



HAL
open science

**De l'écologie de *Sparganothis pilleriana* Schiff.
(Lepidoptera: Tortricidae) à la protection intégrée des
plantes**

Mickaël Bartier

► **To cite this version:**

Mickaël Bartier. De l'écologie de *Sparganothis pilleriana* Schiff. (Lepidoptera: Tortricidae) à la protection intégrée des plantes. Sciences agricoles. 2012. dumas-00772827

HAL Id: dumas-00772827

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00772827>

Submitted on 11 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage

Année 2012

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du

TITRE D'INGENIEUR
SPECIALITE : HORTICULTURE
OPTION : GESTION DURABLE DU VEGETAL
EN HORTICULTURE ET AMENAGEMENT PAYSAGER

Présentée et soutenue publiquement
le 26 novembre 2012 à 14h à Angers

Par Mickaël Bartier

**De l'écologie
de *Sparganothis pilleriana* Den. & Schiff.
(*Lepidoptera, Tortricidae*)
à la protection intégrée des plantes**

Jury présidé par Monsieur L. Crespel, Maître de conférences en génétique
et composé de Monsieur P. Robert, Maître de conférences en zoologie agricole, Référent ;
Monsieur B. Jaloux, Maître de conférences en zoologie agricole, Juré
Monsieur Y. Tricault, Maître de conférences en zoologie agricole, Juré

TABLE DES MATIERES

Table des matières.....	i
Glossaire.....	iii
Liste des abréviations.....	iv
Table des figures.....	v
Remerciements.....	vi
Introduction Générale	1
Approche conceptuelle.....	1
<i>Sparganothis pilleriana</i> Den. & Schiff.- La pyrale de la vigne.....	1
Enjeux agro-économique et problématique	2
Objectifs et plan du mémoire	3
Chapitre 1- Présentation du cas d'étude.....	4
Système de culture et environnement pédoclimatique.....	4
Ethologie de <i>Sparganothis pilleriana</i>	5
Partie 1- Dynamique de population et techniques de surveillance.....	7
Chapitre 2 - Description spatiotemporelle de l'activité imaginale	7
Introduction.....	7
Matériels et méthodes	7
Résultats.....	8
Discussion	9
Chapitre 3 - Développement de technique de caractérisation quantitative et qualitative des larves dès l'apparition des symptômes	10
Introduction.....	10
Matériels et méthodes	10
Résultats.....	11
Discussion	11
Chapitre 4 - Description de la reprise d'activité printanière.....	13
Introduction.....	13
Matériels et méthodes	14
Résultats.....	14
Discussion	15
Partie 2 - Facteurs de régulation naturelle.....	17
Chapitre 5 - Identification du facteur de régulation naturel – k1.....	17
Introduction.....	17

Matériels et méthodes	17
Résultats	18
Discussion	20
Chapitre 6 - Identification de quelques ennemis naturels larvaires et nymphaux de <i>Sparganothis pilleriana</i>	21
Introduction.....	21
Matériels et méthodes	22
Résultats	22
Discussion	23
Partie 3 - Contribution à l'optimisation du programme de protection intégrée.....	25
Chapitre 7 - Détection de la sensibilité de <i>Sparganothis pilleriana</i> a quelques insecticides d'origine biologique.....	25
Introduction.....	25
Matériels et méthodes	26
Résultats	27
Discussion	29
Chapitre 8 - Quantification des pertes en rendement et évaluation des seuils de dégâts économiques	30
Introduction.....	30
Matériels et méthodes	30
Résultats	31
Discussion	32
Chapitre 9 - Caractérisation de la dispersion spatiale de <i>Sparganothis pilleriana</i> et optimisation du plan d'échantillonnage	33
Introduction.....	33
Matériels et méthodes	34
Résultats	35
Discussion	36
Discussion générale	37
Apport du mémoire	37
Analyse critique	37
Perspectives pour la société d'accueil.....	38
Bibliographie	40
Conclusion personnelle	viii
Annexe 1	ix
Annexe 2	xi

GLOSSAIRE

Agroécosystème	Ecosystème modifié par l'Homme afin d'exploiter une part de la matière organique qu'il produit.
Baculovirus	Famille de virus en forme de bâtonnet.
Braconide	Taxon d'insectes entomophages de l'ordre des hyménoptères.
Chalcidien	Taxon d'insectes entomophages de l'ordre des hyménoptères.
Chorion	Enveloppe externe de l'œuf.
Crémaster	Ensemble de soies crochues et chitineuses permettant l'accrochage de la chrysalide au cocon tissé par la chenille.
Diapause	Forme de vie ralentie, génétiquement déterminée.
Densité	Effectif d'insectes par unité de surface
Dispersion spatiale	Processus par lequel les organismes se séparent pour coloniser un territoire.
Distribution spatiale	Arrangement spatiale des organismes vivants dans leur milieu.
Dynamique de population	Etude des variations des effectifs et d'âges au sein d'une population. Elle comprend aussi les phénomènes écologiques qui la régulent.
Echantillon	Fragment de la population qui permette d'estimer la population.
Ecologie	Etude des écosystèmes.
Ecosystème	Qualifie un milieu, les être vivant qui le compose et leurs interactions.
Exuvie	Peau ou cuticule abandonnée lors de la mue.
Hibernaculum	Refuge qui sert à l'hibernation.
Ichneumon	Taxon d'insectes entomophages de l'ordre des hyménoptères.
Intensité	Effectif d'insecte par unité de quantification (plante, piège, litre...)
Grégaire	Qualifie une espèce vivant en groupe ou en communauté.
Imago	Insecte adulte capable de se reproduire.
Nymphe	Stade de développement intermédiaire entre la larve et l'imago.
Oviposition	Fait de déposer les œufs à un certain endroit.
Paléarctique	Correspond essentiellement aux écorégions terrestres de l'Europe, du nord de l'Asie (jusqu'au nord de l'Himalaya), de l'Afrique (jusqu'au nord du Sahara) et une petite partie du Moyen-Orient.
Phénologie	Etude de l'apparition d'événements périodiques dans le monde vivant.
Pinacula	Tache sclérifiée localisée sur la peau.
Polyphage	Qualifie tout organisme se nourrissant d'aliments variés.
Poikilotherme	Animaux dont la température corporelle fluctue selon les conditions extérieures
Sémiochimique	Qualifie une signalisation chimique entre individus.
Univoltin	Qualifie une espèce dont une génération d'adultes est rencontrée chaque année.
Tachinaire	Taxon d'insectes entomophages de l'ordre des diptères.

LISTE DES ABREVIATIONS

α	Seuil de signification	n	Nombre de plantes constituant une sous-unité
A	Nombre d'années utilisées dans le calcul de l'activité imaginale	n_i	Nombre de larves infestées
a	Facteur d'échelle dépendant de la procédure d'échantillonnage	n_n	Nombre de nymphes infestées
B	Intensité larvaire par litre de litière	n_p	Nombre de prédateur
b	Indice d'agrégation dépendant de l'espèce	NO/SE	Nord Ouest/ Sud Est
C	Coût d'une intervention curative	OB	Occlusion Body
c	Coefficient de variation	OEPP	Organisation Européenne de la Protection des Plantes
c_{BS}	Durée séparant le dénombrement de 2 quadrats	ONU	Organisation des Nations Unies
c_{WS}	Temps de quantification des abris d'une sous-unité	P	Nombre de pièges utilisés dans le calcul de l'activité imaginale
D	Intensité larvaire post migratoire pour 100 bourgeons	PE	Perte économique en €/kg
D'	Perte en rendement par unité d'intensité de ravageur	Pj	Pluviométrie moyenne calculée sur j jour mm/j
d	Dissection de bourgeons	Q	Impact porté par l'insecte en kg/ha
ddl	Degré de liberté	R	Rendement global et annuel de l'exploitation kg/ha
FAO	Food Agricultural Organisation	R²	Coefficient de détermination du test de Pearson
GPS	Global Positioning System	Rp	Rendement potentiel en kg/ha
H0	Hypothèse de départ	S²	variance
HR	Humidité relative	s_b	Ecart-type de la pente du modèle de la régression linéaire
HSD	Honestly Significant Difference	s_{BS}^2	Variance entre les quadrats
Ix	Indice d'activité imaginale	s_{WS}^2	Variance au sein des quadrats
IA	Indice annuel d'activité imaginale	S	Nombre de semaines utilisées dans le calcul de l'activité imaginale
IAc	Indice d'activité imaginale annuel et corrigé	SIG	Système d'information géographique
IHM	Indice hebdomadaire moyen d'activité imaginale	t_{FA}	Valeur théorique issue de la table de Student
ILA	Indice annuel d'activité imaginale pour un piège	TM	Taux de mortalité
ILP	Indice pluriannuel d'activité imaginale pour un piège	TCH	Total de captures hebdomadaire
IP	Indice pluriannuel d'activité imaginale	UI	Unité d'intensité ou Unité infectieuse
j	Jour	UV	Ultraviolet
JAIM	Jour d'activité imaginale maximale	V	Valeur vénale de la production
kx	Facteur de régulation x	X	Nombre d'abris par sous-unité
K	Efficacité d'une substance active	\bar{X}	Densité moyenne estimée
Lx	Stade larvaire x		
L:O	Lumière : Obscurité		
m	Densité réelle de la population		
□	Nombre de TCH utilisés		
N	Nombre de quadrats		
N^*	Nombre optimal de quadrats		
Ns	Nombre de sous-unités		
N_s^*	Nombre optimal de sous-unités		

TABLE DES FIGURES

Figure 1: Schématisation des prérequis de la protection intégrée des plantes. In Pedigo, 1994. Traduction et adaptation. Bartier, 2012.....	1
Figure 2 : Conditions climatiques du bordelais. Météo-France, 2001.	4
Figure 3 : Cycle biologique de <i>Sparganothis pilleriana</i> . Bartier, 2012.....	5
Figure 4 : Phase initiale de la construction d'un abri par la pyrale de la vigne. Bartier, 2012 d'après Moizand, 2008.	6
Figure 5 : Evolution de l'indice hebdomadaire moyen d'activité imaginaire des mâles dans le bordelais de 2008 à 2012.	8
Figure 6 : Phénologie moyenne de l'activité imaginaire.....	9
Figure 7 : Structure d'âge de <i>Sparganothis pilleriana</i> au 21 juin 2012 dans le bordelais..	11
Figure 8 : Relation entre intensité et fréquence d'attaque ; d'après Rinville et al., 1999.....	12
Figure 9 : Zone de récolte de la litière maintenue par le cep. Bartier, 2012 d'après Moizand, 2010.	13
Figure 10 : L'extracteur de Berlèse. Bartier, 2012.	13
Figure 11: Distributions des intensités larvaires mesurées dans la litière et aux bourgeons au cours de la reprise d'activité de 2011 et 2012.....	15
Figure 12 : Régressions linéaires de D obtenues au cours de la semaine s+1 par B obtenue la semaine s.	15
Figure 13 : Approche du facteur de mortalité k2 par une illustration montrant le profil attendu pour la variable D selon la variable B, cas de 2011.	16
Figure 14 : Corrélation linéaire entre les moyennes pluviométriques P100 calculées sur 100 jours après le jour d'activité imaginaire maximale de l'année n par les indices d'activité imaginaire annuels et corrigés IAC de l'année n+1	19
Figure 15 : Evolution des coefficients de détermination R ² en fonction du nombre de jours j utilisés pour calculer les moyennes pluviométriques Pj.....	19
Figure 16 : Représentation des périodes de progression, de stabilisation et de dégradations des corrélations entre la l'intensité de la pluviométrie et l'activité imaginaire de la génération n+1.....	19
Figure 17 : Prédateur et parasitoïdes de <i>Sparganothis pilleriana</i> dans le bordelais. Bartier, 2012.	23
Figure 18 : Sensibilité de <i>Sparganothis pilleriana</i> face à 2 baculovirus après 12 jours	27
Figure 19 : Sensibilité de <i>Sparganothis pilleriana</i> face à 3 préparations bactériennes après 9 jours	27
Figure 20 : Taux de mortalité de <i>Sparganothis pilleriana</i> face à 3 nématodes entomopathogènes après 3 jours	28
Figure 21 : Niveau d'appétit de <i>Sparganothis pilleriana</i> face à 3 nématodes entomopathogènes	28
Figure 22 : Régression linéaire pour la mise en évidence de l'influence de l'intensité de l'insecte sur les rendements, évaluée à partir de l'indice annuel d'activité imaginaire (IA).	31
Figure 23 : Abaque de correspondance entre l'intensité de l'insecte et la perte de chiffre d'affaire, estimée à partir de l'indice annuel d'activité imaginaire (IA).	31
Figure 24: Estimation des seuils de dégâts économiques (EIL) en fonction de l'efficacité et du coût d'une intervention.....	31
Figure 25 : Exemples de dispersions d'une espèce dans son milieu. Bartier, 2012.....	33
Figure 26 : Régression linéaire des logarithmes des variances des densités d'abris log(s ²) par les logarithmes des densités d'abris moyennes log(\bar{X}) de loi de puissance de Taylor.	35
Figure 27 : Relation entre le nombre optimal de quadrats N^* et la densité d'abris moyenne m de la population pour des coefficients de variation fixés de 10 et 25%	35
Figure 28 : Carte pouvant être obtenu après une analyse de la distribution spatiale de l'infestation. Bartier, 2012.	39

REMERCIEMENTS

Merci à Jean Jacques M., Directeur d'Exploitation de la société d'accueil, pour le partage de son expérience et le soutien qu'il a offert.

Merci à Maarten van Helden Enseignant-Chercheur en entomologie agricole à Bordeaux Sciences Agro, pour les pistes scientifique qu'il a distribué et les travaux qu'il a amorcé.

Merci à Philippe Robert, Tuteur et Enseignant-Chercheur en entomologie agricole à Agrocampus ouest, pour son aide à la rédaction de ce mémoire et pour avoir contribué, avec ses confrères, à entretenir mon intérêt pour la protection des plantes.

