écosystèmes Horticoles et au Laboratoire Biodiversité des Agrosystèmes Horticoles du CIRAD de Montpellier (France) sous la co-direction du Docteur Dominique BORDAT (HDR). Ce travail a bénéficié du soutien financier du projet PEERS et de l'appui des producteurs maraichers de la zone des Niayes.

Je rends grâce au **TOUT PUISSANT**

Je tiens sincèrement à remercier :

M. Karamoko DIARRA, Responsable du master GEDAH, pour son soutien moral, ses conseils, sa gentillesse depuis toujours, et de m'avoir encadré lors de la réalisation de cette thèse. Vos compétences, votre disponibilité, et votre sens d'équipe sont sans nul doute ce qui m'a le plus marqué et qui a intensifié mon admiration envers vous.

Dr. Dominique BORDAT (HDR), Co directeur de la thèse, encadreur et ami, pour son soutien inconditionnel, sa disponibilité et sa générosité manifeste. Votre rigueur scientifique, votre sens du terrain et votre simplicité force l'admiration. Merci pour l'accueil au labo et l'hospitalité chez toi, les BBQ, les petits déj, les tomates séchées, les apéros... Mes remerciements les plus chaleureux vont également à l'endroit de toute ta famille. Merci à Madame BORDAT pour le thé et autres.....

Dr. Thierry BREVAULT, Chercheur au CIRAD, encadreur de la thèse et infatigable bosseur, pour les sorties de terrains sous la canicule, les rendez-vous interminables à l'IRD, l'analyse des données.... Ton appui et ton aide sont inestimables dans la concrétisation de cette thèse.

Dr. Laurence ARVANITAKIS, Entomologiste au CIRAD, pour ton appui, ta compréhension de la personne, ta générosité.... Elle est d'une gentillesse débordante et sa famille est tout autant. Merci pour l'accueil chaleureux, les dîners, les fêtes d'anniversaire, les sites touristiques, les balades à la plage et en voiture avec mon copain Alexandre et son Papa, et merci à ton Papa pour le « livre sacré » Bref un grand merci à tous les membres de votre famille.

Dr. Valérie SOTI : Chercheur en écologie spatiale au CIRAD ; pour son accueil chaleureux à la Maison de la Télédétection (MTD) et de m'avoir initié et formé sur les SIG. Merci pour ta disponibilité, tes conseils et ce sourire permanent à chaque rencontre...

M. Pape Mbacké SEMBENE : Professeur titulaire ; pour son soutien intellectuel et moral, je me rappelle toujours des agréables cours en M2 et de ce jour où vous m'avez informé qu'un master nommé GeDAH est sorti et que vous m'avez souligné son importance... En acceptant de présider mon jury, vous nous redonnez l'occasion, de vous exprimer notre profonde reconnaissance. Nous tenons à vous remercier sincèrement pour tout ce que vous avez fait pour nous depuis nos premiers pas à l'université.

Dr. Jean Francois VAYSSIERS: Chercheur HDR ; C'est pour moi un honneur et un plaisir d'avoir accepté de faire parti de mon jury malgré vos multiples charges. Merci pour la correction intégrale de ce document. Recevez mes remerciements et mon estime.

Dr. Ngor FAYE : Professeur titulaire ; Ta gentillesse et ta simplicité m'ont toujours redonné du courage. Merci d'accepter de juger ce travail, c'est un réel plaisir et une grande fierté pour moi!

Dr. Mame Samba MBAYE : Maître de conférences ; Vous avez accepté avec bienveillance de juger ce travail malgré vos occupations. Merci pour ta disponibilité et ta compréhension!

Dr. Diénaba Sall SY, Chercheur Entomologiste CDH / ISRA. Merci d'accepter de bien vouloir participer à mon jury. C'est un grand honneur pour moi !

Dr Gallo SOW, le grand frère du labo dont nous suivons ses pas jusqu'à présent. Merci pour ton aide inestimable et ta gentillesse.

Mme Rokhaya Senghor DIOUF, Secrétaire au Département de Biologie Animale et à Mr. Michel SARR, Technicien au Laboratoire de Parasitologie.

Toute l'équipe Production et Protection Intégrées en Agroécosystème Horticole du Département de Biologie Animale sous la direction du Pr. Karamoko DIARRA, mes camarades et amis doctorants, aux masters, mes amis, aux agents de sécurité au labo....

Toute l'équipe du Laboratoire de Csiro à Montpellier pour l'accueil et l'intégration....
Mes vifs remerciements aux producteurs maraichers de la zone des Niayes et à Wouri pour les jus de citron glacés sous la canicule (fait brousse)...

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui de près ou de loin ont participé au bon déroulement de ce travail.

Je dédie cette thèse à :

Mes parents : vous m'avez toujours entouré de votre amour et de votre protection. Vous m'avez toujours facilité le passage à travers les obstacles qui se trouvaient à chaque fois sur ma voie. Vous ne m'avez jamais oublié dans vos prières.

Je vous remercie pour tous les sacrifices que vous avez faits pour moi. Sachez que je ne les oublierai jamais.

Mes oncles, mes tantes, mes amis, mes promotionnaires...

Mes frères et sœurs : je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et de ma fraternité. Je prie DIEU pour qu'il vous accorde une longue vie.

Dieynaba Diouf. Qu'ALLAH guide tes pas !

« Et Allah vous a fait sortir des ventres de vos mères, dénués de tout savoir, et vous a donné l'ouïe, les yeux et les coeurs (l'intelligence), afin que vous soyez reconnaissants. »

Verset 78.

Sourate 16: Les Abeilles

« Certes, Allah ne se gêne point de citer en exemple n'importe quoi : un moustique ou quoi que ce soit au-dessus; quant aux croyants, ils savent bien qu'il s'agit de la vérité venant de la part de leur Seigneur; quant aux infidèles, ils se demandent "Qu'a voulu dire Allah par un tel exemple ? ". Par cela, nombreux sont ceux qu'Il égare et nombreux sont ceux qu'Il guide; mais Il n'égare par cela que les pervers. »

Verset 26.

Sourate 2: La Vache

Si le Tout Puissant ne se gêne point de citer en exemple un moustique, il n'est pas raisonnable d'un homme en quête de savoir de minimiser l'étude des insectes.

ALHAMDULILLAH !

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS.....	ii
LISTE DES ARTICLES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES	vi
SOMMAIRE.....	viii

LISTE DES ARTICLES

Article 1: Les principaux insectes ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle dans les Niayes au Sénégal.....	54
Article 2: Répartition spatio-temporelle et impact des parasitoïdes de <i>P. xylostella</i> dans les Niayes au Sénégal.....	75
Article 3: Les assemblages déterminants des parasitoïdes de la teigne des Brassicacées, <i>Plutella xylostella</i> , dans les parcelles de chou d'agriculteurs au Sénégal.....	91
Article 4: Importance de la "Teigne du chou" dans les Niayes au Sénégal : Interrelations avec la température et les cultivars utilisés.....	111
Article 5: Importance des populations du "Borer du chou" <i>Hellula undalis</i> (F.) dans les Niayes au Sénégal : Interrelations avec la température et les cultivars.....	131
Article 6: Premier enregistrement du parasitoïde larvaire <i>Diadegma insulare</i> (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) au Sénégal.....	150

LISTE DES TABLEAUX (hors articles)

Tableau 1: Impact de différents facteurs climatiques sur <i>P. xylostella</i> (Ngouembe 1990).....	13
Tableau 2: Espèces de Brassicacées les plus consommées.....	15
Tableau 3: Parasitoïdes de <i>Plutella xylostella</i> d'après Lim (1985).....	32
Tableau 4: Durée du cycle biologique d' <i>O. sokolowskii</i> à différentes températures (Wang et al. 1999).....	43

LISTE DES FIGURES (hors articles)

Figure 1: Carte de répartition de <i>Plutella xylostella</i> Zalucki et Furlong (2011).....	8
Figure 2: <i>P. xylostella</i> : en haut œufs pondus isolément sur navet (x7). En bas à gauche œufs pondus en groupe sur chou (x8). En bas à droite : galeries creusées par des chenilles endophylles de stade L1 (x7) (Photo: B. Labou).....	9
Figure 3 : Chenilles de <i>P. xylostella</i> : A gauche, stade L2 (x8) caractérisées par une capsule céphalique noire. A droite, stade L4 (x6) (Photo: L. Arvanitakis).....	10
Figure 4: Nymphes de <i>P. xylostella</i> : A gauche, début (x4). A droite, en approche de l'émergence (x8) (Photo: L. Arvanitakis).....	11
Figure 5: Adultes de <i>P. xylostella</i> ; à gauche le mâle (x7) ; à droite la femelle (x6,5) (Photo: D. Bordat)	11
Figure 6: Accouplement de <i>P. xylostella</i> (Photo: D. Bordat).....	12

Figure 7: Cycle de développement de <i>P. xylostella</i> à 20°C (à l'extérieur du cercle) et à 25°C (à l'intérieur du cercle) (valeurs en jours, Salinas, 1986) (dessin : Carpenter, 2005)	14
Figure 8: <i>Brassica rapa</i> var. <i>chinensis</i> communément appelé chou chinois ou pak-choïce sous serre (Photo G. Sow)	16
Figure 9: <i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i> communément appelé Chou-fleur sous serre (Photo G. Sow).....	16
Figure 10: <i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i> communément appelé chou pommé (Photo: B. Labou)	17
Figure 11: Dégâts de <i>P. xylostella</i> : En haut attaques de chenilles sur chou. En bas à gauche dégâts sur jeune plant. En bas à droite : dégâts sur plant âgé. (Photo: D. Bordat)	18
Figure 12: Œufs d' <i>Hellula undalis</i> (x3) (Photo: D. Bordat)	21
Figure 13: Chenilles d' <i>Hellula undalis</i> (x4). (Photo: D. Bordat).....	22
Figure 14: <i>H. undalis</i> , à gauche, chenille trouvée dans des feuilles de radis en décomposition dans un champ après la récolte. A droite, en haut nymphe enfouie, flèche du bas trou de nymphose (Photo : Thèse Sebastian Kalbfleisch)	23
Figure 15: Vue ventrale d' <i>H. undalis</i> mâle et femelle, nymphe (à gauche), imago (à droite) (Source : Thèse Sebastian Kalbfleisch)	24
Figure 16: Accouplement d' <i>Hellula undalis</i> (x4). (Photo: D. Bordat).....	24
Figure 17: Chenilles <i>H. undalis</i> sur <i>C. rutidosperma</i> (à gauche) et sur <i>C. viscosa</i> (à droite) (Photo : Thèse Sebastian Kalbfleisch).....	26
Figure 18: Dégâts d' <i>H. undalis</i> : En haut attaques de chenilles sur chou à gauche sur le bourgeon apical ; à droite chou à plusieurs têtes. (Photo: D. Bordat)	27
Figure 19: Prédateurs : En haut à gauche Formicidae sur chenille (x2) ; à droite Staphylin (Coléoptère) sur œufs (x3) ; En bas à gauche Vespidae (guêpe) sur des chenilles de <i>C. binotalis</i> (x2) ; à droite Hémiptère (Pentatomidae) dévorant une chenille de lépidoptère. (Photo: D. Bordat)	33
Figure 20: Virus : Granulose sur une chenille de <i>P. xylostella</i> (x5). (Photo: D. Bordat).....	34
Figure 21: Bactérie : En haut chenille saine de <i>P. xylostella</i> ; en dessous chenille traitée avec <i>Bacillus thuringiensis</i> (x3). (Photo: D. Bordat)	35
Figure 22: Champignon : <i>Beauveria bassiana</i> sur une chenille de <i>P. xylostella</i> (x3) (Photo: D. Bordat).....	36
Figure 23: Microspora : En haut nymphe saine ; en dessous <i>Nosema</i> sur une nymphe de <i>P. xylostella</i> (x4). (Photo: D. Bordat).....	36
Figure 24: Lutte culturale contre les Trips. (Photo: D. Bordat)	38
Figure 25: <i>Oomyzus sokolowskii</i> ; En haut à gauche : Femelle en oviposition (x5). En haut à droite : Nymphe parasitée (G) et saine (D) de <i>P. xylostella</i> (x4). En bas à gauche : Nymphe parasitée dans son cocon (x3). En bas à droite : Adulte (x5). (Photo: D. Bordat).....	42
Figure 26: <i>A. litae</i> (x8) : sortie de la larve parasite (G), le cocon (C), et la femelle (D).	45
Figure 27: Cocon vide de <i>C. vestalis</i> après émergence de l'adulte (x5). (Photo: D. Bordat)	47
Figure 28: <i>C. vestalis</i> : En haut à gauche : Sortie de la larve (x21). En haut à droite : Formation du cocon (x15). En bas à gauche : Cocon formé (x15). En bas à droite : Femelle (x9). (Photo: D. Bordat)	48
Figure 29: Cycle de développement de <i>C. plutellae</i> à 20°C (Delucchi et al. 1954, modifiée).....	49
Figure 30: <i>Brachymeria</i> sp. parasite de nymphe (x7). (Photo: En ligne)	51
Figure 31: <i>Diadegma insulare</i> : ¹ en train de pondre, ² cocon parasité (G) nymphe saine (D), ³ adulte et cocon vide. (Photo: D. Bordat).....	149

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1.....	6
Etat des connaissances sur les deux ravageurs étudiés	6
I. <i>Plutella xylostella</i> (L.) ou la Teigne des Brassicacées	7
I.1 Statut du ravageur	7
I.2 Biologie et écologie	8
I.3 Plantes hôtes	14
I.4 Dégâts.....	17
II. <i>Hellula undalis</i> (F.) ou « Borer » du chou	19
II.1 Statut du ravageur	19
II.2 Biologie et écologie.....	20
II.3 Plantes hôtes.....	25
II.4 Dégâts	26
III. Les différents moyens de lutte contre ces ravageurs	27
III.1 La lutte chimique	27
III.2 La lutte biologique	29
III.3 Les autres formes de lutte	37
IV. Etude des parasitoïdes de <i>P. xylostella</i> dans les Niayes.....	40
IV.1 <i>Oomyzus sokolowskii</i> (Kurdjumov)	40
IV.2 <i>Apanteles litae</i> (Nixon)	44
IV.3 <i>Cotesia vestalis</i> (Haliday)	46
IV.4 <i>Brachymeria</i> sp.	50
CHAPITRE 2 :.....	52
Les insectes ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle au Sénégal	52
Article 1	54
Les principaux insectes ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle dans les Niayes au Sénégal.....	54
Résumé	55
Introduction	56
Matériel et méthodes	57
Résultats	59
Discussion et conclusion	64
Références	68
CHAPITRE 3.....	73

Répartition spatio-temporelle et assemblage des parasitoïdes de <i>P. xylostella</i>, et leur impact sur les populations de chenilles dans les Niayes du Sénégal.....	73
Article 2	75
Répartition spatio-temporelle et impact des parasitoïdes de <i>P. xylostella</i> dans les Niayes au Sénégal.....	75
Résumé	76
Introduction	76
Matériel et méthodes	78
Résultats	80
Discussion	84
Bibliographie.....	87
Article 3	91
Les assemblages déterminants des parasitoïdes de la teigne des Brassicacées, <i>Plutella xylostella</i>, dans les parcelles de chou d'agriculteurs au Sénégal.....	91
Résumé	92
1. Introduction	93
2 Matériel et méthodes	94
3. Résultats	97
4. Discussion	100
References	104
CHAPITRE 4.....	109
L'influence de la température et des cultivars sur les populations de la « Teigne » et du « Borer » du chou dans les Niayes.....	109
Article 4	111
Importance de la "Teigne du chou" dans les Niayes au Sénégal : Interrelations avec la température et les cultivars utilisés.....	111
Résumé	112
Introduction	113
Matériel et méthodes	114
Résultats	116
Discussion	122
Références	126
Article 5	131
Importance des populations du "Borer du chou" <i>Hellula undalis</i> (F.) dans les Niayes au Sénégal : Interrelations avec la température et les cultivars.....	131
Résumé:	132
Introduction	133
Matériel et méthodes	134

Résultats	136
Discussion	142
Références	144
CHAPITRE 5	148
Un nouveau parasitoïde de <i>P. xylostella</i> pour la faune auxiliaire du Sénégal.	148
Article 6	150
Premier enregistrement du parasitoïde larvaire <i>Diadegma insulare</i> (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) au Sénégal.	150
RECOMMANDATIONS	157
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	160
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	164
ANNEXES	185

INTRODUCTION GENERALE

Au moment où la population urbaine mondiale a dépassé pour la première fois la population rurale, l'approvisionnement en denrées disponibles et saines est l'un des principaux enjeux pour les décennies à venir (Argenti 2010). A l'échelle mondiale, les cultures légumières jouent un rôle primordial dans les programmes de sécurité alimentaire et nutritionnelle (James et al. 2010). La culture des Brassicacées représente une importante ressource alimentaire, avec plus de 70 millions de tonnes produites dans le monde (FAOSTAT, 2013). Cette famille comprend 350 genres dont 3 500 espèces cultivées et sauvages (Warwick et al. 2003) dont le chou représente l'une des plus importantes. L'Afrique ne représente que 5.8% de la production mondiale (FAOSTAT 2013). Au Sénégal, le chou fait parti des légumes les plus cultivés et consommés, de par son cycle relativement court (60-90 jours après repiquage) et la possibilité d'être cultivé toute l'année. Sa culture représente une source importante de revenus et d'emplois pour les populations rurales. En 2013, le Sénégal a produit près de 60.000 tonnes de choux sur une superficie de 3500 hectares (FAOSTAT 2013). Ce pays est le second pays producteur de chou de l'Afrique de l'ouest, après le Niger.

La pression exercée par les bioagresseurs constitue un frein majeur à l'augmentation de la productivité et à l'amélioration de la qualité de la production de chou. La teigne du chou, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera, Plutellidae) et *Hellula undalis* (F.) (Lepidoptera, Pyralidae) représentent parmi les lépidoptères, les principaux ravageurs du chou dans de nombreuses régions du monde.

Cependant au Sénégal, la teigne du chou présente une incidence largement supérieure à celle de l'espèce d'*H. undalis* car elle est présente partout où pousse des plants de choux (Labou et al. 2016 in press). Elle provoque à elle seule des pertes pouvant atteindre plus de 90% (Verkerk and Wright, 1996; Sarfraz et al. 2005 ; Mondédji, 2010). Dans les Niayes (principale zone horticole du Sénégal), les études de Collingwood et al. (1984), Sall-Sy et al. (2001) et Sow et al. (2013), ont montré que *P. xylostella* est un ravageur qui cause des pertes de rendement importantes. C'est une espèce oligophage qui se nourrit exclusivement des plantes de la famille des Brassicacées (ex : Crucifères). Elle est attirée par les composés soufrés appelés glucosinolates, caractéristiques de cette famille végétale. Elle vit essentiellement sur les choux et les autres Brassicacées cultivées (moutarde, colza, navet, etc.), mais on la trouve aussi sur les espèces sauvages (bourse à pasteur, cardamine, ravenelle, etc.) qui peuvent servir de réservoir durant les périodes où les cultures ne sont pas disponibles (Muhamad et al. 1994). Ces composés chimiques constituent des phagostimulants pour les chenilles et des stimulants de l'oviposition chez les femelles (Gupta & Thornsteinson 1960 ; Justus & Mitchel 1996). La

lutte contre cet insecte ravageur peut représenter de 30 à 50% des coûts de production, loin devant la fertilisation (Zalucki et al. 2012).

Le « Borer » du chou *H. undalis* est considéré comme un ravageur majeur sur les Brassicacées dans de nombreux pays, mais peu de données existent sur la littérature sur son écologie (Sivapragasam 1994). La gamme d'hôtes comprend non seulement des plantes cultivées de la famille des Brassicacées, mais aussi de la famille de plantes Capparidacées, contenant des substances végétales secondaires spécifiques, la moutarde, les huiles ou les glucosinolates (Sivapragasam et Aziz, 1992; Sivapragasam 1994; Sivapragasam et al. 1994; Sivapragasam et Chua, 1997a; Rejesus et Javier, 1997). Ces composés stimulent l'oviposition surtout avec des plantes hôtes telles que la moutarde chinoise, le chou et le radis (Mewis 2001 ; Mewis et al. 2002). La spécificité de ses attaques, visant le cœur du chou, fait de lui un redoutable ravageur très difficile à éradiquer.

D'autres insectes ravageurs tels que les lépidoptères noctuidae *Chrysodeixis chalcites* (Esper) et *Helicoverpa armigera* (Hübner), *Crocidolomia binotalis* Zeller (Pyralidae), ainsi que les hémiptères (pucerons et mouches blanches) causent des pertes énormes sur chou dans la zone des Niayes. Face à ces ravageurs, l'emploi des insecticides de synthèse constitue la principale méthode de lutte à laquelle les agriculteurs font recours. Cependant, leur utilisation a montré certaines limites : (i) impact sur la biodiversité, dont l'élimination des ennemis naturels (Furlong et al 2012) ; (ii) impact sur la santé des utilisateurs et des consommateurs (résidus de pesticides), (iii) augmentation des coûts de production (Chilcutt & Tabashnik 1997) ; (iv) apparition de souches résistantes (Hooks & Johnson 2003 ; Macharia et al. 2005 ; Sarfraz & Keddie 2005 ; Shelton et al. 2007 ; Huang et al. 2010).

Si la production du chou au Sénégal a connu une croissance annuelle de 10% ces dix dernières années, le rendement est resté stable (FAOSTAT, 2013). Ce fait, associé aux problématiques de la lutte chimique, pousse à penser que des méthodes alternatives de luttes efficaces contre ces ravageurs, sont plus que nécessaires. C'est dans cette optique que l'on a effectué cette étude visant à répondre à cette situation plus ou moins critique.

Parmi ces méthodes alternatives, la lutte intégrée qui associe la lutte chimique utilisée de façon raisonnée à d'autres types de lutte (variétale, agronomique, biologique...), reste la plus adéquate à notre niveau. Elle permet de lutter contre les ravageurs en abaissant leurs niveaux de population en dessous du seuil économique de nuisibilité tout en tenant compte des facteurs extérieurs (environnement, entomofaune). Aujourd'hui, les programmes de gestion intégrée des populations de ravageurs, notamment contre *P.xylostella*, sont basés

essentiellement sur la lutte biologique qui constitue une alternative durable à la lutte chimique classique (Hill & Foster 2003). Cependant cette lutte n'est pas chose aisée à l'encontre de tous les ravageurs du chou. Elle dépend parfois de la biologie de l'insecte qui rend la lutte biologique, surtout avec les parasitoïdes, compliquée. Par exemple, le « Borer » du chou bénéficie d'une protection naturelle contre ses antagonistes en s'enfonçant dans la pomme ou au niveau du pétiole des feuilles (Sivapragasam & Chua, 1997b). En plus avec une très faible gamme de parasitoïdes (Mewis 2001), cette lutte antiparasitaire est quasi nulle dans des pays tels que le Sénégal. Parmi les travaux des scientifiques, seuls quelques efforts ont été faits pour contrôler *H. undalis* avec des méthodes de lutte alternatives, mais il n'y a aucune tentative connue pour la lutte biologique (Waterhouse & Norris, 1989).

Par contre pour la « Teigne » du chou, plusieurs agents de lutte comme les virus, les bactéries, les champignons, les prédateurs et les parasitoïdes ont été recensés (Vayssières et al, 2000 ; Delvare 2004), mais les parasitoïdes sont de loin les plus utilisés, les plus étudiés et les plus efficaces dans certaines conditions.

Outre la région du Cap en Afrique du sud où l'on trouve une grande diversité de parasitoïdes et un taux de parasitisme proche de 90% (Smith & Villet 2004), la teigne reste difficilement contrôlable sur le continent Africain. Dans les autres régions, notamment en Afrique de l'Ouest, la faune parasitaire associée à *P. xylostella* est relativement peu nombreuse. L'efficacité des parasitoïdes y est peu satisfaisante et les taux de parasitisme sont faibles (Lörh & Kfir 2004).

Il est cependant nécessaire d'étudier les phénomènes qui impactent les populations de ravageurs afin d'établir des concepts de lutte écologique basée sur une association efficace de la lutte par entomophages avec l'application de biopesticides.

Le but de cette thèse est de proposer une gestion efficace des ravageurs du chou notamment *P. xylostella* et *H. undalis* dans les Niayes du Sénégal. Cependant, comme toute étude, il est difficile de vouloir répondre dans l'immédiat à une question si cruciale qu'est la gestion des bioagresseurs. De ce fait, nous nous sommes fixés comme objectifs ; (i) de réactualiser l'inventaire des principaux ravageurs du chou afin d'évaluer leurs dégâts et leur incidence spatio-temporelle dans les Niayes au Sénégal; (ii) d'identifier les différentes espèces de parasitoïdes de *P. xylostella* et leur impact sur les populations de chenilles; (iii) d'évaluer l'influence de la température et des cultivars sur les principaux ravageurs afin d'établir une lutte durable et écologique contre ces espèces.

Ce mémoire est présenté sous forme de cinq chapitres répondant aux objectifs dont nous nous sommes arrêtés au préalable, suivis d'une partie recommandation indiquant une gestion plus ou moins raisonnée des ravageurs. Ces chapitres sont les suivants : (i) Etat des connaissances sur les deux ravageurs étudiés, (ii) les principaux insectes ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle au Sénégal, (iii) : les différentes espèces de parasitoïdes de *P. xylostella* et leur impact sur les populations de chenilles, (iv) l'influence de la température et des cultivars de chou sur : *P. xylostella* et *H. undalis*, (v) et en fin la mise en évidence d'une nouvelle espèce de parasitoïde de *P. xylostella* pour la faune auxiliaire du Sénégal.

CHAPITRE 1

Etat des connaissances sur les deux ravageurs étudiés

I. *Plutella xylostella* (L.) ou la « Teigne » des Brassicacées

I.1 Statut du ravageur

- **Systématique**

La teigne du chou, *Plutella xylostella* (Linné, 1758) a acquis son nom actuel (Moriuti 1986), après avoir subi plusieurs changements de nom. Sa position systématique actuelle est :

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre: Lepidoptera

Famille : Plutellidae

Genre: *Plutella*

Espèce : *Plutella xylostella*



Elle représente actuellement l'espèce la plus connue de son genre à cause de ses dégâts considérables sur les cultures des Brassicacées partout dans le monde. Le genre comprend plus d'une douzaine d'espèces dont la majorité se nourrit d'espèces sauvages (Balachowsky 1966 ; Smith & Sears 1984).

- **Situation géographique et migration**

Aujourd'hui, l'espèce *P. xylostella* est répartie partout dans le monde (Chu 1986 ; Talekar & Shelton 1993). C'est un insecte cosmopolite (Kfir 1998 ; Sorribas 1999) répandue dans le monde grâce au développement des cultures de Brassicacées. Cependant la connaissance de son origine exacte a fait l'objet de plusieurs études. En effet selon Hardy (1938), Balachowsky (1966) et Talekar & Shelton (1993), *P. xylostella* serait originaire de la région méditerranéenne. Dans cette même région serait originaire les principales Brassicacées, mais aussi de nombreuses espèces de parasitoïdes ont été recensées dans cette zone (Pichon 2004). Il faut noter que son origine reste controversée, car Kfir (1998) en s'appuyant sur la présence d'un grand nombre d'espèces de parasitoïdes et de Brassicacées endémiques, situe l'origine de cette espèce en Afrique du sud. (Fig.1)

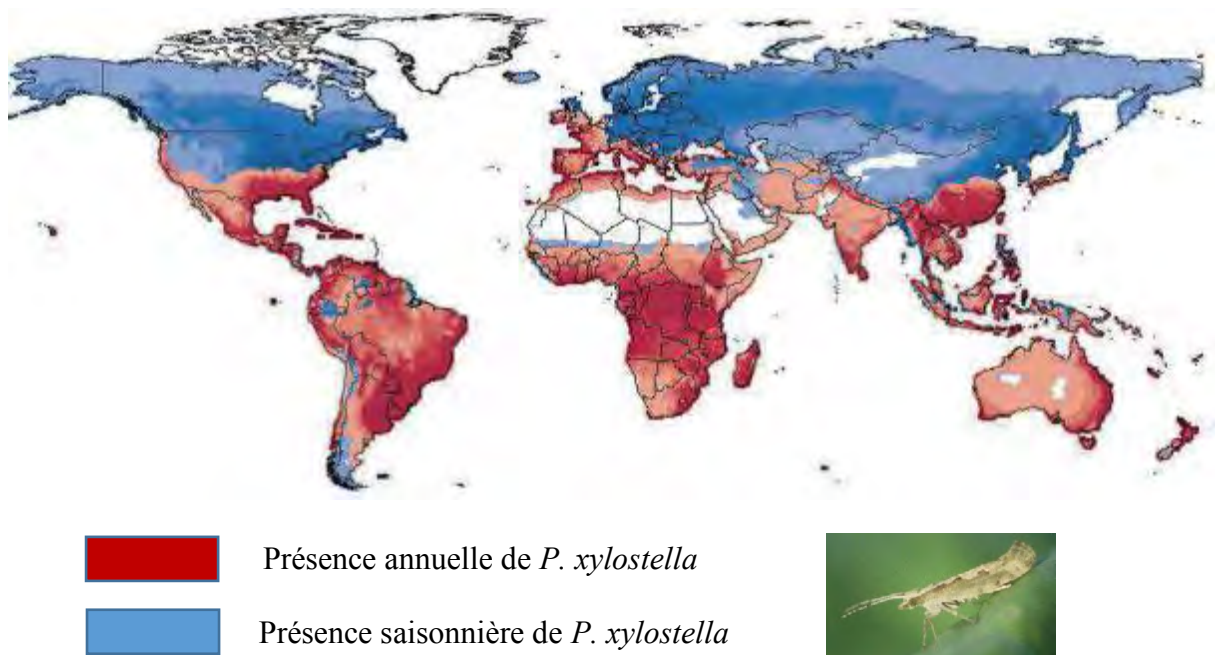


Figure 1: Carte de répartition de *Plutella xylostella* Zalucki et Furlong (2011)

L'importante répartition de *P. xylostella* est due à sa grande capacité migratoire. En effet, aidée par les vents, elle est capable de franchir des distances de l'ordre de 3000 km et même à travers les océans (Chu 1986). Cette extraordinaire capacité de migration, fait qu'on la retrouve régulièrement au Canada ou au nord du Japon (Hokkaido), où elle ne peut survivre en hiver, mais où les vents du sud la ramènent chaque printemps (Honda et al. 1992). Sa présence dans une zone ne se résume pas pour autant uniquement à sa migration. Par exemple en Malaisie, la présence de ce ravageur est due à une introduction de variétés de choux originaires de Chine, d'Inde et d'Europe (Ooi 1986). Actuellement l'espèce *P. xylostella* est présente partout dans le monde grâce à une capacité d'adaptation à une large gamme de températures. D'après Honda (1992), elle peut se développer à des températures allant de 5 à 35 °C et survie à une exposition temporaire entre -9, -14 et -19 °C, respectivement pour les adultes, les chenilles et les nymphes.

I.2 Biologie et écologie

• Les stades pré-imaginaux

Dans la nature la femelle pond ses œufs sur la face inférieure des feuilles de chou (Robertson 1939 ; Balachowsky 1966) à raison de 150 à 300 œufs (Pichon 1999). Au laboratoire cette ponte se fait le plus souvent sur la face supérieure des feuilles (Chua & Lim 1979). Pondus en

petits groupes ou isolement, les œufs de couleurs jaunâtres mesurent environ 500 μ m et sont de formes elliptiques (Fig._2). Cependant sa capacité de ponte est fortement influencée par des facteurs externes notamment la température, la qualité de la nourriture pendant les stades larvaires, la densité des populations etc.



Figure 2: *P. xylostella* : en haut œufs pondus isolément sur navet (x7). En bas à gauche œufs pondus en groupe sur chou (x8). En bas à droite : galeries creusées par des chenilles endophylles de stade L1 (x7) (Photo: B. Labou)

Le développement larvaire passe par quatre stades. Le stade L1 a lieu tout juste après l'apparition des larves néonates issues de l'éclosion. Ces larves se dispersent ensuite et sont identifiées grâce aux galeries sous formes de « virgules » qu'elles creusent dans le parenchyme des feuilles. Elles sont mineuses ou endophylles pendant ce stade qui dure 3 à 4 jours (Birot 1998).

Le stade L2 présente des larves avec une capsule céphalique noirâtre mesurant entre 2 à 3 mm de long. De couleur jaune ivoire, les larves sortent de leurs galeries et se nourrissent de l'épiderme des feuilles formant des «fenêtres» caractéristiques de l'espèce (Chua & Lim1979). A ce stade elles sont très actives et se suspendent automatiquement à un fil de soie dès qu'on les touche.

Au stade L3 la capsule noire devient brun clair à brun foncé et la chenille de couleur variable jaune brun à vert foncé parfois, présente une pilosité beaucoup plus visible. Elle cause beaucoup plus de dégâts aux cultures au cours de ce stade.

Au dernier stade, les chenilles présentent un dimorphisme sexuel qui s'illustre par une tache blanche sur le cinquième segment abdominal et révèlent la présence de gonades visibles par transparence pour les chenilles qui donneront des mâles (Liu & Tabashnik 1997). Les chenilles d'une couleur vert pâle ou vert vif, amincies à leurs extrémités, mesurent 8 à 10 mm de long et présentent une capsule céphalique beige (Fig._3). Le stade L4 dure 3 à 4 jours à 25°C et, à son terme, la chenille tisse un cocon en soie et se nymphose (Talekar & Shelton 1993).



Figure 3 : Chenilles de *P. xylostella* : A gauche, stade L2 (x8) caractérisées par une capsule céphalique noire. A droite, stade L4 (x6) (Photo: L. Arvanitakis)

La nymphe est aérienne et reste fixée sur la face inférieure des feuilles de chou. D'une couleur vert pâle au début de la nymphose, elle devient brune à l'approche de l'émergence (Fig._4). La nymphe est entourée d'un cocon fusiforme en soie étroit à mailles lâches mesurant 5 à 7mm de long. Le stade nymphal dure environ 4 jours à 25°C (Biro 1998).



Figure 4: Nymphes de *P. xylostella* : A gauche, début (x4). A droite, en approche de l'émergence (x8) (Photo: L. Arvanitakis).

• L'adulte

C'est un papillon nectarivore de couleur brun dépassant rarement 10 mm de long, d'une envergure d'environ 15 mm. Il est plus actif en vol au coucher du soleil (Harcourt 1986), il présente des ailes antérieures et postérieures qui diffèrent par la taille, les postérieures étant plus courtes. Les ailes antérieures finement frangées, étroites et allongées sont tachetées d'une couleur jaune-brun. La frange claire le long des ailes antérieures forme une série de 2-3 losanges alignés dorsalement rappelant la forme d'un diamant, qui est à l'origine de son nom anglo-saxon de «Diamondback moth». Ce caractère plus contrasté chez le mâle représente le seul dimorphisme visible de l'espèce (Fig._5). Une observation des valves génitales s'impose parfois pour déterminer le sexe de façon certaine. Il présente des antennes dirigées vers l'avant (Balachowsky 1966) qui se fixent sur une tête plus ou moins rougeâtre. Les mâles, attirés par les femelles grâce aux phéromones sexuelles (Chow et al. 1974 ; Maa 1986) peuvent s'accoupler 1 à 3 fois contrairement aux femelles qui ne s'accouplent qu'une seule fois dès l'émergence (Talekar & Shelton 1993). L'accouplement se fait dos à dos (Fig.6). Au repos, l'adulte conserve les ailes plaquées contre le corps, en forme de toit.

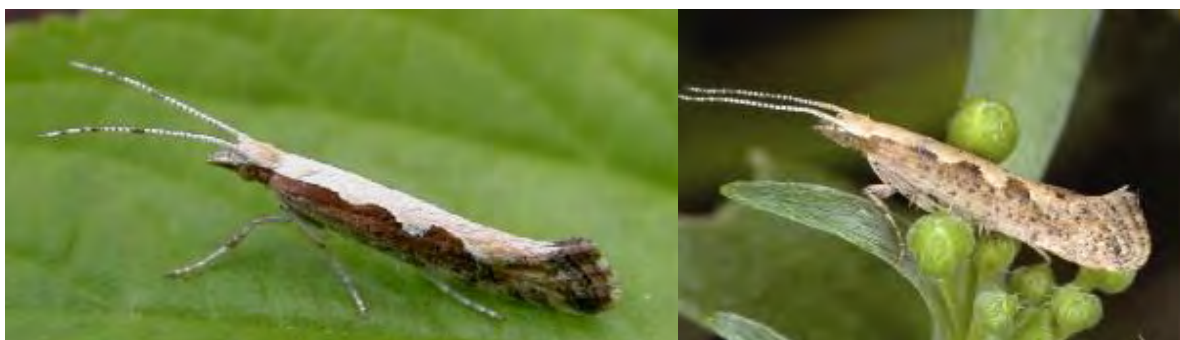


Figure 5: Adultes de *P. xylostella* ; à gauche le mâle (x7) ; à droite la femelle (x6,5) (Photo: D. Bordat)



Figure 6: Accouplement de *P. xylostella* (Photo: D. Bordat)

Le développement du ravageur est influencé par certains facteurs climatiques tels que la température, l'humidité relative, la pluviométrie et la photopériode. En effet tous ces facteurs ont un impact majeur sur l'espèce *P. xylostella* (Tableau 1). Le cycle de développement (Fig.7) de l'espèce très variable, dépend très fortement de la température. Selon Pichon (2004), à 25°C le cycle complet peut durer 16 jours: trois jours pour l'incubation des œufs, neuf jours pour le développement larvaire et quatre jours pour la nymphose. Il est plus rapide dans les pays tropicaux où la température atteint les 35°C. En effet, la chaleur et l'humidité favorisent une croissance plus rapide de la population de ce lépidoptère (Dommée 1999). Ceci favorise une augmentation du nombre de générations pouvant atteindre plus de 20 dans les pays tropicaux contre 3 en zone tempérée. La durée de vie de l'espèce est variable selon le sexe et est en moyenne de 10,4 jours pour les mâles et de 12,1 jours pour la femelle (Patil & Pokharkar 1971).

L'espèce *P. xylostella* ne connaît pas de diapause (Harcourt & Cass 1966 ; Yamada & Umeya 1972). Ce phénomène est à l'origine de l'importance des dégâts dans les zones qui offrent des conditions favorables continues (Asie du Sud-Est et Afrique), par contre dans les régions du

Canada, des Etats-Unis et d'Europe, il n'entraîne que des dégâts d'importance limités (Lim 1986).

Tableau 1: Impact de différents facteurs climatiques sur *P. xylostella* (Ngouembe 1990)

Facteur	Stade affecté	Impact
Photopériode	Femelles adultes	Corrélation positive entre photopériode et fécondité
Luminosité	Adultes	Temps nuageux réduisant leur activité
Altitude	Œuf	Corrélation positive entre altitude et durée d'incubation
	Chenille	Corrélation positive entre altitude et durée du développement
Pluviométrie	Chenilles L1, L2	Facteur principal de mortalité (même effet dans les zones d'accumulation d'humidité) Effet combiné forte intensité pluvieuse-basse température
	Chenilles et adultes	Epidémies de champignons (persistance d'humidité)
	Adultes	Reproduction et dépôt des œufs perturbés
Température		Corrélation positive entre température et durée de développement

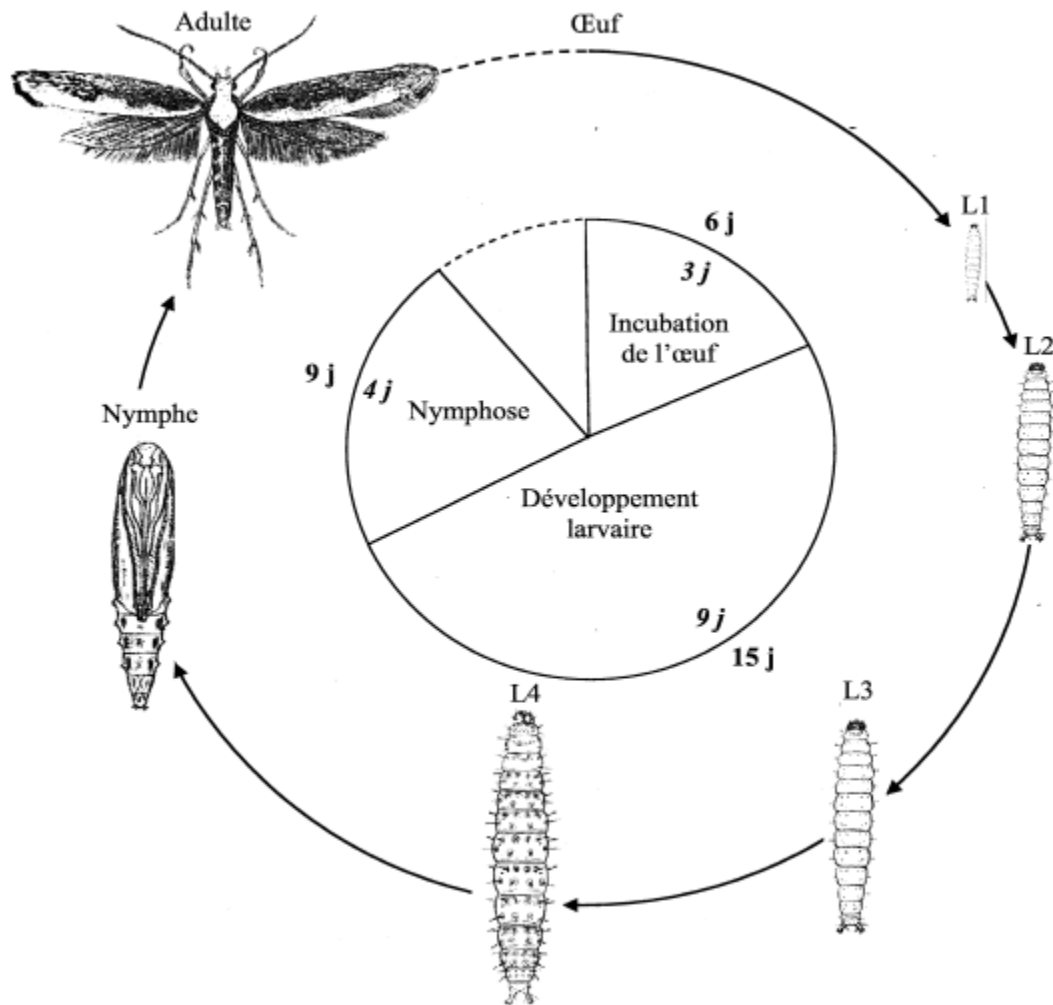


Figure 7: Cycle de développement de *P. xylostella* à 20°C (à l'extérieur du cercle) et à 25°C (à l'intérieur du cercle) (valeurs en jours, Salinas, 1986) (dessin : Carpenter, 2005)

I.3 Plantes hôtes

Plutella xylostella est une espèce oligophage car il se développe exclusivement sur les Brassicacées. C'est un spécialiste de cette famille de plante qui est majoritairement toxique pour la plupart des insectes ravageurs à cause de sa forte concentration en glucosinolates. Ces derniers sont des composés soufrés qui sont à l'origine de l'attraction de cette espèce, qui à son tour parvient à rendre comestible cette plante en désactivant ces molécules grâce à une glucosinolate sulfatase (Ratzka et al. 2002). Plusieurs dérivés des glucosinolates sont à l'origine du goût âpre, de l'odeur et sont impliqués dans la défense des plantes contre les herbivores. Exclusivement retrouvé sur les choux, il est parfois présent sur les autres Brassicacées cultivées (moutarde, colza, navet, etc.) ou sauvages (bourse à pasteur,

cardamine, ravenelle, etc.) qui jouent un rôle de réservoir aux périodes de déficits de cultures (Muhamad et al.1994).

Actuellement les Brassicacées sont présentes partout dans le monde et comprennent 3709 espèces appartenant à 338 genres (Warwick et al. 2003). Le genre *Brassica* est le plus répandu et le plus consommé avec un plus grand nombre d'espèces, par rapport aux autres, qui jouent un rôle économique important dans la production de légumes sous forme de feuilles et de fleurs (chou-fleur, chou pommé, chou de Bruxelles, brocoli etc.). D'autres espèces sont également consommées sous forme de racines (radis, navet, rutabaga), d'huiles à usage alimentaire et industriel (le colza), de condiments (moutarde, raifort, wasabi), de fourrage ou de plantes ornementales (Giroflée, Ibéris, etc.) (Tableau 2).

Tableau 2: Espèces de Brassicacées les plus consommées

Genre	Espèce et variété	Nom commun
<i>Brassica</i>	<i>B. oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	Chou-fleur
	<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i>	Chou cabus ou pommé
	<i>B. oleracea</i> var. <i>gemmifera</i>	Chou de Bruxelles
	<i>B. oleracea</i> var. <i>gongyloides</i>	Chou rave
	<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i>	Brocoli
	<i>B. oleracea</i> var. <i>sabauda</i>	Chou de Milan
	<i>B. oleracea</i> var. <i>sabellica</i>	Chou frisé
	<i>B. rapa</i> var. <i>chinensis</i>	Chou chinois
	<i>B. rapa</i> var. <i>oleifera</i>	Navette
	<i>B. rapa</i> var. <i>rapa</i>	Navet
	<i>B. napus</i> var. <i>napus</i>	Colza
	<i>B. alba</i>	Moutarde blanche
	<i>B. juncea</i>	Moutarde chinoise
	<i>B. nigra</i>	Moutarde noire
<i>Raphanus</i>	<i>R. sativus</i>	Radis
	<i>R. niger</i>	Radis noir
<i>Armoracia</i>	<i>A. rusticana</i>	Raifort
<i>Nasturtium</i>	<i>N. officinalis</i>	Cresson de fontaine
<i>Eruca</i>	<i>E. sativa</i>	Roquette
<i>Wasabia</i>	<i>W. japonica</i>	Wasabi



Figure 8: *Brassica rapa* var. *chinensis* communément appelé chou chinois ou pak-choï sous serre (Photo G. Sow)



Figure 9: *Brassica. oleracea* var. *botrytis* communément appelé chou-fleur sous serre (Photo G. Sow)



Figure 10: *Brassica oleracea* var. capitata communément appelé chou pommé (Photo: B. Labou)

I.4 Dégâts

Les chenilles de *P. xylostella* s'attaquent aux Brassicacées avec une préférence pour les jeunes plants. Cependant les infestations commencent à partir de la pépinière causant des dégâts précoces impactant sur le développement du chou. Dès lors les plants présentent des fenêtres sur les feuilles, dégâts spécifiques de la teigne du chou. Les feuilles au cœur du chou sont les plus ciblées (Ooi 1986). Les infestations s'accroissent surtout au niveau des jeunes plants où la consommation entière du limbe laisse apparaître des trous au niveau des feuilles. La sévérité des attaques ne laisse que les nervures, donnant aux plants de chou un aspect squelettique, et le champ prend du coup une couleur grisâtre (Graf et al. 2000), symbole d'une attaque très forte de *P. xylostella*.

Au Sénégal, la "Teigne des Brassicacées" peut détruire totalement de nombreuses cultures, ce qui pousse beaucoup de maraîchers à abandonner cette spéculation (Sow, 2013). La variation des dégâts est fonction de la zone et de la période.

En effet, les populations de la teigne causent beaucoup plus de dégâts dans les zones tropicales que tempérées (Ansari et al 2010 ; Guo et al 2010). (Fig.11)

Dans la zone des Niayes, nos études ont montré que les populations de la teigne diminuent en saison des pluies, puis se reconstituent en première partie de saison sèche pour exploser en deuxième partie de saison sèche.



Figure 11: Dégâts de *P. xylostella* : En haut attaques de chenilles sur chou. En bas à gauche dégâts sur jeune plant. En bas à droite : dégâts sur plant âgé. (Photo: D. Bordat)

II. *Hellula undalis* (F.) ou « Borer » du chou

II.1 Statut du ravageur

- **Position systématique**

Embranchement :	Arthropoda
Classe :	Insecta
Ordre :	Lepidoptera
Famille :	Pyralidae
Genre :	<i>Hellula</i>
Espèce :	<u><i>Hellula undalis</i></u>



- **Situation géographique et migration**

L'espèce *H. undalis* a été localisée pour la première fois en Italie par Fabricius en 1794. C'est un lépidoptère principalement distribué dans les pays tropicaux et subtropicaux, mais il peut être rencontré dans les pays à climats modérés (Waterhouse & Norris, 1989). Il peut être totalement absent dans une zone comme ce fut le cas en Amérique du nord et du sud (Waterhouse & Norris, 1989). Cependant sa distribution septentrionale connaît des pics de populations au Japon (Shirai et al. 1988; Shirai & Kawamoto, 1990, 1991). Une forte pullulation de ce ravageur ainsi que des pertes de rendement allant jusqu'à 100% ont été décrites dans des pays comme Hawaï, l'Inde, la Malaisie, les Philippines, la Taiwan, l'Egypte, l'Irak et le Japon (Veenakumari et al. 1995; Rejesus & Javier, 1997; Sivapragasam & Chua, 1997b). Très répandu dans les îles du pacifique (Waterhouse, 1992), il inflige de sévères dégâts aux cultures des Brassicacées et présente des infestations de pointes en Inde durant les mois de février à mars (Bhalani, 1984) et d'août à octobre (Sachan & Srivastava, 1972; Sandhu & Bhalla, 1973). En Taiwan il présente de sévères attaques de juin à septembre (Chuang, 1994). En Afrique du nord notamment en Egypte, les infestations se produisent en début Juin jusqu'à novembre (Harakly, 1968b). Isoko (1995) a déclaré de graves dommages sur radis et sur chou chinois au Japon. Ainsi quelques adultes subsistent pendant l'hiver à partir de mai avec des populations plus élevées de juillet à septembre.

Le Borer du chou n'est pas répertorié comme un très grand migrateur à l'image de la Teigne. En effet Shirai et Yano (1994) ont examiné la capacité de vol des femelles et des mâles d'*H. undalis*. Ils ont découvert que les femelles d'*H. undalis* ne sont pas capables de voler sur de

longues distances (basé sur la relation entre le vol et le succès de reproduction dans le laboratoire) et les mâles, dans un essai de marquage-lâcher-recapture, ne montrent aucune tendance de dispersion sur de longues distances (Shirai & Kawamoto, 1990). Cependant, la capacité de vol potentiel varie de 50 à 80 km pour les quelques jours (Shirai & Yano, 1994). Le comportement de vol est aussi influencé par la température. En effet les températures plus élevées augmentent leur vitesse de vol, mais quand la température atteint 30 ° C, le vol continu est réduit. Une température de 20 ° C a été suggérée comme optimale pour l'activité de vol. Les mâles et les femelles sont actifs pendant la nuit (Harakly, 1968b; Youssef et al. 1973). Le temps de vol n'a pas été observé jusqu'ici. Néanmoins, Youssef et al. (1973) mentionne un pic d'activité de vol vers minuit. Il a été décrit à Taiwan que l'activité commence au crépuscule (AVRDC, 1978) et continue dans la nuit (Talekar et al. 1981).

II.2 Biologie et écologie

- **Les œufs**

Les œufs sont pondus isolément (Bhalani, 1984 ; Sivapragasam, 1994), de manière aléatoire (Sivapragasam, 1996) ou en groupes ou parfois en chaîne de 2 ou 3 sur les feuilles de chou (Fig.12). Les œufs d'*H. undalis* sont légèrement aplatis sur la surface de dépôt. Ceci leur confère une forme ovoïde d'environ 1 mm de long avec un contour assez variable. Ils sont de couleur blanc nacré à la ponte et changent de couleur dès le lendemain en devenant rosâtre et puis adoptent une couleur qui tire sur le brun au rouge foncé. Juste avant l'éclosion, la tête des larves est visible à une extrémité (Harakly, 1968a). La durée d'éclosion des œufs est de 2 à 3 jours à des températures moyennes de 25° C (Awai 1958; Sivapragasam & Abdul Aziz, 1990). La fécondité varie de 120 à 185 œufs (en moyenne de $147,9 \pm 35$ oeufs par femelle). Sandhu & Bhalla (1973) ont signalé une fécondité de 125-150 oeufs à 25° C.