Merci à Alan MK, Directeur Général de la société d'accueil, et à Marie dP, pour leur accueil chaleureux en terres irlandaises et pour la présentation de l'outil industriel.

Merci à Max R, Conseiller-Agronome de la société d'accueil pour ses encouragements et la diffusion de ses connaissances au sujet de la filière concernée.

Merci Emilie Lascaux, Chargé de développement pour Koppert France et à Alex Meier, Responsable du commerce international chez Andermatt Biocontrol pour la gracieuse fourniture des baculovirus et nématodes.

Merci à Brigitte Batonet, Documentaliste du Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne, de m'avoir donné accès à des références bibliographiques.

Merci aux personnels de Vitinnov et de Bordeaux Sciences agro pour leur disponibilité lors de mes visites inattendus.

Merci à toutes les personnes qui ont contribué à l'acquisition de données, et particulièrement Pauline T, Arnaud M, Valentin D et Anthony M, stagiaires pour la société d'accueil de 2011 à 2008.

Merci à Marie-Paule et Amadou pour leur assistance technique et les discussions échangés

Merci au personnel de la société d'accueil, en particulier à Marie-Pierre, Claudie, Luc, Alexandre, Alain, Jacques, Francis, Christophe, Pablo et Jonathan, pour les moments partagés.

Merci à ceux qui m'ont accompagné et qui m'ont permis de soutenir aujourd'hui mon titre d'ingénieur.

Merci à Julia, ma compagne ...

« ... reste à expliquer pourquoi le fléau disparaît souvent complètement d'un pays, tout au moins diminue beaucoup d'importance, pour reparaître ensuite, parfois terrible, à de nombreuses années d'intervalle. A ce sujet, on est loin de tout savoir. Certains faits paraissent même inexplicables ; mais on peut dire que les intempéries et surtout les insectes parasites viennent jouer bien souvent le rôle de pondérateurs... »

Mayet, 1890.

INTRODUCTION GENERALE

APPROCHE CONCEPTUELLE

Recommandée par 173 chefs d'états (O.N.U., 1992), la protection intégrée est un paradigme qui a été initié dès la fin des années 50 (Stern *et al.*, 1959). Elle a été définie par la F.A.O. comme « une méthode de gestion des ravageurs qui, en fonction de l'environnement associé et de la dynamique des populations des espèces nuisibles, utilise toutes les techniques et méthodes appropriées de façon aussi compatibles que possible pour maintenir les populations à un niveau inférieur à celui causant un préjudice économique. » (In Kogan, 1998).

L'application du concept (fig.1) face à un insecte se fonde sur l'étude de la mortalité naturelle qui dirige l'autorégulation ; sur l'échantillonnage sans qui la prise de décision serait impossible ou biaisée ; et, sur le seuil de nuisance économique en dessous duquel les dégâts sont tolérés (In Pedigo, 1994). C'est à partir de ces considérations que la conservation et l'augmentation des ennemis naturels, la résistance des plantes, et les biopesticides sélectifs peuvent être intégrés dans une stratégie où les pesticides de synthèse n'interviennent qu'en dernier recours (Fitt *et al.*, 2004).

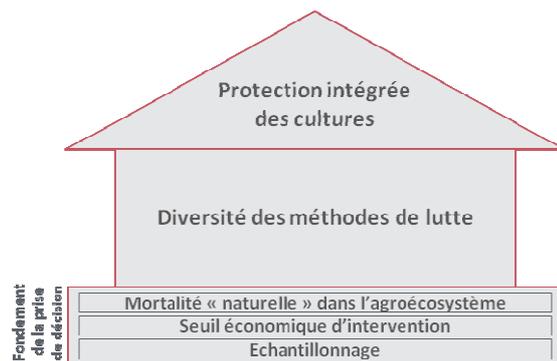


Figure 1: Schématisation des prérequis de la protection intégrée des cultures. In Pedigo, 1994. Traduction et adaptation* : Bartier, 2012. * : A l'origine, diverses méthodes de lutte sont énoncées. Afin de ne pas écarter les techniques actuelles rendant le schéma désuet, le corps a été fusionné et intitulé : « Diversité des méthodes de lutte ».

Pour gérer les populations durablement, il est alors indispensable de comprendre les interactions établies entre l'insecte et son milieu, depuis l'échelle de la plante jusqu'à la structure agraire (Kogan & Lattin, 1999). Ainsi, la compréhension des mécanismes, régulant les effectifs, la structure d'âge et la distribution des populations est requise. Elle est obtenue par la considération des fluctuations environnementales et génétiques d'une espèce ou d'un réseau trophique (Deguine *et al.*, 2008).

L'application réussie de cette conceptualisation agroécologique constitue, par son approche intégrative et durable, un facteur clé de « la révolution doublement verte » (Griffon, 2006).

SPARGANTHIS PILLERIANA DEN. & SCHIFF.- LA PYRALE DE LA VIGNE

Malgré son nom commun, *Sparganthis pilleriana* (ann.1) n'est pas une pyrale, *i.e.* *Pyralidae* sp., mais une tordeuse, *i.e.* *Tortricidae* sp. (Regier, 2012).

En France, ce lépidoptère polyphage est surtout recensé dans les vignobles champenois, alsacien et bourguignon (Thiéry *et al.*, 2011).

Les dégâts sont principalement dus à la déprédation des bourgeons terminaux puis des feuilles épanouies. L'infestation est facilement détectable puisque la plante connaît une croissance ralentie, les jeunes rameaux sont rabougris, tordus et garnis de feuilles qui sont trouées, desséchées et rapprochées par des fils de soie. En outre, la plante perd en vitalité, parfois jusqu'à la mort, à cause de la mobilisation répétée de réserves nécessaires au développement de bourgeons dormants (Audouin, 1842).

Le ravageur était autrefois extrêmement redouté dans les vignobles. L'infestation pouvait être catastrophique comme en témoigne cette citation de Ragut (1841) :

« *Le résultat de cette visite a été de constater la perte presque entière de la récolte et la multiplication de l'insecte parvenue à tel point, que ce n'est plus la vigne seule qui est envahie, mais encore tous les végétaux qu'ils peuvent atteindre, les herbes, les haies, dans les champs, et jusqu'aux légumes, aux fleurs et aux arbres fruitiers, dans les jardins.* ».

Les populations ont largement régressées depuis le milieu du siècle dernier. Une comparaison illustre la distinction entre les densités mesurées hier et aujourd'hui : les seuils de tolérance en viticulture varient actuellement de 1 à 4 chenilles/cep (Charmillot *et al.* 1996 ; O.E.P.P., 2002) ou encore de 2 à 3 ooplaques/cep (Cabezuelo & Berger, 1980) ; en 1842, Audouin dénombrait jusqu'à 160 chenilles/cep ou encore jusqu'à 20 ooplaques/feuille après un échenillage intensif.

La régression du ravageur a fait suite à l'arrivée dans les vignobles de la protection chimique de synthèse (Bovey, 1966 ; Charmillot *et al.* 1996 ; Rinvillie *et al.*, 1997). Toutefois, la modification des pratiques phytosanitaires est imposée par les pouvoirs publics. C'est traduit, au niveau communautaire, par la conditionnalité des aides de la politique agricole commune (Règlement (CE) n°1782/2003) et par la volonté de retirer du marché les spécialités phytosanitaires préoccupantes (Directive (CE) n°2009/128). Par conséquent, les techniques alternatives se généralisent en viticulture (Thiéry, 2009) et tendent à favoriser la résurgence de la pyrale de la vigne (Rinvillie *et al.*, 1997).

ENJEUX AGRO-ECONOMIQUE ET PROBLEMATIQUE

Aujourd'hui, *Sparganothis pilleriana* est de nouveau une espèce inquiétante pour les vignobles de Champagne, de Bourgogne, et d'Alsace (Thiéry *et al.*, 2011). Dans le bordelais, bassin viticole d'excellence, la prolifération de *Sparganothis pilleriana* a été signalée à quelques kilomètres des premiers grands crus (Moizand, 2010). La protection des cultures se raisonne à l'échelle du paysage (Kogan & Lattin, 1999) dans lequel les zones de concentration de l'infestation doivent être contrôlées afin de réduire le risque de dissémination du foyer vers les cultures proches (Andow *et al.*, 1990).

Ce foyer d'insectes polyphages doit être maîtrisé.

Il est établi, depuis 2003, au sein d'une exploitation agricole¹. Cette entreprise enregistre depuis plusieurs années des pertes significatives de rendement attribuées, au moins en partie, à la pyrale. Depuis l'apparition de l'infestation, la société d'accueil a progressivement mis en place un plan de lutte basée sur la surveillance de la population et sur l'application de traitements curatifs. Toutefois, le programme n'est pas abouti et se fonde sur une approche souvent empirique. Cette année, par exemple, des sites d'infestation relativement élevée ont surpris la société qui pourtant avait préalablement surveillé la population. Deux raisons expliquent cette situation : l'échantillonnage n'est pas maîtrisé et les seuils d'intervention sont inconnus. Elles représentent deux des trois fondements de la protection intégrée (fig1).

L'optimisation du plan de contrôle est nécessaire.

¹ La dénomination sociale, l'espèce qu'elle cultive et la localisation ne sont pas communiquées pour des raisons de confidentialité. L'entreprise, la plante cultivée et la localisation seront appelées respectivement « société d'accueil », « plante hôte » et « bordelais ».

Pour établir une stratégie de protection intégrée, il convient d'avoir une connaissance approfondie de l'écologie du ravageur. Toutefois *Sparganothis pilleriana* est peu citée dans la littérature scientifique contemporaine. Mises à part quelques études liées à la société d'accueil, aucune publication n'a concerné l'écologie de l'insecte dans le bordelais. Il est donc difficile de développer une stratégie de protection adaptée à partir de l'état actuelle de connaissance. De plus, la pyrale est connue pour ses attaques sporadiques et inexplicables (Jung, 1828 ; Audouin, 1842 ; Mayet, 1890 ; Balevski, 1950 ; Charmillot *et al.*, 1996 ; Rinvillle *et al.*, 1997 ; O.E.P.P., 2002). La connaissance des mécanismes régulant la dynamique de population, dont les facteurs naturels constituent le troisième fondement de la protection intégrée (fig.1), est insuffisante.

L'approfondissement des connaissances est indispensable.

OBJECTIFS ET PLAN DU MEMOIRE

Après une présentation volontairement tronquée du système de culture¹, l'environnement climatique, intimement lié à la dynamique de l'insecte, sera exposé et un complément relatif à l'éthologie de l'insecte sera apporté. L'objet de ce chapitre sera d'introduire plus précisément le lecteur au sujet traité.

La partie 1 a pour but de quantifier les populations et de connaître la phénologie du cycle biologique dans le bordelais.

Les chapitres 2 à 4 seront appliqués sur les stades-clés du développement de l'insecte. Le stade adulte sera étudié en premier de sorte que, dès le 2^{ème} chapitre, le plus grand jeu de données disponible au sein de l'entreprise sera présenté. Ainsi, l'évolution de l'infestation au fil des années sera rapidement cernée.

La partie 2 aura pour objectif d'approcher les facteurs de régulation naturelle mis en évidence grâce à la première partie.

Le chapitre 5 estimera la relation entre un paramètre climatique et la densité du lépidoptère. Le chapitre 6 servira de base préliminaire à l'évaluation de la régulation engendrée par l'entomofaune auxiliaire.

La partie 3 sera la partie vouée au développement de techniques ou méthodes utiles à la maîtrise d'un programme de protection intégrée.

Elle intègre, par définition, les résultats des chapitres antérieurs. Le chapitre 7 aura pour objectif d'élargir la gamme de méthodes curatives. Le chapitre 8 déterminera les seuils d'intervention évalué à partir de l'estimation des pertes occasionnées par l'insecte. Enfin, le chapitre 9 sera dédié au développement d'un plan d'échantillonnage.

Enfin, une discussion conclura ce mémoire.

¹Le sujet est confidentiel.

CHAPITRE 1 PRESENTATION DU CAS D'ETUDE

SYSTEME DE CULTURE ET ENVIRONNEMENT PEDOCLIMATIQUE

Le système de culture est de type industriel. L'intensification du système est caractérisée par une monoculture pérenne, irriguée et drainée artificiellement sur 180 ha ; et par un taux de mécanisation proche les 100 %.

De port buissonnant et d'une hauteur maximale de 2 m, les plantes sont cultivées à une densité de 24000 cep/ha. Leurs feuilles caduques sont récoltées durant le mois d'août avant l'entrée en sénescence. Pour faciliter la mécanisation, les arbustes sont rabattus à 20 cm du sol tous les 5 ans à raison de 1/5 des surfaces par an.

Seuls des interventions insecticides visant les tordeuses ont été réalisées durant les 5 dernières années, le nombre et le moment d'applications varient selon les années¹. Le désherbage du rang et de l'inter-rang est réalisé par une vingtaine de binages mécaniques répartis sur l'année avec une concentration estivale. Le plan de fumure n'est pas présenté².

Les sols, de type sablo-humifères, sont naturellement acides, humides et drainants. Le climat océanique est défini d'après les enregistrements de la station météorologique aéroportuaire de Bordeaux-Mérignac (fig.2). Les précipitations sont de l'ordre de 984 mm/an et oscillent entre 55 et 104 mm/mois. Les températures moyennes sont de 13.3°C et oscillent entre de 20.9 et 6.4°C. L'amplitude est d'environ 10°C/jour, moins de 50 jours de gel sont recensés et 2000 heures d'ensoleillement sont enregistrées.

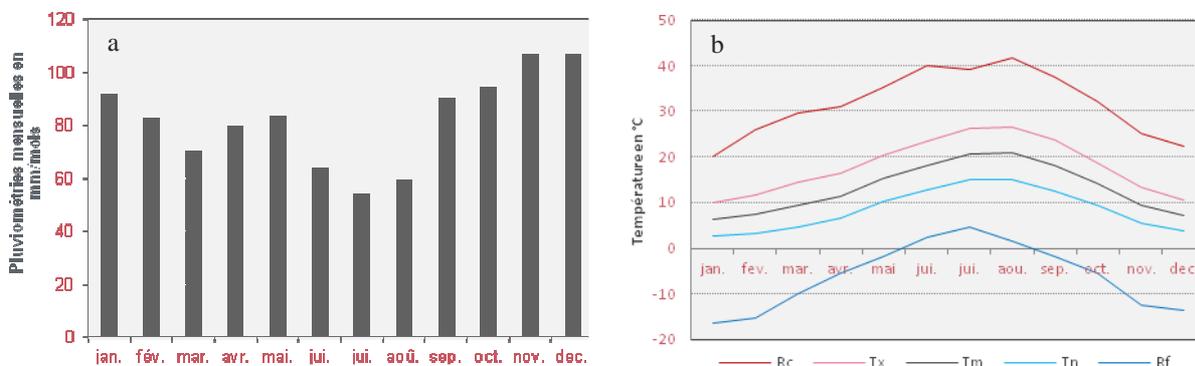


Figure 2 : Conditions climatiques du bordelais. a: diagramme des pluies mensuelles moyennes ; b: températures moyennes et records, Rc : températures records chaudes, Tx : températures maximales mensuelles moyennes, Tm : températures mensuelles moyennes, Tn : températures minimum mensuelles moyennes, Rf : températures records minimale. Les données sont issues des moyennes de 1971 à 2000 sauf les records qui couvrent la période de 1880-2000. Météo-France, 2001.

Une attention importante est attribuée à la recherche et au développement. Elle est représentée par la réalisation de nombreux essais réalisés en collaboration avec des stagiaires et des partenariats impliquant scientifiques et conseillers-agronomes. Son objectif est de maximiser les rendements selon des critères de qualité standardisés.

¹ Les substances actives utilisées sont tenues confidentielles.

² La gestion de la fertilisation est tenue confidentielle.

ETHOLOGIE DE *SPARGANOTHIS PILLERIANA*

Ce papillon est présent sur l'ensemble de l'aire paléarctique. Tant septentrionale que méridionale, il peut être rencontré en Suède comme en Algérie (Weed *et al.*, 2011 d'après Gustafsson, 1983 ; Bovey, 1966). Il est principalement cité en Europe où il est recensé de la péninsule ibérique aux contreforts du Caucase (Perez Marin & Ramos Saez de Ojer, 2011 ; Gaprindashvili, 1975). L'espèce est aussi retrouvée en Asie d'est en ouest (Kara & Tschorsnig, 2003 ; Haifeng *et al.*, 1984). Présentement, en France, la pyrale est surtout recensée dans les vignobles champenois, alsacien et bourguignon (Thiéry *et al.*, 2011).

Des tests de polyphagie ont montré que le lépidoptère peut réaliser un cycle biologique complet sur au moins 116 espèces réparties au sein de 38 familles (Bovey, 1966), il est donc très polyphage. Les interactions pyrale/plante, étudiées pour les pertes économiques qu'elles engendrent, concernent la vigne bien entendu mais aussi le fraisier, le jeune mélèze ou le théier sur lequel *Sparganothis pilleriana* est l'un des principaux ravageurs (Gaprindashvili, 1975 ; Savary & Baggiolini, 1958 ; Haifeng *et al.*, 1984).

L'espèce est univoltine (fig.3). L'activité imaginaire apparaît plus ou moins tôt selon les conditions climatiques locales (Bovey, 1966). En France, le maximum est atteint en début juillet dans le Midi ou en fin juillet en région parisienne (Bovey, 1966). Certains auteurs parlent d'une durée de vol d'un ou de deux mois. (Audouin, 1842, Charmillot *et al.* 1996). L'imago possède un rythme quotidien marqué. Refugié sous les feuilles durant la journée, il connaît une activité culminante lors du crépuscule du soir qui diminue progressivement pour s'arrêter à l'aube (Audouin, 1842). Les déplacements du papillon sont courts, 10 m au plus (Mayet, 1890), et peu élevés par rapport au sol (Audouin, 1842). L'imago ne s'alimente pas (Mayet, 1890) et possède une durée de vie de 7 à 10 jours (Audouin, 1842 ; Charmillot *et al.* 1996). La nuit qui suit l'émergence, la femelle libère un bouquet phéromonal spécifique et attractif pour les mâles dont les principaux constituants sont les isomères *cis*- et *trans*- du (11)-tetradecenylacétate (Guerin, 1986). La femelle peut être fécondée plusieurs fois durant trois à cinq jours (Bovey, 1966).

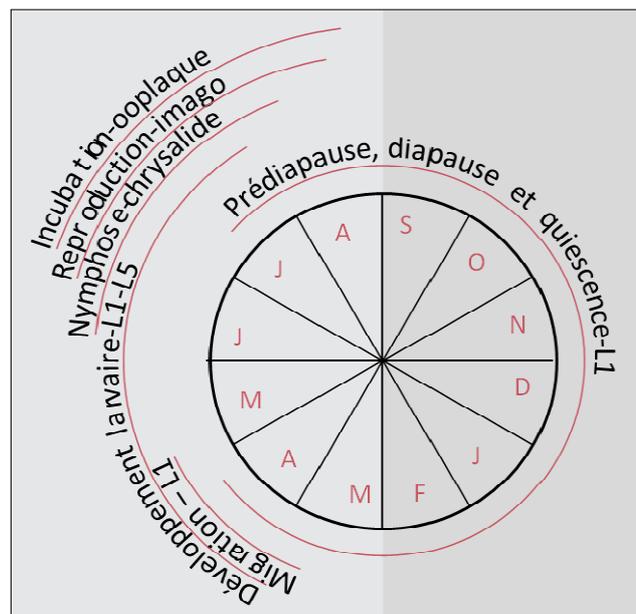


Figure 3 : Cycle biologique de *Sparganothis pilleriana*. Un chevauchement des différentes phases est marqué. Le stade nuisible correspond au développement larvaire. Bartier, 2012.

L'oviposition a lieu deux jours après la copulation (Bovey, 1966) sur la face supérieure des feuilles abritées du soleil (Audouin, 1842). La rugosité de la surface est un facteur déterminant pour le choix du site d'oviposition (Audouin, 1842). Plusieurs ooplaques d'environ 50 œufs peuvent se trouver sur la même feuille.

Après une incubation de 8 à 16 jours, les larves incisent quasi-simultanément le chorion et s'échappent (Audouin, 1842). Immédiatement, elles se dispersent pour trouver un abri et se laissent choir fixées à un fil de soie pour atteindre, directement ou avec l'aide du vent, la base de la plante. La chenille néonate tisse alors un *hibernaculum* blanc de 3 à 6 mm (Audouin, 1842 ; Mayet, 1890 ; Bovey, 1966) dans les anfractuosités du bois, des débris végétaux ou des éléments du sol (Balevski, 1950, Savary & Baggiolini, 1958). La chenille entre alors en diapause sans s'être alimentée (Audouin, 1842 ; Mayet, 1890).

La diapause se termine dès la fin décembre en Autriche, la chenille entre alors dans un stade de quiescence jusqu'à l'arrivée des conditions favorables (Russ & Rupf, 1970).

La phase de reprise d'activité larvaire débute de la fin février dans le sud de la France (Bovey, 1966) à fin avril en basse Autriche (Russ, 1960). Cette période s'étale sur une période pouvant atteindre 70 jours (Russ, 1960). La chenille entreprend alors une migration pour accéder directement aux extrémités des pousses (Audouin, 1842) et débiter son alimentation. Les larves les plus hâtives vident les bourgeons à peine gonflés après s'être constituées un abri en rapprochant les feuilles à l'aide d'un entrecroisement de fils soyeux (fig.4). La croissance démarre et marque le début du cycle de mues (5 stades larvaires) (Mayet, 1890). Avec l'allongement du rameau, la chenille se déplace régulièrement pour se maintenir à l'extrémité des pousses (Bovey, 1966) et lorsqu'elle atteint 1 cm environ, elle abandonne le haut du rameau pour les étages inférieurs. L'abri est construit à chaque déplacement, lui-même déclenché lorsque la nourriture ou l'espace deviennent insuffisants.

A l'approche de la nymphose, la chenille retourne vers les anciens foyers où les feuilles desséchées sont nombreuses. Elle y construit son dernier abri mais de façon plus solide. Les premières chrysalides sont observables dès le début juin. 15 jours de métamorphose précèdent l'émergence du papillon (Audouin, 1842).



Figure 4 : Phase initiale de la construction d'un abri par la pyrale de la vigne. Bartier, 2012 d'après Moizand, 2008.

PARTIE 1

DYNAMIQUE DE POPULATION ET TECHNIQUES DE SURVEILLANCE

CHAPITRE 2

DESCRIPTION SPATIOTEMPORELLE DE L'ACTIVITE IMAGINALE

INTRODUCTION

La pyrale connaît une date d'activité imaginaire variable selon sa situation géographique (Bovey, 1966) et sporadique (Jung, 1828 ; Audouin, 1842 ; Mayet, 1890 ; Balevski, 1950 ; Charmillot *et al.*, 1996 ; Rinvillle *et al.*, 1997 ; O.E.P.P., 2002).

Le piégeage, qui opère grâce à des phéromones sexuelles, permet chez les lépidoptères de surveiller la phénologie du vol des mâles (Witzgall *et al.*, 2008) et de faciliter la détection des variations temporelles (Campbell *et al.*, 2002). Malgré que cette technique soit soumise à des biais (Thiéry *et al.*, 2006 ; Tobin *et al.*, 2011), elle s'est révélée suffisamment corrélée aux dégâts dans plusieurs interactions (Gilbert *et al.*, 2003, Augustin *et al.*, 2004 ; Unlu & Ozturk, 2007) C'est pourquoi son usage se maintient en protection intégrée (Campbell *et al.*, 2002 ; Gilbert *et al.*, 2003, Moral García, 2006 ; Byers, 2012). Dès lors, l'hypothèse suivante est posée : « Le taux de captures est proportionnel à la densité de la génération tant larvaire qu'imaginaire ».

L'objectif de ce paragraphe est premièrement de définir la phénologie de l'activité imaginaire de la pyrale dans le bordelais; et deuxièmement de comparer l'abondance des captures en fonction des années.

MATERIELS ET METHODES

Dispositif de captures

Le dispositif était composé de 10 pièges-delta couplés à un diffuseur d'attractif sexuel spécifique fourni par Biosystèmes France. Il a été installé suivant les préconisations de Chambon (1986) pour le piégeage des tordeuses en verger : la distance minimale entre deux pièges était de 273m et les pièges ont été orientés dans le sens NO/SE. Seule leur hauteur variait par rapport au dispositif de Chambon, ils ont été placés à 1,15m du sol pour laisser la possibilité aux engins de les enjamber. Les plantes ont été rabattues à 70 cm dans un rayon de 50 cm autour du piège pour empêcher que le dispositif ne soit absorbé par la végétation. Les diffuseurs et les plaques engluées ont été renouvelés toutes les trois semaines d'après les recommandations du fournisseur. Les campagnes de piégeage ont été réalisées des années 2008 à 2012, soit 5 années, par les stagiaires de la société d'accueil. Les dénombrements ont eu lieu des semaines 22 à 34, soit 13 semaines.

Indicateurs de quantification

Le résultat élémentaire issu du dénombrement est le total de captures hebdomadaire *TCH*. Il est donné en nombre de captures/piège/semaine. Cette entité basique de quantification sert à calculer des moyennes appelées indices d'activité imaginaire I_x . Leur unité est donnée, à l'instar du *TCH*, en nombre de captures/piège/semaine. I_x est calculé d'après la formule suivante :

$$I_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TCH_i \text{ avec } N = ASP \tag{1}$$

avec n le nombre total de TCH , A le nombre d'années, S le nombre de semaines et P le nombre de pièges utilisés en fonction de l'indice attendu (I_x) (tab.1).

Tableau 1 : Correspondance entre le nombre de TCH utilisés (N) et les observations réalisées selon l'indice d'activité imaginal attendu (I_x). Le TCH correspond au nombre de captures obtenu en 1 semaine et pour 1 piège. IHM: Indice hebdomadaire moyen d'activité imaginale ; IAL: Indice annuel local d'activité imaginale pour un piège ; IA: Indice annuel d'activité imaginale pour l'ensemble des pièges ; IP: Indice pluriannuel d'activité imaginale pour l'ensemble des pièges.

I_x	Année (A)	Semaine (S)	Piège (P)	Total (N)
IHM	1	1	10	10
IAL	1	13	1	13
IA	1	13	10	130
IP	5	13	10	650

Dynamique moyenne et variation spatiotemporelle

La phénologie moyenne est obtenue en calculant le pourcentage de piégeage hebdomadaire par rapport au cumul de l'année. Pour évaluer les variations temporelles, les IAL obtenus de 2008 à 2012 sont soumis à une analyse de variance (ANOVA) du facteur « année » réalisée au seuil de signification (α) de 0.05. Un test de comparaison de Tukey HSD ($\alpha=0.05$) achève le travail statistique.

RESULTATS

Les captures des mâles entre 2008 et 2012 (fig.5) sont caractérisés par 2 pics hormis en 2010.

L'activité phénologique moyenne de *Sparganothis pilleriana* dans le bordelais (fig.6) débute la semaine 22 et dure au moins 12 semaines. L'activité maximale est estimée au 25 juin.

L'ANOVA marque une différence significative entre les années ($F=32.14$; $p\text{-value}<0.0001$) (tab. 2). 2012 et 2009 représentent les années où le piégeage a été le moins élevé alors que 2011 et 2008 sont caractérisées par une intensité de captures moyenne. 2010 représente l'année de capture maximale avec des prises 5 fois plus nombreuses qu'en 2009. Une diminution de 90% est enregistrée entre 2011 et 2012 (tab.2). L'indice pluriannuel d'activité imaginale IP est de 11.1 captures/piège/semaine.