Figure 12: Œufs d'*Hellula undalis* (x3) (Photo: D. Bordat)

- **Les larves**

Les chenilles sont reconnaissables par leur couleur gris à jaune et présentant des bandes larges irrégulières de couleur brun rougeâtre sur la longueur du corps (Fig.13). Le nombre de stades larvaires d'*H. undalis* est sujet à controverse. Cinq stades larvaires ont été signalés par la majorité des auteurs (Harakly, 1968b; AVRDC, 1978), tandis que Bhalani (1984) et Sandhu & Bhalla (1973) ont détecté seulement quatre. Selon Harakly (1968b), le cinquième stade correspondrait à la fin de l'alimentation de la chenille cherchant un endroit pour la nymphose en tissant un cocon pour devenir une pré-nymphé. De ce fait nous notons quatre stades larvaires à durée de vie variable chez *H. undalis*. Le premier et le troisième stade durent environ 3 jours tandis que le deuxième et le quatrième stade durent environ 2 jours (Kessing & Mau, 2007). La larve est de $7,50 \pm 0,25$ mm de long et une largeur de $1,16 \pm 0.15$ mm. Les

stades larvaires durent en moyenne $15,63 \pm 1,82$ jour. Mais elle peut fortement varier selon la plante hôte par exemple sur le chou-fleur, il peut exiger seulement 10-13 jours (Kessing & Mau, 2007).



Figure 13: Chenilles d'*Hellula undalis* (x4). (Photo: D. Bordat)

- **Les nymphes**

Après le dernier stade larvaire, la chenille tisse un cocon dans les feuilles retournées et se transforme en pré-nymphe (Harakly, 1968b). De ce fait il devient plus court et change de couleur en devenant jaune-pâle. Les chenilles matures peuvent se cacher dans le sol où elles effectuent leur nymphose (Fig.14) et se transforment en chrysalide de couleur marron ou brun clair lorsque la cuticule est sclérosée (Harakly, 1968b). Pendant ce temps les segments des différentes parties du corps deviennent clairement visibles. La durée de nymphose est de $6,50 \pm 0,50$ jours. Le temps total est de $23,37$ générations $\pm 2,97$ journées (Kessing & Mau, 2007).



Figure 14: *H. undalis*, à gauche, chenille trouvée dans des feuilles de radis en décomposition dans un champ après la récolte. A droite, en haut nymphe enfouie, flèche du bas trou de nymphose (Photo : Thèse Sebastian Kalbfleisch)

- **L'adulte**

Les papillons émergent habituellement pendant la nuit. Au moment de l'émergence, la cuticule de la nymphe se rompt à la fin de la partie antérieure et l'imago émerge. Les papillons mâles sont brun grisâtres, l'aile antérieure présente des marques grises ondulées et les ailes postérieures sont sombres. Mais chez les femelles nouvellement émergées, ces marques sont relativement plus sombres que celles chez le mâle. En outre, sur la femelle, le segment terminal de l'abdomen est long, alors que chez le mâle, il est relativement émoussé (Fig.15). Les adultes ont été souvent trouvés en position d'accouplement la nuit ou aux premières heures de la journée (Fig.16). L'accouplement a lieu quelques heures après l'émergence. La mesure des papillons femelles et mâles a donné respectivement $24,55 \pm 0,78$ et $21,35 \pm 0,48$ mm à travers la propagation des ailes. Ce qui montre un dimorphisme sexuel par rapport à la taille en faveur des femelles. Ces dernières vivent plus longtemps ($5,7 \pm 1,3$ jours) que les mâles ($3,8 \pm 1,0$ jours) à des températures de 15°C . Singh et al. (1990) ont également signalé que les femelles vivent plus longtemps que les mâles. Généralement la longévité des adultes est de 12 jours à 35°C et 3 jours à 15°C (Sivapragasam, 1994; Sivapragasam et al. 1994).

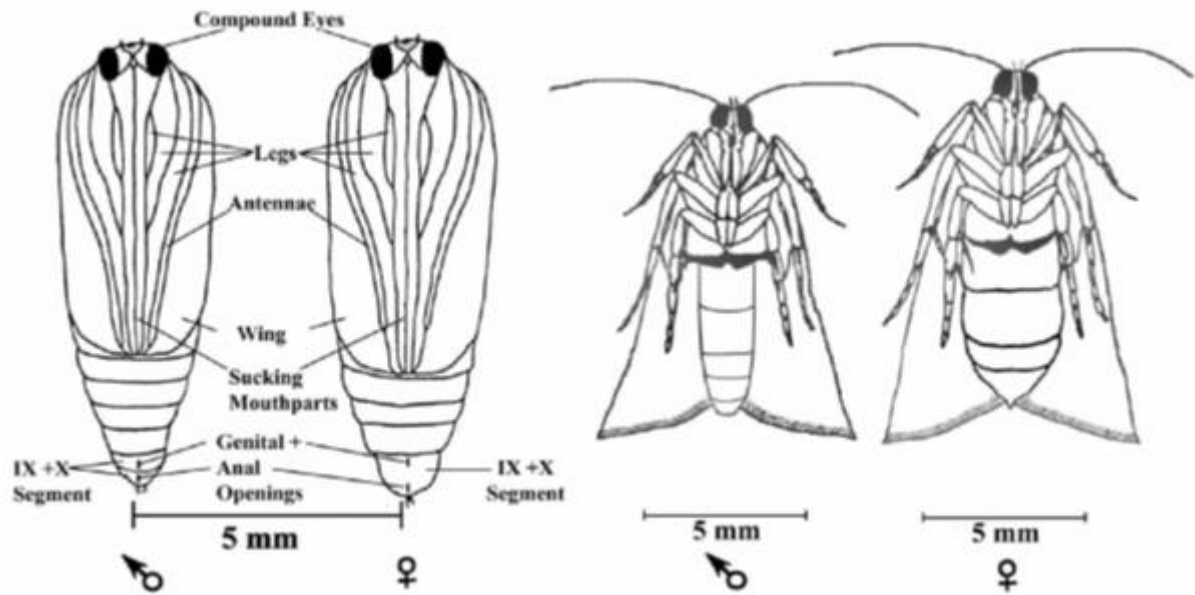


Figure 15: Vue ventrale d'*H. undalis* mâle et femelle, nymphe (à gauche), imago (à droite)

(Source : Thèse Sebastian Kalbfleisch)

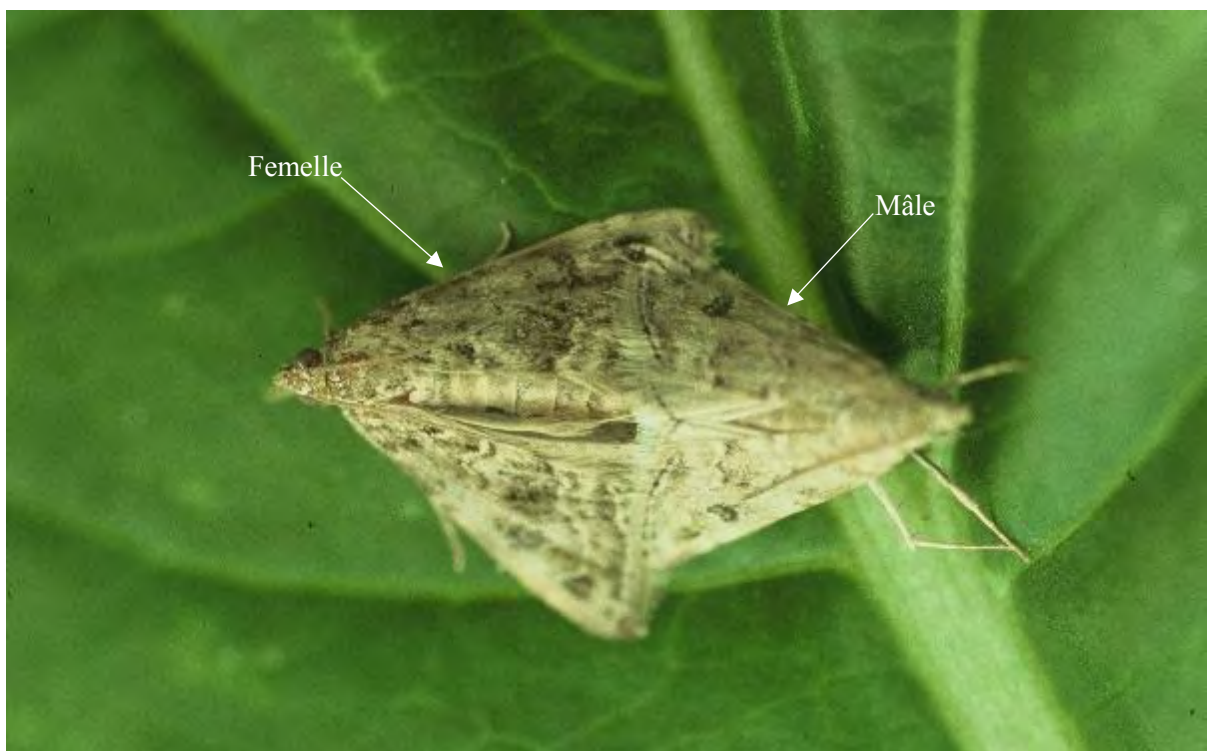


Figure 16: Accouplement d'*Hellula undalis* (x4). (Photo: D. Bordat)

La température influence fortement le développement des différents stades larvaires d'*H. undalis* (Harakly 1969; Sachan & Gangawar 1980, Sivapragasam 1994). Le développement du ravageur est ralenti en-dessous de 20° C (Awai, 1958; Sivapragasam et al. 1994). En effet, les températures inférieures à 0° C pendant plus de 10 jours, empêchent son développement au Japon (Shirai & Yano, 1994). Le temps de développement de l'œuf à l'imago varie de 14 à 108 jours, lorsque la température est de 35 et 15° C, (Sivapragasam, 1994). Les températures optimales se situent entre 25 et 35° C, elles sont surtout rencontrées dans les régions tropicales. Cependant un optimum de 27° C a été indiqué par Harakly (1968a). L'hibernation a lieu au dernier stade larvaire ou à la nymphose dans certaines régions du Japon (Shirai & Yano 1994).

Les chenilles d'*H. undalis* sont cannibales, ce comportement a été observé par Harakly (1968b). La spécificité des attaques de ce ravageur visant le cœur du chou accentue ses ravages car une seule chenille parvient à détruire la plante hôte.

II.3 Plantes hôtes

Les chenilles du borer attaquent les plants de chou (*Brassica oleracea*), chou-fleur (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), de radis (*Raphanus sativus*), Knol-knol (*Brassica oleracea* var. *caulorapa*), de betterave (*Beta vulgaris*) et de l'adventis, comme *Gynadropsis pentaphylla* (Capparidaceae) (Atwal & Dhaliwal, 2002).

L'influence de *Cleome rutidosperma* comme plante hôte naturelle a été examinée par Sivapragasam & Chua (2000). Il est précisé que les plantes hôtes naturelles pourraient jouer un rôle important comme source de nourriture pour les chenilles lorsqu'aucune Brassicacée n'est cultivée. L'espèce *C. viscosa* a été trouvée comme l'une des trois adventis dominantes dans les champs d'oignons dans une enquête sur les adventis à San José, Nueva Ecija (Baltazar et al. 1998) (Fig.17).



Figure 17: Chenilles *H. undalis* sur *C. rutidosperma* (à gauche) et sur *C. viscosa* (à droite)

(Photo : Thèse Sebastian Kalbfleisch).

II.4 Dégâts

L'espèce *H. undalis* est capable d'infliger de sévères dégâts aux cultures de Brassicacées et présente des infestations variables selon la période et la zone. Une seule chenille peut détruire une plante hôte. En effet, c'est un ravageur important du chou et d'autres Brassicacées et cause les plus graves dommages entre le repiquage et le stade pommaison du chou, même si les larves sont présentes sur le terrain tout au long de la culture (Sivapragasam & Aziz, 1990). Les chenilles de ce lépidoptère attaquent les nervures principales et le bourgeon axial de la plante, entraînant le départ des bourgeons axillaires et provoquant ainsi la formation d'un chou à plusieurs têtes (Fig.18). Des études concernant les mouvements des larves entre les nervures ont montré que 84% des larves ont été trouvées sur le pétiole des feuilles (Sivapragasam, 1994 ; Sivapragasam & Chua, 1997b). Ce comportement est considéré comme une mesure de protection naturelle contre les auxiliaires à la recherche de nourriture (Sivapragasam & Chua, 1997b). En raison de la norme de qualité requise pour les légumes, les plantes endommagées ou déformées sont invendables.

Une forte pullulation de ce ravageur ainsi que des pertes de rendement allant jusqu'à 100% ont été décrites dans des pays comme Hawaï, l'Inde, la Malaisie, les Philippines, Taiwan, l'Égypte, l'Irak et le Japon (Veenakumari et al. 1995; Rejesus & Javier, 1997; Sivapragasam & Chua, 1997b).



Figure 18: Dégâts d'*H. undalis*: En haut attaques de chenilles sur chou à gauche sur le bourgeon apical ; à droite chou à plusieurs têtes. (Photo: D. Bordat)

III. Les différents moyens de lutte contre ces ravageurs

III.1 La lutte chimique

La pression exercée par les insectes ravageurs des cultures, fait que les agriculteurs ont recourt aux pesticides qui représentent aujourd'hui la première forme de lutte contre les ravageurs des cultures. En effet, elle est plus accessible et plus rapide en termes d'utilisation et de résultats immédiats, même si on note souvent des problèmes liés à la résistance des ravageurs et aux résidus toxiques dans ces légumes.

Historiquement, leur apparition débute à la suite des limites de l'efficacité des essais d'associations de cultures intercalaires dans les années 1914. A partir de là, un éventail de produits peu efficaces et très toxiques voit le jour. Parmi ces produits : fumigants, composés minéraux (arsenic) et végétaux (nicotine, roténone, pyréthrinés) (Huckett 1934). Très vite ils sont remplacés par les insecticides de synthèses tels que les organochlorés du genre Dichlorodiphényl-trichlore éthane (DDT), le lindane ainsi que les organophosphorés et autres (Greaves 1945 ; Harcourt & Cass 1955).

C'est au cours des années 70, avec le *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Berliner), apparaît dans les formulations de biopesticides à action sélective sur les ravageurs. Aujourd'hui il est associé avec des extraits de « neem » issus de l'*Azadirachta indica* (Meliaceae) dont le principe actif est l'azadirachtine, qui est plus efficace et moins nocif pour la faune auxiliaire (Goudegnon et al. 2000 ; Löhr & Kfir 2004).

Au Sénégal, surtout dans les Niayes, les pyrèthrinoides de synthèse et les organophosphorés sont les plus utilisés dans la lutte contre *P. xylostella* (Sall-Sy 2005 ; Sow 2007). Néanmoins un retour aux biopesticides s'amorce grâce à leur efficacité. En effet, les études menées par Sow en 2013 dans cette zone, montre que le *Bacillus thuringiensis* (Bt) et le « neem » constituent une alternative pour ces insecticides de synthèse dans la lutte contre *P. xylostella*.

Cependant, le problème reste entier avec l'apparition de souches résistantes vis-à-vis de ces produits de synthèse. Ce phénomène est dû à une utilisation abusive du produit et à des doses élevées.

Dès 1951, *P. xylostella* est résistant au DDT en Indonésie (Ankersmith 1953). En 1980, on recense des résistances envers 36 produits différents dans 14 pays (Miyata et al. 1986) et envers 51 produits en 1989 (Shelton et al. 1993b) dont les formulations de biopesticides à base de Bt (Syed 1992). La résistance aux insecticides étant un phénomène qui évolue, grâce à une sélection intensive des individus après des traitements massifs et continus. Aujourd'hui la tendance au retour aux biopesticides est plus ou moins ralentie d'autant plus que *P. xylostella* devient résistant au « neem » qui montre des effets phytotoxiques, modifiant la couleur des feuilles de choux (Schmutterer 1992 ; Leskovar & Boales 1996). Face à cela plusieurs méthodes de lutte alternative ont vu le jour.

III.2 La lutte biologique

La lutte biologique est un moyen permettant de contrôler les bio-agresseurs qui ravagent les cultures à l'aide d'organismes appelés auxiliaires, (parasitoïdes, prédateurs ou entomopathogènes) introduits ou non dans un milieu donné (Hawkins & Cornell 1999). Les opérations de lutte biologique réussies ont apporté des résultats significatifs pour l'agriculture et l'économie (Mills & Gutierrez 1999).

Aujourd'hui, elle constitue une alternative sérieuse à la lutte chimique vue la résistance aux pesticides des insectes ravageurs et leurs effets sur la santé des populations. Cependant la lutte biologique utilise principalement trois méthodes possibles que sont : la méthode par introduction, par conservation ou par augmentation.

La méthode introductive consiste à rechercher des ennemis naturels de ces ravageurs dans leur zone géographique d'origine et à les introduire dans le pays que le ravageur a envahi. Elle est encore appelée méthode de lutte biologique classique. Elle fut la stratégie la plus utilisée pendant plus d'un siècle avec des succès notables. Le ravageur est dans la plupart des cas lui-même exotique et pullule en l'absence de son cortège d'ennemis naturels (Colautti et al. 2004). Il s'agit alors d'importer un ennemi naturel sympatrique efficace (Eilenberg et al. 2001) et de recréer dans un nouveau contexte écologique l'équilibre existant entre l'hôte et l'auxiliaire dans leur aire d'origine. D'un point de vue économique, cette stratégie d'introduction est particulièrement intéressante puisque les coûts liés à son développement sont relativement limités par rapport à la durabilité du contrôle du ravageur.

La méthode par conservation offre des conditions favorables à la présence, la survie et la reproduction des ennemis naturels indigènes. Elle consiste à modifier l'agrosystème ou les pratiques culturales afin de protéger et de favoriser la présence d'ennemis naturels locaux, facilitant ainsi leur capacité à contrôler les populations d'insectes nuisibles. C'est une méthode qui repose sur une observation précise du mode de fonctionnement d'un écosystème donné afin de comprendre les interactions entre les espèces. Sa mise en place nécessite que des ennemis naturels efficaces pour contrôler les populations de ravageurs soient déjà présents localement. C'est une méthode qui peut offrir des solutions pratiques efficaces (Landis et al. 2000) malgré son faible développement.

Trois techniques sont souvent utilisées afin de rendre cette lutte performante. La première consiste à créer des abris ou des microclimats susceptibles de favoriser l'installation et la pérennisation des auxiliaires. La deuxième technique est la mise en place des sources de

nourriture pour les auxiliaires adultes. La dernière cherche à maintenir des hôtes afin de maintenir la population d'auxiliaires sur la culture à protéger.

D'un point de vue écologique, l'ensemble de ces pratiques a tendance à augmenter la biodiversité de l'agrosystème tant au niveau des espèces végétales qu'animales.

La méthode par augmentation se fait par un lâcher, après sélection dans la nature et mise en élevage de masse, d'un parasitoïde efficace à un stade adéquat. Elle est utilisée lorsque les parasitoïdes indigènes arrivent trop tard ou sont trop peu nombreux dans la culture pour assurer un contrôle efficace du ravageur. Elle a pour objet d'établir une population d'auxiliaires suffisante pour contrôler celui ci durant une période limitée dans le temps. L'utilisation de cette stratégie est particulièrement répandue pour les cultures sous serre puisque l'on estime que 5 % des 300 000 ha de serres dans le monde sont gérées grâce à la Protection Biologique Intégrée (PBI), notamment grâce à des lâchers inoculatifs de parasitoïdes ou d'autres auxiliaires (Van Lenteren 2000).

La lutte biologique utilise plusieurs agents, mais dans le cas de *P. xylostella*, principal ravageur du chou, l'accent est mis sur les parasitoïdes, les prédateurs et les micro-organismes entomopathogènes.

Les parasitoïdes

Contrairement au parasite, le parasitoïde a un mode de développement et des caractéristiques écologiques qui conduisent à la mort de leur hôte. De par leur nombre, il joue un rôle fondamental dans la régulation des populations de leurs hôtes. Ce fait est d'autant plus intéressant dans la lutte contre les déprédateurs des cultures surtout dans un contexte agro-écologique où l'on cherche à agir avec "respect" vis-à-vis de l'environnement. Aujourd'hui, les parasitoïdes sont responsables de nombreux succès en lutte biologique et occupent dans les écosystèmes naturels une place importante. Ils sont de loin les plus utilisés et s'avèrent être les plus efficaces dans cette lutte mais aussi économiquement plus rentables (Waage & Greathead 1986).

Contre *P. xylostella* uniquement, plus de 90 espèces de parasitoïdes ont été répertoriées depuis 1979. Ces espèces sont réparties entre des parasites d'œufs (6), de chenilles (38) et de nymphes (13) (Lim 1986 ; Monnerat 1995 ; Vayssières et al, 2000 ; Delvare 2004). La distribution de ces espèces dépend des zones. Il semble que chaque espèce possède une aire de répartition plus restreinte que celle de la teigne. C'est ainsi que la zone méditerranéenne (Mustata 1992) et l'Afrique du Sud (Kfir 1998), ont été indiqués comme aire géographique

contenant la plus grande diversité des parasitoïdes de *P. xylostella*. L'efficacité des parasitoïdes dans une zone dépend de la capacité de régulation de l'espèce hôte locale qui peut aller de 70 à 80% (Löhr & Kfir 2004). Par contre, en zone tropicale, les successions de générations du ravageur sont loin d'être régulées par les parasitoïdes locaux souvent peu nombreux en termes d'espèces et peu efficaces avec 15 à 20% de parasitisme (Löhr & Kfir 2004). Pour pallier à ce phénomène, des introductions d'espèces exotiques ont été réalisées (Hardy 1938 ; Talekar & Shelton 1993).

Lohr & Kfir (2004) ont pu récolter plusieurs espèces parasitoïdes de *P. xylostella* appartenant à un nombre important de familles en Afrique sub-Saharienne. Parmi ces familles, nous pouvons citer les Braconidae, Chalcididae, Ceraphronidae, Eulophidae, Eurytomidae, Ichneumonidae, Pteromalidae, Tachinidae et Trichogrammatidae qui sont constituées d'espèces indigènes (Tableau 3).

Au Sénégal, les parasitoïdes de *P. xylostella* appartiennent tous à l'ordre des Hyménoptères répartis dans différents genres. Il s'agit de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov), *Apanteles litae* (Nixon), *Cotesia vestalis* (Haliday), *Brachymeria* sp., *Hockeria* sp. (Bourdouxhe 1983 ; Ndiaye 1995 ; Camara 1999 ; Sall-Sy 2005 ; Sow 2007).

Tableau 3: Parasitoïdes de *Plutella xylostella* d'après Lim (1985)

Stade concerné	Parasitoïdes
Œuf	<i>Trichogramma brasiliensis</i> (Ashm) <i>T. minutum</i> Riley <i>T. pretiosum</i> Riley <i>Trichogrammatoidea armigera</i> Nagaraja
Larve	<i>Antrocephalus</i> sp. <i>Apanteles aciculatus</i> (Ashm) <i>A. albipennis</i> Nees <i>A. fuliginosus</i> Wetm <i>A. halfordi</i> Ulliyett <i>A. ippeus</i> Nixon <i>A. laevigatus</i> (groupe) <i>A. limbatus</i> Marsh <i>A. (Cotesia) plutellae</i> Kurdjumov <i>A. ruficrus</i> Hal <i>Apanteles</i> sp. (groupe glomeratus) <i>Brachymeria phyta</i> (Walk) <i>B. sidnica</i> Hlgr <i>Chelonus ritchiei</i> Wlksn <i>Compoletis</i> sp. <i>Diadegma armillata</i> Grav <i>D. eucorophaga</i> Horstm <i>D. fenestralis</i> Holmgren <i>D. insularis</i> (Cresson) <i>D. neceorophaga</i> Horstm <i>D. plutellae</i> Viereck <i>D. rapi</i> (Cambridge) <i>D. varuna</i> Gupta <i>Diadegma</i> sp. (proche de <i>lateralis</i> Grav) <i>Diadromus erythrostomus</i> (Cameron) <i>Habrocytus</i> sp. <i>Itoplectis</i> sp. <i>Macrobracon hebetor</i> Say <i>Macromalon orientale</i> Kerrich <i>Microplitis plutellae</i> (Meus) <i>Spilochalcis hirtifemora</i> (Ashmead) <i>Stictopisthus</i> sp. <i>Cadurcia plutellae</i> Van Emden <i>Tetrastichus</i> sp.
Nymphe	<i>Diadromus plutellae</i> (Ashmead) <i>D. subtilicornis</i> Grav <i>Dibrachys cavus</i> (Walkr) <i>Eupromalus viridescens</i> (Walsh) <i>Celis tenellus</i> (Say) <i>Habrocytus</i> sp. (proche de <i>phycidis</i> Ashm) <i>Itoplectis maculator</i> Fab <i>Phaeogenes</i> sp. <i>Spilochalcis albifrons</i> (Walsh) <i>Stomatoceras</i> sp. <i>Tetrastichus ayyarai</i> Rohw <i>Tetrastichus (Oomyzus) sokolowskii</i> Kurdj. <i>Thyraella collaris</i> Grav.

Dans cette présente étude l'accent est porté sur *P. xylostella* car il est le seul parmi les deux lépidoptères étudiés à présenter des parasitoïdes dans la zone des Niayes.

Les prédateurs

Plusieurs espèces prédatrices de *P. xylostella* appartenant à différentes classes ont été recensées dans de nombreuses régions. En effet ces espèces font parties le plus souvent des arachnides (Delobel 1978), des insectes et des acariens (Alam 1992 ; Lim 1992). Elles appartiennent principalement à l'ordre des Diptères (Syrphidae, Drosophilidae et Lauxaniidae), des Coléoptères (Carabidae, Staphilinidae) et des Dermaptères comme *Euborellia annulipes* (Lucas) (Fig.19). Cependant il existe très rarement d'espèces prédatrices spécialistes, le plus souvent elles sont généralistes. Ce phénomène rend leur taux de prédation difficile à évaluer et limite dans le même temps l'efficacité de cette lutte. Malgré ces difficultés, certains auteurs parviennent à cibler des espèces prédatrices qui ont un effet de contrôle sur ces populations. Nous allons citer Ibrahim (2004), affirmant que *Podisus maculiventris* (Say) (Hemiptera, Pentatomidae) est efficace dans le contrôle de la "Teigne des Crucifères". De même les fourmis *Anomma nigricans* (Illiger) Hymenoptera : Formicidae, peuvent être des agents de contrôle de *P. xylostella* dans les zones périurbaines au Bénin (Goudegnon et al. 2004) et au nord de Cotonou (Vayssières : information personnelle).



Figure 19: Prédateurs : En haut à gauche Formicidae sur chenille (x2) ; à droite Staphylin (Coléoptère) sur œufs (x3) ; En bas à gauche Vespidae (guêpe) sur des chenilles de *C. binotalis* (x2) ; à droite Hémiptère (Pentatomidae) dévorant une chenille de lépidoptère. (Photo: D. Bordat)

Les microorganismes

La lutte biologique utilise plusieurs microorganismes parmi les plus connus ; les virus, les bactéries, les champignons entomopathogènes, les microsporidies et les nématodes entomopathogènes. Selon leur efficacité dans la régulation des populations de ravageurs, quelques bactéries et virus ainsi que les champignons ont été recensés comme ennemis potentiels des différents stades de *P. xylostella* (Talekar 2004).

Les virus constituent des agents de lutte sérieux dans la lutte contre les ravageurs. En effet, contre *P. xylostella*, certains granulovirus semblent être très pathogènes, pouvant provoquer jusqu'à 90% de mortalité chez les larves de premier et second stade (Asayama 1986 ; Roux 2006). De même, les baculovirus montrent à leur tour une certaine efficacité contre les chenilles de la "Teigne des Crucifères" (Simmonds 1971) (Fig.20). Mais certains virus par perte de leur virulence au fil des générations de l'hôte (Sarfraz et al. 2005), constituent un frein à la sensibilité des ravageurs.



Figure 20: Virus : Granulose sur une chenille de *P. xylostella* (x5). (Photo: D. Bordat)

Les bactéries du genre *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae) ou *Bt*, sont les plus utilisées dans la lutte contre les ravageurs du fait de leur grande spécificité et des faibles risques qu'elles présentent pour la santé humaine. Leur mode d'action contre *P. xylostella* se fait par une sécrétion de substances toxiques (δ -endotoxines protéiques), qui une fois déposées sur la membrane de l'intestin de l'hôte finissent par le tuer (Gill et al. 1992) (Fig. 21). Ce qui fait du *Bt* une arme de choix est sa spécificité sur les ravageurs laissant intact la faune auxiliaire surtout les parasitoïdes. Il existe plusieurs toxines de bactérie connues, mais leur efficacité dépend parfois de l'ordre d'appartenance de l'hôte. En effet, certaines toxines

sont efficaces uniquement sur les Lépidoptères tandis que d'autres n'agissent que sur les Coléoptères ou les Diptères (Chaufaux 1995 ; Monnerat 1995). Il faut noter cependant que l'utilisation des bactéries dans lutte contre les ravageurs n'est pas sans difficultés. Malgré son efficacité avérée surtout contre l'espèce *P. xylostella*, cette dernière est parvenue à développer une certaine résistance au *Bt* (Wright et al. 1997 ; Tabashnik et al. 1997). Ce phénomène est dû à l'emploi abusif de ces substances dans la nature d'où la nécessité aujourd'hui de procéder à la combinaison des différents moyens de lutte.



Figure 21: Bactérie : En haut chenille saine de *P. xylostella* ; en dessous chenille traitée avec *Bacillus thuringiensis* (x3). (Photo: D. Bordat)

L'utilisation des champignons entomopathogènes s'avère plus ou moins compliquée à cause de leur sensibilité par rapport au milieu et à l'efficacité de leur action qui nécessite un nombre important de ravageurs (Rietmacher et al. 1992). En effet, ils se développent en milieu très humide, ce qui fait des pays tropicaux des candidats sérieux pour leur utilisation, mais malheureusement ces conditions sont plus adéquates pour les champignons qui s'attaquent aux cultures. Ce phénomène est à l'origine de leur faible utilisation, s'y ajoute leur manque de spécificité qui fait qu'ils s'attaquent parfois aux parasitoïdes (Furlong & Pell 1996). Malgré leur faible utilisation, deux espèces qui sont *Beauveria bassiana* (Balsano) (Hyphomycètes : Moniliaceae) (Fig.22) et *Zoophtora radicans* (Brefeld) (Zygomycètes : Entomophthorales) sont connus pour s'attaquer aux stades larvaires et parfois aux nymphes de *P. xylostella* (Wilding 1986).



Figure 22: Champignon : *Beauveria bassiana* sur une chenille de *P. xylostella* (x3) (Photo: D. Bordat)

A l'état expérimental il a été démontré que les microsporidies peuvent affectées les parasitoïdes de *P. xylostella*. Par exemple, le genre *Nosema* (Microspora: Nosematidae) en s'attaquant aux larves de *P. xylostella* au niveau du système digestif et des tissus adipeux, peut dans le même temps nuire aux espèces de parasitoïdes vivant à leurs dépens en réduisant considérablement leur efficacité (Bordat et al. 1994 ; Gruarin 1998) (Fig.23).



Figure 23: Microspora : En haut nymphe saine ; en dessous *Nosema* sur une nymphe de *P. xylostella* (x4). (Photo: D. Bordat)

Les nématodes entomopathogènes sont faiblement utilisés dans la lutte biologique à cause de leur coût de production élevé, leur sensibilité aux facteurs climatiques tels que la température, la lumière et la sécheresse (Lello et al. 1996 ; Baur et al. 1997). Au stade infectieux, ils portent des bactéries du genre *Xhenorhabdus* (Steinernematidae) ou *Photorhabdus*

(Heterorhabditidae) qui infectent le ravageur en pénétrant dans l'hémocoel (Ratnasinghe & Hague 1995). Les isolats de *Steinernema carpocapsae* (Weiser) sont les plus efficaces contre les larves de *P. xylostella* (Baur et al. 1998).

III.3 Les autres formes de lutte

Il existe plusieurs autres méthodes de lutte contre les ravageurs qu'on peut regrouper ici en trois grands groupes formés par la lutte culturale, l'utilisation des phéromones sexuelles et la lutte intégrée. Parmi ces formes de lutte, la lutte intégrée combine toutes les formes de lutte compatibles favorisant une diminution de la pression des ravageurs.

- **La lutte culturale**

Elle s'appuie sur la modification des pratiques agronomiques visant à réduire les dégâts occasionnés par les ravageurs. Il réunit le plus souvent l'ensemble des techniques de cultures dont le but premier n'était pas forcément destiné à diminuer les ravageurs mais à contribuer à l'amélioration des rendements de production.

La sélection variétale est un procédé par lequel on sélectionne des variétés de cultures moins sensibles à la pression des ravageurs, c'est-à-dire plus ou moins résistantes. Par exemple il existe des variétés de choux moins sensibles aux attaques des chenilles de *P. xylostella*. En effet ces choux produisent des toxines responsables de mécanisme d'antibiose (Eigenbrode et al. 1990 ; Eigenbrode & Shelton 1992) ou changent la structure de leurs cires épicuticulaires qui diminuent l'appétence des feuilles (Dickson et al. 1990 ; Stoner 1992; Shimabuku et al. 1997). La sélection variétale utilise parfois la transgénèse pour créer des variétés de chou résistantes, en intégrant des gènes codant pour la production de diverses toxines d'origine bactérienne, végétale ou d'arthropodes venimeux (Schuler et al. 1998).

Il faut noter cependant que cette pratique peut avoir des effets négatifs en favorisant la résistance de certains ravageurs comme *P. xylostella* (Tang et al. 1999), et le développement d'autres ravageurs (tels que les altises *Phyllotreta* spp. (Coleoptera : Chrysomelidae) (Bodnaryk 1997) (Fig.24).

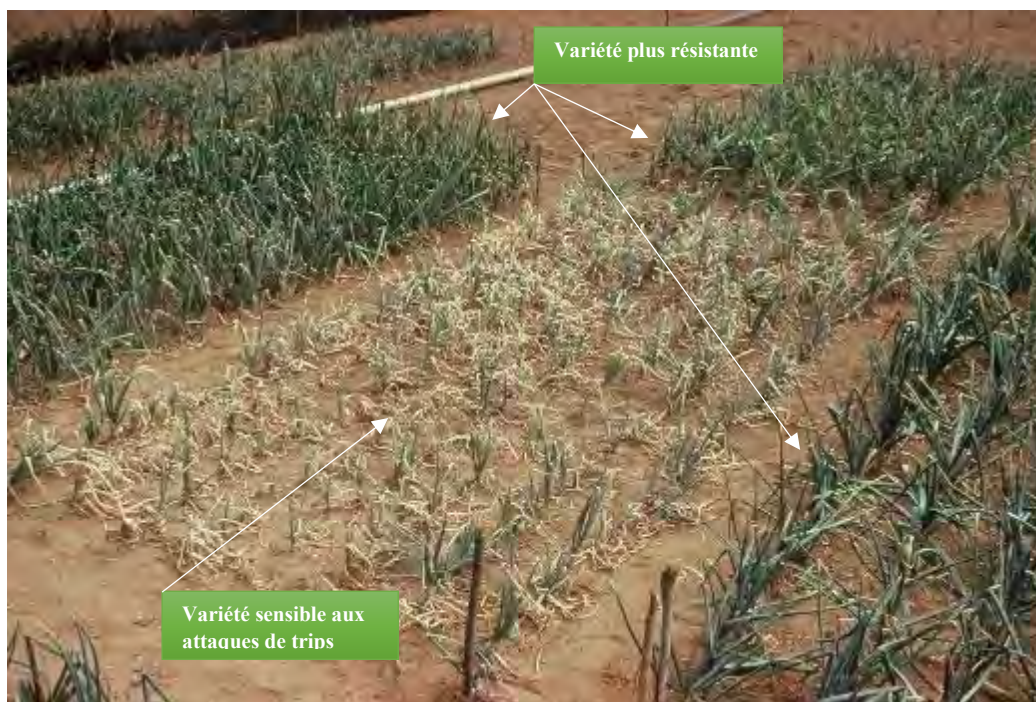


Figure 24: Lutte culturale contre les Trips. (Photo: D. Bordat)

Les plantes pièges représentent à leur tour un moyen d'attraction et de piégeage des ravageurs. Cette attractivité se remarque au niveau des femelles pour la ponte, en choisissant la plante piège. En effet, il a été démontré par essais en Inde, que les femelles de *P. xylostella*, préfèrent pondre leurs œufs sur des plants de moutarde que sur les choux (Charleston & Kfir 2000). Cette méthode nécessite un sacrifice de l'agriculteur qui ensuite doit détruire les plantes pièges qui regorgent d'œufs du ravageur.

Aujourd'hui plusieurs agriculteurs ont adopté la méthode des cultures intercalaires en misant sur leur rôle de barrières gênant le déplacement des ravageurs. Dans la culture du chou, il s'agit d'alterner des plants de chou avec une autre espèce végétale par exemple comme l'ail ou la tomate (Talekar et al. 1986) à effet repoussant sur les ravageurs (Guilloux 2000). Ces plantes intercalaires peuvent jouer un rôle important dans le développement de la faune auxiliaire. Cependant il y a souvent un manque à gagner chez le maraîcher qui ne sait quoi faire de cette culture, mis en part les risques de compétitions entre les plants tendant à la réduction du rendement (Schellhorn & Sork 1997).

La rotation des cultures est un moyen de lutte efficace contre la monoculture surtout en maraîchage. Elle consiste à changer la culture après chaque cycle afin d'empêcher la répétition, qui installe et renforce la pression des ravageurs dans la zone (Talekar & Shelton 1993). Elle permet l'interruption des séries de générations chevauchantes autrement dit de

priver temporairement le ravageur de sa plante hôte et donc de réduire ses populations (Talekar & Shelton 1993). Cependant auprès des producteurs locaux à moyens limités cette méthode est parfois difficile à employer.

L'irrigation par aspersion freine la multiplication de certains ravageurs en nettoyant physiquement les plants. Il a été démontré qu'elle pouvait éliminer de 7 fois le nombre d'oeufs pondus par *P. xylostella* sur ses plantes hôtes (Tabashnik & Mau 1986). Aux Etats Unies, elle a réduit significativement les infestations de *P. xylostella*, de 40 à 60% en une année (McHugh & Foster 1995). Le même résultat est obtenu avec l'effet de la pluie entraînant un taux d'humidité relative élevé et par conséquent une augmentation du taux de mortalité des chenilles de *P. xylostella* (Wakisaka et al. 1992). Malgré son succès, elle peut entraîner l'apparition de maladies cryptogamiques (Talekar & Shelton 1993).

- **Les phéromones sexuelles**

L'efficacité des phéromones réside dans leur capacité à estimer le nombre de ravageurs présents dans la zone, dans le but d'en évaluer leur seuil critique sur les cultures. Les produits à base de phéromones interpellent la reproduction des insectes ravageurs car permettant aux mâles de repérer les femelles pour l'accouplement. Leur utilisation dans la nature entraîne soit une confusion sexuelle, soit un effet de piégeage vis-à-vis des mâles, visant à les détruire. Il faut souligner cependant, que l'efficacité dépend parfois de la densité des ravageurs dans la zone, une densité très forte tente à minimiser la diminution des populations (Regnault-Roger 2005). Il faut dire que l'utilisation des phéromones affecte entre autre l'éthologie des insectes réduisant dans le même temps le succès de leur développement dans la nature.

- **La lutte intégrée**

La lutte intégrée apparaît aujourd'hui comme une association de toutes les méthodes de lutte dans la mesure où elle tente à utiliser l'efficacité de chacune en vue d'un résultat plus probant. Elle favorise une gestion raisonnée et plus responsable vis-à-vis de l'environnement permettant à la fois de maintenir les prédateurs à des niveaux inférieurs du seuil économique de nuisibilité. Elle permet d'amortir les impacts négatifs de toutes les formes de lutte par le biais d'une étude minutieuse sur l'écologie et la biologie des ravageurs et des agents de lutte biologique, au sein d'un système agricole particulier (Rincon 2006). Elle s'appuie le plus souvent sur les méthodes de lutte culturale et biologique avec des résultats prometteurs comme l'indiquent les programmes de lutte intégrée ou IPM (Integrated Pest Management). En effet, ces programmes reposent sur plusieurs points parmi lesquels : la prise

d'information sur le terrain afin d'évaluer le seuil des populations de ravageurs (monitoring, piégeage sexuel...), la combinaison de méthodes de lutte non chimique (auxiliaires de cultures, intervention mécaniques, plantes pièges), sélection des insecticides à spectre plus sélectif (*Bt*) afin de minimiser leurs impacts sur les auxiliaires utilisés, informer et faire participer les acteurs locaux aux programmes de lutte raisonnée.

L'application de l'ensemble de ces règles a permis de constater des résultats positifs partout dans le monde et a accentué les bénéfices qu'apportent les pratiques agricoles. En effet, plus de 80% des applications de pesticides ont été réduites en Malaisie et en Thaïlande (Lim 1992), dans le même temps les quantités de *Bt* utilisées au Brésil, ont diminué de 50% (Branco et al. 2004).

IV. Etude des parasitoïdes de *P. xylostella* dans les Niayes

L'espèce *P. xylostella* est le principal ravageur des Brassicacées le plus parasité dans la zone des Niayes. Elle est parasitée par 4 principales espèces de parasitoïdes : *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov), *Cotesia vestalis* (Haliday), *Apanteles litae* (Nixon) et *Brachymeria* sp. Au Sénégal, les parasitoïdes de *P. xylostella* présentent un taux de parasitisme variable selon l'espèce et la zone. Ce taux de parasitisme est fortement influencé par la saison. Chaque parasitoïde prédomine dans une zone donnée selon la disponibilité des populations de l'hôte et les conditions climatiques qu'offre le milieu. Cependant l'efficacité d'un parasitoïde serait liée à ces caractéristiques biologiques et éthologiques (Jervis et al. 2001).

IV.1 *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov)

IV.1.1 Systématique

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Hymenoptera

Super-famille : Chalcidoidea

Famille : Eulophidae

Genre : *Oomyzus*

Espèce : *Oomyzus sokolowskii*



Oomyzus sokolowskii (K.) (Photo: D.

IV.1.2 Biologie

La biologie de cet insecte se résume sur 4 stades qui forment dans le même temps son cycle de reproduction.

- **L'œuf**

La femelle ne présente pas de site de ponte préférentiel (Biro 1998). Cependant, elle pond ses œufs, de forme elliptique et transparents, regroupés en amas dans la partie postérieure de l'hôte. Les œufs de $0,3 \times 0,06$ mm se développent grâce aux éléments nutritifs de la chenille puis de la nymphe de l'hôte d'où ils émergent. L'incubation des œufs dure en moyenne trois jours à 25°C (Sow et al. 2013), avec une segmentation de l'embryon visible par transparence dans l'œuf.

- **La larve**

Plusieurs larves se développent en même temps dans la chrysalide parasitée. Ce phénomène entraîne un effet de compétition aboutissant à une sensible diminution du nombre de larves. Les larves, de tailles variables sont vermiformes, arrondies aux extrémités et possèdent un tube digestif sur toute leur longueur. Au terme de leur développement, les larves vident la chrysalide de toutes ses réserves avant d'émerger sous forme d'adultes. Les larves d'*O. sokolowskii* présentent un stade de vie larvaire qui varie de quatre à sept jours à 25°C (Sow et al. 2013).

- **La nymphe**

C'est un stade qui présente selon Biro (1998), une durée de 6 à 10 jours à une température de 26-27°C. La nymphose se subdivise en 4 étapes dont les deux dernières sont basées sur la couleur brune et noire de la nymphe. La première étape est formée par une pré-nymphe de couleur blanche, la deuxième se distingue par une nymphe aux yeux rouges. Cependant, il faut noter que les organes (antennes, abdomen, thorax...) commencent seulement à apparaître à la dernière étape.

- **L'adulte**

C'est un petit insecte de couleur noire, d'une envergure d'environ 1 à 2 mm, présentant un dimorphisme sexuel très prononcé. En effet le mâle se distingue de la femelle par une taille

plus petite avec un abdomen de même diamètre que le thorax. Il présente des antennes plus longues que celles de la femelle. Cette dernière quant à elle possède un ovipositeur (tarière) disposé dans une gouttière visible à l'extrémité de l'abdomen. Leurs antennes plus courtes possèdent des soies plus courtes et moins nombreuses (Sow et al. 2013).



Figure 25: *Oomyzus sokolowskii* ; En haut à gauche : Femelle en oviposition (x5). En haut à droite : Nymphes parasitées (G) et saines (D) de *P. xylostella* (x4). En bas à gauche : Nymphes parasitées dans leur cocon (x3). En bas à droite : Adulte (x5). (Photo: D. Bordat)

IV.1.3 L'écologie

C'est une espèce grégaire (plusieurs œufs sont pondus dans une même larve hôte) de *P. xylostella* qui présente à la fois une reproduction sexuée et asexuée. La reproduction sexuée donne naissance le plus souvent à des femelles diploïdes, issues d'ovules fécondés après accouplement. Quant à la reproduction asexuée, elle donne uniquement des mâles haploïdes (parthénogénèse arrhénotoque) issus d'ovules non fécondés (Biot 1998). Ce phénomène est à l'origine de la parthénogénèse notée chez l'espèce *O. sokolowskii*. En effet, la femelle gravide décide du sexe ratio de sa descendance : elle pond en général plusieurs œufs fécondés, puis un

petit nombre d'œufs non fécondés d'où un sexe ratio en faveur des femelles (Uraichuen 1999).

Cet hyménoptère endoparasitoïde de *P. xylostella* doit son succès à la femelle qui s'accouple aussitôt après l'émergence (Biro 1998). La femelle pond ses œufs à l'aide d'un ovipositeur, en portant son choix le plus souvent sur les chenilles L3 et L4 où les taux de parasitisme sont respectivement 70% et 61% (Talekar & Hu 1996) ou 54% et 76% (Sow et al. 2013). C'est un parasitoïde larvo-nymphal, dont le cycle débute au stade larvaire de l'hôte (Talekar & Hu 1996 ; Kfir 1997) et se termine au stade nymphal (Wakisaka et al. 1992 ; Noyes 1994) à partir duquel émerge l'adulte.

Le cycle biologique d'*O. sokolowskii* dépend fortement de la température (Tableau 4). Il dure en moyenne de 15 jours à 25°C (Wang et al. 1999). L'adulte a une durée de vie moyenne de 7 jours (Hirashima et al. 1990).

Tableau 4: Durée du cycle biologique d'*O. sokolowskii* à différentes températures (Wang et al. 1999)

Température (°C)	Durée du cycle (jrs)
35	13,4 ± 0,15
32,5	11,0 ± 0,13
30	12,7 ± 0,15
25	15,6 ± 0,18
22,5	20,9 ± 0,09
20	26,5 ± 0,71

C'est une espèce qui présente une grande capacité d'adaptation vue sa répartition géographique mondiale. L'efficacité d'un parasitoïde dans la lutte biologique dépend fortement de son adaptabilité face à des conditions climatiques variées (Gruarin 1998). Elle est partout présente sur l'ensemble des cinq continents, même si sa présence est parfois due à une introduction. Elle a été introduite pour la première fois à Hawaï en 1953 avec une population originaire du Kenya.

IV.2 *Apanteles litae* (Nixon)

IV.2.1 Systématique

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Hymenoptera

Super famille : Ichneumonoidea

Famille : Braconidae

Sous-famille : Microgastrinae

Genre : *Apanteles*

Espèce : *Apanteles litae*



IV.2.2 Biologie

L'espèce *Apanteles litae* présente un cycle de développement comprenant quatre stades :

- **L'œuf**

La femelle d'*A. litae* pond ses œufs dans l'hémolymphe de la chenille qu'elle parasite. Son œuf plus ou moins allongé, de couleur blanchâtre, est courbé et se termine par un appendice. Dans l'organisme de l'hôte, l'incubation de l'œuf dure 24 heures.

- **La larve**

Selon la littérature, l'espèce présente deux stades. Ces deux types de larves sont apodes mais elles présentent des différences au point de vue morphologique et anatomique. La larve de type 1 est reconnaissable par sa tête bien distincte avec des pièces buccales très apparentes. Par contre le type 2 commence par une substitution de l'appendice caudale du type 1 en une vésicule anale. Avec une tête très réduite présentant des mandibules, la vésicule anale disparaît, avant même que la larve sorte de son hôte. La larve présente un tube digestif qui se prolonge par la vésicule anale, qui recueille les déjections afin de nettoyer son milieu alimentaire. Le tube digestif se matérialise par une couleur plus ou moins foncée au centre de la larve (Jeamblu 1995).

- **La nymphe**

La sortie de la larve du parasitoïde se fait au niveau de la chenille hôte quand celle-ci commence à tisser sa nymphe. Du coup, la larve déchire la cuticule de la chenille et sort en tissant son cocon à l'extérieur de l'hôte. Ceci entraîne la formation d'un cocon blanc, à aspect parcheminé (Guilloux 2000), présentant souvent une tache noirâtre correspondant à la chenille morte, à l'un des extrémités du cocon. La durée de la formation du cocon est de 6 jours à 25°C (Jeamblu 1995).

- **L'adulte**

Contrairement à *O. sokolowskii*, un seul individu adulte émerge du cocon. C'est un petit insecte noir de 2,8 mm de long, présentant des pattes grêles. Avec un thorax ponctué, les ailes transparentes possèdent une paire antérieure avec à leur bord supérieur de petits crochets appelés hamulis.

Les adultes présentent un dimorphisme sexuel très prononcé basé généralement sur la taille des antennes et la présence d'un ovipositeur au niveau de la femelle. En effet le mâle présente des antennes aussi longues que son corps mais aussi à celles de la femelle. Cependant la femelle, avec abdomen plus effilé, possède un ovipositeur apical servant à la ponte.



Figure 26: *A. litae* (x8) : sortie de la larve parasite (G), le cocon (C), et la femelle (D).
(Photo: D. Bordat)

IV.2.3 L'écologie

C'est un hyménoptère endoparasitoïde koïnobionte. Il vit à l'intérieur de son hôte qui poursuit son développement jusqu'au moment où le braconide émerge laissant ainsi une chenille morte d'aspect noirâtre (Jeamblu 1995). Grâce à sa grande spécificité sur *P. xylostella*, il joue un rôle important dans la lutte biologique contre cette espèce. Dans la nature, il présente comme la plupart des hyménoptères, une reproduction sexuée et asexuée. Cette dernière conduit à une

parthénogénèse arrhénotoque qui se traduit par des œufs non fécondés qui donneront uniquement des mâles.

IV.3 *Cotesia vestalis* (Haliday)

IV.3.1 Systématique

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Hymenoptera

Super famille : Ichneumonoidea

Famille : Braconidae

Sous-famille : Microgastrinae

Genre : *Cotesia*

Espèce : *Cotesia vestalis*



IV.3.2 Biologie

L'espèce *C. vestalis* présente de très fortes similarités avec le parasitoïde *A. litae* dans la biologie mais également dans la morphologie. Sa biologie comprend 4 stades de développement.

- **L'œuf**

La femelle pond ses œufs sans site préférentiel au niveau de la chenille hôte (Roux 2006). L'œuf, une fois pondu se présente sous forme de croissant et mesure 0,3 mm de long pour 0,1 mm de diamètre (Sow 2013). Il est de couleur blanchâtre.

- **La larve**

Le stade larvaire tel que décrit par Delucchi et al. (1954), ainsi que Guilloux (2000) reste subdiviser en deux selon les différences notées entre les larves. En effet le stade L1 est facilement reconnaissable car présentant une grosse tête et une partie caudale terminée par une vésicule. Elle possède des mandibules qui lui permettent de se défendre dans l'organisme de la chenille hôte (Lloyd 1940) souvent super parasitées. En effet, les femelles ne pouvant

pas reconnaître une chenille parasitée par d'autres congénères pondent dans une chenille de *P. xylostella* qui de ce fait portent souvent plusieurs larves en même temps. Il s'en suit une compétition entre les larves, car un seul parasitoïde sortira de la chenille hôte (Vinson & Hegazi 1998).

La larve L2 quant à elle, se caractérise par une tête chitineuse plus réduite présentant des mandibules. A ce stade, elle se nourrit par osmotrophie (Quicke 1997) dans l'hémolymphe de son hôte tout en évitant de léser les organes vitaux.

- **La nymphe**

A l'image de la larve d'*A. litae*, la larve de *C. vestalis* émerge en perforant le tégument de la chenille-hôte et tisse son cocon juste à côté d'elle. La seule différence notée est que la larve de *C. vestalis* sort de la chenille hôte avant la nymphose. Ce phénomène est à l'origine de la formation d'un cocon de couleur blanc-jaune à aspect soyeux plus "propre" que celui d'*A. litae*. C'est un des critères d'identifications entre ces deux espèces. Le cocon qui se colore et se chitinisise davantage, présente une séparation des appendices qui deviennent bien visibles et plaqués contre le corps (Guilloux 2000).



Figure 27: Cocon vide de *C. vestalis* après émergence de l'adulte (x5). (Photo: D. Bordat)

- **L'adulte**

Son corps est de couleur marron-noir et il mesure entre 3 et 5 mm de long avec un abdomen non pétiolé. En étalant sa paire d'ailes antérieures, on s'aperçoit d'une tache le long de la nervure costale. Il présente un dimorphisme sexuel basé principalement sur la taille des

antennes. Le mâle, d'une morphologie beaucoup plus élancé, possède des antennes plus longues que son corps. Il est haploïde. Par contre la femelle a des antennes plus courtes ne dépassant pas son corps. Elle est plus massive et possède un ovipositeur court situé ventralement, caractère qui le distingue sur le terrain de la femelle d'*A. litae* à ovipositeur apical. Elle est diploïde d'où la reproduction haplodiploïde que présente l'espèce. La durée moyenne du développement complet de l'œuf à l'émergence de l'adulte est de 13 jours à 20°C (Delucchi et al. 1954) (Fig.29).



Figure 28: *C. vestalis* : En haut à gauche : Sortie de la larve (x21). En haut à droite : Formation du cocon (x15). En bas à gauche : Cocon formé (x15). En bas à droite : Femelle (x9). (Photo: D. Bordat)

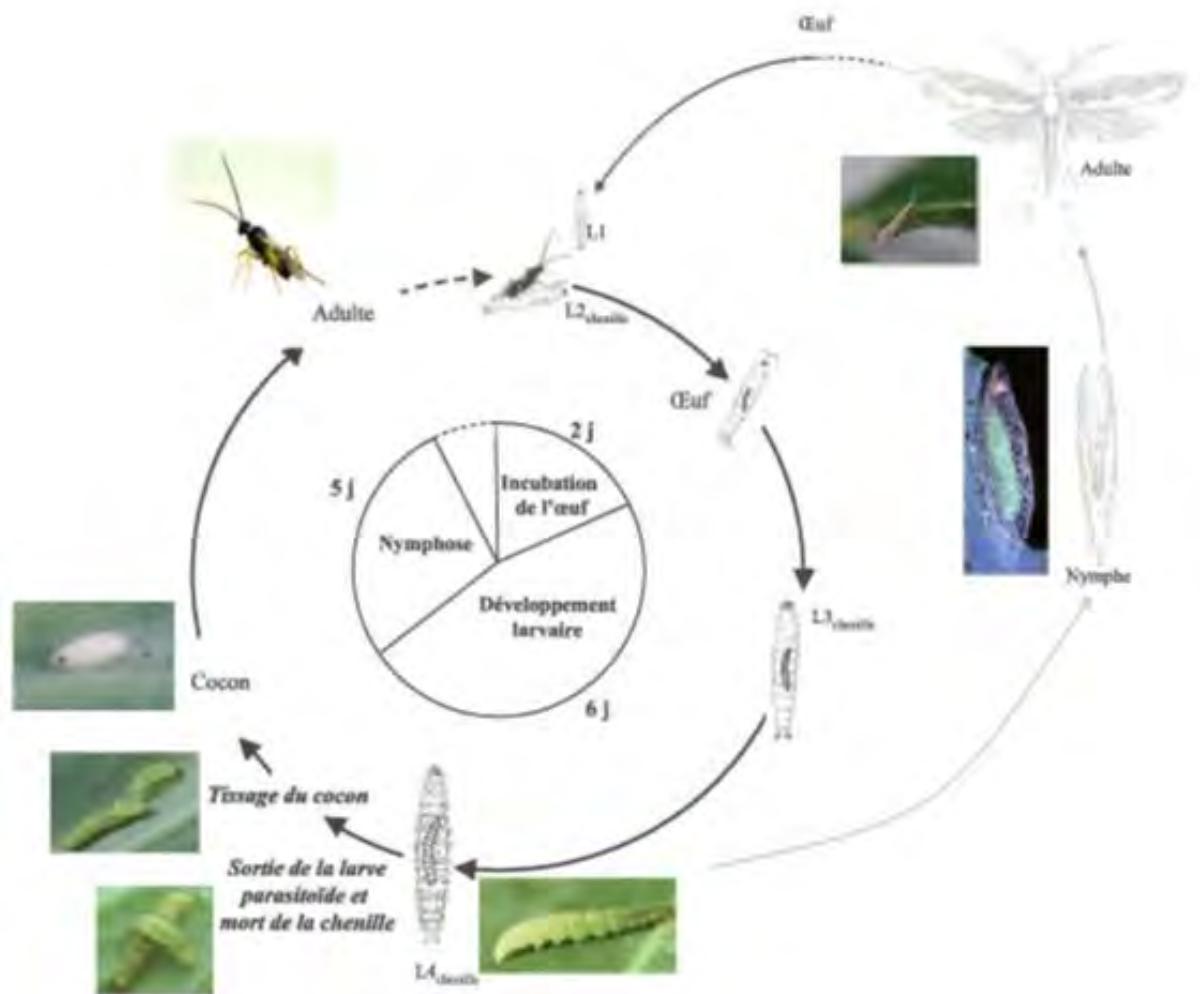


Figure 29: Cycle de développement de *C. plutellae* à 20°C (Delucchi et al. 1954, modifiée)

IV.3.3 L'écologie

Dans la nature, les adultes de *C. vestalis* s'orientent grâce à l'odeur des plantes hôtes (Brassicacées) de leurs hôtes. La femelle détecte son hôte par l'intermédiaire de l'odeur caractéristique émise par le chou endommagé par les chenilles de *P. xylostella* (Bogahawatte & van Emden 1996 ; Potting et al. 1999). Le mâle quant à lui est attiré par le même phénomène ce qui facilite les retrouvailles pour l'accouplement qui a lieu aussitôt après l'émergence. Il utilise également des phéromones sexuelles qui viennent renforcer l'efficacité de la reproduction. La femelle commence à pondre ses œufs dans les 24 heures qui suivent l'émergence (Sow et al. 2013). Comme tant d'autres hyménoptères, la femelle pond des œufs fécondés ou non. Elle possède une reproduction sexuée (haplodiploïdie) et une parthénogénèse arrhénotoque.

L'efficacité de cet endoparasitoïde, est renforcée par l'injection d'un polydnavirus au cours de l'oviposition empêchant l'encapsulation de l'œuf. La femelle a une préférence pour les larves L2 et L3 (Talekar & Yang 1991; Shi et al.2002) d'autant plus qu'elle est incapable d'atteindre les larves L1 de *P. xylostella* qui sont endophylles. Les L4 sont plus difficile à parasiter car très actives au contact avec le parasite (Lloyd 1940). L'espèce *C. vestalis* est une espèce solitaire (d'une chenille hôte, ne sortira qu'une seule larve) et koïnobionte (la chenille parasitée continue son développement jusqu'à la sortie du parasitoïde qui la tue). Malgré tous ces phénomènes, son taux de parasitisme peut atteindre 75% en laboratoire (Fouilhé 1996) comme au champ (Alam 1990).

Souvent introduite dans plusieurs pays à cause de sa spécificité dans la régulation de *P. xylostella*, aujourd'hui l'espèce est partout présente dans les aires géographiques occupées par son hôte. Il est devenu l'un des parasitoïdes de *P. xylostella* le plus répandu au monde (Shelton et al. 2008) grâce à sa tolérance à la chaleur (30-35°C) et à son pouvoir rapide d'acclimation, d'où son succès dans les pays tropicaux.

IV.4 *Brachymeria* sp.

IV.4.1 Systématique

Embranchement : Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre : Hymenoptera

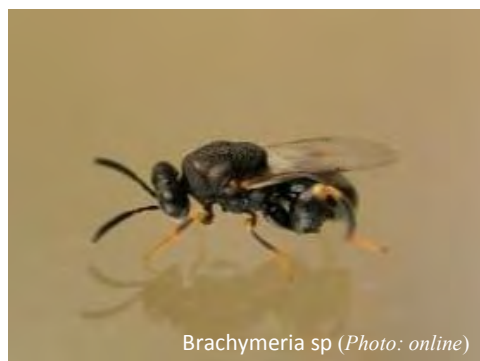
Super famille : Ichneumonoidea

Famille : Chalcididae

Sous famille : Chalcidinae

Genre : *Brachymeria*

Espèce : *Brachymeria* sp



Brachymeria sp (Photo: online)

IV.4.2 Historique et description

L'espèce *Brachymeria* sp. est un parasitoïde qui a fait l'objet de plusieurs études dans le monde. Au Sénégal, jusqu'en 1995, trois parasitoïdes ont été recensés sur chou pommé dans les Niayes de Dakar dont *Brachymeria* sp. (Ndiaye, 1995; Camara 1999). Cependant l'espèce *B. citrae* a été décrite pour la première fois au Sénégal par J.R. Steffan en 1954, avec comme

hôte un lépidoptère Gelechiidae inféodé au riz. Le genre connaît un nombre plus ou moins important de synonymes qui ont fait l'objet d'études dans les travaux de Sall-Sy et al. (2005). Dans les Niayes du Sénégal, elle a été identifiée sur le ravageur du chou *P. xylostella* (Sall-Sy et al. 2005) de même qu'au Bénin (Delvare & Kirk 1999). C'est ainsi qu'un autre parasitoïde du genre *Hockeria* proche de *B. citrae* a également été découvert dans la même étude. D'après Sall-Sy et al. (2005), l'insecte présente une coloration générale noire à éclat métallique. Les pattes postérieures ont un fémur fortement épaissi et un tibia jaune ceinture par un large anneau noir. Le corps apparaît entièrement recouvert de poils. La tête est plus large que haute et recouverte d'une pilosité fourmée de courtes soies ne cachant pas le tégument sauf sur sa face postérieure. Elle présente trois ocelles situés entre les yeux composés. Parmi les parasitoïdes de *P. xylostella* au Sénégal, elle fait parti parmi des plus facile à identifier à cause de ces caractéristiques plus ou moins spécifiques.

IV.4.3 Caractéristiques bio-écologiques :

C'est un endoparasitoïde présent dans la zone des Niayes avec parfois un faible taux de parasitisme. Avec un ovipositeur droit et court, il parasite l'espèce *P. xylostella* (en pondant) au stade nymphal. Ces adultes émergent des nymphes parasitées de *P. xylostella*. C'est une espèce solitaire, de la nymphe parasitée émerge un seul individu. C'est un parasitoïde qui supporte l'humidité et se comporte parfois comme un hyper-parasitoïde de cocons d'hyménoptères (Lohr & Kfir 2004) (Fig. 30). Cependant, dans les Niayes, il se développe plus dans la zone nord où son taux de parasitisme est supérieur comparé aux deux autres zones. Cette présence, montre qu'il se développe plutôt dans un climat chaud et plus ou moins sec....

Très peu de références bibliographiques ont été trouvées concernant ce parasitoïde, par ailleurs très peu étudié au niveau de sa biologie.



Figure 30: *Brachymeria* sp. parasite de nymphe (x7). (Photo: En ligne)

CHAPITRE 2 :

Les insectes ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle au Sénégal

Présentation du chapitre...

Ce chapitre présente les principaux ravageurs du chou et leur répartition dans la zone des niayes. Dans cette étude l'accent est mis sur l'évaluation spatio-temporelle des deux principaux ravageurs, *P. xylostella* et *H. undalis*. Elle a confirmé, chiffre à l'appui, la tendance longtemps soupçonnée (plus de parcelles attaquées dans la zone sud) sur la distribution de ces ravageurs entre les trois zones du transect nord-sud des Niayes. Dans cette zone essentiellement maraîchère, il est nécessaire de connaître la répartition de ces ravageurs pour étudier leur migration selon la période.

Ces deux ravageurs causent des dégâts considérables (plus de 80%) sur les cultures de Brassicacées, poussant les agriculteurs à utiliser des pesticides aux conséquences nocives sur la santé des populations et sur l'environnement. A cet effet, nous avons mené en parallèle une enquête sur les pesticides utilisés par les agriculteurs. Les résultats obtenus nous ont permis d'évaluer leur impact sur les ravageurs mais aussi sur la faune auxiliaire.

Les résultats globaux obtenus ont fait l'objet de cet article 1, dans lequel un bon nombre d'informations inédites, sur l'incidence des ravageurs, leur distribution ainsi que la nature et le nombre des traitements insecticides, ont été exposées. Il s'en est suivi d'une campagne de sensibilisation auprès des agricultures sur les effets de leurs pratiques agricoles sur leurs spéculations, tout en les présentant un bon nombre de ravageurs et d'auxiliaires. Cette campagne animée d'un jeu de questions-réponses a permis une prise de conscience des agriculteurs sur l'impact de leurs pratiques agricoles sur les cultures et peuvent désormais distinguer un ravageur d'un auxiliaire. Elle a également permis aux agriculteurs de savoir que tous les insectes ne sont pas des ravageurs.

Pour nous, c'était une expérience enrichissante qui nous a permis de comprendre les difficultés que rencontrent ces « braves » sur le terrain et par expérience nous ont appris beaucoup de choses sur plusieurs constats divers et variables qui reflètent les réalités de l'agro-écologie.

De ces constats naissent des perspectives de recherches, permettant un affinement des protocoles dont les résultats obtenus refléteront les réalités sur le terrain. Cela peut servir d'appréhender la complexité des relations tri-trophiques associées aux agroécosystèmes pour répondre de manière efficace à la lutte contre ces ravageurs.

Article 1

Les principaux insectes ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle dans les Niayes au Sénégal

B. Labou^{1*}, T. Brévault^{2,3}, A. Niang Fall¹, A. Dabo¹, S. Sylla^{1,2}, M. Diatte¹, D. Bordat¹ & K. Diarra¹

Soumis à Entomologia Generalis

Les principaux insectes ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle dans les Niayes au Sénégal

B. Labou^{1*}, T. Brévault^{2,3}, A. Niang Fall¹, A. Dabo¹, S. Sylla^{1,2}, M. Diatte¹, D. Bordat¹ & K.

Diarra¹

¹UCAD, Equipe Production et Protection Intégrées en Agroécosystèmes Horticoles - 2PIA, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Senegal

²BIOPASS, ISRA-UCAD-IRD, Dakar, Senegal

³CIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France

* Author for correspondence. Email: babslabou@yahoo.fr

Résumé

Au Sénégal, les dégâts causés par les ravageurs du chou constituent un obstacle majeur à l'augmentation globale de la production. A l'état actuel, l'incidence spatio-temporelle des principaux ravageurs est mal connue, ce qui renforce l'impertinence des recommandations phytosanitaires aux agriculteurs à petite échelle. Les objectifs de cette étude sont: (i) réactualiser la liste des insectes ravageurs des cultures de chou, (ii) cartographier leur incidence spatiale et temporelle (iii) et avoir une image des pratiques phytosanitaires déployées par les producteurs pour contrôler ces ravageurs. Un total de 116 parcelles de chou a été suivi durant quatre cycles de culture, d'Octobre 2012 à mai 2014, dans les Niayes. La « teigne » des Brassicacées, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera; Plutellidae), est de loin le plus important ravageur. Elle est présente dans toutes les parcelles de chou (100%), avec la plus grande incidence (1-91% des plantes infestées), en particulier au cours de la dernière partie de la saison sèche dans la zone sud. Le « borer » du chou, *Hellula undalis* (F.) (Lepidoptera, Pyralidae) a aussi causé des dommages importants (0-29% des plantes infestées), principalement en début de saison sèche dans la zone nord. Une faible incidence des hémiptères comme les pucerons et les mouches blanches est généralement observée. La plupart des producteurs utilisent des insecticides à large spectre contre les ravageurs du chou. Cette étude donne un aperçu sur le développement des stratégies de lutte antiparasitaire dans le cadre d'un système de production agricole durable.

Mots clés: gestion intégrée, teigne des Brassicacées, borer du chou, Brassicacées, horticulture, Afrique.

Introduction

Au Sénégal, le chou (*Brassica oleracea* L. var *capitata*) est l'un des légumes les plus cultivés, avec près de 60.000 tonnes sur une superficie de 3500 hectares (FAO 2015). Si la production de chou a connu une croissance annuelle de 10% au cours de la dernière décennie, le rendement est resté stable (FAO 2015). Les dommages causés par les insectes ravageurs sont un obstacle majeur à la stabilité saisonnier de la production et à l'augmentation de la productivité. Des études antérieures, y compris celles de Collingwood et al. (1984), Sall-Sy et al. (2001) et Sow et al. (2013), ont énuméré certains ravageurs du chou, mais sans aucune référence à leur incidence relative et à la distribution spatio-temporelle dans la principale zone des Niayes. La teigne des Brassicacées *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera; Plutellidae), qui persiste toute l'année, cause des pertes de rendement importantes. C'est le principal ravageur des cultures de Brassicacées dans diverses parties du monde, et est particulièrement préjudiciable dans les régions tropicales et subtropicales (Ayalew 2006 ; Grzywacz et al 2010 ; Furlong et al 2013). Ces traits biologiques tels que le taux élevé de reproduction, sa grande mobilité, et une large gamme de plantes hôtes font de ce ravageur un très grand destructeur des choux cultivés. D'autres insectes ravageurs tels que les pucerons peuvent affecter de manière significative la croissance du chou peu de temps après le repiquage (Grzywacz et al. 2010). L'utilisation d'insecticides de synthèse est la principale méthode déployée par les producteurs pour contrôler les insectes ravageurs du chou. Dans le monde, l'utilisation inappropriée des insecticides a montré des effets négatifs sur: (i) la biodiversité, y compris les ennemis naturels et les services écosystémiques connexes (Furlong et al 2013); (ii) la santé humaine (des producteurs et consommateurs, en particulier par les résidus de pesticides), (iii) le revenu du producteur dû à l'augmentation des coûts de production (Zalucki et al 2012) ; (iv) le manque d'efficacité due à la résistance aux insecticides des populations du ravageurs (Talekar et Shelton 1993 ; Furlong et al 2013 ; APRD 2015). La distribution spatio-temporelle des ravageurs du chou est encore mal connue au Sénégal, ce qui rend difficile la mise en œuvre des recommandations techniques ciblées aux producteurs de chou. Les objectifs de cette étude sont : (i) une mise à jour des ravageurs clés des cultures de chou, (ii) une cartographie de leur incidence spatiale et temporelle (iii) de connaître la gamme d'insecticides utilisés par les producteurs pour contrôler ces ravageurs. Un total de 116 parcelles de chou a été suivi sur quatre cycles de culture, d'octobre 2012 à mai 2014, dans les Niayes. Les résultats sont discutés à la lumière de la nécessité de stratégies de lutte antiparasitaire.

Matériel et méthodes

Site de l'étude

L'étude a été réalisée dans la zone des Niayes, principale zone maraichère du Sénégal. Elle est longue de 180 km et large de 10 à 30 km et forme la bande côtière qui va de Dakar à Saint Louis (Fig. 1). Cette zone est caractérisée par des dunes et des dépressions souvent inondées, et l'alternance d'une courte saison de pluies (juillet-septembre) et d'une longue saison sèche (octobre-juin) au cours de laquelle la plupart des cultures de légumes sont cultivés sous irrigation. Cette zone horticole fournit environ 80% de la production maraichère, grâce à des conditions pédoclimatiques et hydro-morphologiques favorables (Automne et al. 2001).

Echantillonnage sur le terrain

Un total de 116 parcelles de chou (taille moyenne 0,4 ha) répartis en trois zones (Sud, n = 41; Centre, n = 41; Nord, n = 34) le long d'un axe nord-sud dans la zone des Niayes (Fig. 1), est suivi pendant quatre cycles de culture, d'octobre 2012 au mai 2014. Dans chaque zone, les parcelles choisies sont distantes les unes des autres au moins de deux kilomètres. Toutes les trois semaines depuis le repiquage jusqu'à la récolte, 24 plants de choux par parcelle, choisis au hasard sont soigneusement inspectés pour échantillonner les insectes ravageurs et de noter les dommages connexes. Le diamètre de la pomme est mesuré. Les lépidoptères ravageurs sont observés sur le plant en entier pour la récolte des (larves et nymphes), ou sur trois feuilles par plante (à partir de la couronne intérieure, intermédiaire et externe) pour les hémiptères. Les insectes échantillonnés sont conservés dans de l'éthanol à 70° en outre pour l'identification au laboratoire. Une enquête auprès des producteurs sur l'utilisation d'insecticides pour gérer les ravageurs est menée. La température est enregistrée dans chacune des trois zones, en plaçant des enregistreurs de données (Hobo, Prosensor) (deux par zone).

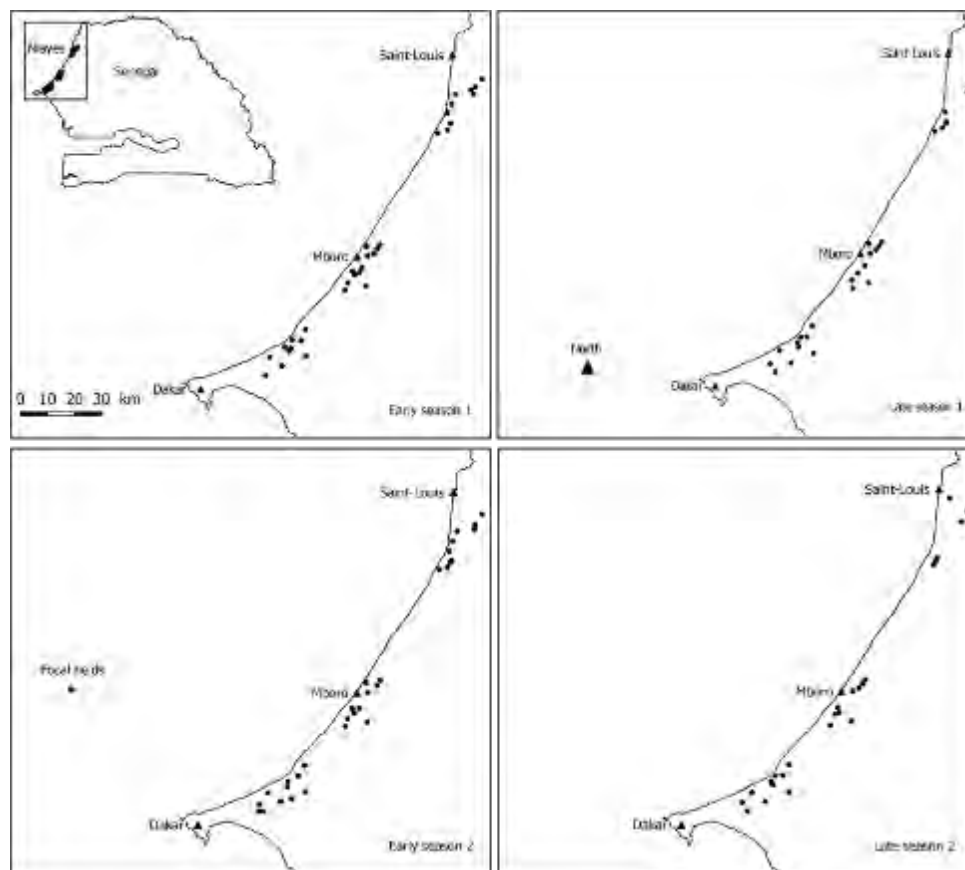


Figure 1. Distribution des parcelles dans la zone des Niayes ; réparties en deux saisons (1 et 2) avec deux cycles par saison (Early and Late).

Analyses statistiques

L'effet zone (Sud, Centre, Nord), de saison (2012-13, 2013-14), de cycle de culture (1-4), et la phénologie des cultures sur la proportion de plantes infestées par les insectes ravageurs (incidence) est évalué à l'aide d'une régression logistique en supposant une distribution binomiale des données (fonction logit GLM). Des représentations graphiques de données (sur les ravageurs) en tant que boîte à moustaches donnent des informations sur les valeurs de tendance centrale (moyenne et médiane), leur variabilité, la symétrie de la distribution et la présence de valeurs atypiques. La variation de l'abondance des chenilles de *P. xylostella* le long du cycle de culture, ou du nombre d'applications d'insecticide entre les zones sont analysés par des tests de Kruskal-Wallis non paramétriques. Une analyse de variance (ANOVA) est utilisée pour tester l'effet de la saison, la durée de la saison, et la température dans la zone. Les analyses sont effectuées avec XLSTAT Version 01/01/2015 (Addinsoft).

Résultats

Les principaux ravageurs du chou identifiés au cours des échantillonnages dans les parcelles appartiennent aux ordres des lépidoptères et des hémiptères. La teigne du chou est observée dans toutes les parcelles (tableau 1). L'incidence moyenne du ravageur sur les plants de chou (pourcentage de plantes infestées par des chenilles ou nymphes) est de 37,3%, avec un maximum de 90,6% des plants infestés. Le « borer » du chou, *H. undalis*, qui cause des dégâts spécifiques au niveau des bourgeons axillaires du chou, est détecté dans 37,1% des parcelles, mais seulement avec une moyenne de chenilles de 1,7% par plants infestés et 2,8% de pommes détruites. Toutefois, il peut infliger des pertes importantes dans certaines parcelles, avec jusqu'à 37.5% de pommes détruites. L'incidence du ravageur, *Crocitolomia binotalis* Zeller (Lepidoptera; Pyralidae) est généralement très faible. L'arpenreuse verte, *Chrysodeixis chalcites* (Esper) (Lepidoptera, Noctuidae) a une fréquence élevée de (52,6%), mais son incidence est généralement faible (3,6%), avec un maximum de 33,3%. La noctuelle de la tomate, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae), est détectée dans environ un tiers des parcelles (29,3%), avec une incidence maximale de 9,4% par parcelle. L'incidence des insectes suceurs tels que les aleurodes *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera, Aleyrodidae) ou de pucerons *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis), *Brevicoryne brassicae* (L.) ou *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera, Aphididae) est généralement faible, même si ils sont présents dans 31 et 69 % des parcelles, respectivement (Tableau 1).

Table 1. Occurrence et incidence des principaux insectes ravageurs recensés sur les parcelles de chou. Suivi sur quatre cycles de culture, d'octobre 2012 à mai 2014.

Order	Family	Species	Variable	Mean	Min	Max
Lepidoptera	Plutellidae	<i>Plutella xylostella</i>	Occurrence ¹ (%)	100		
			Incidence ² (%)	37.3	1.0	90.6
			Nb larvae/plant	1.2	0.01	12.9
	Pyralidae	<i>Hellula undalis</i>	Occurrence (%)	37.1		
			Incidence (%)	1.7	0	29.2
			Damaged buds (%)	2.8	0	37.5
	Noctuidae	<i>Crocitolomia binotalis</i>	Occurrence (%)	10.3		
			Incidence (%)	0.3	0	6.9
		<i>Chrysodeixis chalcites</i>	Occurrence (%)	52.6		
			Incidence (%)	3.6	0	33.3
		<i>Helicoverpa armigera</i>	Occurrence (%)	29.3		
			Incidence (%)	0.8	0	9.4
Hemiptera	Aleyrodidae	<i>Bemisia tabaci</i>	Occurrence (%)	31.0		
			Incidence (%)	0.6	0	34.4
	Aphididae	<i>Lipaphis pseudobrassicae</i> <i>Myzus persicae</i> , or <i>Brevicoryne brassicae</i>	Occurrence (%)	69.0		
			Incidence (%)	3.0	0	17.4

¹ Occurrence: proportion of infested fields. ² Incidence: proportion of infested plants (larvae or pupae for Lepidoptera, larvae or adults for aphids, only adults for whiteflies).

L'incidence et le nombre de chenilles de *P. xylostella* par chou augmentent significativement avec l'âge du chou, pour atteindre un plafond entre 61 et 80 jours ($\chi^2 = 527.7$, $df = 4$, $P < 0.001$) et 41 et 60 jours après repiquage ($K = 71.3$, $df = 4$, $P < 0.001$), respectivement (Tableau 2).

Tableau 2. Incidence des ravageurs en fonction de la durée après le repiquage des choux. (Repiqués en moyenne 4 semaines après semis en pépinière).

Species	Variable		Days post planting				
			0-20	21-40	41-60	61-80	>80
<i>Brassica oleracea</i>	Head diameter (cm)						
		Mean	0.3	1.7	4.9	7.7	8.6
		Max.	3.0	4.7	12.8	15.3	15.3
<i>Plutella xylostella</i>	Occurrence (%)		44.4 b	77.1 a	88.4 a	88.9 a	88.5 a
	Incidence (%)	Mean	12.1 d	30.4 c	38.0 b	42.9 a	43.8 a
		Max.	91.7	100	100	100	95.8
	Nb larvae/plant	Mean	0.2 c	0.8 b	1.2 a	1.5 a	1.7 a
		Max.	2.6	5.9	13.2	17.9	7.9
<i>Hellula undalis</i>	Occurrence (%)		8.9	18.3	15.2	18.5	15.4
	Incidence (%)	Mean	0.8 c	1.7 b	2.0 ab	2.8 a	1.3 bc
		Max.	20.8	25.0	45.8	37.5	12.5
<i>Helicoverpa armigera</i>	Occurrence (%)		2.2 b	7.3 ab	13.4 a	18.5 a	15.4 a
	Incidence (%)	Mean	0.1 c	0.6 b	0.9 b	1.9 a	1.0 ab
		Max.	4.2	12.5	20.8	20.8	8.3

On observe une corrélation positive ($r=0.94$, $P < 0.001$) entre l'incidence de *P. xylostella* dans les parcelles de choux et le nombre d'individus par plant observé (transformation $\log+1$) (Fig. 2). L'incidence d'*H. undalis* augmente aussi au cours du cycle, mais reste globalement faible. On note cependant que certaines parcelles peuvent subir des dégâts importants, avec 45,8% de plants infestés en début de cycle. L'incidence d'*H. armigera* est globalement faible, mais pouvant devenir ponctuellement significative dans certaines parcelles au moment de la pommaison (20.8% de pommes infestées).

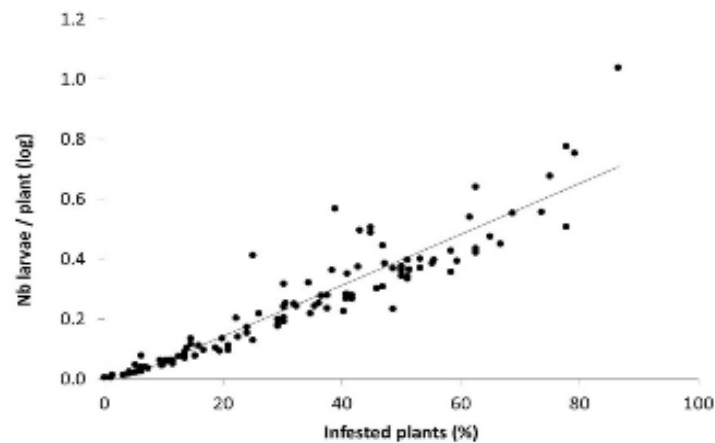


Figure 2. Relation entre l'incidence et le nombre de chenilles observé par plant dans la parcelle

*Incidence spatio-temporelle de *Plutella xylostella**

L'incidence du ravageur *P. xylostella* diminue significativement lorsqu'on se déplace vers le nord de la zone des Niayes ($\chi^2 = 136.0$, $df = 2$, $P < 0.001$) (Fig. 3).

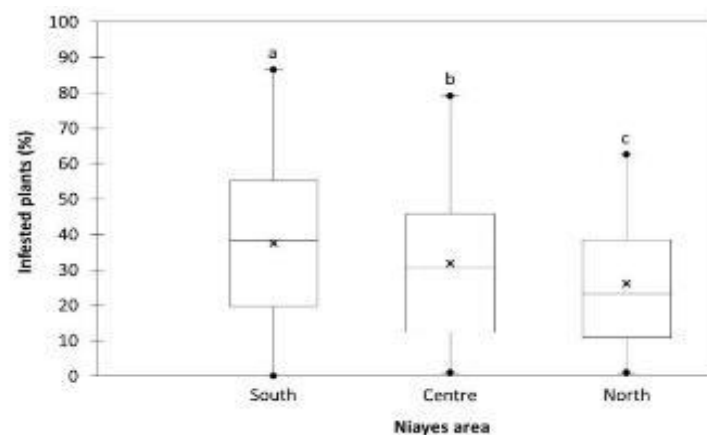


Figure 3. Incidence des populations de la teigne du chou, *P. xylostella*, en fonction des zones dans les Niayes,

L'incidence des populations de *P. xylostella* est plus forte en deuxième partie de saison sèche ($\chi^2 = 512.7$, $df = 1$, $P < 0.001$) (Fig. 4). De même, elle a été plus forte lors de la première année d'observation, en comparaison à la seconde année d'observation ($\chi^2 = 57.6$, $df = 1$, $P < 0.001$).

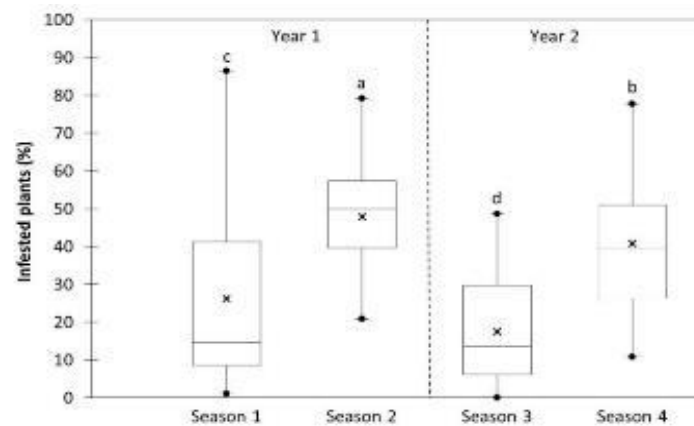


Figure 4. Incidence des populations de la teigne du chou, *Plutella xylostella*, dans la zone des Niayes, en fonction de la saison de culture.

*Incidence spatio-temporelle d'*Hellula undalis**

A l'inverse de la teigne du chou, l'incidence d'*Hellula undalis* (exprimée ici en termes de bourgeon axillaire détruit) augmente significativement lorsqu'on se déplace vers le Nord ($\chi^2 = 32.6$, $df = 2$, $P < 0.001$). L'incidence du borer est globalement faible, mais très variable d'une parcelle à une autre, en particulier dans les zones centre et nord.

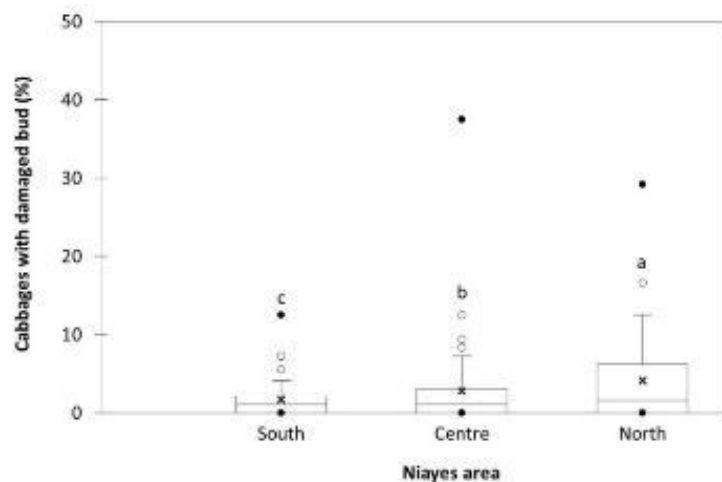


Figure 5. Incidence des populations du borer du chou, *Hellula undalis*, en fonction des zones dans les Niayes,

Sur les deux années d'étude, l'incidence des populations du borer du chou est restée relativement faible (Fig. 6). On note cependant une incidence plus forte en année 1 ($\chi^2 = 94.0$, $df = 1$, $P < 0.001$), et plus importante en première partie de saison sèche ($\chi^2 = 46.8$, $df = 1$, $P < 0.001$).

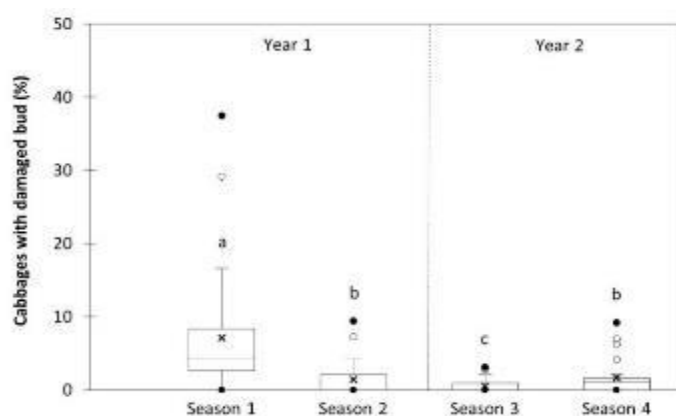


Figure 6. Incidence des populations du borer du chou, *Hellula undalis*, dans la zone des Niayes, en fonction de la saison de culture.

La température moyenne ($\pm$ SD, un relevé toutes les 30 min) enregistrée a été de 24.3 ± 5.4 , 22.4 ± 4.6 , 22.7 ± 6.0 et 21.7 ± 4.4 pour les cycles de culture 1, 2, 3 et 4, respectivement. Aucune différence significative de température n'a été notée entre les trois zones pour chaque cycle de culture (ANOVA, $P > 0.05$). Par contre, on observe une différence significative entre les périodes, avec 23.4 et 22.1°C pour la première et la seconde partie de saison sèche, respectivement, et entre années, avec 23.4 et 22.3°C pour l'année 1 et l'année 2, respectivement (ANOVA, $P < 0.05$).

Pratiques phytosanitaires

Globalement, le nombre de traitements insecticides au champ est modéré, avec une différence significative entre les zones sud, centre et nord, avec respectivement 4.7, 2.8, et 3.3 traitements en moyenne sur le cycle de la culture ($K = 11.3$, $df = 2$, $P < 0.01$) (Fig. 7)

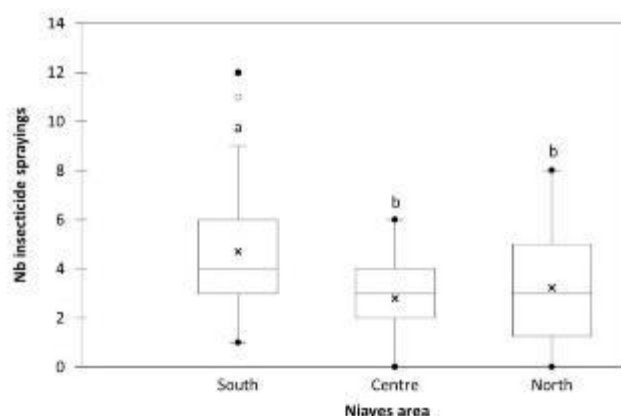


Figure 7. Nombre de traitements insecticides effectués au champ par cycle de culture du chou, dans la zone des Niayes ($n=41$, 41 et 34 , pour les zones sud, centre et nord, respectivement).

Le nombre de traitements d'insecticides est positivement corrélé au nombre de chenilles par plant ($r = 0,19$, $P = 0,044$) et la proportion de plants infestés ($r = 0,18$, $p = 0,052$). La plupart des traitements sont effectués avec des insecticides à large spectre, comme les organophosphorés (OP), les formulations à base de pyréthrinoïdes (plus de 70% des traitements à base de pyréthrinoïdes sont des formulations binaires ou ternaires comme les néonicotinoïdes ou organophosphorés), ou avermectines (abamectine). Une partie importante des traitements (14%) est faite avec des biopesticides, comme le *Bacillus thuringiensis* ou l'huile de neem à formulation commerciale (Fig 8).

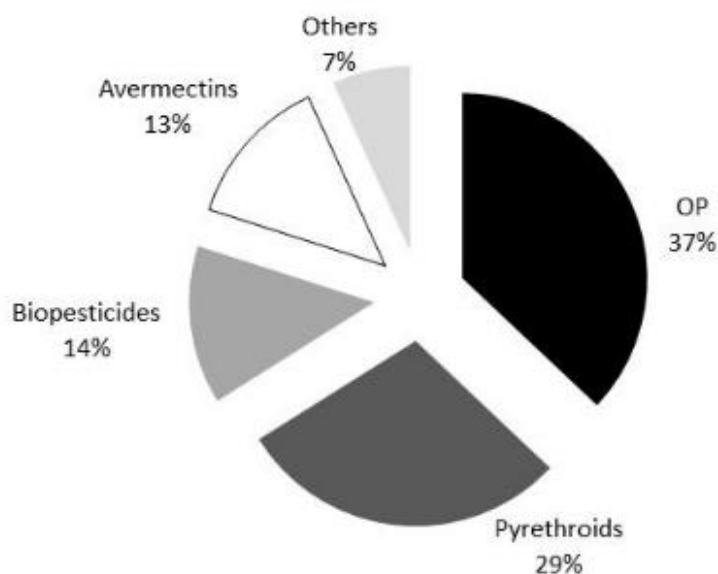


Fig 8. Insecticides utilisés par les cultivateurs pour le contrôle d'insectes ravageurs dans les parcelles de chou (nombre total des applications insecticide, $n = 513$). OP : organophosphates.

Discussion et conclusion

Cette étude donne une mise à jour des ravageurs des choux, parmi lesquels *P. xylostella* et *H. undalis* sont prédominants. Les chenilles de *P. xylostella* sont observées dans toutes les parcelles, avec une incidence variant de 0 à 91%. L'augmentation du nombre de chenilles de *P. xylostella* par plant est fortement corrélée à l'augmentation des plants infestés dans les parcelles. Le nombre de chenilles par chou augmente significativement avec l'âge du chou, surtout entre 41 et 60 jours après repiquage. Cette augmentation des chenilles ralentie puis s'arrête entre 61 et 80 jours. Une étude menée précédemment par Sow et al. (2013), a montré que l'abondance des chenilles (stades pré-imaginaux) de *P. xylostella* diminue avec l'âge du chou. Il affirme que ce phénomène est dû à la diminution de la ponte suite à la baisse de la

teneur en glucosinolates des plantes âgées. Cette tendance peut être également liée à la diminution de la survie et du taux de développement des stades pré-imaginaux (Campos et al. 2003, Badenes-Perez et al. 2014). Dans notre étude, une telle tendance n'a pas été observée. Toute fois cela est liée peut être à la taille de notre échantillonnage (116 parcelles) avec des choux n'étant pas au même stade phénologique. D'un autre point de vue la forte infestation observée par Sow et al. (2013) dans leur étude, aurait pu dissuader la ponte, favorisant en outre la suppression des ravageurs par les ennemis naturels (Bopape et al. 2014). L'incidence du ravageur diminue progressivement vers le nord de la zone des Niayes, mais elle augmente en deuxième partie de saison sèche. Cette variation du taux d'infestation entre saison pourrait être due à la température supérieure en première saison. Mais aucune différence significative de la température n'étant pas été notée entre les zones, les fortes précipitations pendant la saison des pluies peuvent diminuer les populations de chenilles (Campos et al 2006 ; Ayalew et al 2008; Zalucki et al 2012) qui reprennent peu à peu en début de saison sèche. Cependant, la forte incidence de *P. xylostella* dans la zone sud toujours en deuxième partie de la saison sèche, soit liée à la disponibilité des ressources. Dans cette zone la culture du chou se fait toute l'année contrairement à la zone nord. De ce fait, les chenilles se développent au sud avant de recoloniser ultérieurement les zones centrales et au nord par une dispersion locale des populations.

L'incidence des chenilles de *P. xylostella* varie très fortement entre les parcelles de la même zone. Cela suggère un effet des pratiques culturales avec l'utilisation des pesticides, mais aussi du contexte paysager. Par exemple les habitats semi-naturels favoriseraient la lutte biologique par les ennemis naturels (Bianchi et al. 2008) ou par l'influence d'autres plantes hôtes tels que le navet qui pourrait jouer un rôle de sources ou de puits (Saeed et al., 2009). Les chenilles du borer du chou, *H. undalis*, ont été détectés dans 37,1% des parcelles, avec seulement une incidence moyenne de 1,7% des plants infestés. Toutefois, des pertes importantes ont été observées dans certaines parcelles, avec un maximum de 37,5% de pommes détruites. Le borer du chou est un ravageur important des cultures de Brassicacées dans les régions tropicales et subtropicales. Il cause des dégâts, qui peuvent débuter dès la pépinière au niveau du bourgeon terminal du chou qui n'a plus d'axe central, ce qui peut conduire soit à la mort de la plante, ou à la formation de plusieurs têtes invendables (Mewis et al. 2001). Son incidence est généralement faible, avec une grande variabilité entre les parcelles, en particulier dans la zone centre. La température plus élevée dans la saison 1 pourrait expliquer en partie la forte incidence d'*H.undalis*.

Contrairement à *P.xylostella*, l'incidence d'*H.undalis* (exprimée en pommes détruites) est significativement plus élevée vers le nord et en saison début de saison sèche. On peut émettre l'hypothèse que la concurrence avec les larves de *P. xylostella* pourrait expliquer en partie ce schéma de répartition spatio-temporelle. Sept (7) parcelles présentant un taux important de pommes détruites (> 10%) sont faiblement infestées (14,8%) par *P. xylostella*. En Afrique, *H. undalis* est considéré comme un ravageur majeur dans de nombreux pays comme le Mozambique, en Zambie et au Zimbabwe (Gryzwacz et al. 2010).

D'autres lépidoptères ravageurs des Brassicacées, comme *C. binotalis*, et l'arpenreuse verte, *C. chalcites*, présentent une incidence généralement faible. Plus surprenante est la détection de la noctuelle de la tomate, *H. armigera*, dans environ un tiers des parcelles, avec des dégâts pouvant atteindre 9,4% de pommes attaquées. Son impact sur la production peut être grave car ces chenilles creusent les pommes de choux. Cette espèce cause des dégâts économiquement non négligeables parmi les lépidoptères ravageurs du chou (Cunningham & Zalucki 2014). Il est répandu dans toute l'Europe, en Afrique, en Asie et en Australie, où il cause des dommages importants à une grande variété de cultures (Sharma 2005). C'est un ravageur très polyphage avec une possibilité accrue de changements de niche écologique. Il fait sujet d'une importante résistance aux pesticides. Habituellement, c'est un ravageur clé du coton et de la tomate, ce qui fait de lui un ravageur très dangereux à surveiller de près.

L'incidence des insectes piqueurs-suceurs tels que les aleurodes *Bemisia tabaci* (Gennadius) ou de pucerons *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) ou *Myzus persicae* (Sulzer) est généralement faible, mais leur fréquence est suffisamment élevée pour ne pas les considérer seulement comme des ravageurs secondaires des cultures de choux dans la zone des Niayes. Leurs flambées sporadiques peuvent causer des dégâts importants sur les jeunes plantes, grâce à la transmission de maladies comme les viroses.

Notre étude a montré que le nombre d'applications d'insecticides dans les champs est généralement modérée, avec un plus grand nombre dans la zone du Sud (5), par rapport à la centrale (3) et les zones du Nord (3), au cours du cycle de culture. Cependant, l'utilisation d'insecticides inappropriés est observée dans certaines parcelles de la zone sud, avec un maximum de 11 à 12 traitements sur un cycle de culture. La corrélation significativement positive observée entre le nombre d'applications d'insecticides et le nombre de chenilles de *P. xylostella* par plant indique que les programmes de lutte déployés par les producteurs sont probablement inefficaces. Un quart des champs (28/116) a reçu plus de 5 applications d'insecticides. Dans une enquête sur les pratiques de lutte antiparasitaire des agriculteurs, Badenes-Perez & Shelton (2006) ont rapporté 5,8 à 4,8 applications par culture dans les

hautes terres du Kenya et de la vallée de Kullu de l'Inde, mais les auteurs ont indiqué que les traitements effectués par les agriculteurs interrogés étaient probablement plus élevés que ceux estimés dans l'étude. Au Zimbabwe, un à deux traitements par semaine (environ 16-20 applications pendant le cycle de culture) a été signalée par Tibugari et al. (2012). En Inde, Weinberger et Srinivasan (2009) ont rapporté que l'utilisation excessive de pesticides dans le chou (5.4-12.8 des applications par culture) est le seul recours de stratégie de lutte antiparasitaire.

Dans une autre étude menée en Malaisie, Mazlan & Mumford (2005) ont montré que la majorité des agriculteurs (96%) dépend de l'application de pesticides pour lutter contre les ravageurs. Leur fréquence est basée sur un calendrier comme modèle de pulvérisation tous les 7-9 jours dans la plupart des cas (environ 8-10 applications de pesticides), et que les quantités utilisées sont indépendantes du niveau d'infestation.

Les résultats de nos enquêtes montrent que la plupart des traitements ont été effectués avec des insecticides à large spectre, comme les organophosphorés (OP), préparés à base de pyréthréinoïdes (formulations binaires ou ternaires comme les néonicotinoïdes et les organophosphates) ou avermectines (abamectine). La plupart des producteurs dans le monde utilisent des insecticides de synthèses pour protéger les cultures de Brassicacées, et la plupart sont des insecticides non sélectifs (Grzywacz et al 2010 ; Furlong et al 2013). Ces méthodes de contrôle ont des effets néfastes sur les ennemis naturels et peuvent augmenter les dégâts des ravageurs (Bommarco et al 2011; Furlong et al 2004). En outre, les chenilles de *P. xylostella* ont développé une résistance à de nombreuses classes d'insecticides à travers le monde (Grzywacz et al 2010 ; APRD 2015). Une importante partie des traitements (14%) ont toutefois été faite avec le *Bacillus thuringiensis* ou d'huile de neem à formulation commerciale. Ces insecticides biologiques (champignons entomopathogènes, nématodes et virus, examinés par Grzywacz et al 2010) et les produits extraits des plantes ont démontré une efficacité contre les chenilles de *P. xylostella* (Goudegnon et al 2000; Javaid et al 2000 ; Liang et al, 2003 ; Charleston et al 2006 ; Furlong et al 2008; Godonou et al 2009; Ayalew 2011; Sow & Diarra 2013). Ils doivent être intégrés de manière plus régulière dans les programmes de gestion de la résistance des ravageurs, comme une alternative appropriée, à condition qu'ils ne soient pas nocifs sur les ennemis naturels (Amoabeng et al. 2013). L'introduction de nouveaux produits chimiques doit être complétée par l'éducation des producteurs sur les stratégies de gestion de la résistance aux insecticides (Grzywacz et al., 2010). En outre, il est nécessaire de mieux contrôler les résidus de pesticides dans la chaîne d'approvisionnement des frais, comme un indicateur de pratiques phytosanitaires.

Cette étude montre des directives importantes pour mieux gérer les ravageurs du chou dans les Niayes dans le cadre d'un système de production durable. Le principal ravageur est sans doute *P. xylostella*, qui est présent dans toutes les parcelles et à toutes les saisons. La recherche doit être menée sur la gestion de la parcelle (résistance de la plante hôte, comme les cultures transgéniques Bt-Brassica, cultures pièges, moustiquaires, les haies pour la conservation des ennemis naturels, la confusion sexuelle par les phéromones, etc.) et du paysage (conservation des espaces semi-naturels) pour un contrôle plus efficace de ce ravageur. De nouvelles collaborations devraient être mises en œuvre chez les producteurs pour une lutte contre les ravageurs à l'échelle du système (Brévault & Bouyer 2014). En particulier, le renforcement des capacités devrait être déployée (par exemple les écoles d'agriculture) pour encourager les petits agriculteurs à utiliser des traitements à seuil (pulvérisation seulement lorsque cela est nécessaire) et des insecticides plus sélectifs afin de préserver l'action des ennemis naturels.

Remerciements

Nous tenons à remercier E. Tendeng et A. Dia (étudiants en master), et FPMN (Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes) de l'aide pour les enquêtes, suivi sur le terrain et la collecte des insectes. Ce travail a été soutenu par l'IRD (AIRD) sous Grant PAIRS-BIOBIO 2013.

Références

- Amoabeng, B.W., Gurr, G.M., Gitau, C.W., Nicol, H.I., Munyakazi, L. & Stevenson, P.C. 2013. Tri-trophic insecticidal effects of African plants against cabbage pests. PLoS ONE 8(10): e78651.
- APRD. 2015. Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. Online at: <http://www.pesticideresistance.com/display.php?page=species&arId=571> (accessed 23.08.15).
- Ayalew, G. 2006. Comparison of yield loss on cabbage from diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) using two insecticides. Crop Protection 25: 915-919.