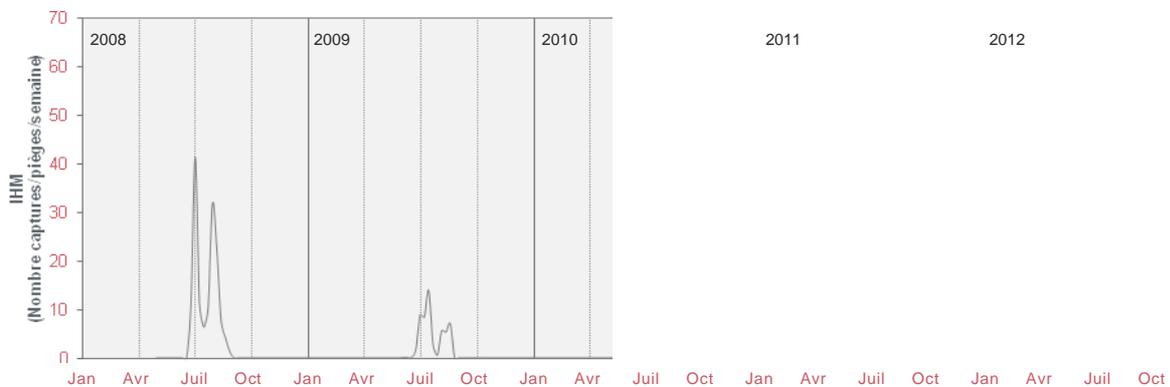


Figure 5 : Evolution de l'indice hebdomadaire moyen d'activité imaginale (IHM) des mâles dans le bordelais de 2008 à 2012.

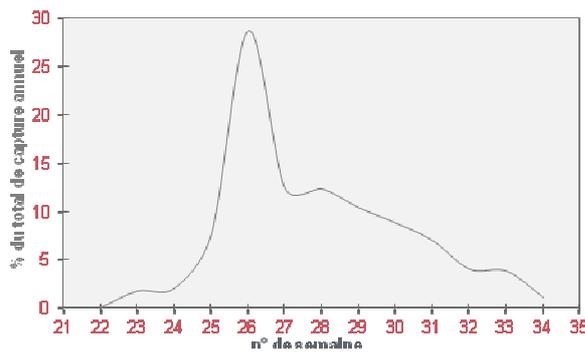


Tableau 2 : Résultats de l'Anova pour le facteur « année » et du test de Tukey. IA : indice annuel d'activité imaginaire pour l'ensemble des pièges exprimée en captures/piège/semaine.

Facteur « Année », F=32.14 ; p-value<0.0001		
Modalité	IA	Tukey HSD
2012	1,56	A
2011	15,64	B
2010	21.34	C
2009	4,50	A
2008	12.70	B

DISCUSSION

La phénologie moyenne de l'activité imaginaire a été estimée à partir des résultats de cinq années de capture. Elle est marquée par un point culminant daté au 25 juin (fig. 6). La date du pic du vol est précisé d'au moins d'une semaine par rapport à l'indication de Bovey (1966). Selon les propos de l'auteur, l'activité est maximale en début juillet dans les régions françaises.

Figure 6 : Phénologie moyenne de l'activité imaginaire, elle est calculée à partir de la distribution du rapport du taux de captures hebdomadaire sur le cumul annuel total.

En outre, avec une distribution phénologique sur plus de 12 semaines, nous pouvons affirmer que les vols durent plus de 3 mois contrairement aux observations menées dans d'autres régions par Audouin (1842) et Charmillot *et al.* (1996).

L'utilisation de l'indice d'activité imaginaire I_x permet de conserver la même dimension quels que soient les déterminants temporels (*i.e.* nombre d'années et de semaines) ou spatiaux (*i.e.* nombre de pièges) de la variable. L'indice pluriannuel de l'activité imaginaire pour l'ensemble des pièges, IP, est de 11.1 captures/piège/semaine. Il peut être considéré comme l'indicateur donnant l'intensité moyenne du ravageur sur les 5 années.

Ce seuil de comparaison quantitatif permet de remarquer la fluctuation significative de l'abondance des captures selon la génération (tab.2). Si l'hypothèse est valide, c'est-à-dire que le taux de captures est proportionnel à la densité de la génération, la forte augmentation observée entre 2009 et 2010 témoigne de la forte capacité de multiplication de *Sparganothis pilleriana* qu'Audouin soulignait déjà en 1842. Plus encore, la diminution de 90% entre les effectifs de 2011 et 2012 prouve que les populations peuvent être régulées par des mécanismes inexpliqués pour l'instant.

Le piégeage sexuel est une technique biaisée, entre autres, par les conditions climatiques, par la mise en place du dispositif (forme, hauteur et orientation du piège) et par la compétition induite par la présence de femelles. De plus, face à la pyrale, d'autres inconvénients s'ajoutent : premièrement, en considérant que l'hypothèse est vraie, le piégeage sexuel ne permet pas de prévoir le niveau d'infestation de l'année suivante puisque les diminutions d'effectifs entre deux générations successives peuvent être très importantes (fig.5); deuxièmement, bien qu'il discrimine les années par le nombre d'individus (tab.2), il quantifie la population lorsque que sa nuisibilité est terminée (fig.3). Toutefois, puisque la technique a

été régulièrement utilisée, elle a permis d'obtenir le plus grand jeu de données disponible. Ses résultats seront donc utilisés ultérieurement.

Une technique de dénombrement des larves doit donc être développée pour déterminer plus précocement l'état de l'infestation.

CHAPITRE 3

DEVELOPPEMENT DE TECHNIQUE DE CARACTERISATION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES LARVES DES L'APPARITION DES SYMPTOMES

INTRODUCTION

Avec l'apparition des symptômes, il peut être décidé d'intervenir afin de réduire la population larvaire. En protection intégrée, le déclenchement d'une intervention repose sur l'état qualitatif de l'insecte lors du traitement afin de s'assurer que la nuisibilité du bioagresseur n'est pas terminée (fig.3) (Higley & Pedigo, 1999). Cette information permet aussi de vérifier la sensibilité de l'insecte au type d'intervention. Il semble d'ailleurs particulièrement difficile de cibler précisément un stade de la pyrale puisque plusieurs d'entre eux sont rencontrés à la même époque (Charmillot *et al.*, 1996 ; Schmidt-Tiedemann *et al.*, 2001 ; Louis *et al.*, 2002).

Par ailleurs, l'estimation précise de la densité de l'infestation est nécessaire à la mise en place des plans de contrôle et des expérimentations (Naranjo, 1995). La méthode employée par la société d'accueil quantifie l'intensité larvaire à partir d'une méthode binomiale « présence/absence » dénombrent les plantes touchées par au moins une chenille. Ce type de technique présente l'inconvénient d'être difficilement exploitable lors de fortes infestations (Davis, 1994) et aucune relation entre la proportion de plantes atteintes et la densité a été calculée. Elle est donc inutilisable.

L'objectif est, ici, de développer 2 techniques distinctes qui serviront à qualifier la structure d'âge de la population, pour la première, et à quantifier l'effectif d'insectes, pour la seconde.

MATERIELS ET METHODES

Développement d'une technique d'estimation de la structure d'âge

Le 21 juin 2012, un échantillon des 50 premiers abris de soie et de feuilles rencontrés est collecté pour en déloger les insectes. Selon l'état de l'individu, la procédure est variable. Si une chenille est détectée alors elle est ébouillantée et mesurée, à l'aide d'un réglet de 20 cm gradué au millimètre. La mesure permet alors de renseigner une échelle de croissance couvrant l'ensemble des tailles pouvant être rencontrées et divisée en 5 classes :

- 2/6mm
- 7/10mm
- 11/14mm
- 15/18mm
- 19mm et plus

Si c'est une nymphe ou une exuvie nymphale qui est trouvée alors la classe « chrysalide » ou « imago » est renseignée.

Développement et validation d'une technique de dénombrement absolue de l'intensité larvaire

La technique d'échantillonnage développée dénombre les abris. L'évaluation du caractère discriminant de la technique est obtenue par le dénombrement de 6 quadrats (6m*500m)

répartis sur la plantation et dont l'intensité d'abondance d'abris semble varier. N_s sous-unités composées de n_i plantes successives sont dénombrés par quadrat.

L'intensité d'infestation d'un quadrat \bar{X} , exprimée en nombre d'abris/plantes, est calculée d'après la formule suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^W \frac{X_i}{n_i} \quad (2)$$

avec N_s défini plus haut, X_i le nombre d'abris dénombrés sur la $i^{\text{ème}}$ sous-unité et n_i le nombre de plantes constituant la $i^{\text{ème}}$ sous-unité. Pour ce développement, conformément aux préconisations de Charmillot *et al.* (1996), $N_s = n_i = 10$. Avant les comptages, une feuille de consignes est éditée et comporte les coordonnées spatiales, définies aléatoirement, de chaque sous-unité. Un système de navigation portable (Isa GPS+[®]) est utilisé pour accéder au site à dénombrer. Les résultats obtenus à l'issue du comptage sont enregistrés sur la feuille de consignes et dans la mémoire du système de navigation pour chaque sous-unité. Le temps utile au dénombrement d'une sous-unité c_{ws} ainsi celui séparant le dénombrement de 2 quadrats c_{bs} sont mesurés.

Pour vérifier statistiquement la différence entre les quadrats, un test de Kruskal-Wallis et une comparaison multiples de Dunn sont réalisés ($\alpha = 0.05$).

RESULTATS

Les imagos côtoient des chenilles de 11/14mm ; la structure d'âge est donc étalée (fig.7). Deux points culminants sont marqués par la classe « Chrysalide » avec 63% de l'effectif et par la classe « 14/18mm » avec 20 % de l'effectif. Les 17 % restant sont inclus dans les classes « Imago », « + 19mm » et « 11/18mm ».

Tableau 3 : Intensité d'abris des 6 quadrats dénombrés en nombre d'abris par plante, Test de Kruskal-Wallis et comparaison de Dunn.

La variabilité des densités d'abris est caractérisée par des moyennes \bar{X} qui s'étendent de 6.57 à 0.25 abris/plante (tab.3). La différence entre les 6 quadrats est significative au regard du test statistique ($K=41.77$; $p\text{-value}<0.0001$), les quadrats peuvent donc être discriminés d'après la comparaison multiple de Dunn (tab.3). 2.5 min sont nécessaires pour compter le nombre d'abris d'une sous-unité et 45 minutes séparent les dénombrements de 2 quadrats.

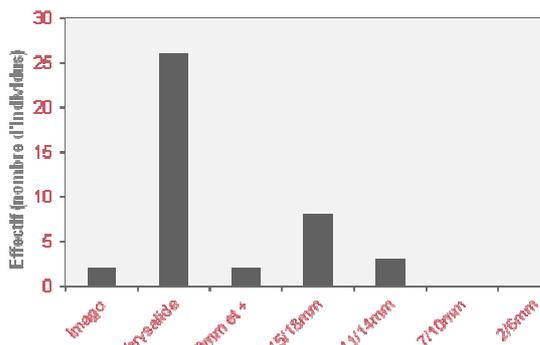


Figure 7 : Structure d'âge de *Sparganothis nilleriana* au 21 juin 2012 dans le bordelais.

K=41.77 ; p-value<0.0001			
Quadrat	\bar{X}	Comparaison de Dunn	
1	0.25	A	
2	0.37	A	
3	1.17	A	B
4	2.68	A	B C
5	4.47		B C
6	6.57		C

DISCUSSION

La technique qualitative permet de définir la variabilité du niveau de développement moyen rencontré à une date donnée. Une distribution étalée de la croissance est remarquée logiquement avec l'étalement de la phénologie imaginale mesuré au chapitre 1. Cette dissémination des stades de croissance a souvent été remarquée. Elle est considérée comme un facteur de réduction de l'efficacité des insecticides, puisque, la sensibilité des larves change selon leur stade de développement (Charmillot *et al.*, 1996 ; Schmidt-Tiedemann *et al.*, 2001 ; Louis *et al.*, 2002). Rapide et simple d'application, cette technique pourra être employée avant l'intervention par l'exploitant afin de caractériser l'état de développement de la population dès lors que les symptômes sont apparents. Cette manipulation ne permet pas toutefois d'atteindre un niveau de précision élevé, puisque les segments abdominaux sont plus ou moins étendus selon l'alimentation de la larve. Si la précision est requise, la mesure des capsules céphaliques ou de la mandibule devrait être favorisée ; dans ce cas, le matériel de mesure serait lui aussi plus précis et plus onéreux.

Puisqu'elle dénombre la totalité des symptômes des plantes examinées, la technique d'estimation absolue est très discriminante (p -value<0.0001). Une autre technique est utilisée au sein de la société d'accueil pour noter les essais. Développée sur *Sparganothis pilleriana* par les champenois, cette méthode binomiale évalue la proportion de plantes atteintes par au moins une larve (Rinville *et al.*, 1998 ; Rinville *et al.*, 1999). Les variables « proportion de plantes atteintes » et « intensité larvaire » sont intrinsèquement liées par une relation asymptotique (Davis, 1994). Dans le cas de l'interaction pyrale/vigne, la fonction se stabilise lorsque l'intensité atteint environ 5 chenilles/cep (fig. 9) (Rinville *et al.*, 1998 ; Rinville *et al.*, 1999). Cette méthode est donc adaptée à l'échantillonnage séquentiel mis en place en viticulture afin de vérifier si le seuil de 3 chenilles/cep est dépassé. Ce type de technique présente, cependant, des inconvénients remarqués par Davis (1994). Contrairement à la méthode développée ici, elle nécessite de dénombrer plus de quadrats pour une précision donnée et est employable uniquement lorsque les densités de population sont basses.