- Ayalew, G., Sciarretta, A., Baumgartner, J., Ogot, C. & Löhr, B. 2008. Spatial distribution of diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), at the field and the regional level in Ethiopia. *International Journal of Pest Management* 54: 31-38.
- Ayalew, G. 2011. Effect of the insect growth regulator novaluron on diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), and its indigenous parasitoids. *Crop Protection* 30: 1087-1090.
- Badenes-Perez, F.R. & Shelton, A.M. 2006. Pest management and other agricultural practices amongst farmers growing cruciferous vegetables in the central and western highlands of Kenya and the western Himalayas of India. *International Journal of Pest Management* 52: 303–315.
- Badenes-Perez, F.R., Gershenzon, J. & Heckel, D.G. 2014. Insect attraction versus plant defense: young leaves high in glucosinolates stimulate oviposition by a specialist herbivore despite poor larval survival due to high saponin content. *PloS ONE*, 9, e95766.
- Bianchi, F.J.J.A., Goedhart, P.W. & Baveco, J.M. 2008. Enhanced pest control in cabbage crops near forest in The Netherlands. *Landscape Ecology* 23, 595-602.
- Bommarco, R., Miranda, F., Bylund, H. & Bjorkman, C. 2011. Insecticides Suppress Natural Enemies and Increase Pest Damage in Cabbage. *Journal of Economic Entomology* 104: 782-791.
- Bopape, M.J., Nofemela, R.S., Mosiane, M.S. & Modise, D.M. 2014. Effects of a selective and a broad-spectrum insecticide on parasitism rates of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) and species richness of its primary parasitoids. *African Entomology* 22: 115-126.
- Brévault, T. & Bouyer, J. 2014. From integrated to system-wide pest management: challenges for sustainable agriculture. *Outlooks on Pest Management* 25: 212-213.
- Campos, W.G., Schoereder, J.H. & Picanço, M.C. 2003. Performance of an oligophagous insect in relation to the age of the host plant. *Neotropical Entomology* 32: 671-676.
- Campos, W.G., Schoereder, J.H. & De Souza, O.F. 2006. Seasonality in neotropical populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera): resource availability and migration. *Population Ecology* 48: 151-158.

- Charleston, D.S., Kfir, R., Dicke, M. & Vet, L.E.M. 2006. Impact of botanical extracts derived from *Melia azedarach* and *Azadirachta indica* on populations of *Plutella xylostella* and its natural enemies: A field test of laboratory findings. *Biological Control* 39 : 105-114.
- Collingwood, E.F., Bourdouxhe, L. & Defrancq, M. 1984. Les principaux ennemis des cultures maraîchères du Sénégal. CDH, Dakar, 95 p.
- Cunningham, J.P. & Zalucki, M.P. 2014. Understanding Heliothine (Lepidoptera: Heliothinae). Pests: What is a Host Plant? *Journal of Economic Entomology* 107: 881-896.
- Fall, S., Fall, S.T., Cissé, I., Badiane, A.N., Diao, M.B. & Fall, C.A. 2001. Typologie des systèmes de production agricoles urbains. In : Cités horticoles en sursis ? L'agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal. CRDI, Ottawa, Canada. 138 p.
- FAO. 2015. FAOSTAT database. Online at: <http://faostat3.fao.org/home/E> (accessed 23.06.15).
- Furlong, M.J., Shi, Z.H., Liu, Y.Q., Guo, S.J., Lu, Y.B., Liu, S.S. & Zalucki, M.P. 2004. Experimental analysis of the influence of pest management practice on the efficacy of an endemic arthropod natural enemy complex of the diamondback moth. *Journal of Economic Entomology* 97: 1814–27.
- Furlong, M.J., Ju, K.H., Su, P.W., Chol, J.K., Il, R.C. & Zalucki, M.P. 2008. Integration of endemic natural enemies and *Bacillus thuringiensis* to manage insect pests of Brassica crops in North Korea. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 125: 223–238.
- Furlong, M.J., Wright, D.J. & Dosdall, L.M. 2013. Diamondback moth ecology and management: Problems, Progress, and Prospects. *Annual Review of Entomology* 58: 517–541.
- Godonou, I., James, B., Atcha-Ahowéa, C., Vodouhè, S., Kooyman, C., Ahanchédé, A. & Korie, S. 2009. Potential of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates from Benin to control *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* 28: 220-224.
- Goudegnon, A.E., Kirk, A.A., Schiffers, B. & Bordat, D. 2000. Comparative effects of deltamethrin and neem kernel solution treatments on diamondback moth and *Cotesia*

- plutellae* (Hymenoptera, Braconidae) parasitoid populations in the Cotonou peri-urban area in Benin. *Journal of Applied Entomology* 124: 141-144.
- Grzywacz, D., Rossbach, A., Rauf, A., Russell, 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.
- Javaid, I., Saifudine, N., Tombolane, L. & Rafael, E. 2000. Efficacy of aqueous neem extracts in the control of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) on cabbage. *Insect Science and its Application* 20: 167-170.
- Liang, G.M., Chen, W. & Liu, T.X. 2003. Effects of three neem-based insecticides on diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* 22: 333-340.
- Mazlan, N. & Mumford, J. 2005. Insecticide use in cabbage pest management in the Cameron Highlands, Malaysia. *Crop Protection* 24: 31–39.
- Mewis, I., Ulrichs, C.H. & Schnitzler, W.H. 2001. Feeding behavior and host-plant of the cabbage webworm *Hellula undalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) in the context of secondary host-plant compounds. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 13: 535-538.
- Saeed, R., Sayyed, A.H., Shad, S.A. & Zaka, S.M. 2009. Effect of different host plants on the fitness of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection* 29: 178-182.
- Sall-Sy, D., Diarra, K. & Toguebaye, B.S. 2001. Seasonal dynamics of the development of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, and its hymenopteran parasitoids on cabbages in Dakar region. *In*: Kirk AA and Bordat D (eds.) *Improving biocontrol of Plutella xylostella*. Proceedings of the international Symposium, Montpellier, France, 21-24 October 2002. Montpellier, France, CIRAD.
- Sharma, H.C. (ed.). 2005. *Heliothis/Helicoverpa* management: Emerging trends and strategies for future research. Oxford and IBH Publishing, New Delhi, India.
- Sow, G., Diarra, K., Arvanitakis, L. & Bordat, D. 2013. Relationships between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia Horticulturae* 251: 3-12.

- Sow, G. & Diarra, K. 2013. Laboratory evaluation of toxicity of *Bacillus thuringiensis*, neem oil and methamidophos against *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) larvae. International Journal of Biological and Chemical Sciences 7: 1524-1533.
- Talekar, N.S. & Shelton, A.M. 1993. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. Annual Review of Entomology 38: 275–301.
- Tibugari, H., Jowah, P., Mandumbu, R. & Karavinac, C. 2012. Tackling diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) resistance: a review on the current research on vegetable integrated pest management in Zimbabwe. Archives of Phytopathology and Plant Protection 45: 2445-2453.
- Weinberger, K. & Srinivasan, R. 2009. Farmers' management of cabbage and cauliflower pests in India and their approaches to crop protection. Journal of Asia-Pacific Entomology 12: 253-259.
- Zalucki, J.M. & Furlong, M.J. 2011. Predicting outbreaks of a major migratory pest: an analysis of diamondback moth distribution and abundance revisited. Annual Review of Entomology 58: 8–14.
- Zalucki, M.P., Shabbir, A., Silva, R., Adamson, D., Liu, S.S. & Furlong, M.J. 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella*: Just how long is a piece of string? Journal of Economic Entomology 105: 1115–1129.

CHAPITRE 3

Répartition spatio-temporelle et assemblage des parasitoïdes de *P. xylostella*, et leur impact sur les populations de chenilles dans les Niayes du Sénégal.

Présentation du chapitre...

Ce chapitre se résume en deux articles présentant les différentes espèces de parasitoïdes de *P. xylostella* dans la zone des Niayes. C'est en quelque sorte un inventaire des parasitoïdes de *P. xylostella* et montre suivant les résultats de chaque article les différents paramètres qui influent sur le parasitisme et en même temps sur son efficacité sur les populations du ravageur. La distribution de ces parasitoïdes varie en fonction de la zone, de la saison, de l'abondance des ravageurs mais aussi des pratiques culturales.

Dans l'article 1, le taux de parasitisme est fortement lié au nombre d'individus du ravageur et varie en fonction de la zone et de la saison. Plus l'infestation est forte, plus le taux de parasitisme est élevé. Cependant l'article 2 montre les effets des pratiques (applications de pesticides, phénologie du chou...) et de la diversité des parasitoïdes sur le taux de parasitisme et son efficacité.

Parmi les deux ravageurs qui ont fait l'objet de cette étude, seule l'espèce *P. xylostella* est parasitée. Il s'agit de deux espèces de Braconidae endoparasites larvaires : *Apanteles litae* Nixon et *Cotesia vestalis* (Haliday), d'un Eulophidae larvo nymphal *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) d'un Chalcididae parasite de nymphe *Brachymeria* sp et l'apparition d'une nouvelle espèce *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera, Ichneumonidae, Campopleginae).

Dans les Niayes, la performance parasitaire dépend de l'espèce et de son adaptabilité face aux conditions du milieu. Par exemple selon la saison on constate que les deux espèces *O. sokolowskii* et *A. litae* dominent les espèces *C. vestalis* et *Brachymeria* sp. L'espèce *O. sokolowskii* est plus importante en saison sèche froide alors que l'espèce *A. litae* est dominante en saison sèche chaude. Cependant l'impact des parasitoïdes sur les populations du ravageur est fortement influencé par les pratiques culturales et par leur diversité.

Article 2

**Répartition spatio-temporelle et impact des parasitoïdes de *P. xylostella*
dans les Niayes au Sénégal.**

B. Labou^{1*}, D. Bordat¹, T. Brévault^{2,3} & K. Diarra¹

Soumis dans African Entomology

Répartition spatio-temporelle et impact des parasitoïdes de *P. xylostella* dans les Niayes au Sénégal.

B. Labou^{1*}, D. Bordat¹, T. Brévault^{2,3} & K. Diarra¹

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

²BIOPASS, ISRA-UCAD-IRD, Dakar, Senegal

³CIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France

* Author for correspondence. Email: babslabou@yahoo.fr

Résumé

Cent seize parcelles de chou réparties sur trois zones, selon un gradient Sud-Nord sont choisies. Ces parcelles sont suivies sur quatre cycles de culture allant d'octobre 2012 à mai 2014. Toutes les trois semaines, les chenilles du ravageur sont dénombrées sur 24 plants de chou pris aléatoirement pour chaque parcelle. Au total, 4 espèces d'Hyménoptère parasitoïdes larvaires et nymphal sont recensées ; *Oomyzus sololowski* (Kurdjumov), (Eulophidae), *Brachymeria* sp. (Chalcididae), *Apanteles litae* Nixon et *Cotesia vestalis* (Haliday) toutes les deux Braconidae. Le taux de parasitisme varie de façon importante entre les parcelles, la zone géographique et la période de l'année. Les espèces *O. sokolowski* et *A. litae* dominant et montrent un effet saison. La répartition des espèces sur les trois zones montre que l'espèce *O. sokolowskii* est plus efficace en saison sèche fraîche, *A. litae* en saison sèche chaude. Ces résultats visent à identifier les conditions favorables à la régulation des populations de la teigne du chou par les ennemis naturels, dans une conception de stratégies de gestion écologique du ravageur.

Mots clés : Chou, taux de parasitisme, saison sèche, parasitoïdes.

Introduction

Aujourd'hui, l'importante augmentation de la population mondiale et l'urbanisation incessante diminuant les terres cultivables sont des phénomènes à l'origine de nombreux problèmes affectant l'approvisionnement en denrées saines des populations. A l'échelle

mondiale, les cultures légumières jouent un rôle primordial dans les programmes de sécurité alimentaire et nutritionnelle. La culture des Brassicacées représente une importante ressource alimentaire avec en 2011, une production annuelle globale de 152 millions de tonnes, pour le chou, le chou-fleur et le colza réunis (FAOSTAT 2013). La famille des Brassicacées est très diversifiée et comprend 350 genres dont 3 500 espèces cultivées et sauvages (Warwick et al. 2003). L'Afrique ne représente que 5.8% de la production mondiale (FAOSTAT 2013), malgré tout certaines de ces régions dépendent principalement de ces cultures. Au Sénégal, le chou est un légume parmi les plus cultivés et constitue de par son cycle relativement court (60-90 jours après repiquage) une source importante de revenus et d'emplois pour les populations rurales. En 2013, le Sénégal a produit près de 60 000 tonnes de choux sur une superficie de 3 500 hectares (FAOSTAT 2013).

L'attaque des ravageurs est une limite à la productivité des spéculations et accentue le déficit d'approvisionnement des populations. L'espèce *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera, Plutellidae), encore appelée teigne du chou constitue une sérieuse menace pour cette spéculation dont elle inflige des pertes pouvant atteindre plus de 90% (Verkerk and Wright, 1996; Sarfraz et al. 2005 ; Mondédji, 2010). Cette espèce est surtout un problème dans les régions tropicales et subtropicales où la culture de chou se conduit toute l'année. Les conditions climatiques très favorables à son développement, associées à un fort potentiel reproductif, permettent à *P. xylostella* d'avoir plus de 20 générations par an (Vickers et al. 2004).

La lutte contre ce ravageur a été depuis longtemps l'emploi des insecticides de synthèse aux coûts de production très élevés, variant de 30 à 50% (Zalucki et al. 2012). A cause de certaines limites comme: l'impact sur la biodiversité, avec l'élimination des ennemis naturels (Furlong et al 2012), l'impact sur la santé des utilisateurs et des consommateurs (résidus de pesticides dans les spéculations mises en vente), l'augmentation des coûts de production (Chilcutt & Tabashnik 1997), l'apparition de souches résistantes (Hooks & Johnson 2003 ; Macharia et al. 2005 ; Sarfraz & Keddie 2005 ; Shelton et al. 2007 ; Huang et al. 2010), des méthodes de lutte alternatives ont été développées. Parmi ces méthodes, la lutte biologique constitue une des alternatives de lutte les plus efficaces à grande échelle contre les populations de *P. xylostella* (Lim 1992). La lutte biologique englobe des agents de lutte comme les virus, les bactéries, les champignons, les insectes entomophages (prédateurs et parasitoïdes). Tous ces agents sont censés agir contre la teigne (Delvare 2004), mais les parasitoïdes sont de loin les plus utilisés, les plus étudiés et les plus efficaces.

En Afrique de l'Ouest, le contrôle de *P. xylostella* par les parasitoïdes, reste un problème majeur (Lörh & Kfir 2004). Au Sénégal, un bon nombre d'agriculteurs ignorent cette lutte et par conséquent leurs pratiques agricoles (l'emploi des insecticides) annulent toutes les chances de contrôle de ces auxiliaires sur ces ravageurs (Furlong et al 2012). Cet état de fait nous a conduit à mener cette étude en se fixant comme objectifs : (i) l'inventaire des différentes espèces présentes ainsi que l'évaluation de leur impact sur les populations de chenilles de *P. xylostella*; (ii) de connaître la variabilité spatio-temporelle des populations d'auxiliaires et d'évaluer leur impact sur les populations de *P. xylostella*; (iii) de proposer des méthodes de lutte plus adéquates et plus écologiques.

Matériel et méthodes

Zone étudiée

L'étude a été réalisée dans la zone des Niayes, bande côtière de 180 km de long et de 10 à 30 km de large qui se situe entre Dakar et Saint Louis entre les latitudes 14°37 Nord et 16°02. Cette zone présente des caractéristiques pédologiques, hydrologiques et climatiques favorables à la production horticole, en particulier le maraîchage et l'arboriculture fruitière. Elle est constituée de dépressions inter-dunaires présentant des sols riches en matière organique où la nappe phréatique est sub-affleurante (puits) et de sols ferrugineux tropicaux non lessivés moins riches et où l'eau est accessible au moyen de forages.

Choix des parcelles d'étude

Les parcelles d'observation (116 parcelles de chou, *Brassica oleracea* L. var. *capitata*) sont sélectionnées dans trois zones agroécologiques différentes ; 41 au Sud, 41 au centre et 34 au Nord, le long d'un transect Dakar-Saint-Louis. Les échantillonnages ont été effectués sur quatre cycles de cultures : Cold dry season 1 (CDS1) du 12 octobre 2012 au 13 Janvier 2013 (32 parcelles), hot dry season 1 (HDS1) du 13 février au 13 juin 2013 (27 parcelles), Cold dry season 2 (CDS2) du 13 octobre 2013 au 14 janvier 2014 (26 parcelles) et hot dry season 2 (HDS 2) du 14 février au 14 mai 2014 (31 parcelles) (Fig. 1). Chaque parcelle choisie est distante d'au moins deux kilomètres 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).

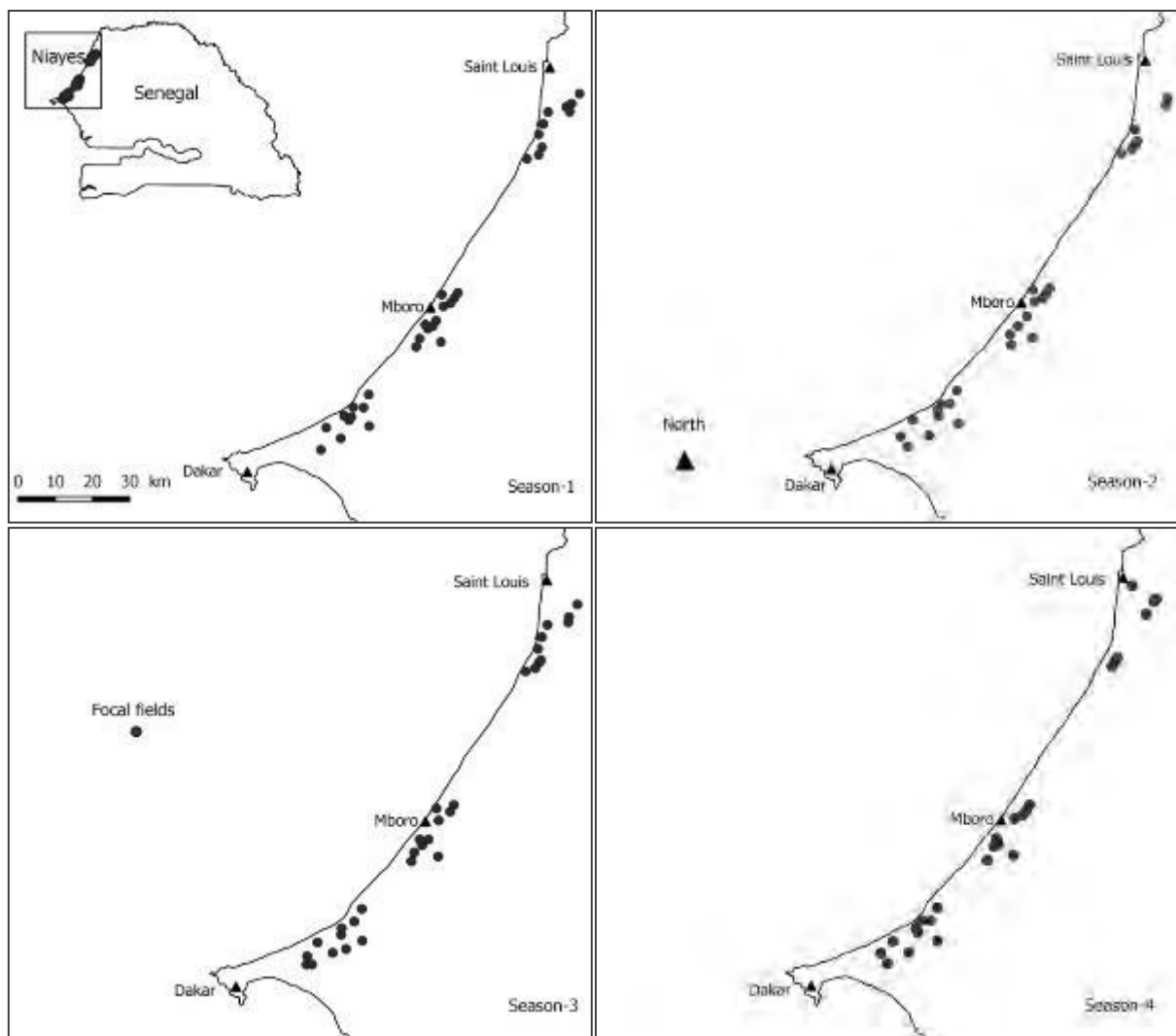


Fig 1 : Répartition géographique des parcelles d'observation dans la zone des Niayes.

Echantillonnage

La récolte des chenilles se fait tous les 21 jours, depuis le repiquage jusqu'à la première récolte des choux. Vingt-quatre plants sont choisis par parcelles de façon aléatoire. Les chenilles et les nymphes présentes sur chaque chou sont comptabilisées. Pour *H. undalis*, les dégâts caractéristiques de l'espèce sont également pris en compte (chou à plusieurs têtes).

Analyses statistiques

L'effet des variables : année, zone, saison sur le pourcentage de parasitisme est analysé à l'aide d'une régression logistique en considérant une distribution binomiale des données (GLM, fonction logit). L'effet des variables explicatives est évalué à partir d'une analyse de type II utilisant le critère du rapport de maximum de vraisemblance (XLSTAT Version 7.5.2, Addinsoft).

Le test de Kruskal Wallis est utilisé pour classer par zone le nombre et l'espèce de parasitoïdes par rapport au nombre total de chenilles hôtes.

Le test de khi-2 est utilisé pour comparer la dépendance du parasitisme entre les trois zones agroécologiques et les saisons.

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 (Principal Component Analysis with Hierarchical Clustering on Principle Components (HCPC), R Core, Package 'FactoMineR').

Résultats

Lors de nos différents échantillonnages, nous avons récupéré quatre espèces d'hyménoptères parasitoïdes sur les stades immatures de *P. xylostella*.

Il s'agit de deux espèces de Braconidae endoparasites larvaires : *Apanteles litae* Nixon et *Cotesia vestalis* (Haliday), d'un Eulophidae larvo nymphal *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) et d'un Chalcididae parasite de nymphe *Brachymeria* sp. Il est à noter que ce genre renferme des espèces hyperparasitoïdes (parasites d'espèces parasites).

Dans les figures, la comptabilisation d'*O. sokolowskii* n'a pas été faite sur les individus, mais sur les nymphes de *P. xylostella* parasitées. En effet et contrairement aux trois autres espèces qui sont solitaires, plusieurs individus (de 2 à 17) émergent d'une nymphe parasitée.

Taux de parasitisme moyen des chenilles de P. xylostella par zone agroécologique (Nord, Centre et Sud)

La répartition des parasitoïdes, montre que la zone sud est en moyenne la plus parasitée. Elle présente un taux de parasitisme qui varie très fortement de 0 à 40% avec une moyenne de 15% de chenilles parasitées. Ce taux est significativement différent aux taux des autres zones, Centre et Nord, ($\chi^2 = 23.8$, $df = 1$, $P < 0.0001$). Le parasitisme entre les deux zones centre et nord, respectivement 6% et 5% ne présente pas de différence (Fig 2). Cependant le % de parasitisme des parcelles était très hétérogène (une parcelle du Nord avait 50% de parasitisme).

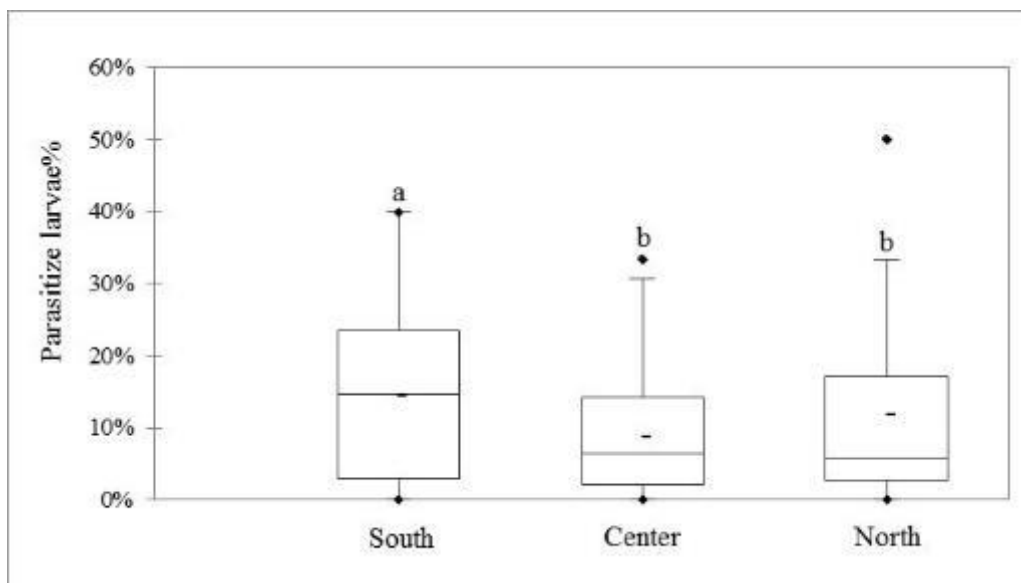


Fig. 2 : Taux de chenilles de *P. xylostella* parasitées par zone agroécologique

Taux de parasitisme des quatre espèces de parasitoïdes récoltés

La comparaison du taux de parasitisme de chacune de ces espèces montre une forte variation dans les trois zones avec une prédominance d'*O. sokolowskii* et d'*A. litae* statistiquement différentes des deux autres espèces *C. vestalis* et *Brachymeria* sp. (Fig 3).

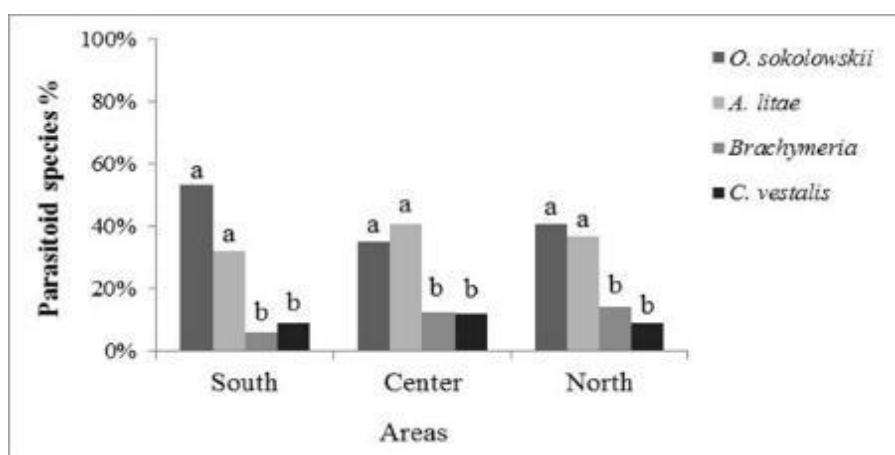


Fig. 3 : Taux de parasitisme des espèces de parasitoïdes réparties par zones agroécologiques

Taux de parasitisme moyen des chenilles de P. xylostella par saison (CDS and HDS)

Le taux de parasitisme moyen varie fortement entre les saisons. Il est statistiquement significatif ($\chi^2 = 118,042$, $df = 3$, $P < 0.0001$) et toujours plus élevé dans la deuxième saison de chaque année, HDS 1 (15%) et HDS2 (10%), avec des variations importantes (dues aux

parcelles), pouvant atteindre 50% (HDS2). Le plus faible taux de parasitisme a lieu en CDS 2 ou il n'atteint que 3% en moyenne, mais peut atteindre des pourcentages de 40 (Fig 4).

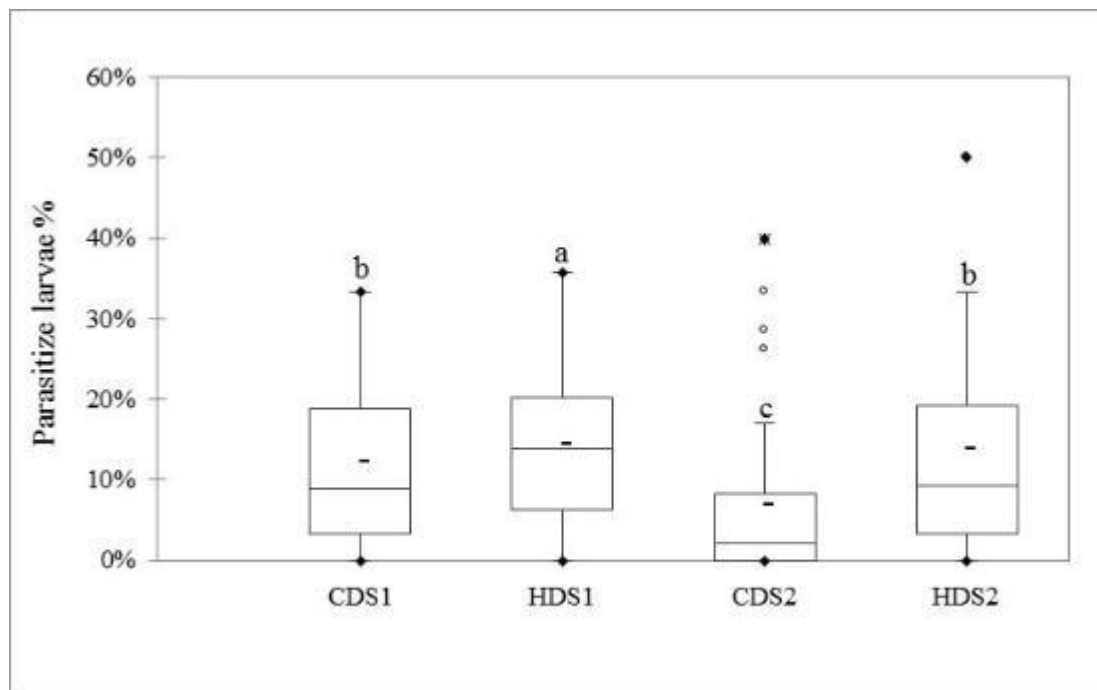


Fig. 4 : Pourcentage de chenilles parasitées par les quatre espèces d'hyménoptères sur les quatre saisons

Visualisation du pourcentage de parasitisme par saisons, par zones et par parcelles.

La Fig 5 nous fait visualiser les taux de parasitisme relevés en saison 1 (du 12 octobre 2012 au 13 Janvier 2013), en saison 2 (du 13 février au 13 juin 2013), en saison 3 (du 13 octobre 2013 au 14 janvier 2014) et en saison 4 (du 14 février au 14 mai 2014). La zone sud présente le plus souvent des parcelles supérieures à 20% de parasitisme.

Cependant les parcelles dans la zone centre (en saison 3) montrent toutes un taux de parasitisme qui ne dépasse pas 10% de chenilles parasitées.

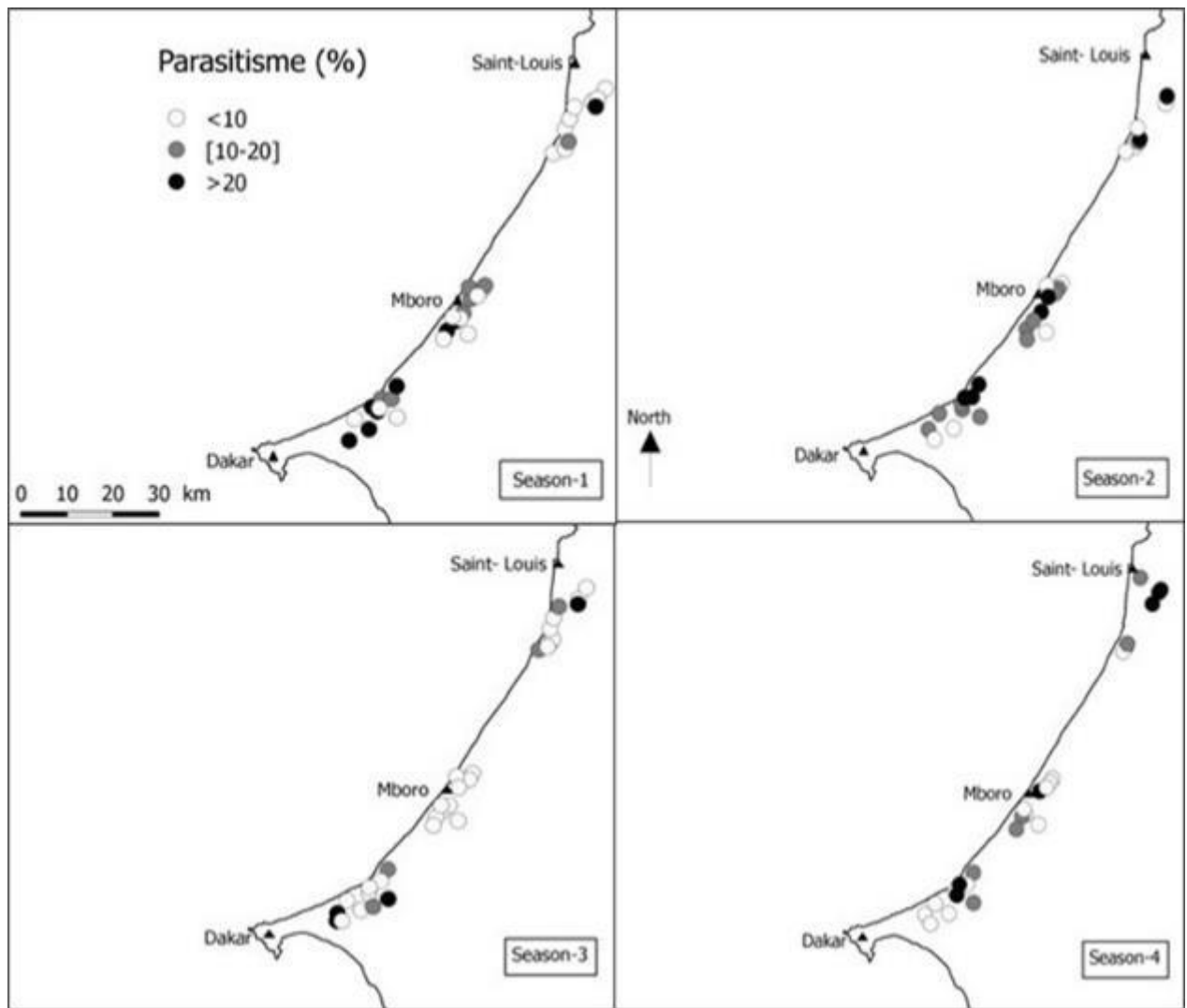


Fig. 5 : Pourcentage de parasitisme obtenu dans la zone des Niayes durant les saisons d'échantillonnages (2012-2013 et 2013-2014).

Comparaison du taux de parasitisme saisonnier des quatre espèces de parasitoïdes

En CDS et sur les deux années, les populations de l'espèce *O. sokolowskii* sont significativement plus importantes (de 76 à 84%) que celles des trois autres espèces. En HDS 1 toutes les populations sont statistiquement de même importance malgré des pourcentages qui varient de 10 à 42%. En HDS 2, les populations d'*A. litae* sont significativement plus importantes (63 à 82%) que celles des autres espèces. Dans cette saison on notera l'absence d'individus de *C. vestalis* (Fig 6).

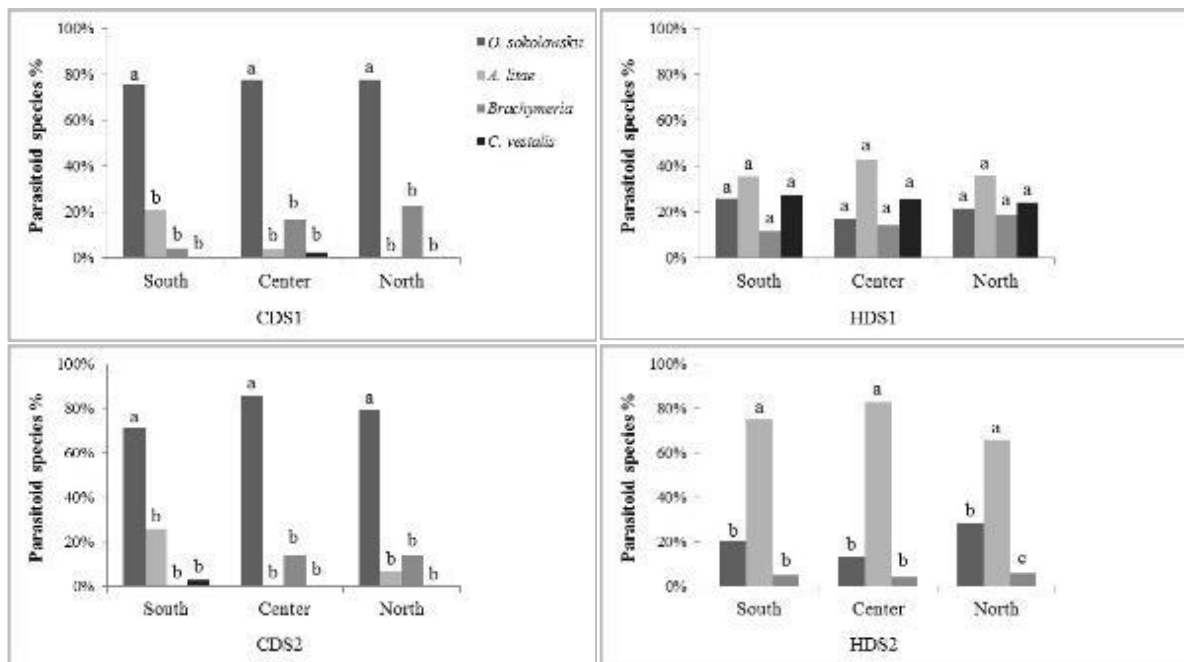


Fig. 6 : Distribution des espèces de parasitoïdes récoltés lors des échantillonnages

Discussion

Le taux de parasitisme des chenilles de *P. xylostella* par les quatre espèces d'hyménoptères parasitoïdes est le plus élevé dans la zone sud. Dans une étude précédente, (Labou et al. 2016) cette zone était déjà la plus infestée par *P. xylostella*. Les populations de parasitoïdes étant généralement plus importantes quand les populations d'hôtes sont grandes (Sow et al. 2013a) et que plus les plants de choux sont infestés plus ils attirent les auxiliaires. Il est important de noter que les dégâts sur chou dus à la pullulation des populations de chenilles de *P. xylostella* ont un effet attractif sur les parasitoïdes spécifiques. Plusieurs auteurs ont mis en évidence une attraction des parasitoïdes par des plants de Brassicacées attaqués par des ravageurs (Bukovinszky et al 2005; Girling et al. 2006; Reed et al. 1995). Le chou endommagé par les chenilles de *P. xylostella* émet une odeur détectable par les femelles des parasitoïdes qui leurs permettent de trouver facilement leur hôte pour l'oviposition (Bogahawatte & van Emden 1996 ; Potting et al.1999). Ce phénomène est à l'origine d'un complexe tri-trophique très spécialisé. Dans notre étude nous avons remarqué que les cultures de choux sont beaucoup plus importantes au sud comparées aux deux autres zones. En général, l'importance des populations d'un insecte ravageur se mesure par la disponibilité en ressources du milieu. En effet des travaux ont montré que la présence de ressources en abondances est plutôt favorable pour les insectes ravageurs (Altieri & Nicholls 2004; Rusch et al. 2012). Dans cette zone les

agriculteurs produisent des choux toute l'année contrairement à la zone nord où ils préfèrent pratiquer celle de l'oignon. Malgré le manque relatif de ressources pour le ravageur dans la zone nord, le parasitisme existe. Des études ont montré que la diminution des ressources par coupure momentanée de la culture aurait un effet de contrôle sur les populations du ravageur et serait plus favorable aux auxiliaires (Keller & Häni 2000). La zone nord, bien que favorable aux cultures de Brassicacées, présente une diversification de cultures et dispose de plusieurs sites non cultivés. Cette pratique semble offrir des conditions favorables aux parasitoïdes. Selon Keller & Häni (2000), neuf espèces d'auxiliaires sur dix ont besoin d'un environnement non-cultivé à au moins un stade de leur cycle de vie, alors que pour les insectes nuisibles, ce ne serait le cas que pour 50% d'entre eux. Elle est cependant accentuée par une cohabitation des quatre espèces de parasitoïdes spécifiques présentes sur le ravageur, sans pour autant entraîner un effet de super-parasitisme. En effet, le pourcentage de parasitisme assez faible (5%) ne perturbe en rien la niche écologique de chaque espèce.

Durant cette étude, nous avons noté que la distribution des quatre espèces de parasitoïdes était très hétérogène suivant les années, les trois zones écologiques et les différentes saisons (sèche fraîche et sèche chaude).

Pour les deux années d'échantillonnages (2013 et 2014) les saisons sèches chaudes ont toujours eu le plus haut degré de parasitisme. Cela peut s'expliquer par le fait que les surfaces cultivées en chou sont plus importantes que pendant les saisons sèches chaudes (Altieri & Nicholls 2004 ; Rusch et al. 2012). Une seconde hypothèse pourrait être émise concernant la température ambiante, plus proche en saison sèche chaude du développement optimum de *P. xylostella* (Sow et al 2013a ; Marchioro & Foerster 2011).

Durant les deux années, l'espèce *O. sokolowskii* est la plus présente au cours des saisons sèches fraîches. Ceci pourrait s'expliquer par l'adaptabilité du parasitoïde à des conditions de températures moyennes, entre 22 et 28°C (Suérda et al 2003; Wang et al 1999) favorisant son comportement. En effet sa répartition à l'échelle mondiale, prouve sa grande capacité d'adaptation face à des conditions de température variées, qualité nécessaire pour une lutte biologique efficace (Gruarin 1998). Une autre hypothèse pourrait être avancée: *O. sokolowskii* est un endoparasitoïde grégaire (plusieurs individus dans un même hôte). Ses performances parasitaires sont donc liées au nombre d'individus, à l'âge des femelles et à la durée de son développement très rapide (Sow et al. 2013b). De plus, il attaque tous les stades larvaires de *P. xylostella* (Sow et al. 2013b), ce qui lui permet d'être efficace durant toute la longueur du cycle larvaire. Malheureusement, l'espèce est un hyperparasitoïde facultatif de *C. vestalis* (Liu

et al. 2000) et pourrait nuire au développement des populations de cette espèce qui sont très faible dans les deux saisons sèches fraîches.

Pendant la saison sèche chaude 2013, les quatre espèces de parasitoïdes présentes sont de même importance et les populations de *C. vestalis* quasiment absentes en saison sèche fraîche apparaissent à un taux avoisinant les 30% au cours de la saison sèche chaude. Cette dernière saison possédait un taux d'humidité relative assez important, favorable à son comportement (Arvanitakis et al 2014).

Pendant la saison sèche chaude de 2013, l'espèce *A. litae* présente un taux de parasitisme supérieur à tous les autres parasitoïdes proches de 75% et cela pour les trois zones (Sud, Centre et Nord). Durant cette période sèche, la climatologie des trois zones se trouvait favorable à cette espèce, ayant un développement optimum sous les climats dont la température est voisine de 25°C et possède une faible humidité. (Sow et al. 2013a).

Parasitoïde des nymphes de *P. xylostella* dans cette étude, l'espèce *Brachymeria* sp. est un hyperparasitoïde généraliste facultatif attaquant les cocons d'hyménoptères (Liu et al. 2000) et qui présente un taux de parasitisme peu important, cela au cours de toutes les saisons, dans les trois zones agroécologiques et durant les deux années, excepté la saison sèche fraîche de l'année 2013 où l'espèce atteint les 20%, comparée aux autres parasitoïdes.

La comparaison entre ces zones montre que la zone nord, présente plus d'habitats semi-naturels, comme les friches, les haies, les bordures de champs et les terres en jachère. Ces habitats semi-naturels contiennent de nombreuses espèces d'arthropodes bénéfiques, et fournissent un environnement plus stable que les monocultures (Altieri and Nicholls 2004, Bianchi et al. 2006; Médiène et al. 2011).

Cependant il faut noter que *C. vestalis* et *Brachymeria* sp. présentent le taux le plus faible des quatre espèces et leur présence dans la région des Niayes est aléatoire (Sow et al. 2013a).

Conclusion

Ces résultats montrent que les espèces parasitoïdes de *P. xylostella*, jouent un rôle dans le contrôle de ce ravageur. Avec des taux de parasitisme qui peuvent aller jusqu'à 50% par parcelle, les parasitoïdes arrivent en première position dans le choix d'une méthode de lutte biologique contre ce ravageur et cela dans une zone agricole où les pesticides représentent la principale forme de lutte. Néanmoins, à eux seuls les parasitoïdes n'ont pas un effet de contrôle total sur *P. xylostella*. De ce fait, il serait judicieux d'opter pour une lutte biologique

de conservation, qui protégerait l'influence de la faune des entomophages locaux. Les agriculteurs devraient toujours avoir un comportement protecteur vis-à-vis de ces auxiliaires qui entrent dans la régulation naturelle des ravageurs et qui sont le plus souvent les premières victimes de l'application abusive de pesticides. Pour cela, les agriculteurs devront favoriser la diversification des cultures afin d'éviter les monocultures et de profiter des atouts qu'offre la biodiversité dans un environnement écologiquement stable.

Remerciements

We wish to thank E. Tendeng and A. Dia (Master students), and FPMN (Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes) for help with farmer's survey, field monitoring and insect collection. This work was supported by IRD (AIRD) under Grant PEERS-BIOBIO 2013.

Bibliographie

- ALTIERI, M.A. & NICHOLLS, C.I. 2004. Biodiversity and pest management in agroecosystems 2nd ed. New York: Food Products Press®, an imprint of The Haworth Press, Inc., 10 Alice Street, Binghamton, NY13904-1580.
- ARVANITAKIS, L., DAVID, J.F. & BORDAT, D. 2014. Incomplete control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, by the parasitoid *Cotesia vestalis* in a cabbage field under tropical conditions. *Biocontrol* **59** (6): 671-679.
- BIANCHI, F.J., BOOIJ, C.J. & TSCHARNTKE, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, **273**: 1715-1727.
- BOGAHAWATTE, C.N.L. & VAN EMDEN, H.F. 1996. The influence of the host plant of diamondback moth (*Plutella xylostella*) on the plant preferences of its parasitoid *Cotesia plutellae* in Sri Lanka. *Physiological Entomology* **21**: 93-96.
- CHILCUTT, C.F. & TABASHNIK, B.E. 1997. Host-mediated competition between the pathogen *Bacillus thuringiensis* and the parasitoid *Cotesia plutellae* of the diamondback moth (Lep.: Plutellidae). *Environmental Entomology* **26**: 38-45.
- DELVARE, G. 2004. The taxonomic status and role of Hymenoptera in biological control

- of DBM, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). In: Kirk AA, Bordat D (eds) Improving biocontrol of *Plutella xylostella*– Proceedings of the international symposium. CIRAD, Montpellier, France, 17–49.
- FAOSTAT. 2013. ([http:// faostat.org](http://faostat.org)). Food and Agriculture Organisation, United Nation.
- FURLONG, M.J., WRIGHT, J. & DOSDALL, L.M. 2012. Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress and Prospects. *Annual Review Entomology* **58**: 517–41.
- GRUARIN, S. 1998. Influence d'une microsporidie sur la biologie d'*Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoïde de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Mémoire d'Ingénieur Technique Agricole. Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles, Bordeaux. 44p.
- HUANG, Z., ALI, S., REN, S.X. & WU, J.H. 2010. Effect of *Isaria fumosoroseus* on mortality and fecundity of *Bemisia tabaci* and *Plutella xylostella*. *Insect Science and its Application* **17**: 140-148.
- HOOKE, C.R.R. & JOHNSON, M.W. 2003. Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Protection* **22**: 223-238.
- KELLER, S. & HÄNI, F. 2000. Ansprüche von nützlingen und schadlingen van den lebensraum. In Streifenförmige Ökologische ausgleichsflächen in der kulturlandschaft: ackerkrautstreifen, buntbrache, feldränder. Nentwig, W. ed. Switzerland: Verlag Agrarökologie pp. 199–217.
- LABOU, B., BORDAT, D., NIANG, A.A. & DIARRA, K. 2016. First record of the larval parasitoid *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) from Senegal. *African Entomology* **24** (2): 00-00
- LÖHR, B. & KFIR, R. 2004. Diamondback moth *Plutella xylostella* in Africa: a review with emphasis on biological control. In: Kirk, A.A., Bordat, D., (Eds.), Improving Biocontrol of *Plutella xylostella*. CIRAD, pp. 71–84. *Proceedings of the International Symposium in Montpellier, France, 21–24 Oct 2002*.
- LIU, S.S., WANG, X.G., GUO, S.J., HE, J.H. & SHI, Z. 2000. Seasonal abundance of the parasitoid complex associated with the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in Hangzhou, China. *Bulletin of Entomological Research* **90**: 221–231.

- MACHARIA, I., LÖHR, B. & DE GROOTE, H. 2005. Assessing the potential impact of biological control of *Plutella xylostella* (diamondback moth) in cabbage production in Kenya. *Crop Protection* **24**: 981-989.
- MARCHIORO, C.A. & FOERSTER, L.A. 2011. Development and survival of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) Lepidoptera: Yponomeutidae as a function of temperature: effect on the number of generations in tropical and subtropical regions. *Neotropical Entomology* **40** (5): 533-541.
- MEDIENE, S., VALANTIN-MORISON, M., SARTHOU, J.P., DE TOURDONNET, S., GOSME, M., BERTRAND, M., ROGER ESTRADE, J., AUBERTOT, J.N, RUSCH, A., MOTISI, N., PELOSI, C. & DORE, T. 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: A review. *Agronomy for Sustainable Development* **31**: 491-514.
- MONDEDJI, A.D. 2010. Potentiel d'utilisation d'extraits de feuilles de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) et de papayer (*Carica papaya* L.) dans le contrôle des insectes ravageurs du chou (*Brassica oleracea* L.) en zones urbaines et périurbaines au sud du Togo. *Thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo*, p195.
- POTTING, R.P.J., POPPY, G.M. & SCHULER, T.H. 1999. The role of volatiles from cruciferous plants and pre-flight experience in the foraging behavior of the specialist parasitoid *Cotesia plutellae*. *Entomologia Experimentalis and Applicata* **93**: 87-95.
- RUSCH, A., VALANTIN-MORISON, M., ROGER-ESTRADE, J. & SARTHOU, J.P. 2012. Local and landscape determinants of pollen beetle abundance in overwintering habitats. *Agricultural and Forest Entomology* **14**: 37-47
- SARFRAZ, M., DOSDALL, L.M. & KEDDIE, B.A. 2005. Spinosad: a promising tool for integrated pest management. *Outlooks on Pest Management* **16**: 78-84.
- SARFRAZ, M. & KEDDIE, B.A. 2005. Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lep, Plutellidae). *Journal of Applied Entomology* **129**: 149-157.
- SOW, G., DIARRA, K., ARVANITAKIS, L. & BORDAT, D. 2013a. Relationships between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia Horticulturae* **25** (1): 3-12
- SOW, G., ARVANITAKIS, L., NIASSE, S., DIARRA, K. & BORDAT, D. 2013b. Life

- history traits of *Oomyzus sokolowskii* Kurdjumov (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of the diamondback moth. *African Entomology* **21**: 231–238.
- SUÊRDA, W.J., FERREIRA BARROS, R. & TORRES, J.B. 2003. Thermal requirements of *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) and estimation of the number of generations in crucifers in Pernambuco State, Brazil. *Neotropical Entomology* **32** (3): 407- 411.
- VERKERK, R.H.J. & WRIGHT, D.J. 1996. Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: a review. *Bulletin of Entomological Research* **86**: 205–216
- VICKERS, R.A., FURLONG, M.J., WHITE, A. & PELL, J.K. 2004. Initiation of fungal epizootics in diamondback moth populations within a large field cage: proof of concept of auto-dissemination. *Entomologia Experimentalis and Applicata* **111**: 1–17.
- SHELTON, A.M., ROUSH, R.T., WANG, P. & ZHAO, J.Z. 2007. Resistance to insect pathogens and strategies to manage resistance: An update. In: *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Kluwer Academic Press, 793–811.
- WANG, X.G., LIU, S.S., GUO, S. J. & LIN, W.C. 1999. Effects of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoids of *Plutella xylostella*. *BioControl* **44**: 391-402.
- WARWICK, S.I., FRANCIS, A. & MULLIGAN, G.A. 2003. Brassicaceae of Canada. Government of Canada. Available: http://www.cbif.gc.ca/spp_pages/brass/index_e.php.
- ZALUCKI, M.P., SHABBIR, A., SILVA, R., ADAMSON, D., LIU, S.S. & FURLONG, M.J. 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella*: Just how long is a piece of string? *Journal of Economic Entomology* **105**: 1115–1129.

Article 3

Les assemblages déterminants des parasitoïdes de la teigne des Brassicacées, *Plutella xylostella*, dans les parcelles de chou d'agriculteurs au Sénégal.

Babacar Labou^{a,*}, Thierry Brévault^{b,c}, Dominique Bordat^a, Karamoko Diarra^a

Accepté dans Crop protection

Les assemblages déterminants des parasitoïdes de la teigne des Brassicacées, *Plutella xylostella*, dans les parcelles de chou d'agriculteurs au Sénégal.

Babacar Labou^{a,*}, Thierry Brévault^{b,c}, Dominique Bordat^a, Karamoko Diarra^a

^aUCAD, Equipe Production et Protection Intégrées en Agroécosystèmes Horticoles - 2PIA, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Sénégal

^bBIOPASS, ISRA-UCAD-IRD, Dakar, Senegal

^cCIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France

*Corresponding author. Email address: babslabou@yahoo.fr

Résumé

La lutte biologique par conservation, qui favorise l'utilisation optimale des ennemis naturels indigènes, est une voie prometteuse pour réduire la dépendance des pesticides dans les systèmes horticoles. Une enquête sur le terrain de deux ans est menée dans la principale zone de production du chou au Sénégal (Niayes) afin d'évaluer le potentiel des parasitoïdes indigènes pour contrôler les populations de *Plutella xylostella* (lépidoptères, Plutellidae). Les résultats ont montré un faible niveau global du parasitisme (11,7%), qui semble indépendant de l'abondance de l'hôte, mais très variable entre les champs (0-50%). L'utilisation des pesticides, surtout ceux à large spectre, ont un effet négatif sur le taux global de parasitisme. Les observations au cours du cycle de culture montrent que le parasitisme diminue avec le vieillissement de la culture (à partir de 41 -60 jours après repiquage), probablement due à des applications répétées d'insecticides. Quatre principales espèces de parasitoïdes dont *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Eulophidae) (48,8%), *Apanteles litae* Nixon (Braconidae) (32,5%), *Brachymeria* sp. (Chalcididae) (11,3%), et *Cotesia vestalis* Haliday (Braconidae) (7,3%) sont identifiées. Le parasitisme dû à *O. sokolowskii* est supérieur au cours de la première partie de la saison sèche alors que le parasitisme d'*A. litae* est supérieur au cours de la deuxième partie de la saison sèche. Le taux de parasitisme de *Brachymeria* sp. n'est pas affecté par la saison, mais est supérieur dans le Centre et le Nord que dans le Sud des Niayes. Quant à *C. vestalis* son taux de parasitisme reste égal dans les trois zones, mais est plus élevé dans la dernière partie de la saison sèche. La diversité des parasitoïdes est constante à travers les zones, mais

elle reste supérieure dans la deuxième partie de la saison sèche. Une corrélation positive est observée entre la diversité (diversité Shannon indice H') et le taux de parasitisme, ce qui suggère un effet positif de la diversité des parasitoïdes sur le contrôle naturel des ravageurs. Les parasitoïdes ont un rôle prometteur à jouer comme agents de lutte biologique au Sénégal, à condition que d'importants changements surviennent à l'utilisation des insecticides actuels couplés à une meilleure connaissance de leurs besoins en ressources.

Mots-clés: Parasitisme; La lutte biologique; Brassicaceae; *Oomyzus sokolowskii*; *Cotesia vestalis*; *Apanteles litae*; *Brachymeria* sp. Afrique

1. Introduction

Dans les régions tropicales et subtropicales, les dommages causés par les insectes nuisibles est un obstacle majeur à la stabilité saisonnière et à l'augmentation globale de la production de chou. La teigne du chou, *Plutella xylostella* (L.) (Lépidoptère, Plutellidae), est de loin le ravageur le plus destructeur, ce qui augmente considérablement le coût et l'incertitude de la production pour les petits agriculteurs (Grzywacz et al., 2010). Au Sénégal, les populations de *P. xylostella* peuvent persister toute l'année dans la zone des Niayes, ce qui entraîne une menace permanente pour les cultures de chou (Sow et al., 2013). Les stratégies déployées par les agriculteurs pour contrôler ce ravageur comptent sur les applications de routine et parfois sur l'utilisation de pesticides synthétiques à large spectre (principalement les organophosphorés et pyréthrinoides). Cette utilisation intensive de pesticides est une grave source de risques pour les écosystèmes et la santé humaine (Barzman et al., 2015). En outre, elle réduit considérablement les impacts de la biodiversité et des services écosystémiques connexes tels que la régulation des ravageurs fournie par les ennemis naturels (Furlong et al., 2004; Bommarco et al., 2011; Ayalew, 2011). Le besoin accru de plusieurs insecticides conduit souvent à une augmentation des coûts de production et à une résistance des populations de ravageurs sur le terrain (Li et al., 2012; Furlong et al., 2013).

Trouver des alternatives aux pesticides synthétiques bio-rationnels est un défi majeur pour la conception de systèmes agricoles productifs et écologiquement stables. La lutte biologique par conservation, qui favorise l'utilisation optimale des ennemis naturels indigènes (Landis et al., 2000; Tscharrntke et al., 2007), est une voie prometteuse vers la lutte antiparasitaire durable (Bale et al, 2008; Barzman et al, 2015). Au Sénégal, les parasitoïdes ont un grand potentiel pour le contrôle des populations de *P. xylostella* sur le terrain (Sall-Sy et al., 2004;

Sow et al, 2013a.). Cependant, cinq espèces de parasitoïdes hyménoptères sont retrouvées à ce jour. Ce sont les parasitoïdes larvaires tels que *Apanteles litae* Nixon et *Cotesia vestalis* Haliday (Braconidae), et plus récemment *Diadegma insulare* (Cresson) (Ichneumonidae) (Labou et al., 2016), mais aussi les parasitoïdes larvo-nymphal *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Eulophidae) et *Brachymeria* sp. (Chalcididae). Le taux de parasitisme observé dans la région de Dakar est relativement faible (Sow et al, 2013b.). A l'échelle mondiale, le complexe de parasitoïdes qui attaque la teigne du chou est approximativement égal à 60 espèces (Delvare, 2004). Cependant, seule une douzaine d'espèces sont souvent récupérés et les parasitoïdes d'œufs semblent être sous-représentées (Liu et al., 2004; Furlong et al., 2013). Les parasitoïdes d'œufs sont souvent mal connus (en particulier les espèces de trichogrammes), qui peuvent avoir un grand rôle à jouer dans la lutte biologique, comme en témoigne Liu et al. (2004) en Australie. En Afrique, les parasitoïdes larvaires les plus courants et efficaces appartiennent à trois genres majeurs, *Apanteles*, *Cotesia* (Braconidae) et *Diadegma* (Ichneumonidae) et les parasitoïdes de pupes appartiennent au genre *Diadromus* (Ichneumonidae) (Kfir, 2003). Selon Lohr et Kfir (2004), la diversité de la faune de parasitoïdes associés à *P. xylostella* en Afrique est relativement pauvre. Plus d'informations sont nécessaires sur la variation spatio-temporelle du contrôle biologique des populations de la teigne du chou et l'assemblage des parasitoïdes pendant la saison sèche, principale période de production du chou. La présente étude est réalisée afin (i) d'évaluer l'importance du parasitisme larvaire et nymphal des populations de la teigne du chou dans les champs de chou des agriculteurs à travers la principale zone de production du chou au Sénégal (Niayes), (ii) de mettre à jour la liste des espèces de parasitoïdes recueillies sur le terrain, et (iii) de cartographier leur diversité, la saisonnalité et l'abondance relative des parasitoïdes de *P. xylostella* dans la zone étudiée. Les résultats sont discutés à la lumière d'un potentiel lutte biologique par conservation comme élément clé d'un «système de gestion intégrée» de la teigne du chou dans la production de chou au Sénégal.

2 Matériel et méthodes

2.1 Les sites d'étude

L'étude a été réalisée au cours de la saison sèche dans la principale zone de production maraîchère du Sénégal (Niayes). Cette zone est une bande côtière de 180 km de long et 10-30 km de large allant de Dakar à Saint Louis (Fig. 1). Son environnement est caractérisé par des dunes et des dépressions qui sont souvent inondées, et par l'alternance d'une courte saison des

pluies (Juillet-Septembre, 400-500 mm de pluie) et une longue saison sèche (Octobre-Juin) au cours de laquelle la plupart des cultures maraîchères notamment celles du chou se font sous irrigation. Un total de 116 parcelles de chou (taille moyenne de 0,4 ha, ha 0,01 à 3,6) sont sélectionnés dans trois zones (Sud, n = 40; Centre, n = 42; Nord, n = 34) des Niayes (Fig. 1). Dans ces zones on note un gradient pluviométrique (de 450 mm dans le sud à 250 mm dans le Nord) qui façonne la structure du paysage, de grandes parcelles de cultures maraîchères irriguées à côté de vergers (manguiers et d'agrumes) et d'une végétation semi-naturelle (forêt galerie, buisson savane) dans le Sud, aux petites parcelles isolées de cultures maraîchères irriguées de la savane dans le Nord (Brévault et al., 2014). La température est enregistrée à l'aide d'enregistreurs de données (Hobo, ProSensor) placés dans deux parcelles choisis au hasard par zone. La température moyenne lors des échantillonnages sur le terrain est de 24,3, 22,4, 22,7 et 21,7 ° C pour les cycles de culture 1, 2, 3 et 4, respectivement. La première partie de la saison sèche est plus chaude (+1,3 ° C) que la dernière partie, mais pas différence significative de la température enregistrée entre les zones.

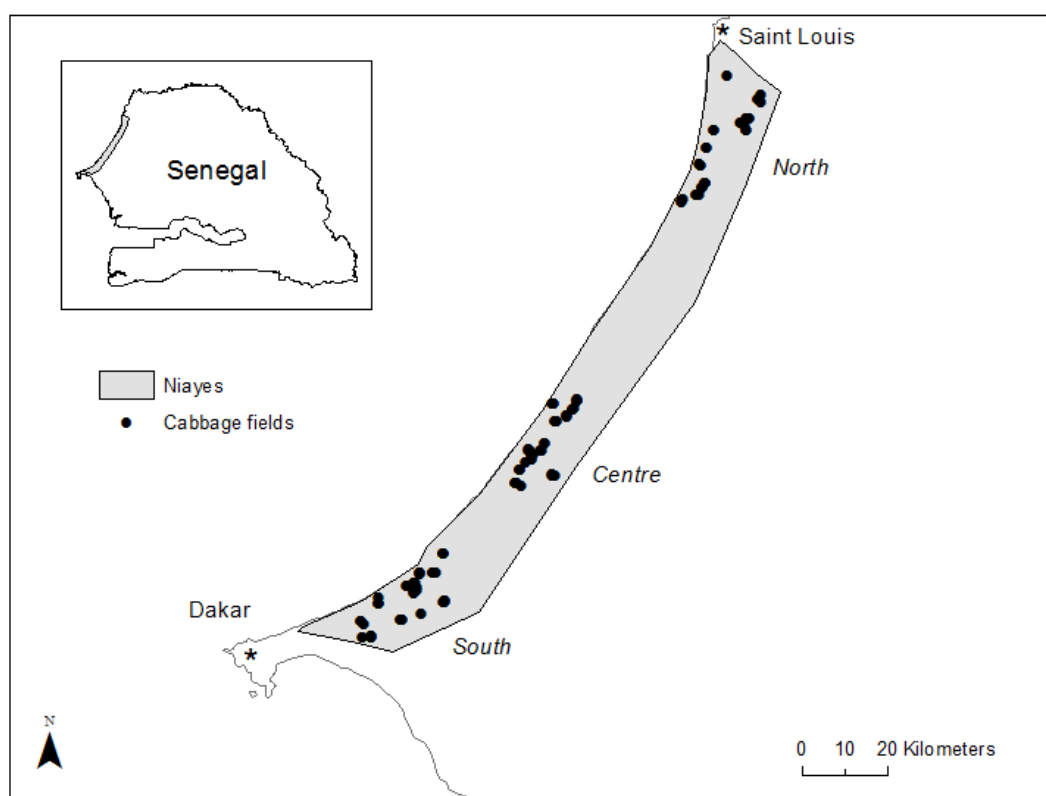


Figure. 1 Répartition des parcelles de choux suivis sur deux saisons de culture, d'Octobre 2012 à mai 2014, dans la zone des Niayes au Sénégal (points noirs représentent les champs de choux, N = 116).

2.2 Echantillonnage aux champs et suivi du parasitisme au laboratoire

Dans chaque parcelle, 24 plants de chou sont choisis au hasard et observés puis les chenilles et les nymphes des ravageurs sont échantillonnées. Le parasitisme des chenilles et nymphes du ravageur *P. xylostella* est suivi pendant deux saisons sèches (Saison 1, Octobre 2012 à mai 2013; Saison 2, Octobre 2013 à mai 2014), à savoir quatre cycles de cultures (cycle 1 à partir d'Octobre 2012 à Janvier 2013; le cycle 2 de Février 2013 à mai 2013; le cycle 3 d'Octobre 2013 à Janvier 2014; le cycle 4 de Février 2014 à mai 2014, avec les cycles 1-3 positionnés en début de saison sèche et les cycles 2-4 en fin de saison sèche). Dans chaque zone, les parcelles sont éloignées les unes des autres au moins de deux kilomètres. L'échantillonnage se fait toutes les trois semaines du repiquage (20 à 40 jours après la pépinière) jusqu'à la récolte (soit 3 à 5 observations par cycle de culture), les stades larvaires de *P. xylostella* sont prélevés sur les plants choisis au hasard puis incubés individuellement dans des plaques de culture de 12 puits (Thermo Fisher Scientific, France), avec des fragments de feuilles de chou frais, au laboratoire. Après chaque nymphose, les nymphes et cocons des parasites sont confinés individuellement dans de petites boîtes (casemates de 2 x 2 cm) jusqu'à l'émergence. Les parasitoïdes émergés sont identifiés et le pourcentage du taux de parasitisme est calculé en faisant le rapport entre le nombre de parasitoïdes émergés sur le nombre total d'individus de *P. xylostella* recueillis qu'on multiplie par 100 pour chaque parcelle de chou. Le parasitisme des espèces grégaires ne pose pas de problème d'autant plus que les individus sont maintenus individuellement. Les individus morts de causes inconnues ne sont pas exclus du calcul, contrairement à d'autres études qui peuvent surestimer les taux de parasitisme (Ayalew et al., 2006; Bopape et al, 2014.). Le sondage des applications de pesticides (date, marque, agent actif) est réalisé pour chaque parcelle de chou pendant un cycle de récolte entier. L'indice de diversité de Shannon $H' = \sum_{i=1}^s (p_i) * \ln(p_i)$, où p_i = probabilité de rencontrer un taxon i sur un champ, et s = nombre total de taxons rencontrés sur le terrain, est calculé pour évaluer l'effet de la zone et le temps de la saison sur la diversité des parasitoïdes. $H' = 0$ quand il n'y a qu'un seul taxon et sa valeur est à une valeur maximale lorsque tous les taxons ont la même abondance.

2.3 Les analyses statistiques

Des modèles à effets mixtes linéaires sont utilisés pour examiner les effets de la zone (Sud, Centre, Nord de Niayes), le temps de la saison (début vs fin de saison), l'utilisation d'insecticides (nombre d'applications) et l'abondance de l'hôte (nombre de chenilles de *P.*

xylostella par plante) sur le taux global de parasitisme, le taux de parasitisme spécifique de l'espèce et l'indice de diversité de Shannon. Chaque modèle est ajusté en utilisant le type approprié de distribution et de la fonction de lien: binomiale pour le parasitisme (proportion de larves parasitées ou chrysalides sur les dates d'échantillonnage) et quasi-poisson pour l'indice de Shannon. Pour chaque modèle, l'année est considérée comme effet aléatoire parce que le parasitisme est différent et certains domaines sont sélectionnés sur les deux années. Les effets de modèles linéaires sont utilisés pour examiner la relation entre la phénologie des plants et le taux de parasitisme. Les modèles sont équipés par un maximum de vraisemblance (ML) et leur aptitude est évaluée en vérifiant la normalité et le caractère aléatoire des résidus. Les résultats sont affichés comme l'analyse des tables de déviance avec erreurs de type II (essais F ou Wald Chi-carré). La comparaison des moyennes est effectuée à l'aide des comparaisons par paires de Tukey. Les tests du chi carré sont utilisés pour comparer les assemblages des parasitoïdes en fonction de la zone, et le temps de la saison. Le model r de Pearson est utilisé pour tester les corrélations entre l'indice de diversité de Shannon et le taux de parasitisme (après arc-sin carré transformation de la racine). Toutes les analyses statistiques sont réalisées à l'aide 'lme4' and 'car' pour les modèles mixtes, 'multcomp' pour de multiples comparaisons de moyennes, et «stats» pour la comparaison des proportions multiples en version R 3.2.3 (R Core Team, 2015).

3. Résultats

3.1 Taux Parasitisme

Un total de 6930 chenilles et 2399 nymphes ont été recueillies des champs de chou. Le suivi des chenilles et nymphes collectées à partir des parcelles de chou a montré que le taux de parasitisme était plus élevé dans le Sud (14,4%) suivi du Centre (9,0%) et du Nord (11,8%) des Niayes (tableau 1). Le taux de parasitisme est très variable entre les parcelles de chou, allant de 0 à 50%. Le taux de parasitisme est supérieur au cours de la dernière partie (14,1%) que lors de la première partie (9,7%) de la saison sèche (tableau 1). L'abondance des individus de *P. xylostella* n'a pas d'effet significatif sur le taux de parasitisme alors que l'utilisation d'insecticides est significativement négative sur le taux de parasitisme (tableau 1). Le nombre moyen d'applications d'insecticides est de 4.5, allant de 0 à 19. Les organophosphates, les pyréthroïdes, ou avermectines représentent 79% de toutes les applications d'insecticides. Les insecticides sélectifs à base de *Bacillus thuringiensis* sont exclusivement utilisés dans 3 parcelles alors que 7 autres parcelles (sur 116) n'ont pas été traitées. Le taux de parasitisme moyen dans ces parcelles est de 13,1% (contre 11,7% dans toutes les autres

parcelles traitées). Le taux de parasitisme a significativement diminué avec le vieillissement de la culture, à partir de 41 -60 jours après le repiquage ($\chi^2 = 70,5$, $df = 4$, $P < 0,001$) (Fig.2).

Tableau 1: Effet des variables explicatives sur le taux de parasitisme et l'indice de diversité de Shannon dans les champs de chou. Les variables explicatives comprennent 'Zone' (Sud, Centre, Nord des Niayes), «Le temps de la saison» (début vs fin saison sèche), «l'abondance de l'hôte» (nombre de *P. xylostella* larves par plante), et «utilisation Insecticide» (nombre d'applications d'insecticides).

Dependant variables :	Overall parasitism			<i>O. Sokolowskii</i>		<i>A. litae</i>		<i>Brachymeria</i> sp.		<i>C. vestalis</i>		Shannon index	
Explanatory variables	df	χ^2	P-value	χ^2	P-value	χ^2	P-value	χ^2	P-value	χ^2	P-value	F	P-value
Zone	2	75	< 0.001	4.7	0.096	4.2	0.122	6.4	0.041	0.4	0.817	0.1	0.904
Time of season	1	32.7	< 0.001	207.7	< 0.001	114.3	< 0.001	0.5	0.499	49.4	< 0.001	11.0	< 0.01
Insecticide use	1	12.6	< 0.001	9.6	< 0.01	10.0	< 0.01	7.0	< 0.01	19.8	< 0.001	2.4	0.129
Host abundance	1	3.2	0.074	2.8	0.095	0.5	0.483	0.5	0.498	1.0	0.326	1.7	0.200

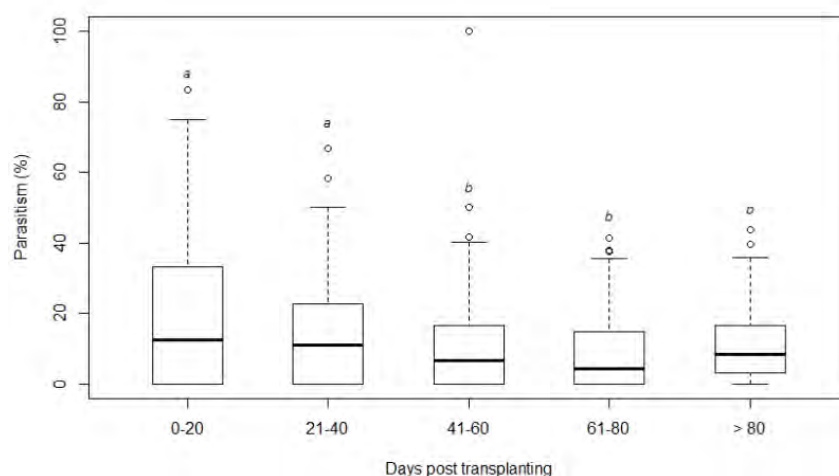


Fig. 2. Taux de parasitisme des chenilles et nymphes de *P. xylostella* dans les parcelles de chou (N = 116) en fonction de la phénologie des choux. Les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de Turkey ($P < 0.05$).

3.2 Assemblages des parasitoïdes

Un total de 1061 parasitoïdes ont émergé des chenilles et nymphes de *P. xylostella* collectées dans les parcelles de chou des agriculteurs. Ils ont été classés en cinq espèces dont *O. sokolowskii* (482), *A. litae* (375), *Brachymeria* sp. (99), *C. vestalis* (104), et *Diadegma* sp. (1). Parmi les parasitoïdes émergés, seule l'espèce *O. Sokolowski* est grégaire et 2-17 individus

peuvent émerger d'une nymphe parasitée. Les parasitoïdes, *O. sokolowskii* et *A. litae* sont dominants dans les trois zones (Chisquare test, $\chi^2 = 431,8$, $\chi^2 = 107,3$, $\chi^2 = 82,5$, respectivement, $df = 3$, $P < 0,001$) (Fig. 3A).

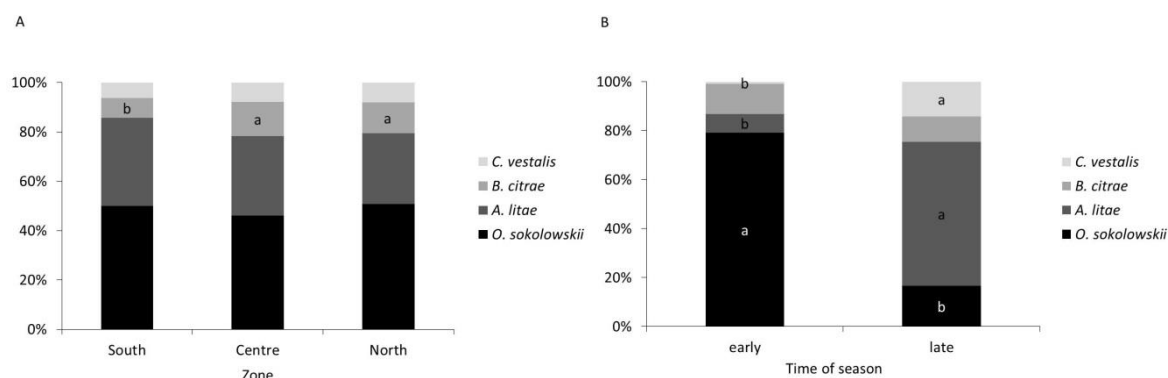


Fig. 3. Les assemblages de Parasitoïdes dans les parcelles de chou en fonction de (a) des zones (sud, centre, nord des Niayes) et (b) la période de saison (1^{ère} contre 2^{ème} partie de saison sèche). Les barres de même couleur avec la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Turkey ($P < 0.05$).

Le taux de parasitisme d'*O. sokolowskii*, d'*A. litae* et de *C. vestalis* n'est pas fortement affecté par la zone (tableau 1). A l'inverse, le taux de parasitisme de *Brachymeria* sp. est plus important dans la zone Centre et Nord et plus faible dans la zone sud des Niayes (Tableau 1, Fig. 3A). Le parasitisme d'*O. sokolowskii* est supérieur en première partie de saison sèche, alors que celui d'*A. litae* et *C. vestalis* est plus important en deuxième partie de saison sèche (Tableau 1, Fig. 3B). Le parasitisme de l'espèce *Brachymeria* sp. n'est pas fortement affecté par le temps de la saison (Tableau 1). L'incidence de toutes les espèces de parasitoïdes est négativement corrélée à l'utilisation d'insecticides, par contre le nombre de traitement insecticide ne semble pas affecter l'abondance des individus du ravageur (Tableau 1). Aucun effet de la zone, ni l'utilisation d'insecticides ou de l'abondance des individus du ravageur n'est observé sur l'indice de diversité de Shannon (SDI) (Tableau 1). Cependant, la SDI est plus importante en deuxième partie de saison sèche (Tableau 1, Fig. 4). Une corrélation est observée entre l'indice de diversité de Shannon et le taux de parasitisme ($r = 0,37$, $p < 0,001$).

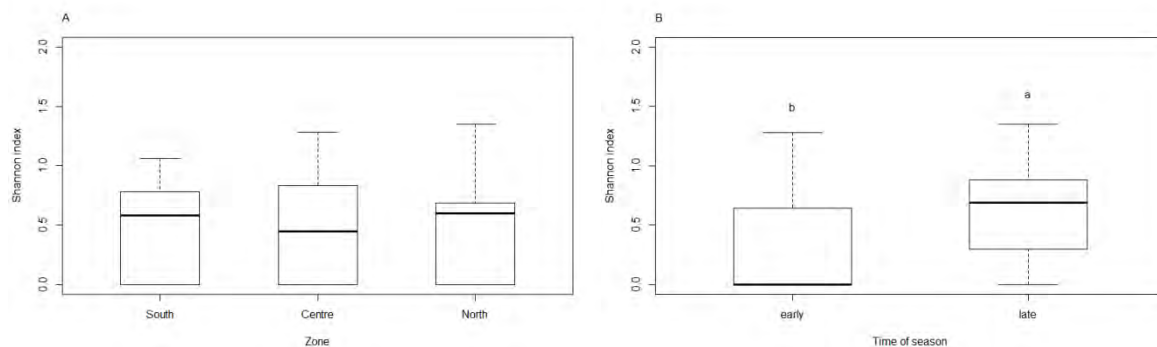


Fig. 4. Indice de diversité de Shannon des assemblages des espèces parasitoïdes de *P. xylostella* dans les parcelles de chou (N = 116) en fonction (a) des zones (sud, centre, nord des Niayes) et (b) période de la saison (1^{ère} contre 2^{ème} partie de saison sèche).

4. Discussion

Le suivi des chenilles et nymphes de *P. xylostella* dans un total de 116 parcelles de chou d'agriculteurs dans la zone des Niayes, a montré un taux de parasitisme globalement faible (11,7%, 0-50%). Au Sénégal, Sall-Sy et al. (2004) ont rapporté des taux de parasitisme de *P. xylostella* élevés au début (39-49%) et faibles en fin de saison sèche (12,6%), respectivement, dans les champs de chou de la banlieue de Dakar en 2000-2001. Dans une autre étude menée dans la même zone en fin de saison sèche en 2011 sur le chou non traité, Semez et al. (2013b) ont montré que le parasitisme des populations *P. xylostella* était d'environ 4-5%.

Dans notre étude, le parasitisme est prédominant dans la zone sud des Niayes, et en dernière partie de saison sèche, en conformité avec le modèle spatio-temporelle observé pour les populations de *P. xylostella* dans une étude menée sur la même zone (B. Labou, données en cours de publication). L'effet de la saison a également été signalé au Ghana, où le parasitisme de *P. xylostella* dans les champs de chou variait de 9,9% dans la petite saison des pluies à 68,6% au cours de la grande saison des pluies (Cobblah et al., 2012). Le suivi des champs de chou non traités dans le centre de l'Ethiopie en 2001 et 2002, a montré des taux de parasitisme variables, allant de 13,7% à 4,8% ; avec un taux de parasitisme de 46,6% en décembre et 25,8% en avril dans les zones de production de chou en montagne et plaine, respectivement (Ayalew et al., 2006). Les observations menées tout au long du cycle de la culture du chou ont montré que le parasitisme a considérablement diminué avec le vieillissement de la culture (de 41 à -60 jours après le repiquage). Cette tendance est inattendue car elle n'est pas proportionnelle à l'abondance des chenilles de *P. xylostella* qui se sont maintenues avec le vieillissement de la culture, après avoir atteint leur maximum de 61 à -80 jours après le

repiquage (B. Labou, données encours de pub). Il est probable que le parasitisme a diminué avec l'application d'insecticides au cours du cycle de la culture, permettant aux populations de la teigne du chou d'échapper plus ou moins à l'impact des parasitoïdes. Dans une étude précédente de terrain menée au Sénégal sur un cycle de culture de chou non traitée avec une seule variété, Sow et al. (2013b) ont montré que l'abondance de *P. xylostella* diminuait au fur et à mesure que les plantes vieillissaient (40 jours après repiquage).

Ces résultats montrent que le parasitisme peut être très variable et imprévisible dans l'espace et le temps et selon l'état phénologique du chou. Dans la présente étude, la forte variabilité interzone du taux de parasitisme (0-50%) indique que la gestion des cultures, notamment l'utilisation d'insecticides, mais aussi le contexte du paysage (= par exemple des habitats semi-naturels où des cultures fournissent peu de denrées alimentaires aux parasitoïdes) pourraient influencer sur le bio-contrôle naturel des ravageurs par leurs ennemis naturels (Bianchi et al., 2008). Les enquêtes menées en 2001 dans les régions de production de Brassicacées en Ethiopie (194 champs de crucifères sur 13 régions) ont révélé une grande variabilité du parasitisme global entre les zones, allant de 3,6 à 79,5% (Ayalew and Go, 2006). Le parasitisme des espèces de parasitoïdes indigènes était faible (13,2%) et la densité de la teigne était très élevée dans le Rift vallée, principale zone de production des Brassicacées. Les auteurs ont montré que l'utilisation intensive de pesticides a augmenté les populations de la teigne entraînant dans la foulée un faible niveau de parasitisme. De même, en Afrique du Sud, Kfir (2004) a montré que l'augmentation du niveau d'infestation du chou par la teigne dans les parcelles traitées était due à la suppression partielle des parasitoïdes par l'application des insecticides. Dans les parcelles traitées, le parasitisme a fluctué entre 5 et 10% alors que dans les parcelles non traitées, le parasitisme a atteint un sommet de plus de 90% vers la fin de la saison (moyenne saisonnière de 65,9%). Ceci indique que les parasitoïdes pourraient jouer un rôle important dans le contrôle des populations de *P. xylostella*.

Dans la présente étude, quatre principales espèces de parasitoïdes ont été identifiées sur le terrain dont *O. sokolowskii*, *A. litae*, *Brachymeria*. sp, et *C. vestalis*, conformément aux rapports précédents de Sali-Sy et al. (2004) et Sow et al. (2013b). Un individu échantillonné en Octobre 2012 dans la zone sud des Niayes (Gorom 2) a été identifié comme Ichneumonidae, probablement *D. insulare*. Cependant on ne sait pas pourquoi nous n'avons pas recueilli l'espèce *D. insulare* durant toute cette étude. Notre hypothèse principale est basée sur l'introduction récente de ce parasitoïde, en raison de l'importation du chou à partir des pays comme le Maroc ou sur le changement probable des conditions climatiques (Labou

et al., 2016). Les espèces *O. sokolowskii* et *A. litae* restent dominantes dans les trois zones. En Ethiopie, *O. sokolowskii*, *Diadegma* spp. et *Apanteles* sp. sont les parasitoïdes les plus importants, ce qui représente plus de 90% du complexe de parasitoïdes (Ayalew, 2006; Ayalew et al., 2006). Les espèces *Apanteles* sp. et *Diadegma* spp. sont en grande partie confinées dans la partie sud-ouest de l'Ethiopie, où l'utilisation des insecticides est minime. Le parasitoïde *O. sokolowskii* est principalement distribué dans les régions du Rift vallée et le nord de l'Ethiopie où l'utilisation des insecticides est relativement importante. Au Kenya, la faune parasitaire de la teigne est dominée par *Diadegma mollipla* (Holmgren), *Apanteles* sp, *C. vestalis*, *O. sokolowskii* et *Brachymeria* sp. (Löhr et al, 2007; Kahuthia-Gathu et al., 2009). Les performances de *Diadegma semiclausum* sur les hauts plateaux de production de chou en Afrique orientale ont été couronnées de succès au Kenya, en Ouganda et dans les régions de la Tanzanie (Gichini et al. 2008.). Le parasitisme est plus diversifié en Afrique du Sud, où on obtient un total de 3 parasitoïdes ovo-larvaires, 8 parasitoïdes larvaires, 4 parasitoïdes larvo-nymphales et 6 parasitoïdes de nymphes ont été identifiés comme étant associés à *P. xylostella* (Kfir, 2003). Dans le Cap oriental, Smith et Villet (2004) ont recueilli six espèces de parasitoïdes primaires de la teigne du chou, avec comme agents potentiel de lutte biologique *C. vestalis*, *D. mollipla*, *O. sokolowskii* et *Diadromus collaris* (Gravenhorst). Dans la province du Nord-Ouest, Kfir (2004) et Nofemela et Kfir (2005) ont identifié trois principaux parasitoïdes indigènes, dont *C. vestalis* et *Apanteles halfordi* (Ulyett) (Braconidae), *O. sokolowskii* et *D. collaris*. L'espèce *C. vestalis* était le parasitoïde le plus abondant, suivi par *O. sokolowskii*. En général, *D. semiclausum* et *D. collaris* sont établis dans les climats tempérés plus froids, comme les régions montagneuses des tropiques, alors que *C. vestalis* et *O. sokolowskii* font de meilleures performances dans les climats chauds, y compris les zones de plaine des tropiques (Wang et al., 1999; Furlong et al, 2013.).

Dans la présente étude, le taux de parasitisme d'*O. sokolowskii* est supérieur au cours de première partie de saison sèche alors que le parasitisme d'*A. litae* est supérieur au cours de la deuxième partie de saison sèche, comme précédemment rapporté par Sow et al. (2013b). De faibles effectifs d'*O. sokolowskii* dans le sud-ouest de l'Ethiopie ont été attribués à la concurrence probable avec *Apanteles* sp. (Ayalew and Go, 2006). De même, Liu et al. (2000) fait état d'une corrélation négative au niveau du parasitisme entre *O. sokolowskii* et *C. vestalis*, ce qui pourrait expliquer en partie pourquoi le parasitisme de *C. vestalis* est supérieur au cours de la deuxième partie de saison sèche. Ce parasitoïde est identifié comme le principal parasitoïde des chenilles de *P. xylostella* dans les zones urbaines humides et tropicales de

Cotonou au Bénin (Arvanitakis et al., 2014) et d'Accra au Ghana, où il représente environ 92% du parasitisme (Cobblah et al., 2012). En Afrique du Sud, l'espèce *C. vestalis* est abondante dans les parcelles principalement traitées avec des pyréthrinoides suggérant qu'elle peut aussi développer une résistance à ces produits chimiques dans les champs ouverts (Smith et Villet, 2004). Le taux de parasitisme de *Brachymeria* sp. n'est pas affecté par la saison, mais il est plus important dans le Centre et le Nord comparé au Sud de la zone des Niayes. La compétition avec les parasitoïdes larvaires pourrait expliquer cette tendance mais n'oublions pas qu'il se comporte parfois en un hyperparasite.

La diversité des parasitoïdes entre les parcelles est constante à travers les zones, mais elle est plus importante au cours de la deuxième partie de saison sèche. Une seule espèce de parasitoïde est trouvée dans 54% des parcelles pendant la première partie de saison sèche, alors qu'il est seulement de 22% au cours de la deuxième partie de saison sèche. La baisse saisonnière des populations d'*O. Sokolowskii* dans l'assemblage des ennemis naturels, à entraîner une réduction de la concurrence interspécifique qui peut contribuer l'augmentation de la diversité. Par conséquent, la diversité des parasitoïdes peut entraîner un contrôle naturel des ravageurs, comme en témoigne la relation positive entre H' (indice de diversité de Shannon) et le taux de parasitisme.

Nos résultats montrent que les parasitoïdes ont un rôle prometteur à jouer comme agents de lutte biologique des populations du ravageur *P. xylostella* au Sénégal. Cependant, d'autres recherches sont nécessaires pour mieux comprendre les effets des facteurs climatiques, la gestion des cultures (utilisation d'insecticides), et le contexte du paysage (disponibilité des ressources provenant des habitats cultivées ou non) sur la diversité et la structure des communautés d'ennemis naturels (y compris les parasitoïdes d'œufs et les prédateurs) et les processus écologiques impliqués dans la régulation des ravageurs (Gagic et al, 2011; Crowder et Jabbour, 2014). Favoriser le contrôle naturel des ravageurs par des parasitoïdes indigènes exige également des changements fondamentaux dans les pratiques agricoles actuelles (Gillespie et al., 2016). Une éducation et une meilleure coopération entre les parties prenantes, mais aussi un soutien fort des organismes gouvernementaux pour réduire l'utilisation des pesticides (décisions basées sur la surveillance des seuils et des méthodes non chimiques), remplaçant les pesticides à large spectre par de plus sélectifs, et fournissant des ressources aux ennemis naturels par la diversification des habitats sur le terrain, pourrait être un moyen d'améliorer la biodiversité fonctionnelle et favoriser le contrôle naturel des organismes nuisibles dans les champs des agriculteurs.

Remerciements

We wish to thank A. Dabo, S. Sylla, A. Niang Fall, E. Tendeng and A. Dia (Master students), and FPMN (Fédération des Producteurs Maraîchers de la zone des Niayes) for help with farmer's survey, field monitoring and insect collection. This work was supported by IRD (AIRD) under Grant PEERS-BIOBIO-2013.

References

- Arvanitakis, L., David, J.F., Bordat, D., 2014. Incomplete control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, by the parasitoid *Cotesia vestalis* in a cabbage field under tropical conditions. *Biocontrol* 59, 671-679.
- Ayalew, G., 2006. Comparison of yield loss on cabbage from diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) using two insecticides. *Crop Prot.* 25, 915-919.
- Ayalew, G., Baumgartner, J., Ogot, K.P.O.C., Lohr, B., 2006. Analysis of population dynamics of diamondback moth, (*Plutella xylostella* (Lepidoptera : Plutellidae)) at two sites in central Ethiopia, with particular reference to parasitism. *Biocontrol Sci. Techn.* 16, 607–618.
- Ayalew, G., Go, C.K.P.O., 2006. Occurrence of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) and its parasitoids in Ethiopia: influence of geographical region and agronomic traits. *J. Appl. Entomol.* 130, 343–348.
- Ayalew, G., 2011. Effect of the insect growth regulator novaluron on diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), and its indigenous parasitoids. *Crop Prot.* 30, 1087–1090.
- Ayalew, G., Hopkins, R.J., 2013. Selecting the right parasitoid for the environment in classical biological control programmes: the case of *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in the Kofele highland of Ethiopia. *Biocontrol Sci. Techn.* 23:1284–1295.
- Bale, J.S, van Lenteren, J.C., Bigler, F., 2008. Biological control and sustainable food production. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 27, 761–776.

- Bianchi, F.J.J.A., Goedhart, P.W., Baveco, J.M., 2008. Enhanced pest control in cabbage crops near forest in The Netherlands. *Landscape Ecol.* 23, 595–602.
- Bommarco, R., Miranda, F., Bylund, H., Bjorkman, C., 2011. Insecticides suppress natural enemies and increase pest damage in cabbage. *J. Econ. Entomol.* 104, 782-791.
- Brévault, T., Renou, A., Vayssières, J.-F., Amadji, G., Assogba-Komlan, F., Dalanda Diallo, M., De Bon, H., Diarra, K., Hamadoun, A., Huat, J., Marnotte, P., Menozzi, P., Prudent, P., Rey, J.-Y., Sall, D., Silvie, P., Simon, S., Sinzogan, A., Soti, V., Tamo, M., Clouvel, P., 2014. DIVECOSYS: Bringing together researchers to design ecologically-based pest management for small-scale farming systems in West Africa. *Crop Prot.* 66, 53-60.
- Cobblah, M.A., Afreh-Nuamah, K., Wilson, D., Osae, M.Y., 2012. Parasitism of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) populations on cabbage *Brassica oleracea* var. capitata (L.) by *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Braconidae) in Ghana. *West Afr. J. Appl. Ecol.* 20, 37–45.
- Crowder, D.W., Jabbour, R., 2014. Relationships between biodiversity and biological control in agroecosystems: Current status and future challenges. *Biol. Control* 75, 8–17.
- Delvare, G., 2004. The taxonomic status and role of Hymenoptera in biological control of DBM, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). In: Kirk AA, Bordat D (eds) *Improving biocontrol of Plutella xylostella— Proceedings of the international symposium.* CIRAD, Montpellier, France, 17–49.
- Fall, S., Fall, S.T., Cissé, I., Badiane, A.N., Diao, M.B. & Fall, C.A. 2001. Typologie des systèmes de production agricoles urbains. In : *Cités horticoles en sursis ? L’agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal.* CRDI, Ottawa, Canada. 138 p.
- Furlong, M.J., Shi, Z.H., Liu, Y.Q., Guo, S.J., Lu, Y.B., Liu, S.S. & Zalucki, M.P., 2004. Experimental analysis of the influence of pest management practice on the efficacy of an endemic arthropod natural enemy complex of the diamondback moth. *J. Econ. Entomol.* 97, 1814–27.
- Furlong, M.J., Wright, J., Dosdall, L.M., 2013. Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress and Prospects. *Annu. Rev. Entomol.* 58, 517–541.

- Gagic, V., Tscharntke, T., Dormann, C.F., Gruber, B., Wilstermann, A., Thies, C., 2011. Food web structure and biocontrol in a four-trophic level system across a landscape complexity gradient. *Proc. Roy. Soc. B: Biol. Sci.* 278, 2946–2953.
- Gichini, G., Löhr, B., Rossbach, A., Nyambo, B., Gathu, R., 2008. Can low release numbers lead to establishment and spread of an exotic parasitoid: The case of the diamondback moth parasitoid, *Diadegma semiclausum* (Hellen), in East Africa. *Crop Prot.* 27, 906–914.
- Grzywacz, D., Rossbach, A., Rauf, A., Russell, 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 Prot.* 29, 68–79.
- Kahuthia-Gathu, R., Loehr, B., Poehling, H.M., Mbugua, P.K., 2009. Diversity, distribution and role of wild crucifers in major cabbage and kale growing areas of Kenya. *Bull. Entomol. Res.* 99, 287–297.
- Kfir, R., 2003. Biological control of the diamond back moth *Plutella xylostella* in Africa. In: Neuenschwander, P., Borgemeister, C., Langwald, J. (Eds.), *Biological Control in IPM Systems in Africa*. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 363–375.
- Kfir, R., 2004. Effect of parasitoid elimination on populations of diamondback moth in cabbage. In: Endersby, N., Ridland, P.M. (Eds.), *The management of diamondback moth and other crucifer pests*, pp. 197–206. *Proceedings of the 4th International Workshop on diamond back moth*, 26–29 November 2001, Melbourne, Australia.
- 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.
- Li, Z.-Y., Zalucki, M.P., Bao, H.-L., Chen, H.-Y., Hu, Z.-D., Feng, X., 2012. Population dynamics and ‘outbreaks’ of diamondback moth, *Plutella xylostella*, in Guangdong Province, China: climate or the failure of management? *J. Econ. Entomol.* 105, 739–52.
- Labou, B., Bordat, D., Niang, A.A., Diarra, K., 2016. First record of the larval parasitoid *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) from Senegal. *Afr. Entomol.* (in press).

- Liu, S.S., Wang, X.G., Guo, S.J., He, J.H., Shi, Z.H., 2000. Seasonal abundance of the parasitoid complex associated with the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Plutellidae) in Hangzhou, China. Bull. Entomol. Res. 90, 221–231.
- Löhr, B., Gathu, R., Kariuki, C., Obiero, J., Gichini, G., 2007. Impact of an exotic parasitoid on *Plutella xylostella* (Lepidoptera; Plutellidae), population dynamics, damage and indigenous natural enemies in Kenya. Bull. Entomol. Res. 97, 337–350.
- R Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sall-Sy, D., Diarra, K., Toguebaye, B.S., 2004. Seasonal dynamics of the development of the diamondback moth, *Plutella xylostella* and its hymenopteran parasitoids on cabbages in the Dakar region (Senegal, West Africa). In: Bordat, D., Kirk, A.A. (Eds.), Improving Biocontrol of *Plutella xylostella* Proceedings of the International Symposium in Montpellier, France, 21–24 Oct 2002.
- Sarfraz, M., Keddie, A.B., Dosdall, L.M., 2005. Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review Published online 20 July 2005. Biocontrol Sci. Techn. 15, 763–789.
- Smith, T.J., Villet, M.H., 2004. Parasitoids associated with the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in Eastern Cape, South Africa. In: Endersby, N., Ridland, P.M. (Eds.), The Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests, pp. 249–253. Proceedings of the Fourth International Workshop on Diamond Back Moth, 26–29 November 2001, Melbourne, Australia.
- Sow, G., Arvanitakis, L., Niassy, S., Diarra, K., Bordat, D., 2013a. Life history traits of *Oomyzus sokolowskii* Kurdjumov (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of the diamondback moth. Afr. Entomol. 21, 231–238.
- Sow, G., Diarra, K., Arvanitakis, L., Bordat, D., 2013b. Relationships between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. Folia Hort. 25, 3–12
- Tscharntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T.O., Kleijn, D., Rand, T.A., Tylianakis, J.M., van Nouhuys, S., Vidal, S., 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. Biol. Control 43, 294–309.

Wang, X.G., Liu, S.S., Guo, S. J., Lin, W.C., 1999. Effects of host stages and temperature on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoids of *Plutella xylostella*. *Biocontrol* 44, 391-402.

CHAPITRE 4

L'influence de la température et des cultivars sur les populations de la « Teigne » et du « Borer » du chou dans les Niayes

Présentation du chapitre...

Ce chapitre regroupe deux articles qui montrent l'effet de la température et des cultivars sur l'importance des populations de deux principaux ravageurs du chou (*P. xylostella* et *H. undalis*) dans les Niayes. Chaque article étudie l'interaction d'un ravageur avec les paramètres cités ci-dessus (température et cultivars) après avoir montré sa distribution entre les trois zones (sud, centre et nord) des Niayes.

Cependant ces deux espèces montrent une distribution opposée le long d'un transect sud-nord en fonction des trois zones. Généralement, les populations de la teigne *P. xylostella* sont plus nombreuses au sud et diminuent en remontant au nord. Cette distribution est contraire, à celles des populations du borer *H. undalis*, qui diminuent en descendant vers la zone sud. Cette distribution montre un phénomène important matérialisé par le fait que les deux ravageurs ne coexistent pas dans les mêmes parcelles.

La température semble influencer la biologie des deux ravageurs en impactant sur leur nombre en fonction de la saison. Cette influence se remarque plus avec les populations d'*H. undalis* qui augmentent significativement avec l'élévation de la température en fonction de la saison et de la zone. Les populations du borer se développent mieux quand la température augmente, ce qui n'est pas le cas chez *P. xylostella* même si une seule corrélation avec la température a été notée. Il semble que l'élévation importante de la température a tendance à faire diminuer ses populations.

La recherche de la sensibilité des cultivars vis-à-vis de ces ravageurs a permis en premier lieu de connaître les différentes variétés de choux cultivées dans la zone des Niayes. Cependant il existe des cultivars plus résistants que d'autres à l'attaque des ravageurs, mais cette résistance montre des limites quand la pression parasitaire est forte. En plus les variétés se comportent différemment selon les types d'attaques liés à un ravageur donné.

Article 4

Importance de la "Teigne du chou" dans les Niayes au Sénégal : Interrelations avec la température et les cultivars utilisés

Labou Babacar^{1*}, Bordat Dominique *, Brévault Thierry** & Diarra Karamoko *

**Manuscrit accepté le 27 avril 2016 dans la revue International Journal of Biological and
Chemical Sciences (IJBCS)**

Importance de la "Teigne du chou" dans les Niayes au Sénégal :

Interrelations avec la température et les cultivars utilisés

Labou Babacar^{1*}, Bordat Dominique *, Brévault Thierry** & Diarra Karamoko *

- * EQUIPE 2PIA, FST – UCAD, BP. 5005 DAKAR FANN, SENEGAL
- ** CIRAD, PERSYST, UPR SCA, F-34398 Montpellier, France

- ¹Author for correspondence. Email: babslabou@yahoo.fr; Tel 221-352-63-30

Résumé

L'importance des populations de *Plutella xylostella* dans la zone des Niayes est étudiée en relation avec la température et les cultivars utilisés par les agriculteurs.

Pour cela trois zones sont choisies pour un nombre total de 59 parcelles réparties comme suit ; 20 au sud, 22 au centre et 17 au nord. Elles sont échantillonnées tous les 21 jours selon la zone et 24 plants dans chaque parcelle sont observés. Les échantillonnages sont effectués sur deux saisons ; d'octobre à janvier et de février à mai. Les données climatiques sont recueillies à l'aide d'enregistreurs de température et d'humidité relative installés dans six parcelles (deux par zone). Chaque parcelle est numérotée et géo-référencée par GPS. Le nombre d'individu de *P. xylostella* est plus important respectivement au sud, au centre et au nord. Une corrélation est établie entre le nombre d'individus du ravageur et la température. Les différents cultivars utilisés par les agriculteurs, dans les trois zones (sud, centre et nord), ont une réponse similaire par rapport aux attaques des populations de la teigne. Leur tolérance diminue quand la pression parasitaire augmente.

Mots clés : *Plutella xylostella*, Brassicacées, Afrique de l'Ouest, dégâts, données climatiques, spéculation.

Introduction

La culture des Brassicaceae représente l'une des plus importantes ressources alimentaires mondiales (Talekar and Shelton, 1993). Cette famille comprend 350 genres dont 3 500 espèces cultivées et sauvages. Les choux constituent une importante source alimentaire et de revenus pour les populations rurales et urbaines en termes de production, de commercialisation et de transformation (Grzywacz et al., 2010). D'après la FAO, ils contribuent aujourd'hui à plus de 26 milliards \$ US dans l'économie mondiale. En Afrique de l'Ouest, les choux sont cultivés sur 13 900 hectares avec une production annuelle estimée à 140 500 tonnes.

Actuellement au Sénégal, il est cultivé pendant toute l'année et il est couramment utilisé dans différents plats nationaux. Il constitue le principal revenu économique des producteurs maraîchers dans les Niayes durant l'année et est devenu l'une des principales spéculations maraîchères.

Malheureusement il est fréquemment soumis aux attaques de plusieurs insectes ravageurs parmi lesquels *Plutella xylostella* (L.) lépidoptère défoliateur (teigne des Brassicacées). Cette espèce provoque des pertes estimées à plus de 90% de la production totale (Shelton 2004 ; Sarfraz et al., 2005). Au Sénégal, ce taux est estimé entre 51% et 94 % selon la direction de l'horticulture.

L'emploi des insecticides de synthèse constitue la principale méthode de lutte dans le monde contre ce ravageur (Furlong et al., 2012). Malheureusement, ces pesticides entraînent plusieurs problèmes : (i) l'élimination des ennemis naturels (Furlong et al., 2012) ; (ii) l'augmentation du coût de production (Chilcutt and Tabashnik, 1997) ; (iii) l'apparition de souches résistantes (Hooks and Johnson, 2003 ; Macharia et al., 2005 ; Sarfraz and Keddie, 2005 ; Shelton et al., 2007 ; Huang et al., 2010). De ce fait, d'autres méthodes de lutte se développent, privilégiant une gestion durable des populations d'insectes. Aussi, elles évitent des dégâts économiques et préservent l'environnement et la santé humaine (Hill and Foster, 2000 ; Sow, 2013).

Notre étude a eu trois buts : (i) évaluer la distribution des populations de la teigne dans les cultures de choux des Niayes ; (ii) identifier l'importance des dégâts de *P. xylostella* sur les cultures ; (iii) proposer des stratégies de gestion durable des populations contre ce ravageur.

Matériel et méthodes

Sites d'échantillonnages

Avec près de 80% de la production nationale, la zone des Niayes est le levier incontestable du développement horticole du pays. 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 présente des caractéristiques pédologiques, hydrologiques et climatiques favorables à la production horticole, en particulier le maraîchage et l'arboriculture fruitière. Elle est constituée de dépressions inter dunaires présentant des sols riches en matière organique où la nappe phréatique est affleurante et des sols ferrugineux non lessivés moins riches, où l'eau est accessible au moyen de forages.

Au cours de cette étude, le choix a porté sur trois zones le long d'un transect Dakar-Saint-Louis. Les échantillonnages ont été effectués sur deux saisons : (i) la première d'octobre à janvier et la seconde de février à mai.