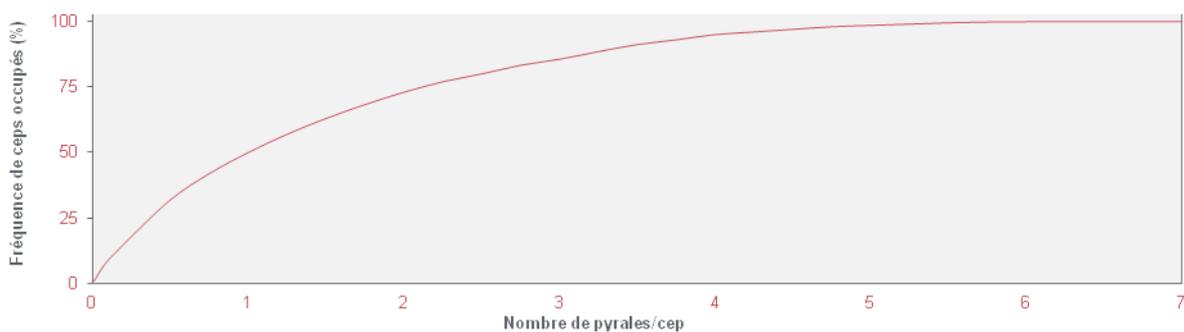


Figure 8 : Relation entre intensité et fréquence d'attaque ; d'après Rinville *et al.*, 1999.

Avec 2.5 minutes en moyenne pour dénombrer une sous-unité, la technique de comptage *in situ* développée ici pourra être utilisée en expérimentation où la précision est requise. Si le nombre de quadrats est suffisamment élevé, la technique pourra être utilisée pour définir la dispersion de l'insecte et les distributions spatiales de l'infestation. Enfin, puisque la densité de plantation est connue (25000 cep/ha), l'obtention par extrapolation de la densité larvaire en « nombre d'abris/hectare » à partir du « nombre d'abris/plante » est rapide. Ceci représente une qualité essentielle à une technique d'échantillonnage (Hutchins, 1994, Buntin, 1994). En

outre, l'utilisation du support papier et informatique permet d'obtenir un double enregistrement des résultats. De plus, la localisation de chaque quadrat peut être retrouvée à 50 centimètres près grâce au GPS. Les informations obtenues à l'issue des comptages peuvent être transférées sur ISA Map[®], logiciel de cartographie de type SIG, *i.e.* système d'informations géographiques.

Les techniques d'échantillonnage diffèrent selon les objectifs visés et les moyens disponibles (Buntin, 1994) ; c'est pourquoi la méthode est flexible. Pour contourner la randomisation de l'échantillonnage, le GPS peut superposer une grille de maille modulable sur le plan de masse de l'exploitation. L'échantillonnage stratifié et systématique est donc facilement accessible. Enfin, si le besoin de précision et le temps à consacrer à la mission sont faibles, la méthode binomiale pourra être réalisée en maintenant la géolocalisation et le double enregistrement.

CHAPITRE 4 DESCRIPTION DE LA REPRISE D'ACTIVITE PRINTANIERE

INTRODUCTION

Face au manque d'efficacité des insecticides, les applications onéreuses et parfois écologiquement néfastes sont réitérées (Rinville *et al.*, 1997). Cette difficulté à réduire les populations s'explique par l'étalement des stades de développement illustré au chapitre précédent. La protection qu'apporte l'abri de feuilles et de soies forme un obstacle supplémentaire à l'efficacité des interventions (Charmillot *et al.*, 1996 ; Schmidt-Tiedemann *et al.*, 2001 ; Louis *et al.*, 2002).

Déjà en 1966, Bovey préconisait d'intervenir au moment où la larve quitte le site d'hivernage pour migrer vers le site d'alimentation, c'est le stade dit « baladeur ». Afin positionner les interventions au moment opportun, Moizand en 2010 a suivi la reprise d'activité larvaire. Il a montré que l'extraction de Berlèse appliquée à la litière (fig.9-10) (*i.e.* sable et matière organique plus ou moins décomposée présents à la base du cep) donne les meilleurs résultats.

Cette même année la société d'accueil a décidé de surveiller, par la dissection de bourgeons, l'arrivée des chenilles à leur site d'alimentation. Le but visé était de confirmer la présence de chenilles dans le bourgeon. La technique a été arrêtée dès que la présence des chenilles a été confirmée. En 2011, les deux techniques ont été employées en parallèle afin d'évaluer l'intensité larvaire et la période adéquate d'intervention.



Figure 9 : Zone de récolte de la litière maintenue par le cep ; a : localisation de la litière. Bartier, 2012 d'après Moizand, 2010.

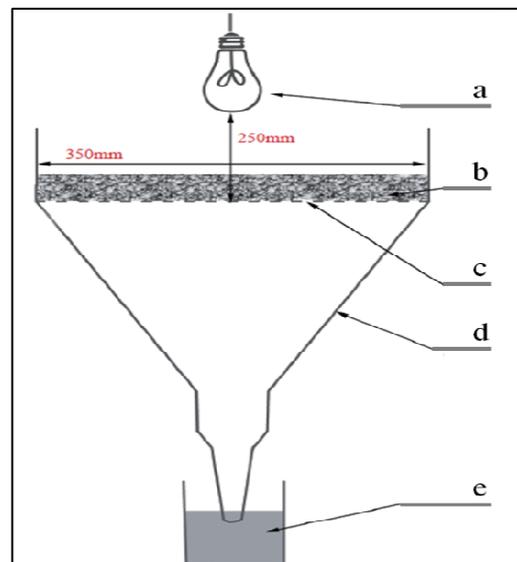


Figure 10 : L'extracteur de Berlèse. a: ampoule 75W, b: litière à extraire, c: contenant grillagé, d: entonnoir, e: éthanol 75%. Bartier, 2012.

Puisque l'utilisation combinée des techniques donne des informations sur l'évolution des effectifs dans le temps et l'espace, l'objectif du chapitre est donc de comparer la dynamique décrite par les 2 techniques entre 2011 et 2012 pour définir la phénologie du phénomène et la fluctuation des intensités d'infestation.

MATERIELS ET METHODES

Extraction des larves de la litière

En 2011, la litière, utilisée pour l'extraction de Berlèse, a été collectée hebdomadairement le jour de la mise en extraction.

En 2012, elle a été ramassée lors de la semaine 11 en quantité suffisante pour couvrir la durée de l'étude. Elle a été conservée à proximité du laboratoire sur un sol cultivable, en plein air et sous un sac en filet couramment utilisé pour contenir les légumes.

Le dispositif se compose de 10 extracteurs de Berlèse. L'appareil induit la dessiccation, la montée en température et l'éclairement des 4 litres de litière apportées. Ceci provoque une migration en profondeur des arthropodes contenus dans le substrat. La grille du tamis sélectionne alors par la taille une fraction de la population migrante. Les individus qui passent obstacle tombent dans un entonnoir et glissent alors jusque dans un béccher rempli d'éthanol concentré à 75%. Après une extraction de trois jours, les chenilles sont dénombrées sous loupe binoculaire.

La méthode a été réalisée hebdomadairement des semaines 10 à 16 en 2011 et des semaines 12 à 17 en 2012. La variable issue des résultats, notée B, correspond à l'intensité larvaire au sein de la litière et est exprimée en nombre de chenilles/litre de litière.

Dissection de bourgeons

La chenille migre directement vers des bourgeons terminaux d'un rameau apical (Audouin, 1842). 600 bourgeons issus de 150 rameaux apicaux sont donc disséqués chaque semaine sous loupe binoculaire. Les collectes et dénombrements ont eu lieu hebdomadairement des semaines 13 à 15 en 2011, et de 13 à 17 en 2012. La variable obtenue, notée D, correspond à l'intensité larvaire post-migratoire et est exprimée en nombre de chenilles pour 100 bourgeons.

Définition de corrélation entre les techniques

Les deux techniques caractérisent deux étapes différentes, la reprise d'activité larvaire et l'arrivée des chenilles au site d'alimentation. Pour montrer la corrélation entre les variables avec un décalage d'une semaine, les données de l'extraction de Berlèse mesurées aux semaines s , notées B_s , ont été régressées par les résultats de la dissection de bourgeons des semaines $s+1$, notés D_{s+1} . Une régression est réalisée pour chacune des deux années.

RESULTATS

Description phénologique et quantitative des phénomènes

Les reprises d'activité mesurées dans la litière B mesurent une intensité maximale de 5.65 chenilles par litre de litière au cours de la semaine 12 en 2011 contre un pic à 0.15 chenille par litre de litière lors de la semaine 14 en 2012, soit une diminution de 96%.

L'intensité post-migratoire D connaît son maximum durant la semaine 13 en 2011, avec 6.25% de bourgeons atteints par une chenille et durant la semaine 15 en 2012 avec 1.67%, soit une diminution de 74%.

Les deux techniques marquent une précocité de reprise d'activité de deux semaines en 2011 (fig.11). La distribution quasiment au niveau de la litière et des bourgeons. Elles marquent deux *maxima* décalés de 2 semaines et une distribution phénologique sur au moins 7 semaines en 2011 et 6 semaines en 2012.

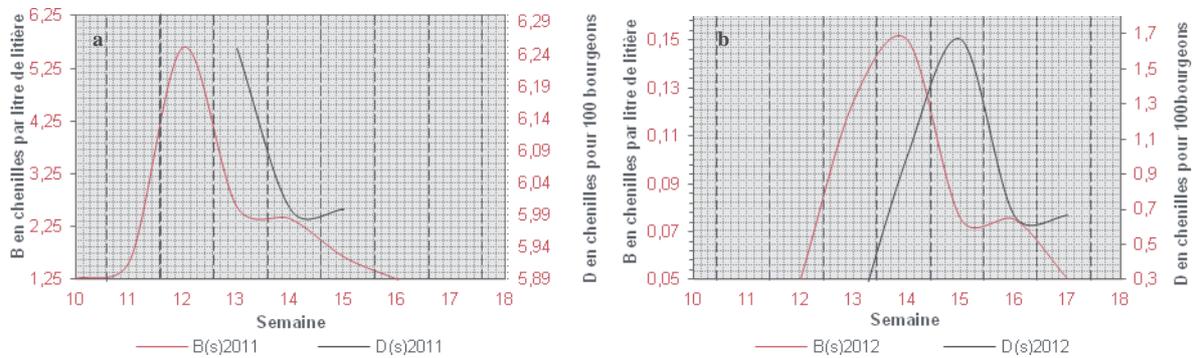


Figure 11: Distributions des intensités larvaires mesurées dans la litière et aux bourgeons au cours de la reprise d'activité de 2011 (a) et 2012 (b). B : Reprise d'activité mesurée dans la litière ; D : Intensité post-migratoire.

Définition de corrélation entre les techniques

Pour les 2 années, les coefficients de détermination (R^2) obtenue par les régressions linéaires sont de 0.99 pour 2011 et 0.91 pour 2012 (fig. 12).

Les distributions obtenues par les deux techniques donc liées avec une semaine d'écart par une fonction affine dont la pente est de 0.07 en 2011 et de 14 en 2012.

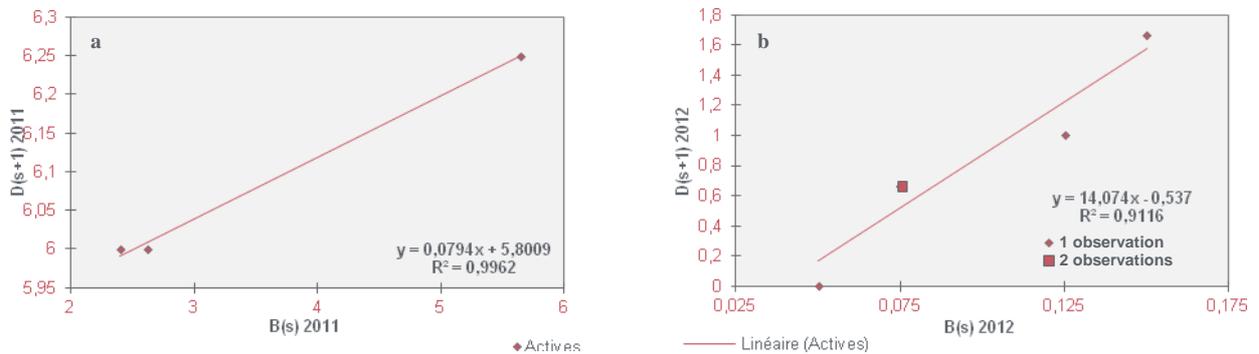


Figure 12 : Régressions linéaires de D obtenues au cours de la semaine s+1 par B obtenue la semaine s. B : Reprise d'activité mesurée dans la litière ; D : Intensité post-migratoire. Les données ont été obtenues des campagnes de surveillance de 2011 et 2012.

DISCUSSION

Les distributions bimodales de la reprise d'activité larvaire dans la litière et de l'arrivée des chenilles au site d'alimentation ont une phénologie analogue pour les 2 années (fig.11). Rinville *et al.* (1997) ont observé des migrations en champagne à partir de fin avril à l'instar du cycle larvaire autrichien (Russ, 1960). La population bordelaise est plus précoce, les larves reprennent leur activité à partir de début mars. En outre, cette phase du cycle biologique se distribue sur 6 à 7 semaines similairement aux observations de Rinville *et al.* (1997). L'écart entre l'individu le plus hâtif et le plus tardif s'amplifie donc au cours du développement puisqu'il a été montré que l'activité imaginaire marque un étalement d'au moins 13 semaines (fig.6). Un décalage de 2 semaines entre les pics des reprises d'activité de 2011 et 2012 est observé. Cette variation de précocité justifie la surveillance du phénomène dans le temps si l'on souhaite positionner l'intervention au moment opportun.

Les deux techniques sont efficaces pour quantifier l'intensité larvaire avant l'apparition des symptômes, elles sont donc à favoriser. Tout comme le piégeage sexuel (fig.5), les deux techniques marquent une diminution de l'infestation entre 2011 et 2012. L'extraction de Berlèse présente une réduction de 97% entre 2011 et 2012 alors que l'effectif de leurs géniteurs, mesuré par le piégeage sexuel, marque une baisse de seulement 26% (fig.5). Un facteur de mortalité k_1 affectant la population entre le vol des géniteurs et la reprise d'activité des descendants est supposé.

Malgré le manque d'observations, le coefficient de détermination (R^2) de la régression linéaire de $B(s)$ par $D(s+1)$ est supérieur à 0.91 en 2012 (fig.12). La relation est confirmée avec les quelques données de 2011. Ce résultat indique qu'avec une semaine d'écart, les deux variables sont fortement liées entre elles. Ce laps de temps doit être considéré comme le temps de migration maximal de la litière au bourgeon.

Il aurait été probable de voir l'intensité larvaire post-migratoire D correspondre à la fonction de répartition de l'intensité de la reprise d'activité B . Ainsi, D augmenterait dans le temps suite à une accumulation post-migratoire des chenilles (fig.13). Contrairement à cette idée, la variable D suit une distribution semblable à celle de B (fig. 11). Il est donc tentant de supposer qu'une mortalité importante affecte les larves dès qu'elles atteignent leur site d'alimentation. Ce facteur de mortalité est noté k_2 .

Enfin, un autre facteur de mortalité k_3 semble affecter la larve au cours de cet épisode biologique. Il est estimé par la pente des fonctions linéaires issues des modèles de régression linéaire de B_s par D_{s+1} (fig.12). Plus la pente est basse, plus la mortalité est importante.

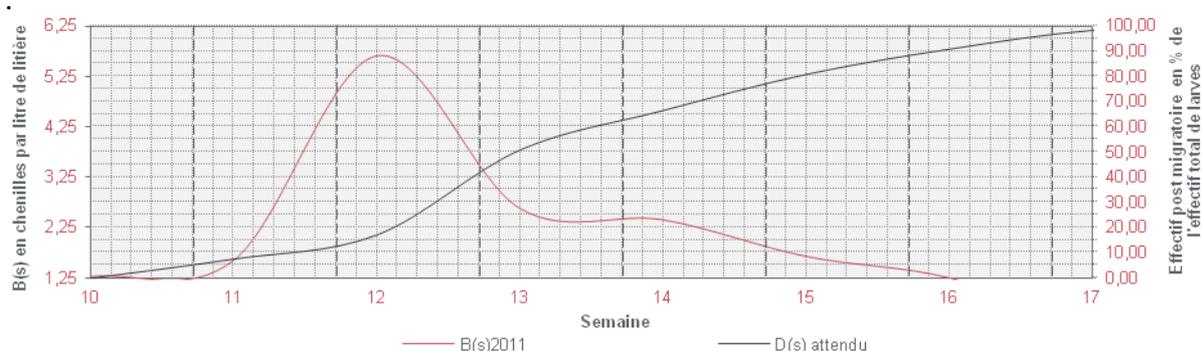


Figure 13 : Approche du facteur de mortalité k_2 par une illustration montrant le profil attendu pour la variable D selon la variable B , cas de 2011. D:dissection de bourgeons ; B:extraction de Berlèse.

Zalucki *et al.* (2002) indiquent qu'il est régulièrement démontré que le premier stade larvaire des lépidoptères accuse le plus grand taux de mortalité à cause de multiples facteurs. La reprise d'activité est une période sensible du cycle biologique. Effectivement, le métabolisme se réactive après avoir été ralenti durant plusieurs mois ; la migration de la litière au bourgeon expose la jeune chenille aux agressions extérieures et finalement la larve effectue sa première prise alimentaire.

PARTIE 2

FACTEURS DE REGULATION NATURELLE

CHAPITRE 5

IDENTIFICATION DU FACTEUR DE REGULATION NATUREL – K1

INTRODUCTION

Comprendre les sources de mortalité est un fondement de la protection intégrée (Naranjo, 2001) (fig.1). Pour interpréter les variations d'effectifs intergénérationnelles et tenter de les prédire, il est indispensable de comprendre la dynamique de population et ses facteurs. Il a été dit au dessus que le premier stade larvaire accuse le plus grand taux de mortalité (Zalucki *et al.*, 2002) ; et qu'un facteur de mortalité k1 affecte la population entre l'activité imaginale et la reprise d'activité larvaire printanière. Il toucherait donc l'œuf ou la larve néonate.

Les facteurs météorologiques peuvent affecter les populations de ravageurs. Directement, en agissant sur la reproduction et les taux de mortalité. Indirectement, au travers leur influence sur les ennemis naturels (Lomeli-Flores, 2010). Audouin (1842) précise que les gelées longues et intenses ne diminuent pas les effectifs de pyrale. D'ailleurs André (1882) rapporte que les populations ne sont pas affectées par un hiver où les températures ont atteint -30°C . Par contre, Rinvile *et al.* (1997) remarquent que la conservation des effectifs est améliorée lorsque l'hiver est peu pluvieux. Et Audouin (1842) remarque qu'une inondation prolongée des parcelles réduit significativement les populations.

En outre, la fluctuation d'abondance est significative dans la plantation bordelaise. Ses terrains sont drainés donc l'effet d'une immersion prolongée est écarté. Les températures n'ont jamais atteint les températures citées par André. Par contre des variations pluviométriques sont remarquées. L'objectif est d'évaluer l'influence de la pluviométrie sur les densités de l'insecte.

MATERIELS ET METHODES

Caractérisation de l'activité imaginale et de la densité annuelle des populations

La phénologie du vol est obtenue à partir des résultats du piégeage sexuel présentés au chapitre 2 (fig.5). La densité d'une génération est estimée à partir de l'indice d'activité imaginale annuel obtenu de la totalité des pièges IA des années 2008 à 2012 (tab.1).

Des interventions insecticides⁵, basées sur l'utilisation d'une même substance active, ont été appliquées sur les plantations au cours des années 2009, 2010 et 2011. Tolle (2011) a évalué l'efficacité, notée K, de la substance active en fonction de la date d'application et du nombre de pulvérisations. Un traitement, appliqué la semaine qui suit le pic de la reprise d'activité des larves de la litière, réduit la population de 22% ($K=0.22$). Un traitement réalisé 3 semaines après le pic de la reprise d'activité des larves de la litière réduit la population de 32%

⁵ Substance active gardée confidentielle

($K=0.32$). Les deux traitements réalisés à 1 et 3 semaines après le pic de la reprise d'activité des larves de la litière diminuent la population de 47% ($K=0.47$).

Or au cours des années 2009, 2010 et 2011, les plantations de la société d'accueil ont été sujettes à interventions. Pour estimer l'intensité du vol qui aurait dû être rencontrée sans action curative, l'indice d'activité imaginaire annuel et corrigé, noté I_{Ac} , est calculé d'après la formule suivante :

$$I_{Ac} = \frac{IA}{(1-K)} \quad (3)$$

Utilisation des données pluviométriques

Les données utilisées sont issues de la station météorologique aéroportuaire Météo-France de Mérignac (33). La période couverte par l'étude commence en avril 2008 et s'achève en août 2012. La pluviométrie moyenne P_j , donnée en mm/jour, est calculée à partir des pluies enregistrées quotidiennement sur une période j jours à partir du jour d'activité imaginaire maximale, les traces non quantifiables de pluies sont négligées.

Détermination de la durée d'influence des pluies

L'objectif est de définir la période pendant laquelle les pluies qui suivent le jour d'activité imaginaire maximale sont les plus corrélées aux fluctuations de l'effectif de l'année suivante.

Les pluviométries moyennes P_j pour les 4 années ont donc été calculées en considérant 10 à 400 jours à partir du jour d'activité imaginaire maximale avec un pas de 10 jours.

Pour chaque période, une régression linéaire ($\alpha=0.05$) est réalisée à partir des moyennes pluviométriques P_j de l'année n sur les indices d'activité imaginaire annuels et corrigés I_{Ac} de l'année $n+1$. Les coefficients de détermination obtenus pour chaque période sont comparés pour identifier la période de corrélation maximale.

RESULTATS

Caractérisation de l'activité imaginaire et de la densité annuelle des populations

Le jour d'activité imaginaire maximale est daté au 26 juin, 30 juin, 16 juillet et 27 juin pour les années 2008, 2009, 2010, et 2011 respectivement.

Leur indice d'activité imaginaire annuel et corrigé I_{Ac} vaut 5.77, 31.38, 29.51, 1.56 respectivement 2009, 2010, 2011 et 2012 (tab.4).

Tableau 4 : Date du jour d'activité imaginaire maximale JAIM et résultats de l'estimation de l'indice d'activité imaginaire annuel et corrigé I_{Ac} en captures/piège/semaine. K : efficacité de l'intervention insecticide.

Année	JAIM	IA	K	I_{Ac}
2008	26 juin	-	-	-
2009	30 juin	4.50	0.22	5.77
2010	16 juillet	21.34	0.32	31.38
2011	27 juin	15.64	0.47	29.51
2012	-	1.56	0	1.56

Détermination de la durée d'influence des pluies

La corrélation la plus significative est obtenue lorsque la pluviométrie moyenne est calculée avec 100 jours à compter du jour d'activité imaginaire maximale ($F=56.1$; p -value=0.017) (fig.14). La régression indique que l'augmentation de la pluviométrie moyenne de l'année n explique la diminution des captures de l'année $n+1$. Son coefficient de détermination R^2 est de 0.97.

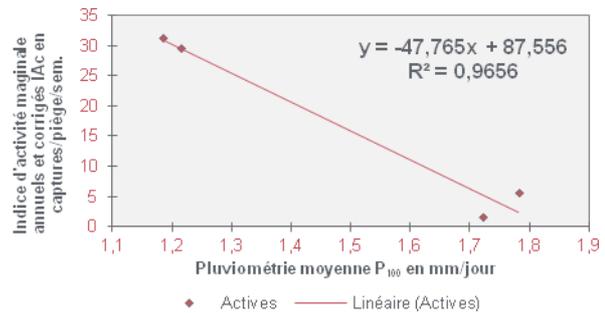


Figure 14 : Corrélation linéaire entre les moyennes pluviométriques P_{100} calculées sur 100 jours après le jour d'activité imaginaire maximale de l'année n par les indices d'activité imaginaire annuels et corrigés IAc de l'année $n+1$. Le coefficient de corrélation R^2 est de 0.97.

La distribution des 40 corrélations indique que seules les moyennes calculées avec j jours compris entre 60 et 100 dépasse le seuil $R^2=0.65$. Une progression est obtenue lorsque les moyennes ont été calculées avec 50, 60, 70 jours. Une stabilisation de la variation est obtenue avec les moyennes calculées avec 80, 90, 100 jours (fig.15).

La figure 16 montre que 2008 et 2011 ont été plus pluvieuses que 2009 et 2010 lors de la progression (cadre vert). Il est intéressant de remarquer qu'une pluie de 28 mm est tombée deux jours avant le début de la progression en 2012. Lors de la période de stabilisation (cadre orange), les pluies ont été plus abondantes en 2009 et 2010 comparées à 2008 et 2011. Cette différence n'a pas affectée le coefficient de détermination. Les pluies intenses de 2009 et 2010 marquent la chute du coefficient directeur (cadre rouge).

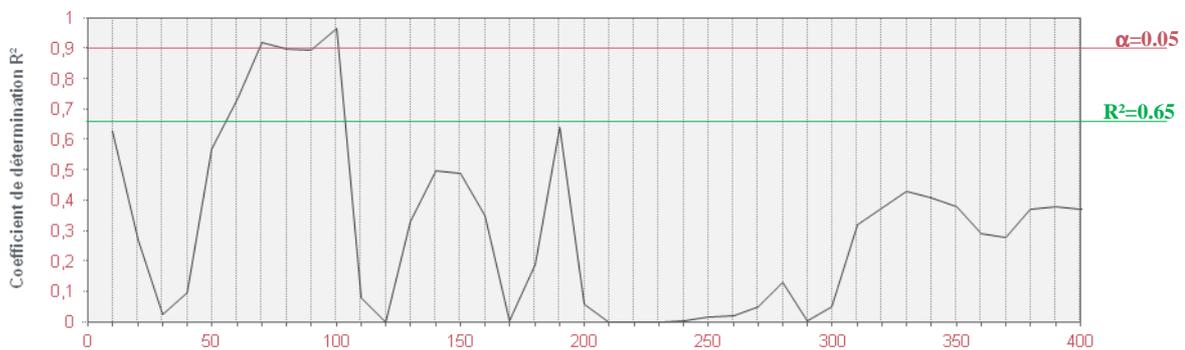


Figure 15 : Coefficient de détermination R^2 en fonction de la période considérée pour le calcul des moyennes pluviométriques en jours après le Jour d'activité imaginaire maximale j . Ces moyennes sont régressées linéairement par les indices d'activité imaginaire annuels et corrigés. La ligne verte représente le seuil au dessus duquel les périodes de 70-100 jours après le jour d'activité imaginaire maximale obtiennent un coefficient de détermination R^2 supérieur à 0.65. La ligne rouge représente le seuil de signification $\alpha=0.05$.

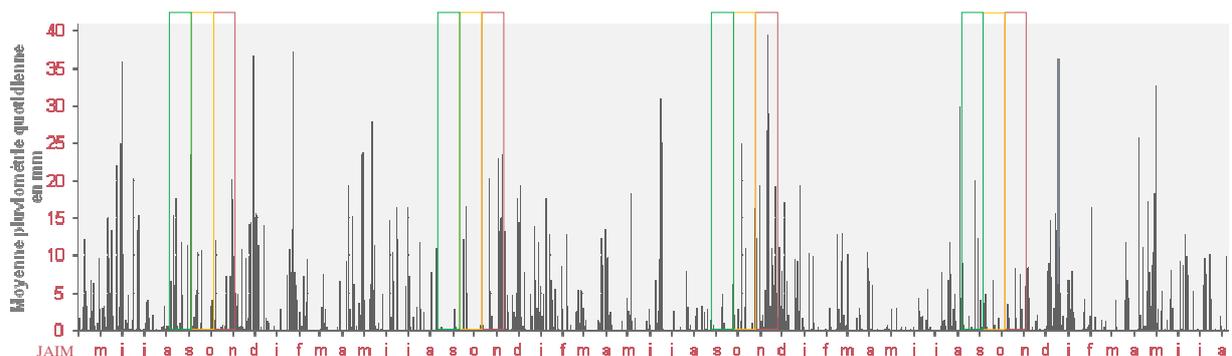


Figure 16 : Représentation des périodes de progression (cadre vert), de stabilisation (cadre orange) et de dégradations des corrélations entre la densité de la pluviométrie et l'activité imaginaire de la génération $n+1$. L'abondance des pluies en 2008 et 2011 expliquent les faibles populations piégées en 2009 et 2012.