Echantillonnage proprement dit

Pour la première saison, 32 parcelles de choux ont été sélectionnées sur les trois zones des Niayes, (10 parcelles au sud, 12 au centre et 10 au nord). Chaque parcelle choisie est distante d'au moins deux km de l'autre. Les dates de repiquage sont étalées sur plus de deux mois et demi. Pour la seconde saison, 27 parcelles (10 dans la zone sud, 10 au centre et sept au nord) ont été échantillonnées. Chaque parcelle est numérotée et géo-référencée par GPS (Tableau 1).

Tableau 1 : Coordonnées GPS des localités des parcelles échantillonnées dans les zones Nord, Centre et Sud

N°Parcelles	Localités d'échantillonnage	Coordonnées GPS	
		Latitude	longitude
	Zone sud		
2	Sangalkam	27984510	1,76E+08
5	Gorom	28717596	1,76E+08
7	Der	29029903	1,77E+08
10	Mbawane	29113474	1,77E+08
11	Keur Abdou Ndoeye	28842497	1,77E+08
13	Kayar	29185628	1,77E+08
16	Ndieguène	29765029	1,76E+08
17	Tieudeum	29561621	1,77E+08
20	Keur Mbir Ndao	29759337	1,78E+08
21	Lac Rose	28186804	1,76E+08
102	Tieudem	29490364	1,77E+08
104	Keur Mbir Ndao	29750561	1,78E+08
106	Ndieguene	29788884	1,76E+08
108	Ber	29092233	1,77E+08
110	Keur Abdou ndoeye	29055578	1,77E+08
112	Kayar	29187891	1,77E+08
114	Gorom2	28744372	1,76E+08
116	Lac rose	28178523	1,77E+08
118	Niaga	27751809	1,76E+08
120	Sangalkam	27985583	1,76E+08
	Zone centre		
24	Santhie Ndong	31505661	1,79E+08
26	Mboro	31637529	1,8E+08
27	Touba Ndiaye	31941293	1,8E+08
30	Darou Khoudouss	32415944	1,8E+08
31	Seguel	32246333	1,8E+08
33	Ndarou Fall	32924805	1,81E+08
34	Mboro Cifop	31845294	1,8E+08
35	Diogo Ndiaye	33052163	1,81E+08
37	Darou Gueye	32514141	1,81E+08
40	Fass Boy	32459355	1,81E+08
42	Darou Ndoeye	32776239	1,81E+08
59	Touba Ndiaye	32127134	1,8E+08
122	Darou Khoudouss	32417289	1,8E+08
124	Diogo Ndiaye	33052098	1,81E+08
126	Darou Fall	32922336	1,81E+08
128	Darou Ndoeye	32796108	1,81E+08
130	Fass Boy	32462414	1,81E+08
132	Darou Gueye	32512412	1,81E+08
134	seugeul	32238422	1,8E+08
136	Mboro Waou	31921414	1,8E+08
138	Mboro	31640310	1,8E+08
140	Sathie Ndong	31666828	1,79E+08
	Zone nord		
43	Sag	35608080	1,86E+08
47	Koura Diery	36035957	1,87E+08
48	Potou	36167212	1,87E+08
50	Gabar Diop	36044423	1,87E+08
51	Degou Niaye	36215716	1,88E+08
52	Darou mboubaye	36396215	1,88E+08
54	Mboltine	37180290	1,88E+08
55	Ndoeye Dia	37055687	1,88E+08
56	Ndoeye Diagne	37252406	1,88E+08
58	Kalassane	37542188	1,89E+08
142	Keur Coura Diery	35968787	1,87E+08
144	Sagal satiel	35607515	1,86E+08
146	Potou nord	36168774	1,87E+08
148	Gabar	36078866	1,87E+08
152	Mboltin	37181908	1,88E+08
156	Ndoeye ndiagne	37244749	1,88E+08
158	Potou	36119878	1,87E+08

Les plants de chou échantillonnés n'étaient pas toujours au même stade phénologique entre quelques parcelles. En effet, cette hétérogénéité est due au fait que les agriculteurs ne repiquent pas leurs choux à la même période (étalement sur plus de deux mois). L'inégalité du nombre de parcelles échantillonnées entre les trois zones est également due à la rareté de trouver du chou dans certaines zones comme (février à mai), dans la zone nord où la culture de l'oignon est préférée à celle du chou. Mais il fallait travailler dans ces conditions afin de faire des observations fidèles aux méthodes de travail des producteurs.

Pour la mesure des facteurs climatiques, des enregistreurs de température et d'humidité relative sont installés dans six parcelles (deux par zone).

Le suivi par zone des parcelles se fait une fois tous les 21 jours, depuis le repiquage jusqu'à la première date de récolte et cela pour chaque saison. Pendant la première saison, nous avons effectué six échantillonnages dans la zone sud et centre et cinq au nord. Durant la seconde saison, cinq échantillonnages ont été effectués dans les trois zones.

Dans chaque parcelle, 24 plants sont observés de façon aléatoire. On compte le nombre de chenilles et de nymphes présentes sur chaque plante identifiée.

Résultats

*Importance des populations de *Plutella xylostella* échantillonnées dans les zones sud, centre et nord*

Nous constatons une répartition inégale du nombre moyen d'individus (chenilles et nymphes) de *P. xylostella* suivant les trois zones. La zone sud est plus la plus infestée suivie du centre et enfin le nord. Au sud, deux parcelles sur 20 ne présentent pas de chenille. Une en totalise plus de cinq, les 17 dernières comportent d'une à quatre chenilles par chou. Au centre, huit parcelles n'ont pas de chenille, deux en possèdent cinq, les 12 dernières totalisent entre une à trois chenilles par chou. Au nord, huit parcelles sur 17 n'ont aucune chenille, parmi les neuf parcelles restantes seule une parcelle a plus de deux chenilles par chou (Fig 1).

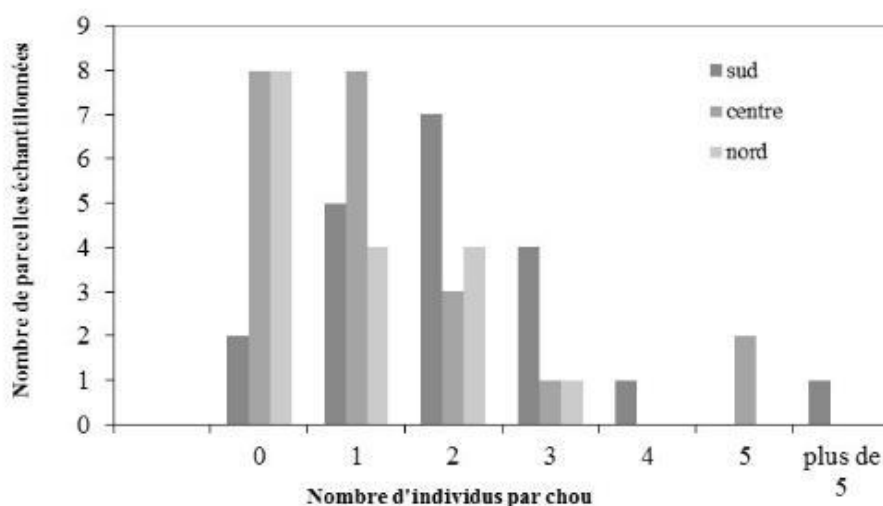


Figure 1 : Nombre moyen d'individus (chenilles et nymphes) de *P. xylostella* présents sur les choux dans les zones sud, centre et nord des Niayes

Echantillonnage par zones

Dans la zone sud, nous observons un maximum de 1 235 individus dans la parcelle 13, (ce qui fait une moyenne de 13 individus/chou), contre un minimum de sept dans la parcelle deux (0 individu/chou). Six parcelles ont chacune un total de moins de 100 individus (un maximum d'un/chou), sept entre 100 et 200 (soit en moyenne deux/chou), cinq entre 200 et 300 (soit trois individus/chou). Deux parcelles présentent chacune un nombre d'individus supérieurs à 300 (quatre individus/chou).

Six cultivars de chou ont été utilisés par les agriculteurs dans cette zone (Tableau 2).

Tableau 2 : Nombre d'individus (chenilles + nymphes) de *P. xylostella* récoltés dans les 20 parcelles de la zone sud des Niayes

N° par	Cultivars	Nb ch. échan	Chen.	Ny.	Total	Moy/échan.	Moy Px/chou
2	Chou sp	72	4	3	7	2,33	0
5	Chou sp	96	15	9	24	6,00	0
7	Tropica Cross	96	47	25	72	18,00	1
10	Tropicana	72	56	11	67	22,33	1
11	Tropica Cross	72	113	89	202	67,33	3
13	Tropica Cross	96	950	285	1235	308,75	13
16	Tropicana	96	171	79	250	62,50	3
17	Tropica Cross	120	110	50	160	32,00	1
20	Milor	96	247	99	346	86,50	4
21	Santa	96	199	40	239	59,75	2
102	Santa	96	141	16	157	39,25	2
104	Santa	96	236	7	243	60,75	3
106	Tropica Cross	96	101	21	153	38,25	2
108	"ordinaire"	72	65	5	70	23,33	1
110	Santa	72	131	11	142	47,43	2
112	Santa	96	99	74	173	43,25	2
114	Santa	72	42	15	57	19,00	1
116	Santa	72	243	5	248	82,67	3
118	Santa	96	137	23	160	40,00	2
120	Chou	72	108	18	126	42,00	2

N° par : Numéro de la parcelle

Chou sp : variété non identifiée (exploitation des chinois)
 Chen. : Chenilles
 Ny. : Nymphes
 Moy/échan : Moyenne de *P. xylostella*/échantillonnage
 Moy Px/chou : Moyenne de *P. xylostella*/chou
 Nb ch. échan: Nombre de choux échantillonnés

La zone centre présente un maximum de 377 individus au niveau de la parcelle 122 (soit cinq individus/chou) et un pour la 27 (zéro/chou). Treize parcelles sur 22 en ont chacune moins de 100 (un/chou), six parcelles entre 100 et 200 (deux/chou) et deux en ont plus de 300 (cinq/chou).

Cinq cultivars différents sont utilisés par les agriculteurs (Tableau 3).

Tableau 3 : Nombre d'individus (chenilles + nymphes) de *P. xylostella* récoltés dans les 22 parcelles de la zone centre des Niayes.

N° par	Cultivar	Nb ch. échan	Chen.	Ny.	Total	Moy/échan.	Moy Px/chou
24	Tropicana	72	270	88	358	119,33	5
26	Tropicana	96	6	3	9	2,25	0
27	Tropica Cross	96	1	0	1	0,25	0
30	Tropicana	96	4	4	8	2,00	0
31	Tropicana	96	131	52	183	45,75	2
33	Tropicana	96	18	5	23	5,75	0
34	Tropica Cross	96	63	12	75	18,75	1
35	Tropicana	72	43	6	49	16,33	1
37	Tropicana	96	29	8	37	9,25	0
40	Tropica Leader	96	15	8	23	5,75	0
42	Tropicana	96	9	5	14	3,60	0
59	Tropicana	96	210	123	333	83,25	3
122	Tropicana	72	335	42	377	125,00	5
124	Santa	96	88	17	105	26,25	1
126	Dragon	96	90	24	138	34,50	1
128	Santa	96	129	9	155	38,75	2
130	Santa	72	72	13	85	28,33	1
132	Santa	72	29	12	61	20,33	1
134	Tropicana	96	70	25	107	26,75	1
136	Tropicana	72	18	8	26	8,67	0
138	Santa	96	138	12	157	39,25	2
140	Tropicana	72	36	10	46	15,33	1

N° par : Numéro de la parcelle
 Chen. : Chenilles
 Ny. : Nymphes
 Moy/échan : Moyenne de *P. xylostella*/échantillonnage
 Moy Px/chou : Moyenne de *P. xylostella*/chou
 Nb ch. échan: Nombre de choux échantillonnés

Le maximum d'individus de la zone nord est de 208 (trois/chou) au niveau de la parcelle 148, le minimum est d'un individu pour la 55 (0/chou). Douze parcelles sur 17 présentent chacune moins de 100 individus (un/chou) tandis que quatre en ont entre 100 et 200 (deux/chou).

Six cultivars différents sont utilisés par les agriculteurs (Tableau 4).

Tableau 4 : Nombre d'individus (chenilles + nymphes) de *P. xylostella* récoltés dans les 17 parcelles de la zone nord des Niayes

N°par	Cultivar	Nb ch. échan	Chen.	Ny.	Total	Moy/échan.	Moy Px/chou
43	Tropica Cross	96	103	48	151	37,75	2
47	Tropicana	96	11	2	13	3,25	0
48	Taizé	72	19	4	23	7,67	0
50	Tropica Cross	96	15	9	24	6,00	0
51	Fabula	96	82	18	100	25,00	1
52	K K Cross	96	14	1	15	3,75	0
54	Tropica Cross	96	4	3	7	1,75	0
55	Tropica Cross	96	1	0	1	0,25	0
56	"Ordinaire"	96	35	51	86	21,50	1
58	Tropica Cross	96	12	17	29	7,25	0
142	"Ordinaire"	72	118	48	166	55,33	2
144	Tropica Cross	96	23	6	47	11,75	0
146	Tropicana	96	69	14	83	20,75	1
148	Taizé	72	194	14	208	69,33	3
152	Tropica Cross	72	46	28	90	30,00	1
156	Taizé	48	9	10	83	41,50	2
158	Taizé	72	114	23	137	45,67	2

N° par : Numéro de la parcelle

Chen. : Chenilles

Ny. : Nymphes

Moy/échan : Moyenne de *P. xylostella*/échantillonnage

Moy Px/chou : Moyenne de *P. xylostella*/chou

Nb ch. échan: Nombre de choux échantillonnés

Evolution des populations de P. xylostella par rapport à la température

Dans la zone sud, on note une diminution progressive de la température à partir du début des échantillonnages le 9 octobre (29,2°C) jusqu'au 5 mars (20,5°C). Ensuite la température augmente sensiblement jusqu'au 7 mai (22,4°C). Dans le même temps, la population de *P. xylostella* varie de manière irrégulière, 18 individus le 9 octobre, 85 le 31 octobre, 55 le 12 décembre, 123 le 21 janvier et 65 récoltés le 16 avril. Il n'y a aucune corrélation entre les courbes de température et de population de *P. xylostella* (Fig 2).

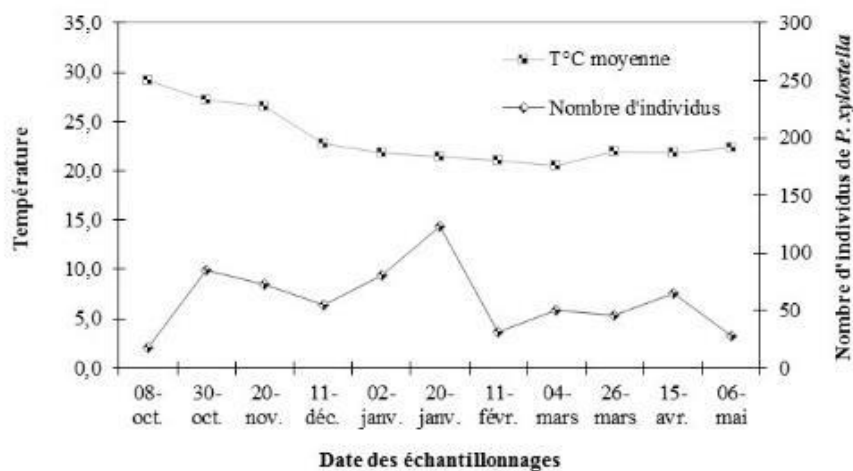


Figure 2 : Evolution du nombre de *P. xylostella* (chenilles et nymphes) suivant la température dans la zone sud

Dans la zone centre, on note une diminution progressive et régulière de la température, 29°C le 17 octobre au début des échantillonnages jusqu'à 20,6°C le 23 avril. La température remonte après cette date, 22,8°C le 14 mai, date du dernier échantillonnage.

En parallèle, les populations du ravageur, absentes au début des échantillonnages le 17 octobre, augmentent fortement jusqu'au 29 janvier avec 282 individus récoltés, puis chutent rapidement jusqu'au 14 mai, seulement 30 individus. Comme dans la zone sud, il n'y a aucune corrélation entre la température et les populations de *P. xylostella* (Fig 3).

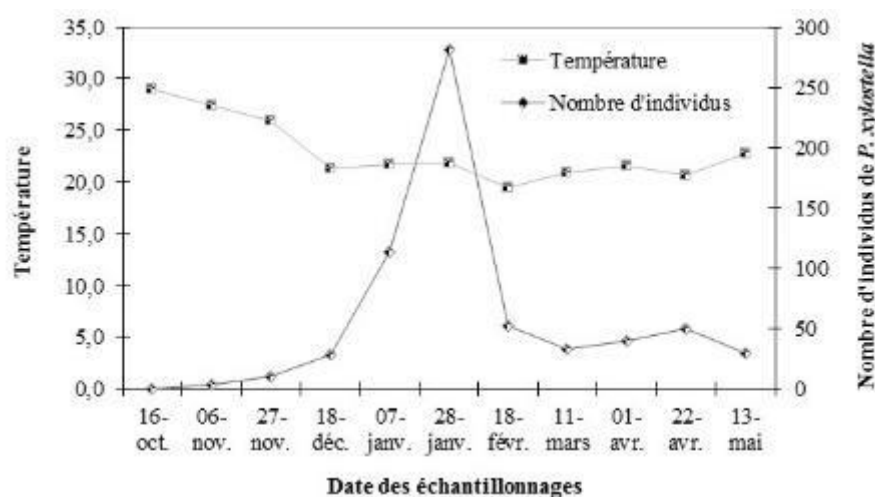


Figure 3 : Evolution du nombre de *P. xylostella* (chenilles et nymphes) suivant la température dans la zone centre

Dans la zone nord, la température diminue régulièrement, 29,7°C le 23 octobre lors du début des échantillonnages, 22,1°C le 26 décembre. Puis un plateau apparaît jusqu'au 30 avril avec une faible fluctuation des températures, de 21,9 à 22,8°C. Celle-ci remonte pour le dernier échantillon, 24,8°C le 21 mai. Durant la première saison il y a très peu d'individus, le maximum récolté étant de 30. Au cours de la seconde, les populations augmentent régulièrement de façon significative, de trois à 72. Elles sont significativement corrélées ($r = 0,882$; $P < 0,05$) avec l'augmentation de la température alors qu'elles ne le sont pas en première saison (Fig : 4).

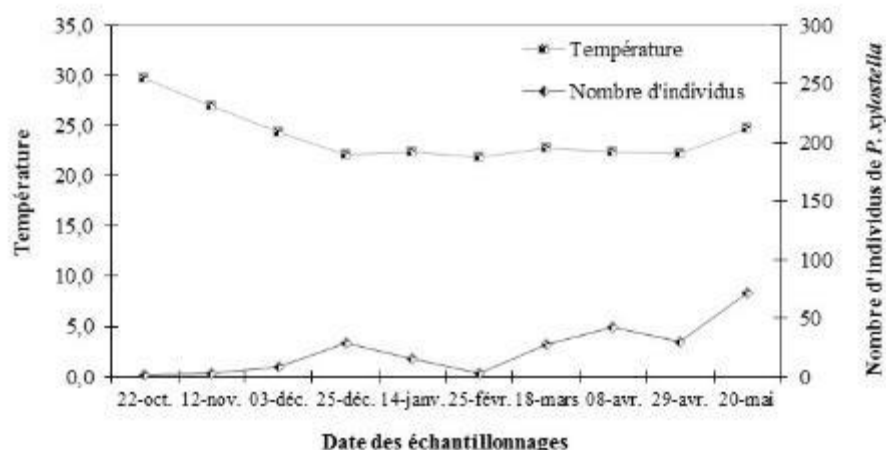


Figure 4 : Evolution du nombre de *P. xylostella* (chenilles et nymphes) suivant la température dans la zone nord

Sensibilité des cultivars envers les populations de la Teigne

Il ne semble pas y avoir de différence de sensibilité entre les cultivars utilisés par les producteurs vis à vis des populations de *P. xylostella*. En effet, le nombre des individus de la teigne qui sont récoltés sur les choux varient peu ; de 1,89 à 3,80 respectivement pour Tropicana et Tropica Cross dans la zone sud, de 0,24 à 1,44 respectivement pour Tropica Leader et Dragon dans le centre et de 0,16 à 1,71 pour K K Cross et Taizé (Tableau 5).

Tableau 5 : Sensibilité des différents cultivars de chou utilisés par les agriculteurs des Niayes.

Zones	Cultivars	Nombre chou/échantillon.	Nombre individu/chou
sud	Tropica Cross	480	3,80
	Tropicana	168	1,89
	Santa	696	2,04
	Milor	96	3,60
centre	Tropica Cross	196	0,38
	Tropicana	1128	1,32
	Tropica Leader	96	0,24
	Santa	456	1,34
	Dragon	96	1,44
nord	Tropica Cross	648	0,54
	Tropicana	192	0,50
	K K Cross	96	0,16
	Taizé	264	1,71
	Fabula	96	1,04

Discussion

D'après les résultats obtenus, la zone sud est la plus infestée par *P. xylostella* parmi les trois zones étudiées. Cette tendance peut être expliquée par le fait qu'elle présente une zone horticole beaucoup plus intensive et des parcelles beaucoup plus rapprochées, mais également sur le fait que le chou est cultivé dans cette zone pendant toute l'année, contrairement à la zone nord où elle est entrecoupée par la culture de l'oignon. Ce dernier ayant un effet répulsif contre les adultes de la Teigne (Asare-Bediako et al., 2010 ; Cai et al., 2011). Ces auteurs ont également déclaré que l'oignon et la tomate cultivées en intercalaire avec des cultures de chou, réduisent les populations de chenilles de *P. xylostella*. D'après Shankar et al (2007), l'ail et l'oignon cultivées en intercalaire avec le chou réduit considérablement la population de pucerons, il pourrait en être de même dans le cas des chenilles de *P. xylostella*. De même, Saïd et Itulya (2003) ont indiqué que l'odeur de l'oignon est capable de repousser les adultes de *P. xylostella* lors de leur installation sur le chou. En effet, l'ail et l'oignon produisent un composé alliacé, l'allyle epropyl-disulfure, qui est responsable de la répulsion des ravageurs. D'autre part, il semblerait que la culture intercalaire permet également de réduire l'attaque des ravageurs parce que l'effet de la culture non hôte, agit comme une barrière physique à la circulation des insectes ravageurs (Sheehan, 1986).

Dans la zone nord, on constate un grand nombre de surfaces en friches entrecoupant les parcelles de choux. Celles-ci pourraient avoir comme effet l'isolement des parcelles cultivées qui pourraient perturber l'installation des adultes du ravageur en provoquant comme précédemment une confusion olfactive (Shankar et al., 2007). On pourrait en déduire qu'une zone où les parcelles sont distantes et séparées par des friches, plus ou moins étendues ne seraient pas forcément favorable à *P. xylostella*.

L'espèce *P. xylostella* migre de façon passive à la faveur des vents (Honda, 1992 ; Honda et al., 1992). Plusieurs auteurs montrent que ces migrations sont incontrôlables quant à leur destination finale (Zalucki and Furlong, 2011 ; Wei et al., 2013) ce qui entraîne une infestation des nouvelles parcelles d'une façon aléatoire et imprévisible.

Au centre, comme dans la zone nord la présence de friches peut également être préjudiciable à l'implantation des populations de la Teigne. En général, les ravageurs herbivores en présence de plantes non hôtes sont perturbés pour la recherche de la plante hôte et finissent par quitter la zone (Kareiva, 1985 ; Bernays, 1999). Un grand nombre de parcelles de cette zone sont cultivées sur les dunes orientées du côté de la mer. La présence de vents souvent forts et

surtout réguliers provenant de celle-ci, peuvent freiner les populations d'adultes portées par ceux venant de la terre (Chapman et al., 2002 ; Zalucki and Furlong, 2011).

Dans les trois zones, les attaques sont très hétérogènes au niveau de l'importance des dégâts avec une moyenne d'individus (chenilles et nymphes) récoltés variant de zéro à 13 par chou pendant la durée de la culture, ce qui n'a pas eu d'impact réel sur la production pour les agriculteurs. Cependant certains auteurs considèrent que la présence d'une chenille L4 par chou suffit à altérer et rendre invendable la pomme (Shelton et al., 1983 ; Maltais et al., 1998). Il faut noter que les normes de vente du marché locale sénégalais ne sont pas si drastiques que cela.

La variation des dégâts observés entre les parcelles, probablement due à des infestations irrégulières d'adultes poussés par les vents peut également être liée à l'utilisation des pesticides (Zalucki and Furlong, 2011). Certaines parcelles sont traitées par une formulation biologique à base de *Bacillus thuringiensis* Berliner, mais également avec un produit naturel à base de graines de "Neem" (m.a. Azadirachtine). Ces produits ont montré une réelle efficacité contre les chenilles de la Teigne dans nos conditions (Sow, 2013), mais également ailleurs comme au Bénin (Goudegnon et al., 2000), et au Kenya (Löhr and Kfir, 2004). D'autres subissent des applications assez régulières de produits inefficaces et interdits (dans certains pays) comme le diméthoate et l'ométhoate, le métamidophos, mais également d'herbicides. Ces pratiques favorisent malheureusement la résistance aux insecticides (Li et al., 2012). Enfin, on ne peut juger l'efficacité d'autres pesticides utilisés dont nous ignorons leur matière active. Ces genres de produits éliminent les ennemis naturels et contaminent l'environnement (Furlong et al., 2012).

Il se pourrait que les haies aussi jouent un rôle de barrière pour les adultes, ou limite la distance de migration des ravageurs (Kührt et al., 2006 ; Ricci et al., 2009). Mais dans notre cas, du fait du faible degré d'infestation, leur impact n'est pratiquement pas décelable.

Le type d'arrosage employé par les agriculteurs peut influencer la dynamique des chenilles du ravageur. En effet, certains auteurs (Tabashnik et al., 1986 ; Sow, 2013) mentionnent que les fortes pluies réduisent les populations de chenilles de la Teigne. Certains auteurs ont montré que les fortes pluies sont un facteur important de mortalité du fait du lavage des œufs, des larves et des nymphes sur les feuilles (Baidoo et al., 2012). Ce phénomène a été étudié et l'on observe qu'une heure de forte pluie, détruit 95,3% des larves de stade 1, 72% de stade 2, 60,7% de stade 3 et 42,7% de stade 4 de *P. xylostella* (Kobori and Amano, 2003). L'arrosage par aspersion des cultures (surtout dans la zone centre) à l'aide d'une lance à eau, pourrait

produire le même effet, car ce type d'arrosage réduit significativement les infestations de *P. xylostella* de 40 à 60% en une année d'irrigation aux Etats-Unis (McHugh and Foster, 1995). Par ailleurs, (Baidoo et al., 2012) ont affirmé que les faibles précipitations favorisent l'augmentation du nombre de *P. xylostella*.

En général, les populations de la Teigne causent beaucoup plus de dégâts dans les zones tropicales que tempérées (Ansari et al., 2010 ; Guo et al., 2010). Au Sénégal, les populations de *P. xylostella* augmentent lors de la première saison où la température varie entre 20 et 25°C et semblent diminuer dès que celle-ci remonte à plus de 30°C (Sow, 2013). Lors de notre étude et cela pour les trois zones, aucune corrélation entre les fluctuations de température et le nombre de chenilles n'a été démontrée. Sauf à la deuxième saison nord, où leur nombre augmente avec la température. Ce fait montre que les infestations varient aléatoirement selon la saison. Cela est probablement dû au faible nombre de chenilles récoltées lors de nos échantillonnages durant les deux saisons. Nous signalerons quand même que Guo and Qin, 2010, au cours d'études effectuées en Chine, n'ont obtenu aucune corrélation entre la température et l'importance des populations de *P. xylostella*.

Les glucosinolates sont des composés soufrés produits par les choux qui attirent les femelles pour pondre et sont appétant envers les jeunes chenilles (Hamilton et al., 2005 ; Haugen et al., 2008 ; Furlong et al., 2012). Mewis et al. (2002) a montré que certains cultivars de chou produisent plus de glucosinolates que d'autres, ce qui les rend plus sensibles aux attaques des ravageurs. Actuellement, il existe des variétés de choux moins sensibles aux attaques des chenilles de *P. xylostella* car ils produisent des toxines responsables de mécanisme d'antibiose (Eigenbrode and Shelton, 1992), ou par des changements de la structure des cires épicuticulaires qui diminuent l'appétence des feuilles (Shimabuku et al., 1997). Dans notre cas, Tropica Cross, Tropica Leader et K K Cross sont issus du même pool génétique et sélectionnés pour la zone tropicale d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Ils semblent avoir une bonne tolérance quand les attaques de la Teigne sont faibles, comme c'est le cas dans la zone centre et nord. Par contre sa tolérance diminue quand les attaques augmentent, ce qui se vérifie dans la zone sud. Le cultivar Tropicana, cultivé en Martinique et sélectionné pour un meilleur développement en période fraîche, semble bien se comporter à cette époque où la température est inférieure à 30°C, mais comme les cultivars précédents, sa tolérance diminue quand la pression du ravageur augmente.

Devant le comportement imprévisible des infestations de ce ravageur au niveau des parcelles cultivées (Zalucki and Furlong, 2011 ; Wei et al., 2013), la lutte doit être adaptée pour maintenir les populations de chenilles à un seuil économique acceptable pour le producteur.

On connaît les risques sur la santé humaine et l'environnement, découlant des applications anarchiques d'insecticides (Furlong et al., 2012), utilisés par des acteurs souvent mal informés voire ignorant les effets néfastes de ces pesticides. Nous savons également que la réussite des programmes de libérations d'auxiliaires biologiques est très coûteuse et nécessite une compétence technique importante qui est malheureusement absente chez les producteurs. La solution à ces problèmes serait en premier lieu de favoriser la lutte biologique par conservation de la faune utile en limitant les applications insecticides à l'aide de formulations à base de produits naturels (huile de "neem") ou biologiques (*B. thuringiensis*), mais également effectuer des recherches sur les effets que pourraient apporter les plantes compagnes à travers des espèces maraîchères cultivées qui possèdent un effet piège (Moutarde chinoise, Pak choï...), répulsif (oignon, ail, basilic...), ou neutre (salade, carotte...), mais qui pourraient perturber les femelles de *P. xylostella* à la recherche de sites de ponte (Sheehan, 1986). Ces espèces cultivées pourraient également apporter un supplément de revenu au producteur. La mise en place de cette stratégie serait également en phase avec les compétences horticoles que possède le producteur de spéculations légumières.

Remerciements

Nous remercions ici l'ensemble des agriculteurs des trois zones qui nous ont autorisé à pénétrer dans leurs exploitations pour y échantillonner et récolter les données qui ont permis de mener à bien cette étude. Nous profitons également de remercier nos collègues étudiants en masters et doctorants de l'équipe 2PIA de l'UCAD pour l'aide apportée lors des prélèvements sur le terrain.

Références

- Ansari MS, Ahmad T, Ali H. 2010. Effect of Indian mustard on feeding, larval survival and development of *Plutella xylostella* at constant temperatures. *Entomol. Res.* 40 : 182-188.
- Asare-Bediako E, Addo-Quaye AA, Mohammed A. 2010. Control of diamondback moth (*Plutella xylostella*) on cabbage (*Brassica oleracea* var *capitata*) using intercropping with non-host crops. *Am. J. Food Technol.* 5 (4) : 269-274.
- Baidoo PK, Mochiah MB, Apusiga K. 2012. Onion as a Pest Control Intercrop in Organic Cabbage (*Brassica oleracea*) Production System in Ghana. *Sustainable Agriculture Research*.1, 1, p 36
- Bernays EA. 1999. When host choice is a problem for a generalist herbivore, experiments with the whitefly. *Bemisia tabaci*. *Ecol. Entomol.* 24 : 260-267.
- Cai HJ, Li S, Ryall K, You M, Lin S. 2011. Effects of intercropping of garlic or lettuce with Chinese cabbage on the development of larvae and pupae of diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Afr. J. Agri. Res.* 6 (15) : 3609-3615.
- Chapman JW, Reynolds DR, Smith AD, Riley JR, Pedgley DE, Woiwod IP. 2002. High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. *Ecol. Entomol.* 27 : 641–50.
- Chilcutt CF, Tabashnik BE. 1997. Host-mediated competition between the pathogen *Bacillus thuringiensis* and the parasitoid *Cotesia plutellae* of the diamondback moth (Lep: Plutellidae). *Environ. Entomol.*, 26 : 38-45.
- Eigenbrode SD, Shelton AM. 1992. Resistance to diamondback moth in Brassica: Mechanisms and potential for resistant cultivars. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, Asian Vegetable Research and Development Center. p. 213-224.
- Furlong MJ, Wright J, Dosdall LM. 2012. Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress and Prospects. *Annu. Rev. Entomol.* 58 : 517–41

- Goudegnon AE, Kirk AA, Schiffers B, Bordat D. 2000. Comparative effects of deltamethrin and neem kernel solution treatments on diamondback moth and *Cotesia plutellae* (Hym. Braconidae) parasitoid populations in the Cotonou peri-urban area in Benin. *J. Appl. Entomol.*, 124 : 141-144.
- Guo S, Qin Y. 2010. Effects of temperature and humidity on emergence dynamics of *Plutella xylostella* (Lepidoptera; Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 103 (6) : 2028-2033.
- Grzywacz D, Rossbach A, Rauf A, Russell DA, Srinivasan R, Shelton AM. 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 Prot.*, 29 : 68–79.
- Hamilton AJ, Endersby NM, Ridland PM, Zhang J, Neal M. 2005. Effects of cultivar on oviposition preference, larval feeding and development time of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), on some Brassica oleracea vegetables in Victoria. *Austr. J. Entomol.*, 44 : 284-287.
- Haugen R, Steffes L, Wolf J, Brown P, Matzner S, Siemens DH. 2008. Evolution of drought tolerance and defense: dependence of tradeoffs on mechanism, environment and defense switching. *Oikos* 117 : 231-244.
- Hill TA, Foster RE. 2000. Effect of insecticides on the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *J. Econ. Entomol.*, 93 (3) : 763-768.
- Hooks CRR, Johnson MW. 2003. Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Prot.*, 22 : 223-238.
- Honda KI. 1992. Hibernation and migration of diamondback moth in Northern Japan. In: Talekar N. S. (Ed.) Diamondback moth and other crucifer pests: *Proceedings of the second International Workshop*, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, AVRDC. 43-50.
- Honda KI, Miyahara Y, Kegasawa K. 1992. Seasonal abundance and the possibility of spring immigration of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lep: Plutellidae), in Morioka City, Northern Japan. *Appl. Entomol. Zool.*, 27 : 517-524.

- Huang Z, Ali S, Ren SX, Wu JH. 2010. Effect of *Isaria fumosoroseus* on mortality and fecundity of *Bemisia tabaci* and *Plutella xylostella*. *Insect Sci. Appl.*, 17 : 140-148.
- Kareiva PM. 1985. Finding and losing host plants by *Phyllotreta*, patch size and surrounding habitat. *Ecol.*, 66: 1809-1818.
- Kobori Y, Amano H. 2003. Effect of rainfall on a population of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Jap. Appl. Entomol. Zool.*, 38 (2) : 249-253.
- Kührt U, Samietz J, Höhn H, Dorn S. 2006. Modelling the phenology of codling moth: influence of habitat and thermoregulation. *Agri. Ecosyst. Environ.*, 117 : 29–38.
- Li ZY, Zalucki MP, Bao HL, Chen HY, Hu ZD, Feng X. 2012. Population dynamics and ‘outbreaks’ of diamondback moth, *Plutella xylostella*, in Guangdong Province, China: climate or the failure of management? *J. Econ. Entomol.* 105 : 739–52
- Löhr B, Kfir R. 2004. Diamondback moth *Plutella xylostella* in Africa: a review with emphasis on biological control. In: Bordat, D., Kirk, A.A. (Eds.), Improving Biocontrol of *Plutella xylostella*. CIRAD, pp. 71–84. Proceedings of the International Symposium in Montpellier, France., 21–24 Oct 2002.
- Macharia I, Löhr B, De Groote H. 2005. Assessing the potential impact of biological control of *Plutella xylostella* (diamondback moth) in cabbage production in Kenya. *Crop Prot.*, 24 : 981-989.
- McHugh JJ, Foster RE. 1995. Reduction of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) infestation in head cabbage by overhead irrigation. *J. Econ. Entomol.*, 88 , 162–168.
- Maltais PM, Nuckle JR, Leblanc PV. 1998. Economic threshold for three lepidopterous larval pests of fresh-market cabbage in South eastern New Brunswick. *J. Econ. Entomol.*, 91 : 699-707.
- Mewis I, Ulrichs C, Schnitzler WH. 2002. The role of glucosinates and their hydrolysis products in oviposition and host plants finding by Cabbage webworm, *Hellula undalis*. *Entomol. Exp. Appl.* 105 : 129-139.

- Ricci B, Franck P, Toubon JF, Bouvier JC, Sauphanor B, Lavigne C. 2009. The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in southeastern France. *Landscape Ecol.*, 24 : 337–349.
- Said M, Itulya FM. 2003. Intercropping and nitrogen management effects of diamondback moth and yields of collards in the highlands of Kenya. *Afr. Crop. Sci. J.*, 2, 35-42.
- Sankar PK, Rahman MM, Das BC. 2007. Effect of intercropping of mustard with onion and garlic on aphid population and yield. *J. Biol. Sci.*, 15, 35-40
- Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA. 2005. Spinosad: a promising tool for integrated pest management. *Outlooks Pest Manage.*, 16 : 78-84
- Sarfraz M, Keddie BA. 2005. Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lep. Plutellidae). *J. Appl. Entomol.*, 129 :149-157.
- Sheehan W. 1986. Response of specialist and naturalist natural enemies to agroecosystem diversification. A selective review. *Environ. Entomol.*, 15 : 456-461.
- Shelton AM, Sears MK, Wyman JA, Quick TC. 1983. Comparaison of action thresholds for lepidopterous larvae on fresh-market cabbage. *J. Econ. Entomol.*, 76 : 196- 199.
- Shelton AM. 2004. Management of the diamondback moth: all over again? 3–8. The Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests (ed. by N. Endersby and P.M. Ridland), Melbourne, Australia.
- Shelton AM, Roush RT, Wang P, Zhao JZ. 2007. Resistance to insect pathogens and strategies to manage resistance: An update. In: *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Kluwer Academic Press, 793–811.
- Shimabuku RS, Mau RFL, Gusumuka-minuto L. 1997. Diamondback moth: feeding preference among commercial varieties of head cabbage. In: Sivapragasam A., Loke W.H., Hussan A.K., Lim G.S. (eds), The Management of Diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the third International Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia, 29 October 1 November 1996, Malaysian Agricultural Research and Development Institut (MARDI) & Malaysian Plant Protection Society. p. 295-297.

- Sow G, Diarra K, Arvanitakis L, Bordat D. 2013. Relationships between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia. Hort.*, 25 (1) : 3-12.
- Tabashnik BF, Mau RFL. 1986. Suppression of Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) oviposition by overhead irrigation. *J. Econ. Entomol.*, 79 : 189-191.
- Talekar NS, Shelton AM. 1993. Biology, Ecology and management of the diamondback moth. *Ann. Rev. Entomol.*, 38 : 275-301.
- Wei SJ, Shi BC, Gong YJ, Jin GH, Chen XX. 2013. Genetic Structure and Demographic History Reveal Migration of the Diamondback Moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from the Southern to Northern Regions of China. *PLoS ONE.*, 8 (4) : 59-65.
- Zalucki JM, Furlong MJ. 2011. Predicting outbreaks of a major migratory pest: an analysis of diamondback moth distribution and abundance revisited. *Annu. Rev. Entomol.*, 58 : 8–14

Article 5

Importance des populations du "Borer du chou" *Hellula undalis* (F.) dans les Niayes au Sénégal : Interrelations avec la température et les cultivars

Labou Babacar *, Bordat Dominique *, Brévault Thierry** & Diarra Karamoko *

Soumis dans African Entomology

Importance du "Borer du chou" *Hellula undalis* (F.) dans les Niayes : Interrelation avec la température et les cultivars

Labou Babacar *, Bordat Dominique *, Brévault Thierry** & Diarra Karamoko *

* EQUIPE 2PIA, FST – UCAD, BP. 5005 DAKAR FANN, SENEGAL

** CIRAD, PERSYST, UPR SCA, F-34398 Montpellier, France

Résumé:

L'étude des populations du "Borer du chou" *Hellula undalis* dans les Niayes au Sénégal, a été effectuée en relation avec la température et les cultivars utilisés par les agriculteurs.

Trois zones sont choisies une au sud, une au centre et une au nord suivant une ligne Dakar/Saint-Louis. Un nombre respectivement de 20, 22 et 17 parcelles pour chaque zone sont étudiées. Ces parcelles sont échantillonnées tous les 21 jours selon la région et 24 plants dans chaque parcelle sont observés. Les échantillonnages sont étalés sur deux saisons ; la première allant d'octobre à janvier (SSF) et la deuxième de février à mai (SSC). Les données climatiques sont recueillies à l'aide d'enregistreurs de température et d'humidité relative installés dans six parcelles (deux par zone). Chaque parcelle est numérotée et géo-référencée par GPS.

Le nombre de chenilles d'*Hellula undalis* et de choux détruits est plus important respectivement au centre au nord et au sud. Le nombre de chenilles du ravageur et la température au sud et au centre a été corrélé significativement de même une corrélation hautement significative est établie entre le nombre de chenilles du Borer et le nombre de choux détruits. Une sensibilité de certains cultivars face au ravageur a été observée selon les différentes zones.

Mots clés : Brassicacées, Foreur de tige, Afrique de l'Ouest, dégâts, données climatiques, cultivars.

Introduction

La culture des Brassicacées représente l'une des plus importantes ressources alimentaires mondiales (Talekar & Shelton 1993). Cette famille comprend 350 genres dont 3500 espèces cultivées et sauvages (Warwick et al 2003). Les choux constituent une importante source alimentaire et de revenus pour les populations rurales et urbaines en termes de production, de commercialisation et de transformation (Grzywacz et al 2010). D'après la FAO, ils contribuent aujourd'hui à plus de 26 milliards \$ US dans l'économie mondiale. Toujours d'après la FAO, en Afrique de l'Ouest, les choux sont cultivés sur 13 900 hectares avec une production annuelle estimée à 140 500 tonnes.

Actuellement au Sénégal, il est cultivé pendant toute l'année et est couramment utilisé dans différents plats nationaux. Il constitue le principal revenu économique des producteurs durant l'année et est devenu la principale spéculation maraîchère.

Malheureusement il est fréquemment soumis aux attaques de plusieurs insectes ravageurs parmi lesquels l'espèce *Hellula undalis* F. Lépidoptère foreur, "Borer du chou". Dans certaines conditions ; cette espèce peut provoquer des pertes importantes (Mewis et al 2001 ; Sugie et al 2003). Au Sénégal, ce taux est très variable, mais peut devenir très important en hivernage où des parcelles peuvent être entièrement détruites.

L'espèce est présente surtout en saison chaude et humide (Kawamoto et al 1987 ; Mac Avoy & Kok 1992). Les dégâts dus aux chenilles foreuses des tiges entraînent la formation de plusieurs têtes sur un même pied, ce qui le rend non commercialisable (Sivapragasam et al 1997).

L'emploi des insecticides de synthèse constitue la principale méthode de lutte dans le monde contre ces ravageurs (Kibata 1996 ; Furlong et al 2012). Malheureusement, ces pesticides entraînent plusieurs problèmes ; (i) l'élimination des ennemis naturels (Furlong et al 2012) ; (ii) l'augmentation du coût de production (Chilcutt & Tabashnik 1997) ; (iii) l'apparition de souches résistantes (Hooks & Johnson 2003 ; Macharia et al 2005 ; Sarfraz & Keddie 2005 ; Shelton et al 2007 ; Huang et al 2010).

De ce fait des méthodes alternatives de lutte se développent en privilégiant une gestion durable des populations d'insectes tout en évitant des dégâts économiques et en préservant l'environnement et la santé humaine (Hill & Foster 2003 ; Sow. 2013).

Notre étude a donc trois buts : (i) connaître la distribution du "Borer" dans les cultures de chou des Niayes ; (ii) identifier l'importance des dégâts commis sur les cultures ; (iii) proposer des stratégies de gestion durable des populations contre ce ravageur.

Matériel et méthodes

Sites d'échantillonnages

Avec près de 80% de la production nationale, la zone des Niayes est le levier incontestable du développement horticole du pays. 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 présente des caractéristiques pédologiques, hydrologiques et climatiques favorables à la production horticole, en particulier le maraîchage et l'arboriculture fruitière. Elle est constituée de dépressions inter-dunaires présentant des sols riches en matière organique où la nappe phréatique est affleurante et des sols ferrugineux non lessivés moins riches et où l'eau est accessible au moyen de forages.

Au cours de cette étude, le choix a porté sur trois zones le long d'un transect Dakar-Saint-Louis. Les échantillonnages ont été effectués sur deux saisons : (i) la première d'octobre à janvier : la saison sèche fraîche (SSF) et (ii) la deuxième de février à mai : la saison sèche chaude (SSC).

Echantillonnages proprement dit

Pour la première saison, 32 parcelles de choux ont été sélectionnées sur les trois zones des Niayes, 10 parcelles au sud, 12 au centre et 10 au nord. Chaque parcelle choisie est distante d'au moins deux km de l'autre. Les dates de repiquage sont étalées sur plus de deux mois et demi. Pour la seconde, 27 parcelles (10 dans la zone sud, 10 au centre et sept au nord) sont échantillonnées. Chaque parcelle est numérotée et géo-référencée par GPS (Tableau 1)

Tableau 1 : Coordonnées GPS des localités des parcelles échantillonnées dans les zones Sud, Centre et Nord

N°Parcelles	Localités d'échantillonnage	Coordonnées GPS	
		Latitude	longitude
	Zone sud		
2	Sangalkam	27984510	1,76E+08
5	Gorom	28717596	1,76E+08
7	Der	29029903	1,77E+08
10	Mbawane	29113474	1,77E+08
11	Keur Abdou Ndoeye	28842497	1,77E+08
13	Kayar	29185628	1,77E+08
16	Ndieguène	29765029	1,76E+08
17	Tieudeum	29561621	1,77E+08
20	Keur Mbir Ndao	29759337	1,78E+08
21	Lac Rose	28186804	1,76E+08
102	Tieudem	29490364	1,77E+08
104	Keur Mbir Ndao	29750561	1,78E+08
106	Ndieguene	29788884	1,76E+08
108	Ber	29092233	1,77E+08
110	Keur Abdou ndoeye	29055578	1,77E+08
112	Kayar	29187891	1,77E+08
114	Gorom2	28744372	1,76E+08
116	Lac rose	28178523	1,77E+08
118	Niaga	27751809	1,76E+08
120	Sangalkam	27985583	1,76E+08
	Zone centre		
24	Santhie Ndong	31505661	1,79E+08
26	Mboro	31637529	1,8E+08
27	Touba Ndiaye	31941293	1,8E+08
30	Darou Khoudouss	32415944	1,8E+08
31	Seguel	32246333	1,8E+08
33	Ndarou Fall	32924805	1,81E+08
34	Mboro Cifop	31845294	1,8E+08
35	Diogo Ndiaye	33052163	1,81E+08
37	Darou Gueye	32514141	1,81E+08
40	Fass Boy	32459355	1,81E+08
42	Darou Ndoeye	32776239	1,81E+08
59	Touba Ndiaye	32127134	1,8E+08
122	Darou Khoudouss	32417289	1,8E+08
124	Diogo Ndiaye	33052098	1,81E+08
126	Darou Fall	32922336	1,81E+08
128	Darou Ndoeye	32796108	1,81E+08
130	Fass Boy	32462414	1,81E+08
132	Darou Gueye	32512412	1,81E+08
134	seugeul	32238422	1,8E+08
136	Mboro Waou	31921414	1,8E+08
138	Mboro	31640310	1,8E+08
140	Sathie Ndong	31666828	1,79E+08
	Zone nord		
43	Sag	35608080	1,86E+08
47	Koura Diery	36035957	1,87E+08
48	Potou	36167212	1,87E+08
50	Gabar Diop	36044423	1,87E+08
51	Degou Niaye	36215716	1,88E+08
52	Darou mboubaye	36396215	1,88E+08
54	Mboltine	37180290	1,88E+08
55	Ndoeye Dia	37055687	1,88E+08
56	Ndoeye Diagne	37252406	1,88E+08
58	Kalassane	37542188	1,89E+08
142	Keur Coura Diery	35968787	1,87E+08
144	Sagal satiel	35607515	1,86E+08
146	Potou nord	36168774	1,87E+08
148	Gabar	36078866	1,87E+08
152	Mboltin	37181908	1,88E+08
156	Ndoeye ndiagne	37244749	1,88E+08
158	Potou	36119878	1,87E+08

Lors de nos échantillonnages, nous avons été confrontés à des plants de chou n'étant pas au même stade phénologique. En effet, cette hétérogénéité dans les pieds de chou est due aux agriculteurs qui ne repiquent pas leurs choux à la même époque (étalement sur plus de deux mois). L'inégalité du nombre de parcelles échantillonnées dans les trois zones est également due aux producteurs, par exemple à cette époque (février à mai), dans la zone nord, la culture de l'oignon est préférée à celle du chou.

Pour la mesure des facteurs climatiques, des enregistreurs de température et d'humidité relative sont installés dans six parcelles (deux par zone).

Le suivi par zone des parcelles se fait une fois tous les 21 jours, depuis le repiquage jusqu'à la première date de récolte et cela pour chaque saison. Pendant la (SSF) nous avons effectué six échantillonnages dans la zone sud et centre et cinq au nord. Durant la seconde (SSC) cinq échantillonnages ont été effectués dans les trois zones.

In each plot, 24 plants are observed randomly, the larvae number and the destroyed cabbages are noticed.

Statistical analysis

The evolution of webworm larvae populations in relation to the temperature and the destroyed cabbages number were tested using the Pearson correlation coefficient (r). All calculations were done using the software XLstat (version 1.1.2012).

Résultats

*Sensibilité des cultivars vis à vis des chenilles d'*H. undalis**

Le cultivar Tropica Cross semble être le cultivar le plus sensible et cela dans les trois zones ; respectivement pour le sud 5% des choux détruits, pour le centre 19,79% et 10,49% pour le nord. A l'inverse, Santa semble le plus tolérant dans la zone sud avec 0,72% de pieds détruits et 1,54% dans la zone centre. Ce cultivar n'a pas été cultivé dans la zone nord où Tropicana est le plus tolérant avec seulement 1,56% des pieds de choux détruits (Tableau 2). Malheureusement, ces résultats ne peuvent indiquer qu'une tendance, le choix des différents cultivars ne dépendant que des agriculteurs.

Tableau 2 : Sensibilité des différents cultivars utilisés par les agriculteurs dans les trois zones échantillonnées.

Zones	Cultivar	Choux/éch.	Choux dét.	Pourcentage
sud	Tropica Cross*	480	24	5,00%
	Tropicana	168	8	4,76%
	Santa	696	5	0,72%
centre	Tropica Cross*	196	38	19,79%
	Tropicana	1128	51	4,52%
	Tropica Leader*	96	7	7,29%
	Santa	456	7	1,54%
nord	Tropica Cross*	648	68	10,49%
	Tropicana	192	3	1,56%
	K K Cross*	96	6	6,25%
	Taizé	264	12	3,03%
	Fabula	96	8	8,33%

Choux/éch : Choux échantillonnés

Choux dét : Choux détruits

*Appartenant au même groupe génétique

*Evolution des populations de chenilles d'*H. undalis* par rapport à la température*

Dans la zone sud, le nombre de chenilles d'*H. undalis* varie avec la température. Il augmente quand la température dépasse 25°C (Fig. 1). Nous observons une corrélation positive significative ($r = 0,693$; $P < 0,05$).

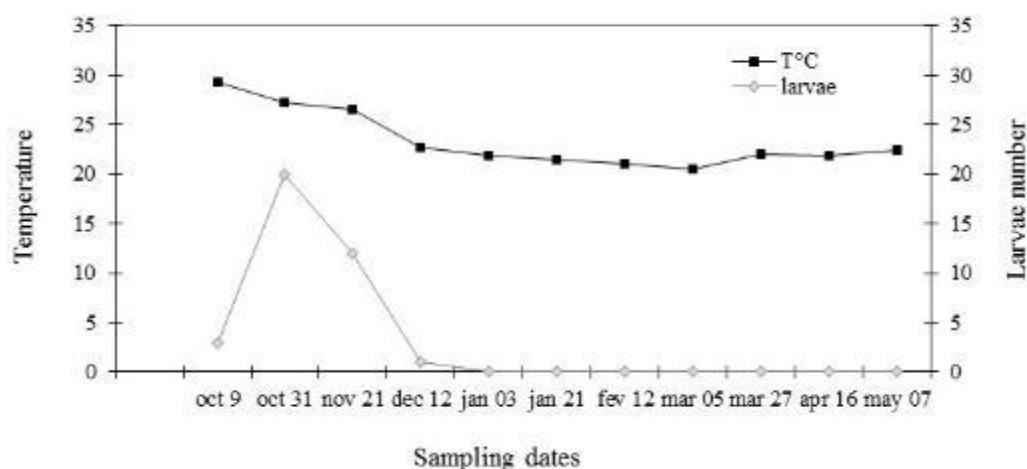


Fig 1: Evolution des chenilles du « Borer » du chou suivant la température dans la zone sud

Dans la zone centre, le nombre d'individus d'*H. undalis* est plus important comparé au sud, mais la tendance reste la même, leur nombre est plus élevé quand la température est forte. La baisse de la température entraîne une diminution du nombre d'individus qui finissent par disparaître (Fig 2). Il y a également une corrélation positive significative ($r = 0,690$; $P < 0,05$) entre la température et les chenilles récoltées.

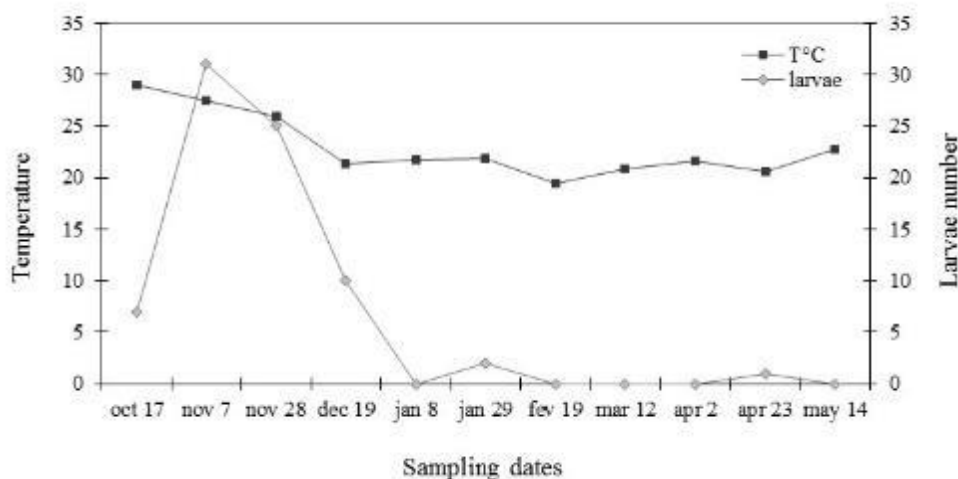


Fig 2: Evolution des chenilles du « Borer » du chou suivant la température dans la zone centre

Au nord, le nombre d'individus d'*H. undalis* varie également avec la température et chute jusqu'à la disparition totale de la population (Fig 3). Dans la zone nord, il n'y a pas de corrélation entre la température et le nombre de chenilles.

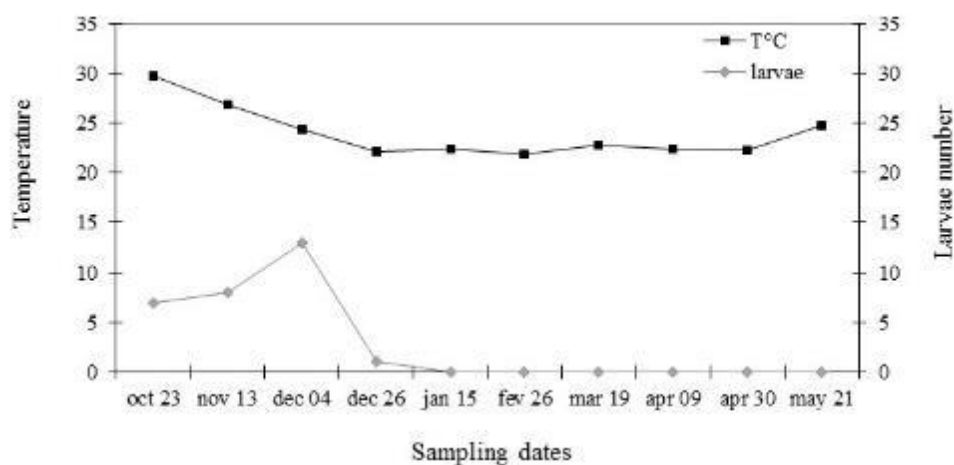


Fig 3: Evolution des chenilles du « Borer » du chou suivant la température dans la zone nord

*Relation entre les populations d'*H. undalis* et le nombre de pieds de chou détruits.*

Dans la zone sud, la courbe représentant les chenilles récoltées au cours des échantillonnages suit parfaitement la courbe du nombre de pieds de chou détruits. En effet, nous obtenons une corrélation hautement significative entre les deux courbes ($r = 0,604$; $P < 0,01$) (Fig 4).

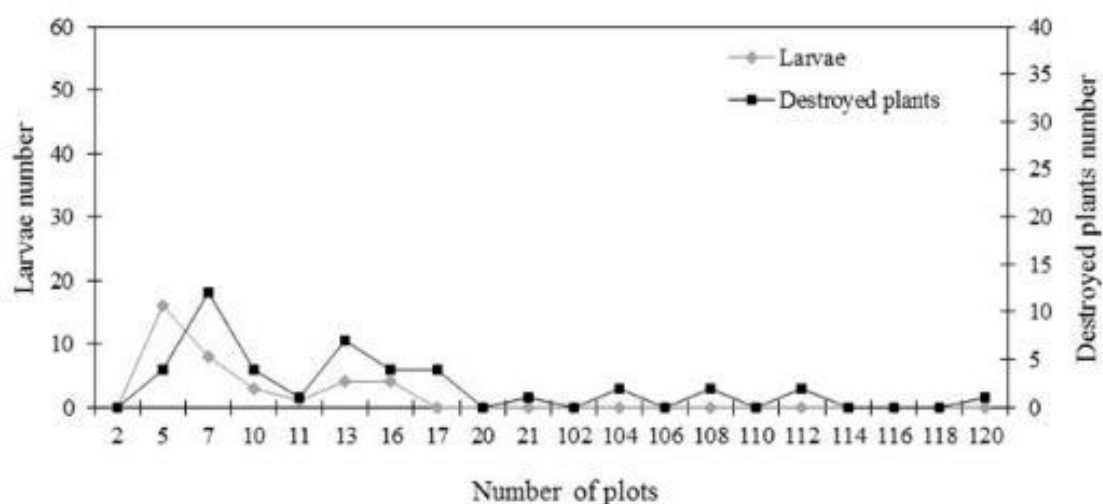


Fig 4: Relation entre la présence de chenilles du « Borer » et les pommes de chou détruites dans la zone sud

Même constatation dans la zone centre, où le nombre de pieds détruits est le plus souvent supérieur aux nombres de chenilles récoltées, comme le montre la parcelle 26, respectivement une chenille pour cinq choux détruits, la parcelle 31, respectivement deux chenilles pour 12 pieds détruits, la 40, trois pour sept, la 134, une pour neuf et la 138, aucune chenilles pour quatre pieds détruits. La corrélation entre les deux paramètres étudiés, le nombre de chenilles présentes et le nombre de pieds détruits est hautement significative ($r = 0,934$; $P < 0,01$) (Fig 5).

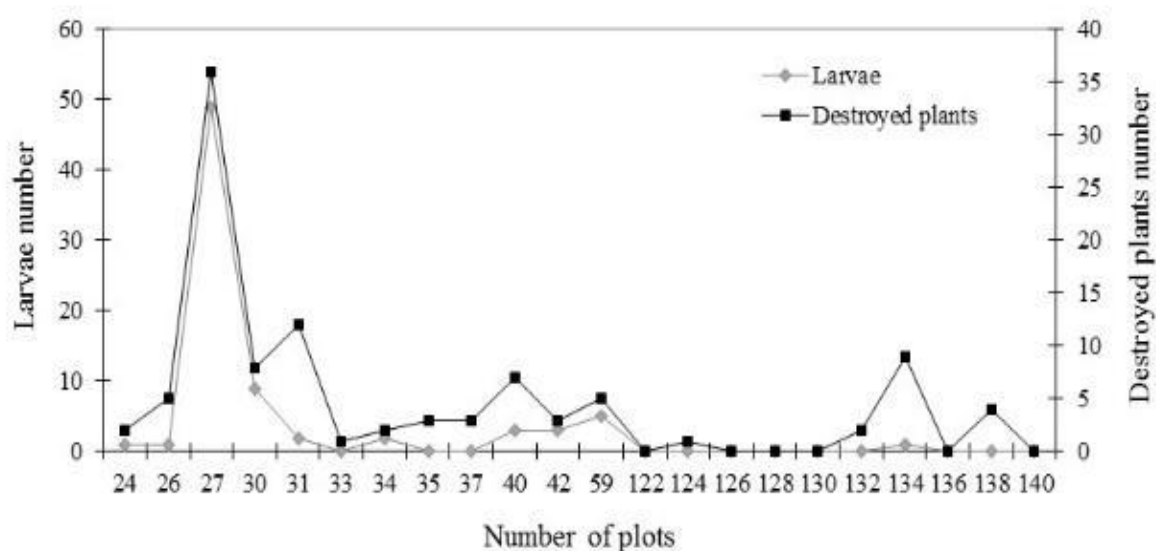


Fig 5: Relation entre la présence de chenilles du « Borer » et les pommes de chou détruites dans la zone centre

Dans la zone nord, le nombre de choux détruits est sensiblement plus important que le nombre de chenilles récoltées. En effet, dans la parcelle 48 ; il n'y a aucune chenille prélevée et pourtant neuf choux sont détruits, dans la 50 ; quatre chenilles pour 16 choux détruits, dans la 51 ; trois pour huit, dans la 52 ; une pour six, dans la 55 ; une pour 12, dans la 58 ; 12 pour 28 et dans la 144 ; aucune chenille pour sept pieds détruits. Dans cette zone, la corrélation entre le nombre de chenilles présentes et le nombre de pieds de chou détruits est hautement significative ($r = 0,821$; $P < 0,01$) (Fig 6).

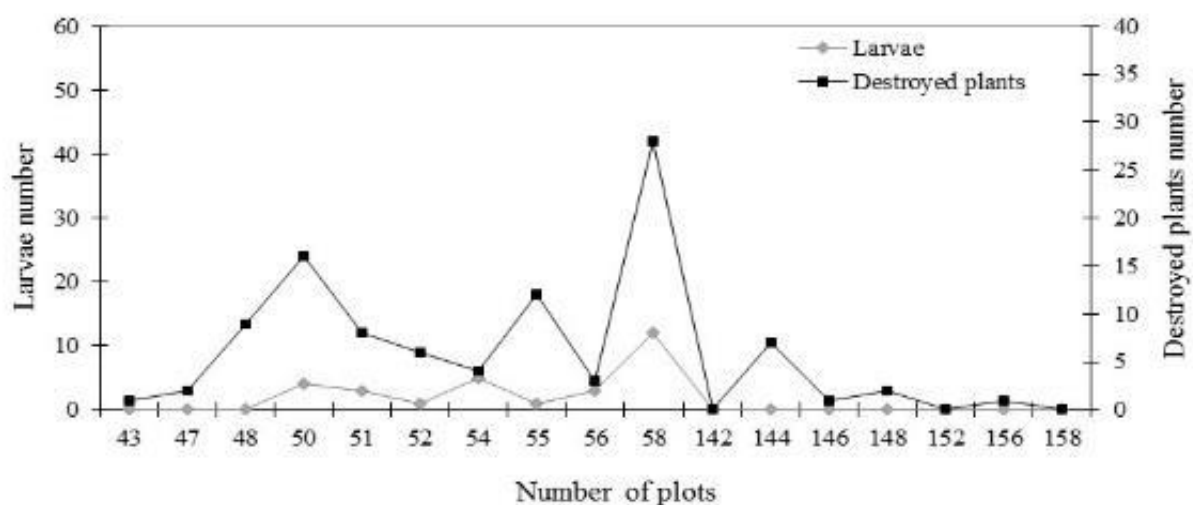


Fig 6: Relation entre la présence de chenilles du « Borer » et les pommes de chou détruites dans la zone nord

Pourcentage des pieds de choux détruits échantillonnés dans les parcelles.

Dans la zone sud, l'attaque d'*H. undalis* n'a pas été très importante. En effet seules deux parcelles sur 20 possèdent plus de cinq choux détruits, respectivement sept pour la parcelle 13 et 12 pour la sept (Tableau 3).

Tableau 3 : Pourcentage des pieds de chou détruits échantillonnées dans les parcelles de la zone sud

Zone sud			
N° parcelle	Nb choux/échan	Nb Pieds dét	% Pieds dét
2	72	0	0,00
5	96	4	4,17
7	96	12	12,50
10	72	4	5,56
11	72	1	1,39
13	96	7	7,29
16	96	4	4,17
17	120	4	3,33
20	96	0	0,00
21	96	1	1,04
102	96	0	0,00
104	96	2	2,08
106	96	0	0,00
108	72	2	2,78
110	72	0	0,00
112	96	2	2,08
114	72	0	0,00
116	72	0	0,00
118	96	0	0,00
120	72	1	1,39

Nb choux/échan : nombre de choux /échantillonnages

Nb Pieds dét : nombre de pieds détruits

% Pieds dét : pourcentage de pieds détruits

Au centre, l'attaque est plus forte et nous relevons sept parcelles à cinq et plus de cinq choux détruits : deux parcelles à cinq choux respectivement pour la 59 et la 26, sept pour la 40, huit pour la 30, neuf pour la 134, 12 pour la 31 et 36 pour la 27 (Tableau 4).

Tableau 4 : Pourcentage des pieds de chou détruits échantillonnées dans les parcelles de la zone centre.

Zone centre			
N° parcelle	Nb choux/échan	Nb Pieds dét	% Pieds dét
24	72	2	2,78
26	96	5	5,21
27	96	36	37,50
30	96	8	8,33
31	96	12	12,50
33	96	1	1,04
34	96	2	2,08
35	72	3	4,17
37	96	3	3,13
40	96	7	7,29
42	96	3	3,13
59	96	5	5,21
122	72	0	0,00
124	96	1	1,04
126	96	0	0,00
128	96	0	0,00
130	96	0	0,00
132	72	2	2,78
134	96	9	9,38
136	72	0	0,00
138	96	4	4,17
140	72	0	0,00

Nb choux/échan : nombre de choux /échantillonnages

Nb Pieds dét : nombre de pieds détruits

% Pieds dét : pourcentage de pieds détruits

Dans la zone nord, l'attaque est aussi importante que dans la zone centre où nous avons comptabilisés également sept parcelles à plus de cinq choux ; la 52 où six choux sont détruits, la 144 en a sept, huit pour la 51, neuf pour la 48, 12 pour la 55, 16 pour la 50 et 28 pour la 58 (Tableau 5).

Tableau 5 : Pourcentage des pieds de chou détruits échantillonnées dans les parcelles de la zone nord.

Zone nord			
N° parcelle	Nb choux/échan	Nb Pieds dét	% Pieds dét
43	96	1	1,04
47	96	2	2,78
48	72	9	12,50
50	96	16	16,67
51	96	8	8,33
52	96	6	6,25
54	96	4	4,17
55	96	12	12,50
56	96	3	3,13
58	96	28	29,17
142	72	0	0,00
144	96	7	7,29
146	96	1	1,04
148	72	2	2,78
152	72	0	0,00
156	48	1	2,08
158	72	0	0,00

Nb choux/échan : nombre de choux /échantillonnages

Nb Pieds dét : nombre de pieds détruits

% Pieds dét : pourcentage de pieds détruits

Discussion

Nous observons et cela dans les trois zones, que le nombre le plus important de pieds détruits a toujours été trouvés dans les parcelles cultivées avec le cultivar Tropica Cross.

Les glucosinolates sont des composés soufrés produits par les choux qui attirent les femelles pour pondre et sont appétant envers les jeunes chenilles (Hamilton et al 2005 ; Haugen et al 2008 ; Furlong et al 2012). Actuellement, il existe des variétés de choux moins sensibles aux attaques des chenilles d'*Hellula undalis* (Silva-Krott et al 1995), car ils produisent des toxines responsables de mécanisme d'antibiose (Eigenbrode & Shelton 1992). Dans notre cas, Tropica Cross, Tropica Leader et K K Cross sont issus du même pool génétique et sélectionnés pour la zone tropicale d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Malgré cela, ces trois cultivars sont les plus sensibles aux attaques du Borer. Le cultivar Tropicana, cultivé en Martinique et sélectionné pour un meilleur développement en période fraîche, possède une tolérance moyenne envers les attaques du ravageur. De tous les cultivars utilisés par les producteurs, Santa semble être le plus résistant. Il serait intéressant dans des études ultérieures, de pouvoir quantifier les glucosinolates présents dans ces différents cultivars afin de hiérarchiser leur tolérance aux attaques du Borer (Mewis et al 2003).

Dans les trois zones, les populations de chenilles augmentent significativement avec l'élévation de la température. Nos résultats sont en accord avec ceux réalisés sur le continent asiatique, à Taïwan (Talekar & Lee 1985), à Karnataka aux Indes (Peter et al 1987) et en Malaisie (Sivapragasam et al 1994).

Les chenilles d'*H. undalis* ne sont pas défoliatrices et après leur éclosion, elles se dispersent sur les feuilles et pénètrent dans les nervures ou le bourgeon terminal (Talekar et al 1981 ; Sivapragasam & Chua 1997). Les dégâts sont de deux sortes ; le chou n'a plus d'axe central dû à des attaques dès la pépinière (Sivapragasam & Chua 1997 ; Mewis et al 2001) ou possèdent plusieurs têtes, qui le rend invendable, du fait des départs des bourgeons axillaires (Sivapragasam & Chua 1997 ; Mewis et al 2003). Le cycle larvaire du ravageur étant d'une vingtaine de jour à une température supérieure à 25°C (Peter et al 1987), nous observons un chevauchement entre les chenilles (présence dans la tige et le pétiole des feuilles) issues des pontes déposées dans la parcelle par les femelles et les plants attaqués en pépinière qui continuent à pousser. L'agriculteur ne faisant pas la différence entre un plant sain ou attaqué repique systématiquement les plants issus de celle-ci.

Bien que les attaques des populations du Borer soient en général faible, le pourcentage de pieds attaqués est supérieur dans les trois zones lors de la première saison d'échantillonnage, où la température est plus importante, se situant entre 22 et 30°C en moyenne, température optimale pour le développement des chenilles (Peter et al 1987 ; Sivapragasam et al 1994). Nous notons également un pourcentage plus important de pieds détruits dans les zones centre et nord, par rapport au sud. Nous pouvons émettre deux hypothèses ; (i) au sud, l'environnement des parcelles est plus fermé que dans le nord et le centre et formerait des barrières naturelles qui perturberaient les déplacements des adultes d'*H. undalis*, espèce faiblement migratrice (Shirai & Kawamoto 1991) ; (ii) dans la zone sud, contrairement aux deux autres zones, les pépinières sont souvent protégées par de la paille, celle-ci pouvant faire une barrière aux femelles venant pondre et réduirait ainsi fortement le risque de repiquer des plants déjà attaqués.

La lutte contre cette espèce doit être adaptée afin de maintenir les populations de chenilles à un seuil économique acceptable pour le producteur. On connaît les risques pour la santé humaine et l'environnement, découlant des applications anarchiques d'insecticides (Furlong et al 2012) utilisés par des acteurs souvent mal informé voire ignorant des effets néfastes de ces pesticides. Ainsi, nous savons que la réussite des programmes de libérations d'auxiliaires biologiques est très coûteuse et nécessite une compétence technique importante qui incombe la responsabilité des agriculteurs dans le suivi d'un itinéraire technique. La solution à ces

problèmes serait en premier lieu de favoriser la lutte biologique par conservation de la faune utile en limitant les applications insecticides par des formulations à base de produits naturels (huile de "neem") ou biologiques (*B.thuringiensis*), mais également effectuer des recherches sur l'aide que pourraient apporter les plantes compagnes à travers des espèces maraîchères cultivées qui possèdent un effet piège (Moutarde chinoise, Pak choï...), répulsif (oignon, ail, basilic...), ou neutre (salade, carotte...), mais qui pourraient perturber les femelles d' *H. undalis* à la recherche de sites de ponte (Sheehan 1986). Ces espèces cultivées pourraient également apporter un supplément de revenu au producteur. La mise en place de cette stratégie serait également en phase avec ses compétences horticoles de producteur de spéculation légumières.

Remerciements

Nous remercions ici l'ensemble des agriculteurs des trois zones qui nous ont autorisé à pénétrer dans leurs exploitations pour y échantillonner et récolter les données qui ont permis de mener à bien cette étude. Nous profitons également de remercier nos collègues étudiants en masters et doctorants appartenant à l'équipe 2PIA de l'UCAD pour l'aide apportée lors des prélèvements sur le terrain.

Références

- CHILCUTT, C.F. & TABASHNIK, B.E. 1997. Host-mediated competition between the pathogen *Bacillus thuringiensis* and the parasitoid *Cotesia plutellae* of the diamondback moth (Lep.: Plutellidae). *Environmental Entomology*. **26**: 38-45.
- EIGENBRODE, S.D. & SHELTON, A.M. 1992. Survival and behavior of *Plutella xylostella* larvae on the cabbages with leaf waxes altered by treatment with S-ethyl dipropylthiocarbamate. *Entomology. Exp. Applied*. 1992. **62**: 139-145.
- FURLONG, M.J., WRIGHT, J. & DOSDALL, L.M. 2012. Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress and Prospects. *Annual Review of Entomology*. **58**: 517-41.
- GOUDEGNON, A.E., KIRK, A.A., SCHIFFERS, B. & BORDAT, D. 2000.

- Comparative effects of deltamethrin and neem kernel solution treatments on diamondback moth and *Cotesia plutellae* (Hym., Braconidae) parasitoid populations in the Cotonou peri-urban area in Benin. *Journal of Applied Entomology*. **124**: 141-144.
- GRZYWACZ, D., ROSSBACH, A., RAUF, A., RUSSELL, 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.
- HAMILTON, A.J., ENDERSBY, N.M., RIDLAND, P.M., ZHANG, J. & NEAL, M. 2005. Effects of cultivar on oviposition preference, larval feeding and development time of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), on some Brassica oleracea vegetables in Victoria. *Australian Journal of Entomology*. **44**: 284-287.
- HAUGEN, R., STEFFES, L., WOLF, J., BROWN, P., MATZNER, S. & SIEMENS, D.H. 2008. Evolution of drought tolerance and defense: dependence of tradeoffs on mechanism, environment and defense switching. *Oikos* **117**: 231-244.
- HILL, T.A. & FOSTER, R.E. 2000. Effect of insecticides on the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Journal of Economic Entomology*. **93** (3): 763-768.
- HOOKS, C.R.R. & JOHNSON, M.W. 2003. Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Protection*. **22**: 223-238.
- HUANG, Z., ALI, S., REN, X. & WU, J.H. 2010. Effect of *Isaria fumosoroseus* on mortality and fecundity of *Bemisia tabaci* and *Plutella xylostella*. *Insect Science and its Application*. **17**: 140-148.
- KAWAMOTO, K.Y., SHIRAI, Y. & OKADA, T. 1987. *Bull. Natt. Res. Inst. Veg. Ornam, Plants and Tea. Series A*. **1**: 147-156.
- KIBATA, G.N. 1996. Diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae), a problem pest of brassicae crops in Kenya. In G. Farrell and G. N. Kibata [eds.], *First Biennial Crop Protection Conference*, Nairobi, Kenya.
- MAC AVOY, T.J. & KOK, L.T. 1992. Development, Oviposition, and Feeding of the

- Cabbage Webworm (Lepidoptera: Pyralidae). *Entomological Society of America*, **21** (3): 527-533.
- MACHARIA, I., LÖHR, B. & DE GROOTE, H. 2005. Assessing the potential impact of biological control of *Plutella xylostella* (diamondback moth) in cabbage production in Kenya. *Crop Protection*. **24**: 981-989.
- MEWIS, I., ULRICHS, C.H. & SCHNITZLER, W.H. 2001. Feeding behavior and host-plant of the cabbage webworm *Hellula undalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) in the context of secondary host-plant compounds. *Mitt. Dtsch. all. Angew Entomology*. **13**: 273-278.
- MEWIS, I., ULRICHS, C.H. & SCHNITZLER, W.H. 2003. The role of glucosinates and their hydrolysis products in oviposition and host plants by Cabbage webworm, *Hellula undalis*. *Entomology. Ex. Applied*. **105** : 129-139.
- PETER, C., BALASUBRAMANIAN, R. & PRASAD, V.G. 1987. Studies on the biology of the cabbage borer *Hellula undalis* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae) in Karnataka. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*. **21** (3): 309-312.
- SARFRAZ, M., DOSDALL, L.M. & KEDDIE, B.A. 2005. Spinosad: a promising tool for integrated pest management. *Outlooks on Pest Management*. **16**: 78-84
- SHELTON, A.M., ROUSH, R.T., WANG, P. & ZHAO J.Z. 2007. Resistance to insect pathogens and strategies to manage resistance: An update. In: *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Kluwer Academic Press, 793–811.
- SHIRAI, Y. & KAWAMOTO, K. 1989. A mark-recapture experiment for male adult cabbage webworm, *Hellula undalis* (Lepidoptera : Pyralidae). *National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea, Ano. Mie* 514-23.
- SILVA-KROTT, I., SINGH, P., LALI, T.S. & MUNIAPPAN, R. 1995. Development of trap cropping system for cabbage in Guam. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*. **1** (1): 27-35.
- SIVAPRAGASAM, A., RUWAIDAH, M. & ASMA, A. 1994. Temperature and its influence on the development and distribution of *Hellula undalis* in Malaysia. *Researches in Population ecology*. **39**: 3-10.

- SIVAPRAGASAM, A. & CHUA, T.H. 1997. Preference for sites within plant by larvae of the cabbage webworm, *Hellula undalis* (Fabr.) (Lep., Pyralidae). *Journal Applied Entomology*. **121**: 360-365.
- SOW, G., DIARRA K., ARVANITAKIS, L. & BORDAT D. 2013. Relationships between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia Horticulturae*. **25** (1): 3-12.
- SUGIE, H., YASE, J., KIYOTOMO, F. & SHIRAI, Y. 2003. A sex attractant of the cabbage webworm, *Hellula undalis*. Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae). *Applied Entomology and Zoology*. **38** (1): 45-48.
- TALEKAR, N.S., SHIAO, W.F. & LIN, Y.H. 1981. Insect pest control of summer Chinese cabbage in Taiwan. In Chinese cabbage; *Proceeding of the first International Symposium* 1981. Ed. By Talekar N. S., Griggs T. D., AVRDC, Shanhua, Tainan, China, 163-172.
- TALEKAR, N.S. & LEE, S.T. 1985. Seasonally of insect pests of Chinese cabbage and common cabbage in Taiwan. *Journal plant Protection Bulletin*, Taiwan. **27** (1): 47-52.
- TALEKAR, N.S. & SHELTON, A.M. 1993. Biology, Ecology and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology*. **38**: 275-301.
- WARWICK, S.I., FRANCIS, A. & MULLIGAN G.A. 2003. Brassicaceae of Canada. *Agriculture and Agri Food Canada Research, Canadian Biodiversity Information Facility*, http://www.cbif.gc.ca/spp_pages/brass/index_e.php.

CHAPITRE 5

**Un nouveau parasitoïde de *P. xylostella* pour la faune
auxiliaire du Sénégal.**

Présentation du chapitre...

Dans ce chapitre, il est question de la première capture en Afrique de l'Ouest de l'espèce *Diadegma insulare* (Cresson), Hyménoptère Ichneumonidae, parasitoïde larvaire de l'espèce *P. xylostella*, principal ravageur du chou dans le monde.

Ce parasitoïde est apparu au terme de notre étude (sur le suivi des parcelles sur le terrain), plus précisément à partir de janvier 2014, à Dakar et environs (à Dalifort, aux Maristes, à Gorom et à Mboro). C'est une espèce nouvelle pour la faune auxiliaire Sénégalaise. *Diadegma insulare* se développe préférentiellement dans des zones de basses températures. Son apparition dans un pays tropical témoigne de l'importante baisse de la température survenue dans la région de Dakar depuis l'année 2011 d'après les données météorologiques de l'aéroport de Dakar. Cette découverte est une preuve des changements climatiques partout dans le monde. Depuis 2011 les températures moyennes annuelles à Dakar et dans les environs ont baissé de 3,5 degrés Celsius.

Ces basses températures, favorables au développement de cette espèce permettrons peut être son établissement partout dans la zone des Niayes. Ce qui va augmenter le nombre d'auxiliaires de la teigne du chou et peut renforcer la lutte biologique contre ce ravageur. Il faut noter Cependant que ces changements peuvent impacter de manière positive ou négative sur la faune auxiliaire déjà mise en place. Toujours est-il que c'est seulement à partir des observations et d'études sur le terrain, qu'on parviendra à comprendre la complexité des relations qu'entretiennent les différentes espèces avec le milieu agro écologique. Tout étant lié les conditions du milieu, particulièrement celles climatiques, jouent un rôle primordial sur la biologie et l'établissement de la faune locale.

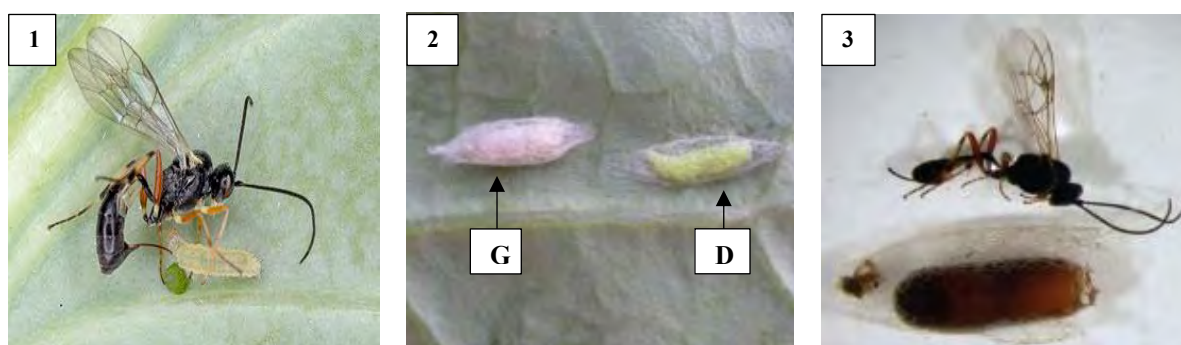


Figure 31: *Diadegma insulare* : ¹en train de pondre, ²cocon parasité (G) nymphe saine (D), ³adulte et cocon vide. (Echantillonné à Gorom 1et 2)

Article 6

Premier enregistrement du parasitoïde larvaire *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) au Sénégal.

Labou B.¹, Bordat D.¹, Niang A. A² & Diarra K.¹

▪

Manuscrit accepté le 3 février 2016, publié en septembre 2016 dans la Revue **African Entomology**.

Premier enregistrement du parasitoïde larvaire *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) au Sénégal.

Labou B.¹, Bordat D.¹, Niang A. A² & Diarra K.¹

¹Département de Biologie animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Sénégal

²Département de Biologie animale, Institut fondamental d'Afrique noire Cheikh Anta Diop Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Sénégal

Manuscrit accepté le 3 février 2016, publié en septembre 2016 dans la Revue **African Entomology**. Vol. 24, No. 2, 2016

En Janvier 2014, des individus de l'espèce *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera, Ichneumonidae, Campopleginae) ont été échantillonnés dans des parcelles de choux *Brassica oleracea* L. (Brassicaceae) d'agriculteurs à Dalifort (14 ° 44'35.06 "N 17 ° 24'41.67" W) et à Maristes (14 ° 44'16.54 "N 17 ° 26'02.96" W). C'est le premier enregistrement de ce parasitoïde au Sénégal et en Afrique de l'Ouest. En 2015, plusieurs spécimens ont été recueillis dans une autre localité appelée Gorom (14 ° 49'29.6 "N 17 ° 09'14.38" W), ainsi qu'en Janvier 2016 certains individus ont été également trouvés à Mboro (15 ° 08'32.54 "N 16 ° 52'58.08 "W) dans les parcelles de choux. Actuellement, d'après cette observation, il semble que cette espèce migre vers le nord suivant la frange côtière des Niayes. Certains de ces spécimens ont été déposés en France dans la collection privée de Pascal Rousse, taxonomiste international, spécialisé aux Campopleginae travaillant au Centre de Coopération International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD, France). Il a identifié les individus récoltés à l'aide de la clé proposée par Azidah et al. (2000). D'autres échantillons ont été envoyés au laboratoire d'entomologie de l'Institut Fondamental pour la Recherche Africaine (IFAN, Dakar, Sénégal) et enregistrées sous les numéros IFAN / ZIT-0328,

IFAN / ZIT-0329, IFAN / ZIT-0330, IFAN / ZIT-0331 et IFAN / ZIT-0332, tandis que d'autres ont été conservés au Département de Biologie animale, dans le laboratoire agro écologique de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).

L'espèce *Diadegma insulare* est un endoparasitoïde larvaire de l'espèce *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en Amérique du Nord et est répartie dans les régions nordiques néo tropicales (Biever et al. 1994 ; Mitchell et al. 1997 ; Munir et al. 2015...) et dans certaines îles du Pacifique (Wagener et al. 2004). Il est également présent au Maroc et en Israël (Rousse & Villemant 2012). En Amérique du Nord, *D. insulare* est le principal ennemi naturel de la teigne du chou, avec une efficace capacité d'accueil et de recherche, qui peut sensiblement contrôler les populations de *P. xylostella* (Sarfraz et al. 2005 ; Dosdall et al. 2011).

La biologie de *D. insulare* n'est pas bien étudiée (Munir et al. 2015). Ses principaux hôtes sont des chenilles de lépidoptères telles que: *Plutella xylostella* (L.), *P. omissa* (Walsingham), *P. armoraciae* (Busck), tous Plutellidae, la teigne de la pomme de terre (Zeller) Gelechiidae et *Hellula undalis* (Fabricius) Crambidae (Rousse & Villemant 2012). Au laboratoire, *D. insulare* peut parasiter tous les stades larvaires de *P. operculella* (Idris & Gracias 2001). Des études ont montré qu'il se développe normalement dans des conditions de basses températures : inférieures à 22 ° C. Il semble qu'il soit adapté aux régions où la température moyenne est d'environ 22 ° C (15 à 28), ce qui montre qu'il est plutôt un parasitoïde plus efficace dans les régions froides que dans les régions tropicales (Bahar et al. 2012). Par conséquent, certaines espèces de parasitoïdes, en particulier *D. insulare*, ont pris de l'importance économique comme agents de lutte biologique contre la teigne et sont donc les espèces les plus connues et les mieux étudiés du genre *Diadegma* (Wagener et al., 2006). Malgré sa grande capacité à parasiter les chenilles de *P. xylostella* (50 à 95%), *D. insulare* n'a pas fait l'objet d'introduction par inoculation sur le terrain afin d'améliorer le contrôle de *P. xylostella* (Shelton 2002), à l'exception du Mexique où cette espèce a un contrôle efficace sur les populations de *P. xylostella* dans les cultures de choux (Salazar et al. 2001).

Il est donc pas clair comment *D. insulare* est arrivé et s'est établi au Sénégal. L'hypothèse suivante peut être proposée. Les échanges commerciaux entre le Maroc et le Sénégal ont existé pendant un temps suffisamment long (Sanae 2013). Le Sénégal importe de plus en plus de produits agricoles en provenance d'Afrique du nord : oignons, choux, carottes,

pommes de terre et autres légumes remplissent les étals des marchés (Gueye 2013). *Diadegma insulare* est présent au nord de l'Afrique sur les choux et les pommes de terre, où les femelles parasitent *P. xylostella* et *P. operculella* respectivement (Rousse & Villemant 2012). Il est probable que *D. insulare* (probablement des stades immatures chez les chenilles de l'hôte parasité) a été introduit par les choux et / ou les pommes de terre importés de cette partie du nord de l'Afrique. Le même scénario s'est produit avec l'espèce *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lépidoptères: Gelechiidae), récemment introduite au Sénégal par les importations de fruits de tomates en provenance d'Afrique du nord. Cette espèce s'est acclimatée et est présente dans la région de Dakar et dans toute la zone côtière des Niayes (Brévault et al. 2014).

Un climat mondial changeant a le potentiel de nuire à la lutte biologique si les changements de température perturbent la synchronisation du cycle de vie entre les ravageurs et leurs parasitoïdes (Hance et al. 2007). Cependant des agents de lutte biologique capables de s'adapter à l'évolution des conditions climatiques parviennent à réussir. L'application de la lutte biologique est facilitée à condition de connaître les différentes réponses des agents de lutte biologique aux conditions climatiques, en particulier les réponses à la température (Golizadeh et al. 2008). Depuis 2011, les températures moyennes annuelles (données recueillies à partir de la météorologie de l'aéroport de Dakar) à Dakar ont fortement diminué de 3,5 degrés Celsius, le climat autour de Dakar est devenu plus froid variant autour (de 24,7 à 24,9 ° C) au lieu de 30 ° C (de 27,4 à 31,5 ° C) entre 2005 et 2010. *Diadegma insulare* préfère les basses températures pour un parasitisme plus efficace (Bolter & Laing 1993; Bahar et al 2012). Si les températures tièdes persistent, une vraie perspective d'installation de *D. insulare* est possible au moins à l'intérieur et autour de la zone côtière des Niayes de Dakar. Le succès d'installation de cette nouvelle espèce au Sénégal permettra d'accroître la diversité de la faune naturelle locale parasitant les chenilles de *P. xylostella* dans les cultures de choux au Sénégal.

Remerciements

Un grand merci à Pascal Rousse pour l'identification des spécimens *Diadegma*. Un grand merci aussi aux étudiants du master GEDAH qui ont récolté ces spécimens lors de leur échantillonnage dans les parcelles de choux.

Références

- AZIDAH, A.A., FITTON, M.G. & QUICKE, D.L.J. 2000. Identification of *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research* **90**: 375–389.
- BAHAR, M. H, SOROKA, J.J. & DOSDALL, L.M. 2012. Constant versus fluctuating temperatures in the interactions between *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its larval parasitoid *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Environmental Entomology* **41** (6): 1653-1661.
- BIEVER, K.D., HOSTETTER, D.L. & KERN, J.R. 1994. Evolution and implementation of biological control-IPM system for crucifers, 24 year case history. *American Entomologist* **40**: 103-108.
- BOLTER, C.J. & LAING, J.E. 1993. Competition between *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and *Microplitis plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) for larvae of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* **14**: 1-10.
- 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. *African Entomology* **22** (2): 441-444.
- DOSDALL, L. M., SOROKA, J.J. & OLFERT, O. 2011. The diamondback moth in canola and mustard: Current pest status and future prospects. *Prairie Soils Crops Journal* **4**: 66-76.

- GUEYE, E.H.M. 2013. Les fruits et légumes marocains s'imposent sur les étals Ouest africains. *Agriculture et pêche*, 15 août 2013.
- GOLIZADEH, A., KAMALI, K., FATHIPOUR, Y. & ABBASIPOUR, H. 2008. Life table and temperature-dependent development of *Diadegma anurum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) on its host *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology* **37**: 38-44.
- HANCE, T., VAN BAAREN, J., VERNON, P. & BOIVIN, G. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology* **52**: 107-126.
- IDRIS, A.B. & GRAFIUS, E.J. 2001. Alternate hosts of *D. insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae): A preliminary search. *Pakistan Journal of Biological Sciences* **4** (10): 1235-1239.
- MITCHELL, E.R., HU, G.Y. & OKINE, J.S. 1997. Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) infestation and parasitism by *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) in collards and adjacent cabbage fields. *Florida Entomologist* **80**: 54-62.
- MUNIR, S., DOSDALL, L.M. & O'DONOVAN, J.T. 2015. Evolutionary Ecology of Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and *Diadegma insulare* (Cresson) in North America: A Review. *Annual Research & Review in Biology* **5** (3): 189-206.
- ROUSSE, P. & VILLEMANT, C. 2012. Ichneumons in Reunion Island: a catalogue of the local Ichneumonidae (Hymenoptera) species, including 15 new taxa and a key to species. *Zootaxa* **3278**: 1-57.

- SALAZAR, S.E., ABRAHAM, J.S. & SALAZAR, E.E., 2001. Control biologico de la palomilla dorso de diamante en la región del Bajío, Mexico. In: Memorias de tecnología de producción de las crucíferas. Celaya, Gto., Mexico. IV seminario internacional. pp. 30-39.
- SANAE, T. 2013. Maroc-Sénégal: Un mariage de commerce et d'investissement. *Hebdomadaire Les Afriques*, 18 Mars 2013.
- SARFRAZ, M., KEDDIE, A.B. & DOSDALL, L.M. 2005. Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontrol Science and Technology* **15**: 763-789.
- SHELTON, A.M. 2002. A brief review of Diamondback moth biological control in North America. In: Kirk, A.A. & Bordat, D. (Eds) *Improving biocontrol of Plutella xylostella. Proceedings of the international symposium*, Montpellier, France, 21-24 October 2002, pp. 71-85.
- WAGENER, B., REINEKE, A., LÖHR, B. & ZEBITZ, C.P.W. 2004. A PCR-based approach to distinguish important *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae) associated with diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bulletin of Entomological Research* **94**: 465-471.
- WAGENER, B., REINEKE, A., LÖHR, B. & ZEBITZ, C.P.W. 2006. Phylogenetic study of *Diadegma* species (Hymenoptera: Ichneumonidae) inferred from analysis of mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Biological Control* **37**: 131-140.

RECOMMANDATIONS

(Extrait de la présentation orale de la soutenance)

Ces recommandations ont été obtenues à la suite d'un important travail de terrain sur une durée de deux années. Elles sont le résultat de plusieurs observations sur une centaine de parcelles de choux dans les Niayes. Par contre elles ne représentent pas une liste exhaustive de pratiques favorables qu'on peut appliquer en maraîchage. Plusieurs autres pratiques concluantes qui serviront à l'élaboration de fiches techniques y ont été décelées.

Ce qu'il faut noter est que tout écosystème à ses propres réalités au niveau de l'interrelation entre les différentes espèces qui y évoluent. Plusieurs facteurs (biotiques et abiotiques) sont en prendre en compte et méritent une attention particulière sur l'effet qu'ils peuvent avoir sur cet ensemble qui s'avère parfois très complexe. Toujours est-il que l'amélioration et la durabilité de notre agriculture passera par une bonne connaissance de nos agrosystèmes. Il est impératif que le monde scientifique pense d'abord, à la réussite des acteurs de ce secteur, dans leurs travaux de recherches afin de pérenniser les bonnes pratiques agricoles...



Université Cheikh Anta Diop
Ecole Doctorale «Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement»
ED-SEV



1

Distribution des populations de la « Teigne » *Plutella xylostella* (L), du « Borer » *Hellula undalis* (F) et des auxiliaires dans les cultures de chou des Niayes au Sénégal.

Thèse unique d'Ecologie et Gestion des Ecosystèmes
Présentée par **Babacar LABOU**
Sous la direction du Pr. Karamoko DIARRA
Laboratoire ZPIA
FST-AGRO





57

Recommandations

- Protéger les pépinières aux attaques précoces des ravageurs comme l'espèce *H. undalis* « Borer » du chou
- Réduire l'intensification d'une culture au niveau d'une zone donnée (ex: zone sud) afin d'éviter la disponibilité d'une ressource de manière permanente pour les ravageurs en favorisant la diversification
- Conserver les habitats semi-naturels (ex: friches au nord) qui favoriseraient la lutte biologique par les ennemis naturels (Bianchi et al. 2008)

Recommandations

58

- Favoriser la régulation des ravageurs et la performance des ennemis naturels par l'effet de la période; **ex: les saisons sèches chaudes ont toujours le plus haut degré de parasitisme**
- Choisir des variétés adaptées à la zone selon la saison (**ex: *Tropica cross*** centre et nord), résistantes (**ex: *santa***) aux attaques des ravageurs et dont le développement suit un même stade phénologique
- Utiliser des plantes compagnes possédant un effet piège (Moutarde chinoise, Pak choï...), répulsif (oignon, ail, basilic...), ou neutre (salade, carotte...), mais qui pourraient perturber les femelles de ravageurs à la recherche de sites de ponte (Sheehan 1986).

Recommandations

59

- Pratiquer des méthodes d'arrosage (**ex: lance**) semblables aux fortes précipitations en saison des pluies diminuant les populations de chenilles (Campos et al 2006 ; Ayalew et al 2008; Zalucki et al 2012)
- Remplacer les insecticides de synthèse par des formulations à base de produits naturels (huile de "neem") ou biologiques (*B. thuringiensis*) (pour éviter les conséquences dues à la résistance: **augmentation des ravageurs et réduction des auxiliaires**)

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Aujourd'hui la culture du chou dans la zone des Niayes, contribue fortement aux revenus des producteurs et représente pour les populations locales et urbaines une source de nourriture non négligeable en légumes feuilles. Mais les dégâts que causent les ravageurs à cette culture poussent les agriculteurs, qui veulent sauver leurs choux, d'utiliser des produits de synthèses dont l'impact sur la santé et l'environnement suscite une urgence d'utilisation de luttés alternatives. Dans le souci d'y amener une réponse, nous avons mené cette étude en débutant par un inventaire des principaux ravageurs qui freinent l'amélioration de cette production. Cependant, malgré un bon nombre de ravageurs inventoriés la majeure partie cause des dégâts minimes à côté de deux principales espèces que sont : *Plutella xylostella* communément appelé « Teigne du chou » et le « Borer » *Hellula undalis*. Ces deux ravageurs constituent et de loin les plus dévastateurs. Dans la zone des Niayes, *P. xylostella* est le plus largement distribué avec une occurrence de 100%, c'est-à-dire est partout présent. Ce qu'il faut noter est que la nature des dégâts de ces deux ravageurs interpelle le paysan qui a tendance à agir inconsciemment de manière inadéquate. En effet, l'utilisation des pesticides reste la seule voie la plus accessible et la plus efficace pour l'agriculteur face à ces ravageurs. La vraie question pour les producteurs est comment agir devant cette problématique quand le moyen le plus connu et le plus accessible (pesticides) à leur niveau connaît des limites ? Devant ce dilemme connu de tous, la solution durable est à rechercher dans la nature en essayant de comprendre la relation qui existe entre ces ravageurs et leurs ennemis naturels. C'est dans cette optique que nous nous sommes lancés à la recherche des différents parasitoïdes de ces espèces, pour connaître quels sont les plus efficaces et à quel moment de la culture. Cependant quatre espèces de parasitoïdes ont été retrouvées chez l'espèce *P. xylostella* par contre aucune espèce de parasitoïde du ravageur *Hellula undalis* n'a été retrouvée parmi les chenilles échantillonnées et ramenées au laboratoire. Les espèces de parasitoïdes de *P. xylostella* retrouvées sont : *O. sokolowskii*, *C. vestalis*, *A. litae* et *Brachymeria* sp.

Mais à la fin de cette étude, plus précisément à partir de janvier 2014, un nouveau parasitoïde pour la faune auxiliaire du Sénégal a été enregistré à Dakar et environs (à Dalifort, aux Maristes, à Gorom et à Mboro). Il s'agit de *Diadegma insulare*, une espèce qui n'a jamais été trouvée dans toute l'Afrique de l'ouest. C'est une espèce qui se développe préférentiellement dans les zones de basses températures. Son apparition dans un pays tropical témoigne de l'importante baisse de la température et sa depuis l'année 2011 à Dakar et environs d'après les données météorologiques de l'aéroport de Dakar ainsi que nos propre données sur le terrain.

Cette découverte vient appuyer le rôle fondamental que jouent les conditions du milieu, particulièrement celles climatiques, sur la biologie et l'établissement de la faune locale.

Cette étude révèle une variabilité au niveau du taux de parasitisme par rapport à la zone et à la saison selon l'espèce. Leur distribution révèle un effet de la zone et de la saison témoignant de l'importance des facteurs biotiques et abiotiques des agroécosystèmes. Il est primordial de noter que la diversité des parasitoïdes peut entraîner un contrôle naturel des ravageurs, comme en témoigne la relation positive entre H' (indice de diversité de Shannon) et le taux de parasitisme.

Le taux de parasitisme (12%) varie de façon importante entre les parcelles (0-50%), la zone (9-14%) et la période de l'année (6-15%). Les espèces *O. sololowski* et *A. litae* dominent et montrent un effet de la saison. La répartition des espèces sur les trois zones montre qu'*O. sokolowskii* est plus abondant au sud avec 53,06% du taux de parasitisme, *A. litae* et *C. vestalis* au centre avec respectivement (40,80%) et (12,04%) et en fin *B. citrae* au nord (14,15%).

Ceci montre que l'espèce *O. sololowski* est plus performante dans la zone des Niayes. Il est considéré comme le plus important endoparasitoïde et agent de lutte biologique pour la gestion des populations de *P. xylostella* (Wang et al. 1999; Ferreira et al. 2003). Cette performance peut être expliquée par ses caractéristiques bioécologiques. C'est un parasitoïde larvo-nympal grégaire et les femelles pondent leurs œufs tout au long de leur vie reproductive. Cependant, sa performance peut être affectée par les conditions du milieu. C'est ainsi que nos résultats ont pu montrer qu'il est plus efficace en première partie de saison sèche. Cependant en deuxième partie de saison sèche, il laisse la place à l'espèce *A. litae*. Cette dernière domine dans la zone centre et montre également des performances encourageantes dans la lutte contre *P. xylostella*. Les études de Sow et al. (2013) ont montré qu'elle est dominante en saison sèche dans la zone. Ces études viennent confirmer nos résultats montrant l'impact que la période de l'année a sur les parasitoïdes, d'où l'effet saison souligné précédemment.

Malgré ces performances notées, le taux de parasitisme reste faible dans la zone et ne permet pas un contrôle des populations de *P. xylostella*. La question qu'il faut se poser cette fois est, peut-on naturellement contrôler un ravageur dans la nature par ses parasitoïdes naturels ? Dans la limite du possible, il sera très difficile à réaliser sans la "main de l'homme". D'après certains auteurs, le taux de parasitisme est faible dans la nature. De ce fait la solution est d'opter pour une méthode palliative qui regroupe un bon nombre de moyens de lutte, qui pourront être combinés afin de trouver la bonne formule. Il faut bien noter dans ce cas que

chaque zone agroécologique étant différente de l'autre, une formule commune sera difficile à trouver. Il serait judicieux d'essayer d'intervenir de manière spécifique dans chaque agroécosystème donné, en tenant bien compte des conditions qui sévissent dans le milieu.

Tous ces paramètres dont il faut tenir en compte, rejoignent notre idée dans l'étude d'un impact possible que peut avoir les pratiques agricoles dans la régulation de *P. xylostella*. C'est ainsi qu'on a étudié la sensibilité des cultivars utilisés par les agriculteurs, face aux ravageurs (*P. xylostella* et *H. undalis*). Ces résultats ont montré que certains cultivars sont plus tolérants que d'autres. Mais cette tolérance se limite à des attaques faibles du ravageur. En effet, Tropica Cross, Tropica Leader et K K Cross sont issus du même pool génétique et sélectionnés pour la zone tropicale d'Afrique de l'Ouest et Centrale. Ils semblent avoir une bonne tolérance quand les attaques de la Teigne sont faibles, comme c'est le cas dans la zone centre et nord. Par contre sa tolérance diminue quand les attaques augmentent, ce qui se vérifie dans la zone sud. Le cultivar Tropicana, cultivé en Martinique et sélectionné pour un meilleur développement en période fraîche, semble bien se comporter à cette époque où la température est inférieure à 30°C, mais comme les cultivars précédents, sa tolérance diminue quand la pression du ravageur augmente. Cependant ces cultivars sont très sensibles aux attaques du ravageur *H. undalis*. De tous les cultivars utilisés par les producteurs, Santa semble être le plus résistant. Il serait intéressant dans des études ultérieures, de pouvoir quantifier les glucosinolates présents dans ces différents cultivars afin de hiérarchiser leur tolérance aux attaques du Borer (Mewis et al 2003).