DISCUSSION

Un coefficient de détermination maximal de 0.97 est observé grâce à la régression des pluies tombées au cours des 100 jours qui suivent le pic d'activité imaginaire d'une année par l'intensité de piégeage de l'année suivante (fig.14).

La réalisation et la comparaison de 40 régressions ont permis de conforter l'hypothèse. La distribution des coefficients de détermination n'excède jamais le seuil de $R^2=0.65$ sauf pour une période où les moyennes sont calculées avec j jours compris entre 60 et 100. Cette période se distingue par son amplitude, jusqu'à l'obtention d'un coefficient de détermination de $R^2=0.97$, et sa stabilité dans le temps (fig. 15). Ce plateau est dû aux régressions obtenues avec les moyennes pluviométriques calculées avec les 50,60 et 70 jours qui suivent l'activité imaginaire maximale, les pluies du mois d'août (fig.16, cadre vert). Les pluies plus abondantes de 2009 et 2011, rencontrées lors de la stabilisation de la distribution des coefficients de détermination (cadre orange), n'influencent pas la densité de la génération à venir. Il peut être considéré que l'effet régulateur des pluies se manifeste aux environs du mois d'août.

Comprendre les déterminants de la dynamique sporadique de la pyrale de la vigne est un enjeu de première importance pour la société d'accueil. A partir des données météorologiques, elle pourrait tenter de prédire les infestations à venir alors que la larve est presque introuvable. La société pourrait ainsi anticiper les efforts de contrôle qui devront être mis en place.

Toutefois, l'analyse s'appuie sur une technique qui peut être biaisée : le piégeage sexuel. Il conviendra de confirmer cette analyse en utilisant les données obtenues par l'extraction de Berlèse, moins soumise aux biais. Considérant qu'aucune intervention insecticide n'intervient avant la reprise d'activité, la correction des données à partir de l'efficacité du traitement sera inutile. La précision sera donc améliorée.

CHAPITRE 6

IDENTIFICATION DE QUELQUES ENNEMIS NATURELS LARVAIRES ET NYMPHAUX DE *SPARGANOTHIS PILLERIANA*

INTRODUCTION

Les ennemis naturels représentent un élément important de la protection intégrée grâce à leur action régulatrice (Naranjo *et al.*, 2003). La consommation ou l'infestation des lépidoptères a lieu à tous les stades de leur cycle biologique par un large cortège de prédateurs, de parasitoïdes et de pathogènes (Cornell & Hawkins, 1995 ; Thiery *et al.*, 2011).

Plus spécifiquement, la pyrale de la vigne est une espèce pour laquelle aucune étude consacrée aux pathogènes n'a encore été réalisée. Seuls des arthropodes utiles ont été identifiés. En France, à partir de collectes réalisées dans les vignobles, Audouin (1842) a fourni une description des ennemis naturels animaux de *Sparganothis pilleriana* qui a été complétée pour atteindre une liste de 31 hyménoptères et 7 diptères (Voukassovitch, 1924 ; Villemant *et al.*, 2011). Les principales espèces varient légèrement selon les auteurs et la région (tab.5).

En agriculture, la présence des auxiliaires est dictée par les caractéristiques de l'exploitation. Par exemple, les espèces cultivées, l'itinéraire cultural avec notamment la gestion des interventions phytosanitaires, et le paysage environnant influencent la présence ou l'absence des espèces utiles (Naranjo *et al.*, 2003 ; Singer & Stireman, 2003 ; Gardiner *et al.*, 2009 ; Reddy, 2012). Or, aucune étude n'a été réalisée sur le modèle « pyrale, ennemis naturels et agroécosystème » considéré ici.

Dans ce chapitre, seule l'entomofaune auxiliaire affectant *Sparganothis pilleriana* sera abordée. Son objectif de réaliser une identification préliminaire et non-exhaustive du cortège d'arthropodes auxiliaires.

Tableau 5 : Classement des quatre principaux parasitoïdes selon les auteurs et la région considérée. L'ensemble des espèces citées appartient à l'ordre des hyménoptères.

Auteur Zone géographique	Voukassovitch, 1924 France, sud-ouest	Thiéry <i>et al.</i> , 2011 France, Alsace Bourgogne	Villemant <i>et al.</i> , 2011 Europe de l'ouest
Parasitoïdes principaux	<i>Brachymeria tibialis</i> ⁶	<i>Diadegma fenestralis</i> ⁹	<i>Diadegma fenestralis</i> ⁹
	<i>Goniozus claripennis</i> ⁷	<i>Tranosemella praerogator</i> ⁸	<i>Goniozus claripennis</i> ⁷
	<i>Itopectis maculator</i> ⁹	<i>Goniozus claripennis</i> Förster ⁷	<i>Tranosemella praerogator</i>
	<i>Diadegma fenestralis</i> ¹⁰	<i>Itopectis maculator</i> Fabricus ⁸	<i>Apanteles sicarius</i> ¹¹

MATERIELS ET METHODES

Les abris constitués de soie et de feuilles ont été collectés tous les 15 jours environ, à partir du 2 juin jusqu'au 18 juillet 2012, sur différentes parcelles. Ils ont ensuite été décortiqués pour observer la larve ou la nymphe de *Sparganothis pilleriana*. Le but était de prélever 100 pyrales mais les contraintes de temps ont par fois réduit l'effectif.

A la suite de cette étape, plusieurs cas sont détectés et classés dans l'un des groupes suivants :

1. exuvie nymphale,
2. larve ou chrysalide seule et vivante (la vitalité des chrysalides était confirmée lorsqu'une pression stimulante provoquait l'animation de l'insecte),
3. larve ou chrysalide seule et morte,
4. larve accompagné d'une larve prédatrice,
5. dépouille larvaire accompagné d'une ou plusieurs larves de parasitoïdes.

Les entités classés dans les groupes 3, 4 et 5 ont été placés individuellement en boîte de Pétri de 55 millimètre de diamètre jusqu'à l'émergence des auxiliaires adultes. Ils ont été maintenus à une température de 20°C ± 2°C ; à une humidité de 60% HR ± 5%HR, avec une photopériode de 10:14 (L:O). Seules les larves prédatrices ont eu un apport bihebdomadaire de nourriture (chenille vivante).

Le taux de régulation observé est estimé à partir des données d'une journée d'observation et de la formule suivante :

$$\text{Taux de régulation (\%)} = \frac{n_i + n_n + n_p}{n} * 100 \quad (4)$$

avec n l'effectif total, n_i le nombre de larves infestées, n_n le nombre de nymphes infestées et n_p le nombre de prédateurs.

L'identification des auxiliaires a été réalisée à partir des clés de détermination simplifiées de Villemant & Delvare (2011) et de Çaldumbide (2001) pour respectivement les hyménoptères et le névroptère rencontrés.

D'après Villemant *et al.*, 2011 :

⁶ Hymenoptera : Chalcididae, dénommé *Chalcis intermedia* par Voukassovitch.

⁷ Hymenoptera : Bethyridae

⁸ Hymenoptera : Ichneumonidae

⁹ Hymenoptera : Ichneumonidae, dénommé *Pimpla maculator* par Voukassovitch.

¹⁰ Hymenoptera : Ichneumonidae, dénommé *Angitia fenestralis* par Voukassovitch

¹¹ Hymenoptera : Braconidae

RESULTATS

310 pyrales ont été observées. Les deux premières observations ont obtenu un faible taux de régulation avec respectivement 2 et 1%. Le taux de régulation est atteint son maximum avec les comptages du 02 juillet (23.4%) et diminue pour atteindre les 15.9% au 18 juillet (tab.6).

Un cortège d'au moins 6 espèces a été recensé sur *Sparganothis pilleriana* au sein des plantations de la société d'accueil (tab.7).

Tableau 7 : Taux de régulation de *Sparganothis pilleriana* par ses ennemis naturels entre le 2 juin et 18 juillet 2012.

Date	Effectif	Taux de régulation (%)
4 juin 2012	100	2
13 juin 2012	100	1
02 juillet 2012	47	23.4
18 juillet 2012	63	15.9

Tableau 6 : Part relative du taux de régulation total des espèces par leurs ennemis naturels observés entre le 2 juin et le 18 juillet 2012.

Espèces	Part relative (% de la régulation totale)
<i>Brachymeria tibialis</i>	50
<i>Elachaetrus</i> sp.	14
<i>Apanteles sicarius</i>	14
<i>Goniozus claripennis</i>	9
<i>Tachinidae</i> spp.	9
<i>Chrysoperla carnea</i>	4

Chrysoperla carnea (fig.17b) est le seul prédateur recensé, son taux de régulation relatif est le plus faible avec 4%. Des tachinaires non-identifiées (fig.17c) ont contribué à hauteur de 9 % au taux de régulation. Les autres parasitoïdes appartiennent tous à l'ordre des hyménoptères dont le bethylidé ectoparasitoïde larvaire *Goniozus claripennis* (fig.17f) avec 9% de la régulation totale. Le braconide *Apanteles sicarius* (fig.17d) obtient une part relative de 14 % de la régulation comme l'eulophide parasitoïde grégaire appartenant au genre *Elachetrus* (fig.17e). Enfin 50% de la régulation sont attribués au chalcidien endoparasitoïde nymphal *Brachymeria tibialis* (fig.17g).



Figure 17 : Prédation et parasitoïdes de *Sparganothis pilleriana* dans le bordelais. a : Multiparasitisme larvaire par un chalcidien (1), par une pupa (2) et un œuf (3) de tachinaire ; b : prédation d'une chenille par *Chrysoperla carnea* (Nevroptera : Chrysopidae); c : tachinaire non identifié ; d : *Apanteles sicarius* (Hymenoptera : Braconidae); e : *Elachertus* sp. (Hymenoptera : Eulophidae); f : *Goniozus claripennis* (Hymenoptera : Bethyidae) ; g : *Brachymeria tibialis* (Hymenoptera : Chalcididae). Bartier, 2012.

DISCUSSION

Les larves de la pyrale sont régulées par les arthropodes prédateurs ou parasitoïdes au sein des plantations de la société d'accueil et des cas de multi-parasitisme peuvent être rencontrés (fig 19a). Quatre espèces ont été précisément identifiées avec :

Chrysoperla carnea, prédateur d'œufs et de larves de la pyrale (Audouin, 1842), Audouin (1842) indique qu'un grand nombre de chenilles peut être consommé là où le névroptère est abondant. Thiery *et al.* (2011) considèrent que les chrysopes ne peuvent à eux seuls fournir une régulation acceptable des populations de la pyrale. Sa présence n'a pas été souvent détectée mais la mobilité des larves après leur repas réduit la possibilité de détection.

Brachymeria tibialis, souvent cité comme *Brachymeria intermedia* (Villemant *et al.*, 2011), est considéré par Voukassovitch (1924) comme l'insecte qui affecte le plus *Sparganothis pilleriana* dans les vignobles des environs de Toulouse. Bărbuceanu & Andriescu (2009) le classent comme le plus efficace parmi 7 chalcidiens des vignobles roumains. Ici, il représente à lui seule 50% du taux de régulation.

Goniozus claripennis, inclus parmi les 4 parasitoïdes les plus fréquents par trois auteurs (tab.5), il doit être favorisé car il peut provoquer une grave mortalité sur différents stades larvaires avec une prédilection pour les chenilles de l'ordre du centimètre (Voukassovitch, 1924).

Apanteles sicarius, considéré comme un prédateur régulier de la pyrale (Villemant *et al.*, 2011). L'espèce représente l'une des trois principales de l'étude.

Par contre, il a été impossible de connaître l'espèce de *Elachertus* sp., parasitoïde grégaire, qui se positionne parmi les trois meilleurs auxiliaires présentés dans ce chapitre. Les tachinaires n'ont pas pu être identifiées. Les identifications obtenues ont été obtenues à partir de clés simplifiées qui parfois ne comportent pas l'insecte recherché. Si les observations sont réitérées, il conviendra d'envoyer les échantillons à des entomologistes experts.

L'infestation du lépidoptère est considérée lorsque des signes extérieurs sont perceptibles. L'endoparasitisme passe alors inaperçu tant que *Sparganothis pilleriana* est en vie. Alors que la méthode appliquée tend à limiter l'estimation, la régulation a atteint 24% des insectes observés. L'action des ennemis naturels est significative sur larve âgée et nymphe.

Plusieurs points justifient une étude approfondie de la biodiversité fonctionnelle :

Le recensement réalisé ici est incomplet. Considérant que les ichneumons actifs sur la pyrale sont très nombreux (Audouin, 1842 ; Voukassovitch, 1924 ; Sentenac, 2003 ; Villemant *et al.* 2011), il est surprenant d'en n'avoir détecté aucun. Le genre *Diadegma* par exemple constitue une source de régulation particulièrement élevée dans les vignoble (Voukassovitch, 1924 ; Thiery *et al.*, 2001 ; Sentenac, 2003 ; Bărbuceanu & Andriescu, 2008 ; Villemant *et al.* 2011).

La période où le lépidoptère semble le plus affecté par les parasitoïdes correspond souvent aux derniers stades larvaires (Cornell & Hawkins, 1995 ; Cabezuelo & Berger, 1980). Toutefois, l'étude couvre seulement 1,5 mois ; ni les parasitoïdes oophages, ni les prédateurs des larves hivernantes, ni même les pathogènes ont été cherchés.

La répartition des espèces auxiliaires dans le temps et l'espace doit être connue pour raisonner les interventions et éviter de réaliser des actions qui seraient néfastes aux organismes bénéfiques.

Leur densité doit être évaluée et favorisée puisque certains auteurs parlent d'efficacité atteignant, par effet de gradation, jusqu'à 90% (Bovey, 1966).

PARTIE 3

CONTRIBUTION A L'OPTIMISATION DU PROGRAMME DE PROTECTION INTEGREE

CHAPITRE 7

DETECTION DE LA SENSIBILITE DE *SPARGANOTHIS PILLERIANA* A QUELQUES INSECTICIDES D'ORIGINE BIOLOGIQUE

INTRODUCTION

En cas de forte infestation de pyrales, l'action des auxiliaires peut être insuffisante : il est alors nécessaire de réaliser une intervention insecticide (Galet, 1982).