En définitive, cette étude nous renseigne sur le degré de connexité (interrelations) qui sévit dans un agroécosystème donné. Mis en part la complexité de la relation tri-trophique entre la plante hôte, le ravageur et son parasitoïde (voir article parasitisme), l'environnement ainsi que les pratiques agricoles sont en prendre en considération pour mieux comprendre le fonctionnement de la nature. De ce fait, le concept de lutte alternative le plus proche pour répondre à ce besoin est la protection écologique, basée principalement sur la lutte biologique de conservation, qui maintient la présence de la faune auxiliaire en limitant les applications non contrôlées de pesticides chimiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alam MM. 1990. Diamondback moth and its natural enemies in Jamaica and some other Caribbean Islands. In: Talekar N. S. (Ed.), Management of Diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the 2 nd International Workshop, 10-14 December 1990, Tainan, Taiwan, Asian Vegetable Research and Development Center. p. 233-243.
- Alam MM. 1992. Diamondback moth and its natural enemies in Jamaica and some other Caribbean islands. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the Second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan, AVRDC Publication, 92: 233-243.
- Ankersmit GW. 1953. DDT resistance in *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera) in Java. Bulletin of Entomological Research, 44, 421–425.
- Ansari MS, Ahmad T, Ali H. 2010. Effect of Indian mustard on feeding, larval survival and development of *Plutella xylostella* at constant temperatures. *Entomological Research* 40: 182-188.
- Argenti O. 2010. Approvisionnement et distribution des aliments dans les villes. Symposium international: Horticulture urbaine et périurbaine au siècle des villes. Symposium international Dakar, République du Sénégal, 6-9 décembre 2010 :30
- Asayama T. 1986. Pathology and morphogenesis of a granulosus virus of the diamondback moth. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, Asian Vegetable Research and Development Center, 205–212.
- Atwal AS, Dhaliwal GS. 2002. A text book on Agricultural Pests of South East Asia and their Management. Kalyani Publishers, Ludhiana, pp.177-434
- AVRDC. 1978. Cabbage Webworm. In: Progress Report of the Asian Vegetable Research and Development Center, Shanua, Taiwan: pp. 34-35
- Awai D. 1958. A study of the identity, larval stages, and natural enemies of *Hellula undalis*

- (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) in Hawaii. Thesis submitted to the Graduate School of the University of Hawaii in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science. June 1958.
- Balachowsky AS. 1966. Hyponomeutidae - sous-famille des Plutellinae. pp. 218-229 In: Entomologie appliquée à l'agriculture. Masson, Paris.
- Baltazar AM, Martin EC, Casimero MC, Bariuan FV, Obien SR, Dedatta SK. 1998. IPM CRSP Working Paper 98-1; www.ag.vt.edu/ipm/crsp/papers/wp98-1.pdf, 04.06.04
- Baur ME, Kaya HK, Tabashnik BE. 1997. Efficacy of a dehydrated steinernematid nematode against black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) and diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). Journal of Economic Entomology, 90, 1200–1206.
- Baur ME, Kaya HK, Tabashnik BE, Chilcutt, C.F. 1998. Supression of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) with an entomopathogenetic nematode (Rhabditidae: Steinernematidae) and *Bacillus thuringiensis* Berliner. Journal of Economic Entomology, 91, 1089–1095.
- Bhalani, P.A. 1984. Biology and seasonal incidence of cauliflower head borer, *Hellula undalis* Fabricius under Junagadh (Gujarat State) condition. Gujarat Agric. Univ. Res.J. 9: 63-66.
- Birot S. 1998. Comparaison biologique et biochimique de trois populations d'origines géographiques différentes d'*Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hym., Eulophidae) parasitoïde de *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Yponomeutidae). DEA de parasitologie, ENSAM, Montpellier II, France. 25 p.
- Bodnaryk RP. 1997. Will low-glucosinolate cultivars of the mustards *Brassica juncea* and *Sinapis alba* be vulnerable to insect pests? Canadian Journal of Plant Science, 77, 283–287.
- Bogahawatte CNL, Van Emden HF. 1996. The influence of the host plant of diamondback moth (*Plutella xylostella*) on the plant preferences of its parasitoid *Cotesia plutellae* in Sri Lanka. Physiological Entomology, 21, 93–96.
- Bordat D, Arvanitakis L. 2004. Arthropodes des cultures légumières d'Afrique de l'Ouest,

- centrale, Mayotte et Réunion. Ed. Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) : Département des productions fruitières et horticoles. p291.
- Bordat D, Goudegnon AE, Bouix G. 1994. Relationships between *Apanteles flavipes* (Hym. : Braconidae) and *Nosema bordati* (Microspora, Nosematidae) parasites of *Chilo partellus* (Lep: Pyralidae). *Entomophaga*, 39, 21–32.
- Bourdouxhe L. 1983. Dynamique des populations de quelques ravageurs importants des cultures maraichères du Sénégal. *Agronomie Tropicale* 38 : 132-149.
- Branco MC, Vazques LL, Jaramillo JE, Londono M, Franca FH, Villas-Boas GL, Jones GD, Medeiros MA, Pereira P, Monnerat RG, Crema A, Pontes LA. 2004. A review of the biological control of *Plutella xylostella* (L.) diamondback moth, in South and Central America. In: Improving Biocontrol of *Plutella xylostella*. Proceedings of the international symposium, Kirk A.A., Bordat D. (Eds.), Montpellier, France, 2002. 85-92.
- Camara MN, 1999. Eléments pour une lutte intégrée contre *Plutella xylostella* et *Hellula undalis* sur chou-pommé dans la zone des Niayes (Sénégal). Mémoire de DEA en Sciences de l'environnement, Institut des Sciences de l'Environnement, Dakar, 44p.
- Carpenter GH. 2005. The life-story of insects. Cambridge University Press, London. 146 p.
- Charleston DS, Kfir, R. 2000. The possibility of using Indian mustard, *Brassica juncea*, as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in South Africa. *Crop Protection*, 19, 455–460.
- Chaufaux J. 1995. Utilisation de biopesticides contre les ravageurs des cultures : le point sur *Bacillus thuringiensis*. *Insectes (OPIE)*, 97, 2–6.
- Chow YS, Chiu SC, Chien CC. 1974. Demonstration of a sex pheromone of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 67, 510–512.
- Chua TH, Lim BH. 1979. Distribution pattern of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on choy-sum plants. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 88, 170–175.

- Chuang CH. 1994. I. Life cycle studies with cabbage webworm. Training Report. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanua, Taiwan: 1-6.
- Chu YI. 1986. The migration of the diamondback moth. In: Talekar, N.S. (ed), The diamondback moth management. In: Proceedings of the First International Workshop. Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, Asian Vegetable Research and Development Center. p. 77–81.
- Chilcutt CF, Tabashnik BE. 1997. Host-mediated competition between the pathogen *Bacillus thuringiensis* and the parasitoid *Cotesia plutellae* of the diamondback moth (Lep: Plutellidae). Environmental Entomology 26: 38-45.
- Colautti RI, Ricciardi A, Grigorovitch IA, mcisaac, HJ. 2004. Is invasion success explained by the enemy release hypothesis? Ecology Letters, 7, 721–733.
- Delobel A. 1978. La protection des cultures de crucifères contre la teigne du chou en Nouvelle-Calédonie (*Plutella xylostella* (L.) Lepidoptera : Hyponomeutidae). Cahiers ORSTOM, sér. Biol., vol. XIII, numéro1: 35-40.
- Delucchi V, Tadic M, Bogavic M. 1954. Mass rearing of *Apanteles plutellae* Kurdj. (Hym, Ichneumonidae), endophagous parasites of *Plutella maculipennis* Curt. and biological observations on these parasites. Zastita Bilja 21: 26-41.
- Delvare G, Kirk A. 1999. Potential Of parasitic hymenoptera for the biocontrol of the diamond back moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera Yponomeutidae): a review from past experience and recent exploration. In: Cinquième conférence Internationale sur les ravageurs en Agriculture, 7-9 Décembre 1999, Montpellier, France, p: 655-663.
- Delvare G. 2004. The taxonomic status and role of Hymenoptera in biological control of DBM, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). In: Kirk AA, Bordat D (eds) Improving biocontrol of *Plutella xylostella*– Proceedings of the international symposium. CIRAD, Montpellier, France, 17–49.
- Dickson MH, Shelton, AM, Eigenbrode SD, Vamosy ML, Mora M. 1990. Breeding for resistance to diamondback moth, *Plutella xylostella*, in cabbage. Hort Science, 25, 1643–1646.
- Domme F. 1999. Comparaison biologique et biochimique de trois populations d'origines

- géographiques différentes de *Plutella xylostella* (Linné, 1758) ou Teigne des Brassicacées. Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes, Université de Montpellier II, France. 10p.
- Eigenbrode SD, Shelton A.M. 1990. Resistance to diamondback moth in Brassica: Mechanisms and potential for resistant cultivars. In N. S. Talekar [ed.], Diamondback moth and other crucifer pests. Asian Vegetable Research and Development Center, Tainan, Taiwan.
- Eigenbrode SD, Shelton AM. 1992. Resistance to diamondback moth in Brassica: Mechanisms and potential for resistant cultivars. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, Asian Vegetable Research and Development Center. p. 213-224.
- Eilenberg J, Hajek A, Iomer C. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46, 387–400.
- FAOSTAT. 2013. ([http:// faostat.org](http://faostat.org)). Food and Agriculture Organisation, United Nation.
- Ferreira SWJ, Barros R, Torres JB. 2003. Exigências térmicas estimativa do número de gerações de *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), para regiões produtoras de crucíferas em Pernambuco. *Neotropical Entomology*, 32, 407–411.
- Fouilhe C. 1996. Action de *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) Hymenoptera : Braconidae, sur les stades larvaires de *Plutella xylostella* (L.) Lepidoptera : Yponomeutidae, comparaison de deux souches de *C. plutellae*. Mémoire de Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes. Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc. 16p.
- Furlong MJ, Pell JK. 1996. Interactions between the fungal entomopathogen *Zoopthora radicans* Brefeld (Entomophthorales) and two hymenopteran parasitoids attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. *Journal of Invertebrate Pathology*, 68, 15–21.
- Furlong MJ, Wright J, Dosdall LM. 2012. Diamondback Moth Ecology and Management: Problems, Progress and Prospects. *Annu Rev Entomol*. 58: 517–41.

- Gill SS, Cowles EA, Pietrantonio PV. 1992. The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annual Review of Entomology* 37: 615-636.
- Goudegnon AE, Kirk AA, Schiffers B, Bordat D. 2000. Comparative effects of deltamethrin and «neem» kernel solution treatments on diamondback moth and *Cotesia plutellae* (Hym, Braconidae) parasitoid populations in the Cotonou peri-urban area in Benin. *Journal of Applied Entomology* 124: 141-144.
- Goudegnon AE, Kirk AA, Arvanitakis L, Bordat D. 2004. Status of the diamondback moth and *Cotesia plutellae*, its main parasitoid, in the Cotonou and Porto Novo periurban areas of Benin. In: Kirk A.A. and Bordat D. (eds.) *Improving biocontrol of Plutella xylostella*. Proceedings of the international symposium, 21-24 October 2002, Montpellier, France, pp. 172-178.
- Graf P, Sow MM, Sy A. 2000. La lutte intégrée contre les ennemis des cultures. Guide pratique de défense des cultures pour la Mauritanie. 229 p.
- Greaves T. 1945. Experiments on the control of cabbage pests in North Queensland. *Journal of the Council of scientific and industrial Research of Australia* 18: 110-120.
- Gruarin S. 1998. Influence d'une microsporidie sur la biologie d'*Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae), parasitoïde de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Mémoire d'Ingénieur Technique Agricole. Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles, Bordeaux. 44p.
- Guilloux T. 2000. Etude de la variabilité biologique, biochimique et génétique de populations d'origines géographiques différentes de *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) (Hymenoptera : Braconidae), parasitoïde de la teigne des Brassicacées *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera : Yponomeutidae). Thèse de Doctorat d'université, Université Paul Valéry, Montpellier III. 215p.
- Guo S, Qin Y. 2010. Effects of temperature and humidity on emergence dynamics of *Plutella xylostella* (Lepidoptera ; Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(6), 2028–2033.
- Gupta PD, Thorsteinson AJ. 1960. Food plant relationship of diamondback moth (*Plutella*

- maculipennis Curt.) II. Sensory relationship of ovoposition of the adult female. Entomol. Exp. Appl 3: 305-314.
- Harakly FA. 1968a. The egg and the full-grown, larval stage of *Hellula undalis* Fabr. Bull. Ent. Soc. Egypt 52: 183-190.
- Harakly FA. 1968b. Biological studies on the Cabbage web-worm, *Hellula undalis* Fabr. Bull. Ent. Soc. Egypt 52: 191-211.
- Harakly FA. 1969. The control of the cabbage web-worm, *Hellula undalis* Fabr. Bull. Ent.Soc. Egypt, Economic series III: 271-277.
- Harcourt DG, Cass LM. 1955. Studies on control of caterpillars on cabbage in the Ottawa Valley, 1953-1954. Canadian Journal of Agricultural Science 35: 568-572.
- Harcourt DG, Cass LM. 1966. Photoperiodism and fecundity in *Plutella maculipennis* (Curt.). Nature 210: 217-218.
- Harcourt DG. 1986. Population dynamics of the diamondback moth in Southern Ontario. In: Talekar N. S. (Ed.) Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, Asian Vegetable Research and Development Center. pp. 3-15.
- Hardy JH. 1938. *Plutella maculipennis*, Curt., its natural and biological control in England. *Bulletin of Entomological Research* 29: 343-372.
- Hasapis X, Macleod AJ, Moreau M.1981. Glucosinolates of nine Cruciferae and two Capparaceae species. *Phytochemistry* 20 (10): 2355-2358.
- Hawkins BA, Cornell HV. 1999. Theoretical Approaches to Biological Control. Cambridge University Press, Cambridge, 424 p.
- Hill TA, Foster RE, 2003. Influence of selected insecticides on the population dynamics of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) and its parasitoid, *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), in cabbage. *J. Entomol. Sci.* 38: 59-71.
- Hirashima Y, Nohara K, Miura T. 1990. Studies on the biological control of the diamondback

- moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) 1. Insect natural enemies and their utilization. Scientific Bulletin of the Faculty of Agronomy, Kyushu University 44: 65-70.
- Hooks CRR, Johnson MW. 2003. Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. Crop Protection 22: 223-238.
- Honda KI. 1992. Hibernation and migration of diamondback moth in Northern Japan. In: Talekar N. S. (Ed.) Diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, *Asian Vegetable Research and Development Center*. pp. 43-50.
- Huang Z, Ali S, Ren SX, Wu JH. 2010. Effect of *Isaria fumosoroseus* on mortality and fecundity of *Bemisia tabaci* and *Plutella xylostella*. Insect Science and its Application 17: 140-148.
- Huckett HC. 1934. Field tests on Long Island of derris as an insecticide for the control of cabbage worms. Journal of Economic Entomology 27: 440-445.
- Ibrahim MA. 2004. *Podisus maculiventris* (Hemiptera, pentatomidae), a potential biocontrol agent of *Plutella xylostella* is not repelled with limonene treatments on cabbage. In: Kirk A. A. & Bordat D. (Eds) Improving biocontrol of *Plutella xylostella*. Proceedings of the International Symposium, Montpellier, France, 21-24 October 2002. Montpellier, France, CIRAD, pp. 200-203.
- Isoko H. 1995. *Hellula undalis* (Fabricius). In: Pests of Tropical Vegetable Crops AICAF (Association for International Cooperation of Agriculture and Forestry, Japan): 38-39.
- James B, Atcha –Ahowe C, Godonou I, Baimey H, Goergen G, Sikirou R, Toko M. 2010. Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : *Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest*. Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria. p120.
- Jeamblu N. 1995. Etude de la biologie d'*Apanteles* sp. Hyménoptera ; Braconidae, parasitoïde de *Plutella xylostella* (L.) Lépidoptera ; Yponomeutidae, important ravageur des cultures de crucifères au Brésil. Maîtrise de Biologie des Organismes et des Populations, UM II Sciences et Techniques du Languedoc. 17p.
- Jervis MA, Heimpel GE, Ferns PN, Harvey JA, Kidd NAC. 2001. Life-history strategies in

- parasitoid wasps: a comparative analysis of "ovigeny". *Journal of Animal Ecology* 70: 442-458.
- Justus KA, Mitchell BK. 1996. Oviposition site selection by the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Insect Behav.* 9:887-98.
- Kfir R, 1997. Parasitoids of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in South Africa: an annotated list. *Entomophaga* 42:517-523.
- Kfir R. 1998. Origin of diamondback moth (Lep. : Plutellidae). *Annals of the Entomological Society of America* 91: 164-167.
- Kessing JFL, Mau RFL. 2007. A Study of the Identity, Larval Stages, and Natural Enemies of *Hellula undalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralididae) in Hawaii. *Bull. Soc. Ent. Egypte.* 52: 191-211.
- Kjaer A. 1960. Naturally derived iso-thiocyanates (mustard oils) and their parent glucosides. *Fortschr. Chem. Org. Nat Stoffe* 18: 122-176.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45, 175-201.
- Lello ER, Patel MN, Matthews GA, Wright DJ. 1996. Application technology for entomopathogenic nematodes against foliar pests. *Crop Protection* 15: 567-574.
- Leskovar DI, Boales AK. 1996. Azadirachtin: potential use for controlling lepidopterous insects and increasing marketability of cabbage. *HortScience*, 31, 405-409.
- Lim GS. 1986. Biological control of diamondback moth. In: Talekar N. S. (Ed.) *Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop*, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, Asian Vegetable Research and Development Center. pp. 159-171.
- Lim GS. 1992. Integrated pest management of diamondback moth: Practical realities. In: Talekar NS (Ed.). *Management of Diamondback moth and other crucifer pests. Proceedings of the Second International Workshop*, 10-14 December 1990. Tainan, Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center. pp 565-576.
- Lloyd DC, 1940. Host selection by hymenopterous parasites of the moth *Plutella*

- maculipennis* Curtis. Proceedings of the Royal Society of London, Series B. Biological Sciences 128:451-484.
- Lohr B, Kfir R. 2004. Diamondback moth *Plutella xylostella* in Africa: a review with emphasis on biological control. In: Bordat, D., Kirk, A.A. (Eds.), Improving Biocontrol of *Plutella xylostella*. CIRAD, pp. 71–84. Proceedings of the International Symposium in Montpellier, France, 21–24 Oct 2002.
- Lui YB, Tabashnik BE. 1997. Visual determination of sex of diamond back moth larvae. *The Canadian Entomologist*, 129: 585-586.
- Maa CJ. 1986. Ecological approach to male diamondback moth response to sex pheromone. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, Asian Vegetable Research and Development Center, 109–123.
- Macharia I, Löhr B, De Groote H. 2005. Assessing the potential impact of biological control of *Plutella xylostella* (diamondback moth) in cabbage production in Kenya. *Crop Prot.* 24: 981-989.
- McHugh JJ, Foster RE. 1995. Reduction of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) infestation in head cabbage by overhead irrigation. *Journal of Economic Entomology*, 88, 162–168.
- Mewis I. 2001. Untersuchungen zur chemischen Ökologie des Kruziferenzünslers: *Hellula undalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae). Dissertation, Freie Universität Berlin, Institut für Biologie, Zoologie: 156 pp.
- Mewis I, Ulrichs C, Schnitzler WH. 2002. The role of glucosinolates and their hydrolysis products in oviposition and host-plant finding by the cabbage webworm, *Hellula undalis*. *Entomol. Exp. Appl.* 105: 129-139.
- Mills NJ, Gutierrez AP. 1999. Biological control of insect pests: a tritrophic perspective. p. 219-230 In: Hawkins B & Cornell H. eds. *Theoretical Approaches to Biological Control*, Academic Press: New York.
- Miyata T, Saito T, Noppun V. 1986. Studies on the mechanism of diamondback moth

- resistance to insecticides. In: Talekar N. S. (Ed.) Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, Asian Vegetable Research and Development Center. pp. 347-357.
- Mondedji A.D. 2010. Potentiel d'utilisation d'extraits de feuilles de «neem» (*Azadirachta indica* A. Juss) et de papayer (*Carica papaya* L.) dans le contrôle des insectes ravageurs du chou (*Brassica oleracea* L.) en zones urbaines et périurbaines au sud du Togo. *Thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo*, p195.
- Monnerat RG. 1995. Interrelations entre la «Teigne des Crucifères» *Plutella xylostella* (L.), son parasitoïde *Diadegma* sp. (Hym. Ichneumonidae) et la bactérie entomopathogène *Bacillus thuringiensis* Berliner. Thèse d'agronomie. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Montpellier 162p.
- Moriuti S. 1986. Taxonomic notes on the diamondback moth. In: Talekar, N.S. (Ed.), Diamondback Moth Management. Proceedings of the First International Workshop, 11–15 March 1985. Asian Vegetable Research and Development Center, Tainan, Taiwan, pp. 83-88.
- Muhammad O, Tsukuda R, Oki Y, Fujisaki K, Nakasuji F. 1994. Influences of wild crucifers on life history traits and flight ability of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lep.: Yponomeutidae). *Researches in Population ecology*, 36: 53-62.
- Mustata G. 1992. Role of parasitoïde complex in limiting the population of diamondback moth in Moldavia, Romania. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, Asian Vegetable Research and Development Center. p. 203-211.
- Ndiaye C. 1995. Contribution à la connaissance de l'entomofaune locale sur cultures maraîchères: le cas de *Plutella xylostella* (L.) sur le chou pommé dans les Niayes. Mémoire de DEA en Sciences de l'Environnement. Institut des Sciences de l'Environnement. 59p.
- Ngouembe N. 1990. Inventaire et importance économique de l'entomofaune du périmètre maraîcher de Brazzaville au Congo. Etude bioécologique du complexe *Crocicidolomia binotalis* (Zeller, 1852) (Lep. Pyralidae), *Plutella xylostella* (Linné, 1758) (Lep.

- Yponomeutidae) sur chou (*Brassica oleracea* L.). Thèse (Dr Ingénieur). Montpellier (FRA) : ENSAM. 140p.
- Noyes JS, 1994. The reliability of published host-parasitoid records: a taxonomist's view. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 16:59-69.
- Ooi PAC. 1986. Diamondback moth in Malaysia. In: Talekar N. S. (Ed.) Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, Asian Vegetable Research and Development Center. pp. 35-41.
- Patil SP, Pokharkar RN. 1971. Diamondback moth, a serious pest of crucifers. Research Journal Mahatma Phule Agriculture University, 134-139.
- Pichon A. 1999. Caractérisation biologique et génétique de cinq populations d'origines géographiques différentes de *Plutella xylostella* (L.) (Lep. : Yponomeutidae). DEA de Génétique, Adaptations et Productions Végétales. Université de Rennes I, France. 27p.
- Pichon A. 2004. Différences morphologiques, biologiques et génétiques entre plusieurs populations d'origines géographiques différentes de *Plutella xylostella* (L.), (Lepidoptera : Plutellidae). Thèse d'Entomologie, Université Paul Sabatier (Toulouse III), France, 182p.
- Potting RPJ, Poppy GM, Schuler TH. 1999. The role of volatiles from cruciferous plants and pre-flight experience in the foraging behavior of the specialist parasitoid *Cotesia plutellae*. Entomologia Experimentalis et Applicata 93: 87-95.
- Quicke DLJ. 1997. Parasitic wasps. Chapman & Hall, London.
- Ratnasinghe G, Hague NGM. 1995. The susceptibility of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) to entomopathogenic nematodes. Afro-Asian Journal of Nematology, 5, 20-23.
- Ratzka A, Vogel H, Kliebenstein DJ, Mitchel-Olds T, Kroymann J. 2002. Disarming the mustard oil bomb. Proceedings of the national academy of Sciences of the United States of America 99: 11223-11228.
- Regnault-Roger C. 2005. Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Editions: Tec & Doc, p 1010.

- Rejesus BM, Javier P.A. 1997. Assessment of the occurrence and abundance of *Hellula undalis* in the Philippines. AVNET-II Final Workshop Proceedings (AVRDC): 320-314-296.
- Riethmacher GW, Rombasch MC, Kranz J. 1992. Epizootics of *Pandora blunckii* and *Zoophtora radicans* (Entomophthoraceae: Zygomycotina) in diamondback moth populations in Philippines. In: Talekar N. S. (Ed.), Management of Diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the 2nd International Workshop, 10-14 December 1990, Tainan, Taiwan, *Asian Vegetable Research and Development Center*. pp. 193-199.
- Rincon CL. 2006. Différenciation populationnelle chez le parasitoïde *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Braconidae) : génétique, comportement et évolution. Thèse de Doctorat de l'Université Montpellier II. 227p.
- Robertson PL. 1939. Diamondback moth investigation in New Zeland. *Journal of Science and Technology*, 20: 330-364.
- Roux O. 2006. Système de reconnaissance hôte-parasitoïde et différenciation de populations au sein de l'interaction spécifique *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae) et *Cotesia plutellae* (Hymenoptera, Braconidae). Thèse d'Entomologie, Université Paul Sabatier (Toulouse III), France, 208p.
- Sachan JN, Rivastava BPS. 1972. Studies on the seasonal incidence of insect pests of cabbage. *Ind. J. Ent.* 34(2): 123-129.
- Sachan JN, Gangawar S.K. 1980. Vertical distribution of important pests of cole crops in Meghalaya as influenced by the environmental factors. *Indian J. Ent.* 42: 414-421.
- Salinas PJ. 1986. Studies on diamondback moth in Venezuela with reference to other Latinoamerican countries. In: Talekar N. S. (Ed.) Diamondback moth Management: Proceedings of the first International Workshop, Tainan, Taiwan, 11-15 March 1985, *Asian Vegetable Research and Development Center*. p. 17-24.
- Sall-Sy D. 2005. Systématique et évolution spatio-temporelle des hyménoptères parasitoïdes de *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Yponomeutidae) dans les Niayes de Dakar (Sénégal). Thèse de Biologie Animale. UCAD, Sénégal. 110 p.

- Sandhu GS, Bhalla JS. 1973. Biology and control of cauliflower borer, *Hellula undalis* Fab. Punjab Horti. J. 13(1): 58-62.
- Sarfraz M, Dosdall LM, Keddle BA. 2005. Spinosad: a promising tool for integrated pest management. *Outlooks on Pest Management*, 16: 78-84.
- Sarfraz M, Keddle BA. 2005. Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lep., Plutellidae). *Journal of Applied Entomology*. 129:149-157.
- Schellhorn NA, Sork VL. 1997. The impact of weed diversity on insect population dynamics and crop yield in collards, *Brassica oleraceae* (Brassicaceae). *Oecologia*, 111, 233–240.
- Schmutterer H. 1992. Control of diamondback moth by application of «neem» extracts. In: Talekar NS (Ed.), Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, Asian Vegetable Research and Development Center. pp. 325-332.
- Schuler TH, Poppy GM, Kerry BR, Denholm I. 1998. Insect-resistant transgenic plants. *Trends in Biotechnology*, 16, 1678–1685.
- Shelton AM, Wyman JA, Cushing NL, Apfelbeck K, Dennehy TJ, Mahr SER. 1993. Insecticide resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in North America. *Journal of Economic Entomology*, 86, 11–19.
- Shelton AM, Roush RT, Wang P, Zhao JZ. 2007. Resistance to insect pathogens and strategies to manage resistance: An update. In: *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*. Kluwer Academic Press, p. 793–811.
- Shelton AM, Collins HJ, Zhang YJ, Wu, QJ. 2008. Proceedings of the Fifth International Workshop on the Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests. Beijing, China: China Agric. Sci. Technol. Press.
- Shi Z, Liu S, Li Y. 2002. *Cotesia plutellae* parasitizing *Plutella xylostella*: Host age dependent parasitism and its effect on host development and food consumption. *BioControl* 47:499-511.
- Shimabuku RS, Mau RFL, Gusumuka-Minuto L. 1997. Diamondback moth: feeding

- preference among commercial varieties of head cabbage. In: Sivapragasam A., Loke W.H., Hussan A.K., Lim G.S. (eds), The Management of Diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the third International Workshop, Kuala Lumpur, Malaysia, 29 October-1 November 1996, Malaysian Agricultural Research and Development Institut (MARDI) & Malaysian Plant Protection Society. p. 295-297.
- Shirai Y, Kawamoto K. 1990. A mark-recapture experiment for male adult cabbage webworm, *Hellula undalis* (Lepidoptera: Pyralidae). Appl. Ent. Zool. 25 (1): 127-129.
- Shirai Y, Kawamoto K. 1991. Laboratory evaluation of the flight ability of female adults of the cabbage webworm, *Hellula undalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and reproductive success after flight. Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Ornam. Plants and Tea, Series A. (Japan), March 1991 (4): 31-40.
- Shirai Y, Kawamoto K, Okada T, Aoyama S. 1988. Overwintering ecology of the cabbage webworm, *Hellula undalis* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae). Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Ornam. Plants & Tea. Series A 2: 107-115.
- Shirai Y, Yano E. 1994. Hibernation and flight ability of the cabbage webworm, *Hellula undalis* in Japan. JARQ 28 (3): 161-167
- Simmonds FJ. 1971. Report on a tour of Asian and Pacific countries. September 1970-January 1971. Commonwealth Agriculture Bureaux. 88 p.
- Singh L, Singh H, Brar JS. 1990. Biology of the head borer, *Hellula undalis* Fab. On cauliflower. J. Ins. Science (India) 3 (1): 72-76.
- Sivapragasam A, Aziz AMA. 1990. Cabbage webworm on crucifers in Malaysia. Chapter 8: p. 75-80. In: Diamondback moth and other crucifer pests. Talekar, N. S. (eds.), Asian Vegetable Research and Development Center: 603 pp.
- Sivapragasam A, Ruwaidah MA, Sam A. 1994. Temperature and its influence on the development and distribution of *Hellula undalis* in Malaysia. Rajan, A. and Y.B. Ibrahim (eds.). Plant protection in the tropics: proceedings of Fourth International Conference on Plant Protection in the Tropics. Kuala Lumpur (Malaysia). Malaysian Plant Prot. Soc. 5: p. 56-58.

- Sivapragasam, A. 1994. Biology and population dynamics of *Hellula undalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae) on lowland cabbages. Ph. D. - Thesis, University Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia, 224 pp.
- Sivapragasam A. 1996. Integrated management on cabbage with special reference to the control of *Hellula undalis* (Fabr.). In: Proceedings of the International Workshop on Pest Management Strategies in Asian Monsoon Agroecosystems Kumamoto, 1995, Hokyō N., and G. Norton (eds.): 223-234.
- Sivapragasam A, TH Chua. 1997a. Natural enemies for the cabbage webworm, *Hellula undalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Pyralidae) in Malaysia. Res. Popul. Ecol. 39 (1): 3-10.
- Sivapragasam A, TH Chua. 1997b. Preference for sites within plant by larvae of the cabbage webworm, *Hellula undalis* (Fabr.) (Lep. Pyralidae). J. Appl. Ent. 121: 361-365.
- Sivapragasam A, TH. Chua. 2000. Evaluation of *Cleome rutidosperma* and other weeds as alternate hosts of the cabbage webworm, *Hellula undalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Pyralidae). J. Pl. Prot. in the Tropics 13(1): 1-9.
- Smith DB, Sears MK. 1984. « Life history of *Plutella porrectella*, a relative of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) ». *The Canadian Entomologist* 116 (07): 913-17.
- Smith TJ, Villet MH. 2004. Parasitoids associated with the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in Eastern Cape, South Africa. In: Endersby, N., Ridland, P.M. (Eds.), The Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests, pp. 249–253. Proceedings of the Fourth International Workshop on Diamond Back Moth, 26–29 November 2001, Melbourne, Australia.
- Sorribas C. 1999. Influence de populations d'origine géographiques différentes de *Plutella xylostella* (L.) (Lep. : Yponomeutidae) sur le pourcentage de parasitisme de *Cotesia plutellae* (K.) (Hym. : Braconidae). Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes, Université de Montpellier II, France. 10 p.
- Sow G. 2007. Efficacité comparée de trois insecticides (Biobit, «neem», Métôfos) sur *Plutella*

- xylostella* (Linné, 1758) (Lepidoptera : Yponomeutidae), principal ravageur des Crucifères dans les Niayes de Dakar (Sénégal). Mémoire de DEA en Biologie Animale. Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar, Sénégal. 84 p.
- Sow G, Diarra K, Arvanitakis L, Bordat D. 2013. The relationship between the diamondback moth, climatic factors, cabbage crops and natural enemies in a tropical area. *Folia Horticulturae*, 25, 3–12.
- Stoner KA. 1992. Resistance and susceptibility to insect pests in glossy genetic lines of *Brassica oleracea* in Connecticut, USA. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, Asian Vegetable Research and Development Center. p. 57-63.
- Syed AR. 1992. Insecticide resistance in the diamondback moth in Malaysia. In: Talekar N. S. (ed), Diamondback moth and other crucifers pests: Proceedings of the second International Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990, *Asian Vegetable Research and Development*, 437–442.
- Tabashnik BE, Mau RFL. 1986. Suppression of Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) oviposition by overhead irrigation. *Journal of Economic Entomology* 79: 189-191.
- Tabashnik BE, Liu YB, Finson N, Masson L, Heckel DG. 1997. One gene in diamondback moth confers resistance to four *Bacillus thuringiensis* toxins. *Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America*, 94, 1640–1644.
- Talekar NS, Shiao WF, Lin YH. 1981. Insect pest control of summer Chinese cabbage in Taiwan. In Chinese cabbage; *Proceeding of the first International Symposium* 1981. Ed. By Talekar N. S., Griggs T. D., AVRDC, Shanhua, Tainan, China, 163-172.
- Talekar NS, Lee ST, Huang SW. 1986. Intercropping and modification of irrigation method for the control of diamondback moth. In: Talekar, N.S. (Ed.), Diamondback Moth Management. Proceedings of the First International Workshop, 11–15 March 1985. *Asian Vegetable Research and Development Center, Tainan, Taiwan*, pp. 145–151.
- Talekar NS, Yang JC. 1991. Characteristics of parasitism of diamondback moth by two larval parasites. *Entomophaga* 36:95-104.

- Talekar NS, Shelton AM. 1993. Biology, Ecology and management of the diamondback moth. *Annual Review of Entomology* 38: 275-301.
- Talekar NS, Hu WJ. 1996. Characteristics of parasitism of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) by *Oomyzus sokolowskii* (Hym., Eulophidae). *Entomophaga* 41: 45–52.
- Talekar NS. 2004. Biological control of diamondback moth in Asia In: Improving Biocontrol of *Plutella xylostella*. Proceedings of the international symposium, Kirk A. A., Bordat D. (Eds.), Montpellier, France, 2002. p. 103-115.
- Tang JD, Collins HL, Roush RT, Metz TD, Earle ED, Shelton AM. 1999. Survival, weight gain, and oviposition of resistant and susceptible *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) on broccoli expressing Cry 1Ac toxin of *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Economic Entomology* 92: 47-55.
- Uraichuen J. 1999. Compétition de deux espèces de parasitoïdes *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) et *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) sur un même hôte ; les chenilles de la teigne des Brassicacées, *Plutella xylostella* (Linné). Mémoire de Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes. UM II Sciences et Techniques du Languedoc. 19 p.
- Van Lenteren J.C. 2000. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? *Crop Protection*, 19, 375–384.
- Vayssières JF, Delvare G, Maldas JM, Aberlenc HP. 2001. Inventaire préliminaire des arthropodes ravageurs et auxiliaires des cultures maraîchères sur l'île de la Réunion. *Insect Science and its Application*, 2001, 21, 1-22.
- Veenakumari K, Mohanraj P, Ranganath HR. 1995. Additional records of insect pests of vegetables in the Andaman Islands (India). *J. Ent. Res.* 19(3): 277-279.
- Verkerk RHJ, Wright DJ. 1996. Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: a review. *Bulletin Entomological Research* 86: 205–216.
- Waage J, Greathead D. 1986. Insects parasitoids. Academic Press, London. 389 p.
- Vinson SB, Hegazi EM. 1998. A possible mechanism for the physiological suppression of

- conspecific eggs and larvae following superparasitism by solitary endoparasitoids. *Journal of Insect Physiology*, 44, 703–712.
- Wakisaka S, Tsukuda R, Nakasuji F. 1992. Effects of natural enemies, rainfall, temperature and host plants on survival and reproduction of the diamondback moth. In: Talekar N. S. (Ed.), *Management of Diamondback moth and other crucifer pests: Proceedings of the 2nd International Workshop, 10-14 December 1990, Tainan, Taiwan*, Asian Vegetable Research and Development Center. pp. 15-26.
- Wang XG, Liu SS, Guo SJ, Lin WC. 1999. Effects of host stages and temperatures on population parameters of *Oomyzus sokolowskii*, a larval-pupal parasitoid of *Plutella xylostella*. *BioControl* 44:391-402.
- Warwick SI, Francis A, Mulligan GA. 2003. *Brassicaceae of Canada*. Government of Canada. Available: http://www.cbif.gc.ca/spp_pages/brass/index_e.php.
- Waterhouse PH, Norris K.R. 1989. *Hellula* species. *Biological Control: Pacific Prospects-Supplement 1*. ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Monograph 12: pp. 77-81.
- Waterhouse DF. 1992. Biological control of diamondback moth in the pacific. In: Talekar, N.S., *Diamondback moth and other crucifer pests: Proc. 2nd Int. Workshop, Tainan, Taiwan, 10-14 December 1990*. Asian Vegetable Research and Development Center, AVRDC Publ. No. 92-368, pp. 213-224.
- Wilding N. 1986. Pathogens of diamondback moth and their potential for its control: a review. In: Talekar, N.S., Griggs, T, D. (Eds.), *Diamondback Moth Management*. Asian Vegetable Research Institute, Taiwan, pp. 219–232. *Proceedings of the First International Workshop, 11–15 Mar 1985, Tainan, Taiwan*.
- Wright D, Iqbal M, Granero F, Ferré J. 1997. A change in the single receptor in diamondback moth (*Plutella xylostella*) is only in part responsible for field resistance to *Bacillus thuringiensis* sbs. *kurstaki* and *B. thuringiensis* sbs. *aizawi*. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 1814–1819.
- Yamada H, Umeya K. 1972. Seasonal changes in wing length and fecundity of the

diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* 16: 180-186.

Youssef KH, Hammad SM, DONIA AR. 1973. Studies of the biology of the cabbage webworm, *Hellula undalis* F. (Lepidoptera, Pyraustidae). *Zeit. Ang. Ent.* 74: 1-6.

Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Liu SS, Furlong MJ. 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella*: Just how long is a piece of string? *Journal of Economic Entomology*, 105, 1115–1129.

ANNEXES



Contexte

- Au Sénégal, le maraîchage constitue une composante essentielle du développement agricole.
- Le chou est une culture importante. Cycle relativement court (60-90 jours après repiquage) et la possibilité d'être cultivé toute l'année.
- L'amélioration de la production est cependant souvent limitée par les dommages causés par les bio-agresseurs des cultures.



Objectifs

- Etablir un diagnostic des principaux insectes ravageurs des cultures de chou dans la zone maraîchère des Niayes
- Evaluer la variabilité spatio-temporelle
- Identifier les ennemis naturels intervenant dans la régulation des populations des principaux ravageurs.



Recensement des ravageurs au champ



2012-13



2013-14



Première partie de saison sèche

Deuxième partie de saison sèche

Suivi du parasitisme au laboratoire



Insectes ravageurs des cultures de chou

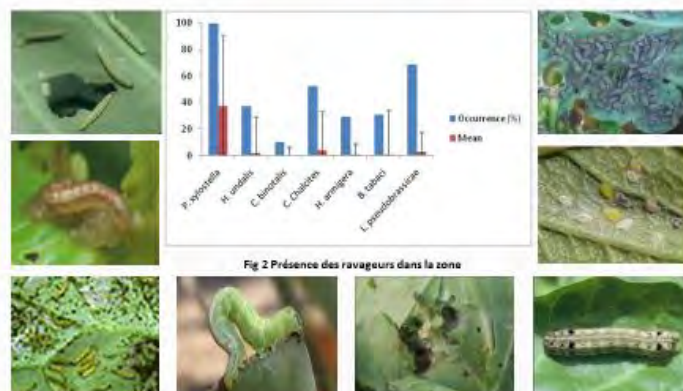
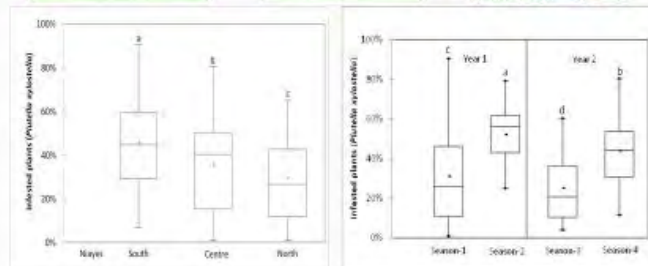
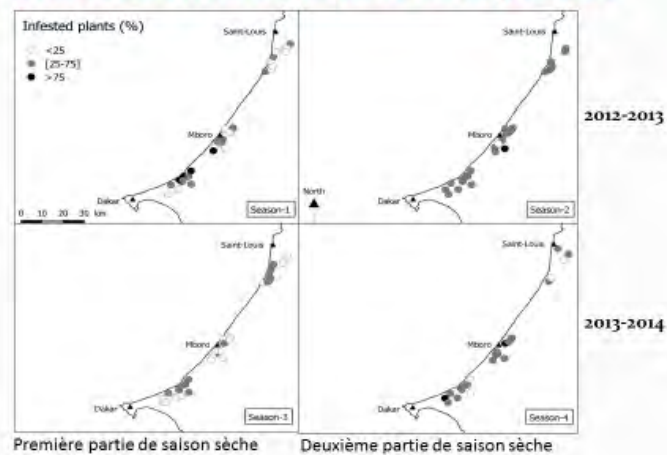


Fig 2 Présence des ravageurs dans la zone

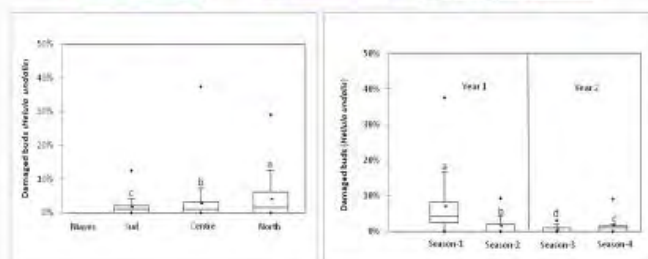
Ravageur n°1 la teigne du chou, *Plutella xylostella*

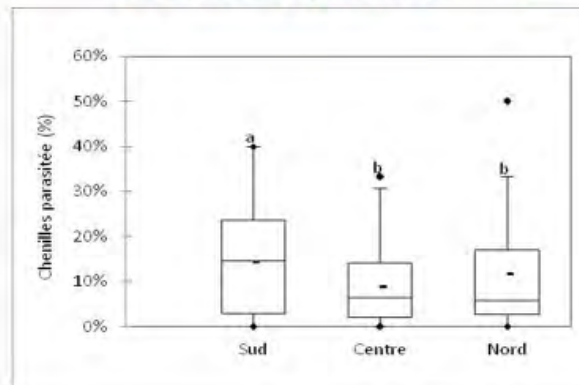


Distribution selon la zone et la période

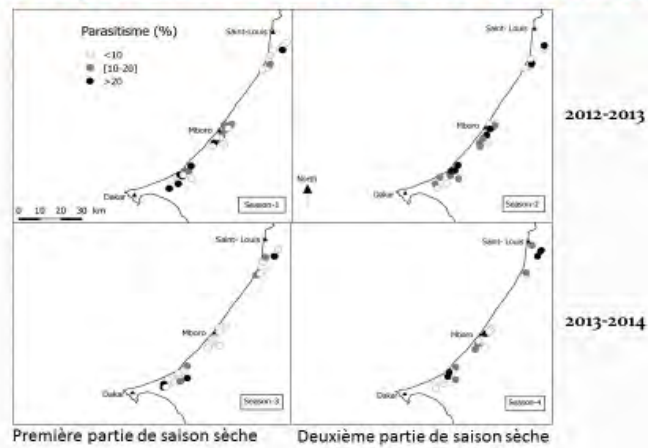


Ravageur n°2 le borer du chou, *Hellula undalis*





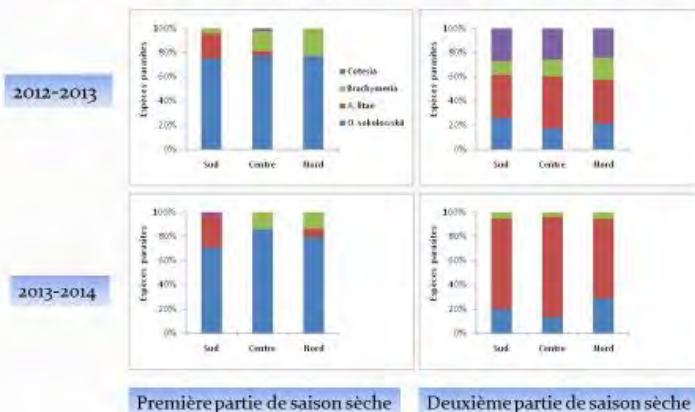
Taux de parasitisme selon la zone et la saison



Parasitoïdes de *Plutella xylostella*



Fréquence des espèces de parasitoïdes



Conclusion

- La teigne du chou est le ravageur clé (occurrence = 100%) des cultures de chou dans la zone des Niayes.
- Son incidence varie en fonction des parcelles, de la zone et de la saison.
- Un fort potentiel de régulation par les parasitoïdes est observé.



- L'étude se poursuit sur la recherche de pratiques culturales et d'éléments du paysage qui affectent l'abondance du ravageur et favorisent l'action des parasitoïdes.

**MERCI DE VOTRE AIMABLE
ATTENTION**



ARTICLES PUBLIES

First record of the larval parasitoid *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) from Senegal

B. Labou¹, D. Bordat¹, A.A. Niang² & K. Diarra^{1*}

¹Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Senegal

²Département de Biologie Animale, Institut Fondamental d'Afrique Noire Cheikh Anta Diop, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar, Senegal

In January 2014, individuals of *Diadegma insulare* (Cresson) (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) were collected in farmers' fields on *Brassica oleracea* L. (Brassicaceae) at Dalifort (14°44'35.06"N 17°24'41.67"W) and Maristes (14°44'16.54"N 17°26'02.96"W). This is the first record of this parasitoid from Senegal and West Africa. In 2015, several specimens were collected in another locality called Gorom (14°49'29.6"N 17°09'14.38"W), as well as from Mboro (15°08'32.54"N 16°52'58.08"W) in January 2016 when

control populations (Sarfraz *et al.* 2005; Dosdall *et al.* 2011).

The biology of *D. insulare* has not been extensively studied (Munir *et al.* 2015). Its principal hosts are Lepidopteran larvae: *Plutella xylostella* (L.), *P. omissa* (Walsingham), *P. armoraciae* (Busck), all Plutellidae, *Phthorimaea operculella* (Zeller) Gelechiidae and *Hellula undalis* (Fabricius) Crambidae (Rousse & Villemant 2012). At the laboratory, *D. insulare* can parasitise all larval stages of *P. operculella* (Idris & Gracias 2001). It was found to

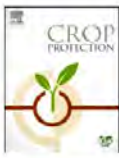
Important ! Les changements climatiques impactent significativement sur les espèces et sont à l'origine d'une colonisation des zones géographiques par de nouvelles espèces; ex: le premier enregistrement de *Diadegma insulare* en zone tropicale...

Crop Protection 89 (2016) 6–11

Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

Crop Protection

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cropro

Determinants of parasitoid assemblages of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in cabbage farmer fields in Senegal

Babacar Labou^{a,*}, Thierry Brévault^{b,c}, Dominique Bordat^a, Karamoko Diarra^a

^a UCAD, Equipe Production et Protection Intégrées en Agroécosystèmes Horticoles – 2PIA, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Senegal
^b BIOPASS, ISRA-UCAD-IRD, Dakar, Senegal
^c CIRAD, UPR AIDA, F-34398, Montpellier, France



ARTICLE INFO

ABSTRACT

Important ! Rôle des parasitoïdes dans la lutte contre *P. xylostella* souligné (: Effet de contrôle; Fort taux de parasitisme localisé; Capacité d'adaptation; Absence d'une compétition; Augmentation du cortège parasitaire)...



Available online at <http://www.ijbc-dg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(2): 706-721, April 2016

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

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbc>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Importance de la "Teigne du chou" dans les Niayes au Sénégal : interrelations avec la température et les cultivars utilisés

Babacar LABOU^{1*}, Dominique BORDAT¹, Thierry BREVAULT^{2,3} et
Karamoko DIARRA¹

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

²BIOPASS, ISRA-UCAD-IRD, Dakar, Sénégal.

³CIRAD, UPR AIDA, F-34398 Montpellier, France.

*Auteur correspondant. E-mail: babslabou@yahoo.fr; Tel : +221-352-63-30

Important ! Les chenilles d'*H. undalis* augmentent avec l'élévation de la température (25-30° C) contrairement à celles de *P. xylostella* qui présentent une température optimale de développement comprise entre 22 et 25° C...

La variété *Tropica cross* est de loin la plus attaquée alors que la variété *Santa* reste très faiblement attaquée dans les zones sud et centre (lutte culturale: Variété résistante)...

Nom et prénoms du Candidat : LABOU BABACAR

Distribution des populations de la « Teigne » *Plutella xylostella* (L) et du « Borer » *Hellula undalis* (F) et des auxiliaires dans les cultures de chou des Niayes au Sénégal.

Date et lieu de soutenance : Le 06 décembre 2016 à l'UCAD

Jury :

M. Mbacké SEMBENE	Professeur, UCAD, Sénégal	Président
Dr. Jean-François VAYSSIERES	Chercheur HDR, France	Rapporteur
Dr. Ngor FAYE	Maître de conférence, UCAD, Sénégal	Rapporteur
Dr. Mame Samba MBAYE	Maître de conférence, UCAD, Sénégal	Rapporteur
Dr. Thierry BREVAULT	Chercheur, CIRAD, France	Examineur
Dr. Dominique BORDAT	Chercheur HDR, France	Examineur
Dr. Diénaba Sall SY	Chercheur, ISRA, Sénégal	Examinatrice
M. Karamoko DIARRA	Professeur, UCAD, Sénégal	Directeur

Résumé:

La zone des Niayes concentre plus de 80% des cultures maraîchères du Sénégal. Le chou, par son cycle relativement court et la possibilité d'être cultivé toute l'année, est une culture fondamentale dans le revenu et l'alimentation des producteurs. Mais cette culture est attaquée par de redoutables ravageurs qui poussent les agriculteurs à l'emploi de pesticides aux effets néfastes et non négligeables sur l'environnement et la santé. Ces constatations justifient notre étude rétrospective sur les principaux ravageurs du chou et leur incidence spatio-temporelle, en analysant l'impact d'éventuels parasitoïdes et l'influence des pratiques culturales. Elle est menée pendant deux ans dans les Niayes selon un transect sud, centre et nord. Les résultats montrent un nombre important de ravageurs ; *P. xylostella* (L.), *H. undalis* (F.), *C. binotalis* (Z.), *C. chalcites* (E.), *H. armigera* (H.), *B. tabaci* (G.), *L. pseudobrassicae* (D.), *M. persicae* (S.), et *B. brassicae* (L.). La Teigne *P. xylostella*, présente une occurrence de 100% et la plus forte incidence (1-91% de plants infestés) dans la zone sud, en deuxième partie de saison sèche. Le Borer du chou, *H. undalis* cause des dégâts significatifs (0-29% de plants infestés) dans la zone nord. L'incidence des autres ravageurs est relativement faible. Les résultats sur le parasitisme de ces deux principaux ravageurs, révèlent l'absence de parasitoïdes sur *H. undalis* tandis que quatre espèces (*O. sokolowskii* (Kurdjumov), *A. litae* Nixon, *Brachymeria* sp et *C. vestalis* (Haliday)) ont émergé des chenilles de *P. xylostella*. En plus, un nouveau parasitoïde *Diadegma insulare* (Cresson) est enregistré pour la première fois dans la faune auxiliaire du Sénégal. Le taux de parasitisme varie de façon importante entre les parcelles, la zone et la période de l'année. Ce taux diminue avec le vieillissement du chou, probablement due à une multiplication ralentit de l'hôte, combinée à des applications répétées d'insecticides. Les espèces *O. sokolowskii* et *A. litae* sont les plus performantes et se relayent selon la saison. Les populations du « Borer » augmentent avec la température ce qui n'est pas le cas chez la « Teigne ». Des cultivars tolérants aux attaques des ravageurs sont notés. Mais cette tolérance diminue avec la pression des attaques.

Mots clés : Brassicacées, cultivars, ravageurs, incidence, parasitoïdes, température, pratiques culturales, Dakar