En outre, la société d'accueil a besoin d'élargir sa gamme de moyens de lutte pour limiter la sélection de résistances. Elle s'impose aussi des limites maximales de résidus plus basses que les indications réglementaires. Elle s'est orientée vers les solutions biologiques sans toutefois s'intéresser ni à la confusion sexuelle et ni à l'augmentation des populations d'arthropodes auxiliaires à cause de la main d'œuvre à allouer.

Les solutions pulvérisables d'origine biologique paraissent adaptées à la mécanisation. C'est parmi celles-ci que sont retrouvés entre autres :

Les nématodes entomopathogènes utilisés chez les tordeuses qu'ils parasitent et tuent rapidement (Lacey *et al.*, 2006 ; Karagoz *et al.* 2009 ; Chambers *et al.* 2010),

Les baculovirus spécifiques des lépidoptères, souvent liés à seule espèce (Szewczyk *et al.* 2009),

Le spinosad, groupement moléculaire issu d'une fermentation bactérienne, toxique chez de nombreuses familles de lépidoptères (Pineda, *et al.* 2007 ; Yin *et al.*, 2008 ; Mandour *et al.*, 2008),

Les préparations de toxines Cry de *Bacillus thuringiensis*, dont la classe 1 est généralement spécifiques des lépidoptères (Ware & Whitacre, 2004 ; Raymond *et al.*, 2010).

L'objet du chapitre est de définir, qualitativement, la sensibilité *in vitro* de *Sparganothis pilleriana* à 3 espèces de nématodes, 2 baculovirus et 3 préparations bactériennes (tab. 8).

Tableau 8 : Désignation et provenance des modalités testées pour les tests de sensibilité des larves L4 et L5 de *Sparganothis pilleriana*.

Type d'organisme	Modalités	Spécialité	Provenance
Baculovirus	<i>Cydia pomonella granulovirus</i> CpGV (isolats inconnus)	-	Andermatt Biocontrol AG Suisse
	<i>Autographa californica nucleopolyhedrovirus</i> AcNPV (isolats inconnus)	-	
Préparations bactériennes	<i>Bacillus thuringiensis</i> ssp. <i>kurstaki</i> , Sérotype 3a3b	Delfin	Certis Eutope BV
	<i>Bacillus thuringiensis</i> ssp. <i>Aizawai</i> , Sérotype H7	Xentari	Philagro
	<i>Saccharopolyspora spinosa</i> , Spinosyne A et D	Success 4	Dow Agrosience
Nématodes entomopatho.	<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	Larvanem	Koppert France SARL
	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Carponem	
	<i>Steinernema feltiae</i>	Entonem	

MATERIELS ET METHODES

Trois types d'essais *in vitro* ont été mis en place afin de déterminer la sensibilité de l'insecte à différents modes de luttés biologiques ou chimiques (tab.9). Les essais ont été menés en laboratoire à différentes périodes. Les larves utilisées ont été récoltées sur la plantation. Les chenilles sont triées afin de ne garder que les chenilles comprises entre 14 et 20 millimètres. Cette taille correspond aux stades larvaires 4 et 5. Les insectes ont été placés individuellement au sein d'une boîte de Pétri de 55 millimètre de diamètre. Pour les essais

Tableau 9 : Présentations des essais *in vitro* réalisés sur les stades L4 et L5 de *Sparganothis pilleriana*. Rép/mod. : Répétition par modalité. OB : corps d'occlusion, UI : unité infectieuse.

impliquant les nématodes un gel d'agarose (10%), épais de 3mm, tapisse le fond de la boîte de Pétri.

Essai	Date de mise en place	Durée	Rép./mod.	Dose/disque
Baculovirus	4 juin 2012	12 jours	15	4*10 ⁶ OB
Préparations bactériennes	16 juillet 2012	9 jours	15	Delfin : 8533 UI Xentari : 9333 UI Success 4 : 1.28*10 ⁻² mg de spinosad
Nématodes entomopathogène 1	20 juillet 2012	3 jours	15	3500 nématodes
Nématodes entomopathogène 2	27 juillet 2012	3 jours	10	350 nématodes

Un disque foliaire, provenant de la plante concernée, de 28 millimètres de diamètre est placé dans la boîte de Pétri après avoir trempé 10 secondes dans une solution agitée contenant le moyen de lutte. Il subi ensuite cinq secousses d'égouttage. Pour chaque essai, la modalité « témoin négatif » est testée. Dans ce cas, le disque foliaire est trempé dans l'eau et est égoutté avec la même procédure.

Pour les essais de plus de trois jours (tab.2), les disques foliaires, sources de nourriture, sont remplacés toutes les 72h environ. Il est important de noter que seule la première série de disques est vecteur de la modalité à tester. Lors de chaque changement de disque, la boîte de Pétri est nettoyé avec un papier absorbant sec. Le nombre de répétition par modalité varie selon les essais (tab.2). Les conditions au sein de laboratoire étaient de 20°C ± 2°C ; l'humidité de 60% HR ± 10%HR et la photopériode 10:14 (L:O).

Avant chaque remplacement de disque, la vitalité de chaque chenille est évaluée. Le résultat binaire « Vivant-Mort » détermine le taux de mortalité TM. Les données obtenues suite à la lecture sont corrigées par la formule de Schneider-Orelli (1947) :

$$TM \text{ corrigé (\%)} = \frac{TM \text{ traitement (\%)} - TM \text{ témoin négatif (\%)}}{100 - TM \text{ témoin négatif (\%)}} * 100 \quad (5)$$

Puisque l'aire du disque est connue, la surface foliaire consommée quotidiennement par chenille est estimée visuellement grâce à 6 classes :

- 100% du disque consommé
- de 76 à 99% du disque consommé
- de 51 à 75% du disque consommé
- de 26 à 50% du disque consommé
- de 6 à 25% du disque consommé
- de 1 à 6% du disque consommé
- 0% du disque consommé

La consommation foliaire est divisé par le pas de temps séparant 2 observations, soit environ 72h, pour chaque chenille. Lorsqu'une chenille est trouvée morte au cours d'une observation, sa consommation avant sa mort est considérée. La chenille en question n'est plus prise en compte lors des observations ultérieures.

RESULTATS

Essai baculovirus

Les baculovirus obtiennent un taux de mortalité identique à celui du témoin à la fin de l'essai, 6.7%. Par conséquent, les deux entités virales provoquent une mortalité nulle d'après la correction de Schneider-Orelli (fig.18a). Il est intéressant de remarquer que l'appétit des larves a légèrement diminué, notamment lors d'un contact avec *Cydia pomonella granulovirus*. Les moyennes de la consommation foliaire quotidienne sont de 0.79cm²/jour pour le témoin négatif, 0.74 pour AcNPV, 0.65 pour CpGV (fig.18b).

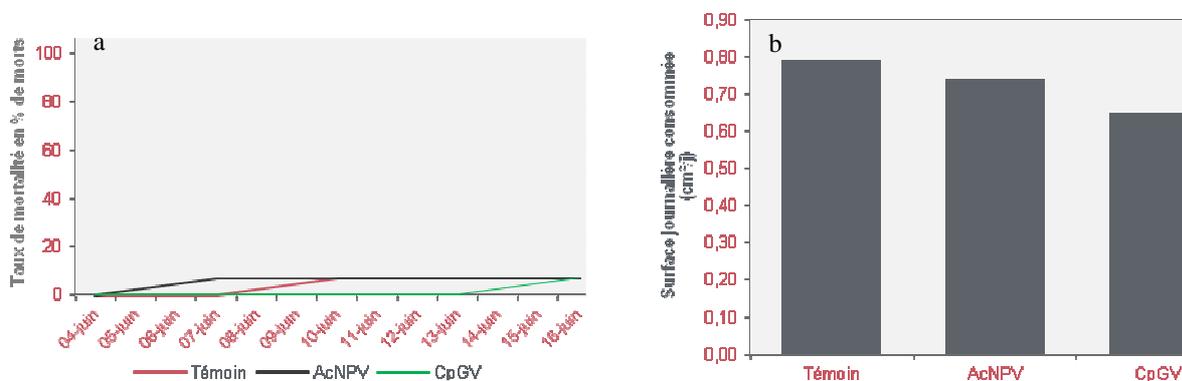


Figure 18 : Sensibilité de *Sparganothis pilleriana* face à 2 baculovirus après 12 jours. CpGV : *Cydia pomonella granulovirus* ; AcNPV : *Autographa californica nucleopolyhedrovirus* ; a : Taux de mortalité selon le baculovirus ; b : Niveau d'appétit selon le baculovirus.

Essai toxines bactériennes

Après 3 jours, le taux de mortalité corrigé dû à Xentari est de 0%, il atteint 50% après 9 jours (fig.19a). Delfin provoque un taux de mortalité corrigé de 58% après 3 jours et de 87% après 9 jours. Le spinosad provoque 100% de mortalité dès 3 jours d'exposition. La mortalité du témoin a atteint 47%

Alors que pour le témoin les chenilles ont consommées en moyenne 0.32 cm²/jour L'appétit est diminué pour les trois modalités avec une consommation moyenne de 0.1 pour Xentari, 0.05 pour Delfin et 0.04 pour Success 4 (fig.19b).

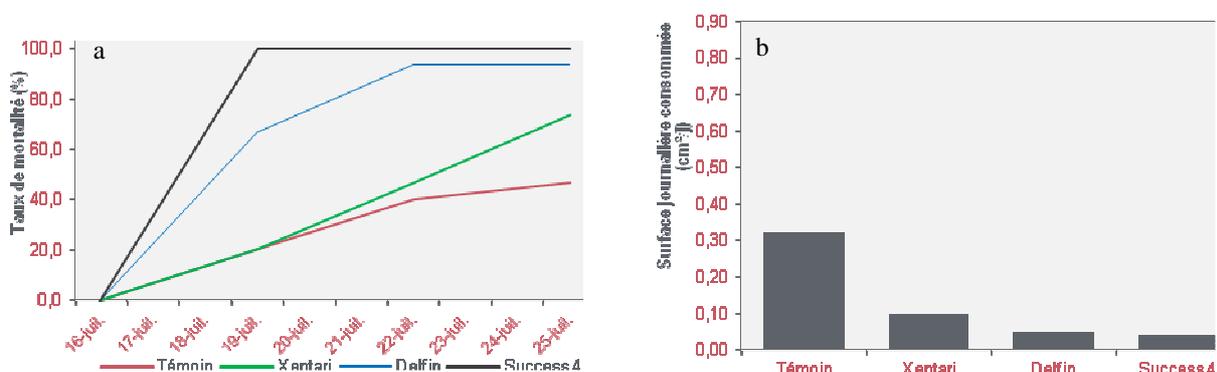


Figure 19 : Sensibilité de *Sparganothis pilleriana* face à 3 préparations bactériennes après 9 jours. Xentari : *Bacillus thuringiensis* ssp. *aizawai* ; Delfin : *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* ; Success4 : *Saccharopolyspora spinosa* ; a : Taux de mortalité selon la préparation ; b : Niveau d'appétit selon la préparation.

Essai nématodes entomopathogènes

Avec 3500 nématodes par disque, les 3 modalités obtiennent un taux de mortalité de 100% après 3 jours (fig.20a). Avec 350 nématodes par disque, cette valeur passe à 67% pour *Steinernema feltiae*. Elle reste inchangée pour les deux autres espèces évaluées (fig.20b).

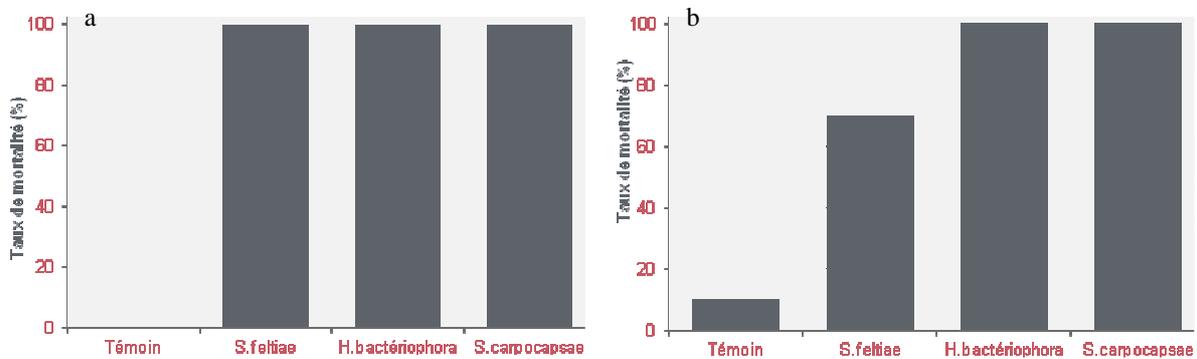


Figure 20 : Taux de mortalité de *Sparganothis pilleriana* face à 3 nématodes entomopathogènes après 3 jours : *Steinernema feltiae*, *Heterorhabditis bacteriophora* et *Steinernema carpocapsae*. a : 3500 nématodes/chenilles; b : 350 nématodes/chenilles.

Steinernema carpocapsae est toujours l'espèce qui réduit le plus l'appétit larvaire avec 0.01 cm²/j avec 3500 nématodes/chenilles (fig.21a) et 0.05 avec 350 nématodes/chenille (fig.21b).

Il est suivie de *Heterorhabditis bacteriophora* et de *Steinernema feltiae* avec respectivement 0.038 et 0.075 cm²/j pour l'essai réalisé avec 3500 nématodes/disque et 0.05 ; 0.15 et 0.25 cm²/j pour l'essai réalisé avec 350 nématodes/chenille.

L'appétit des larves est diminué lorsque le nombre de nématodes est plus élevé. La modalité témoin maintient un niveau d'appétit stable au cours des deux essais avec une moyenne de 0.37cm²/jour de consommation foliaire.

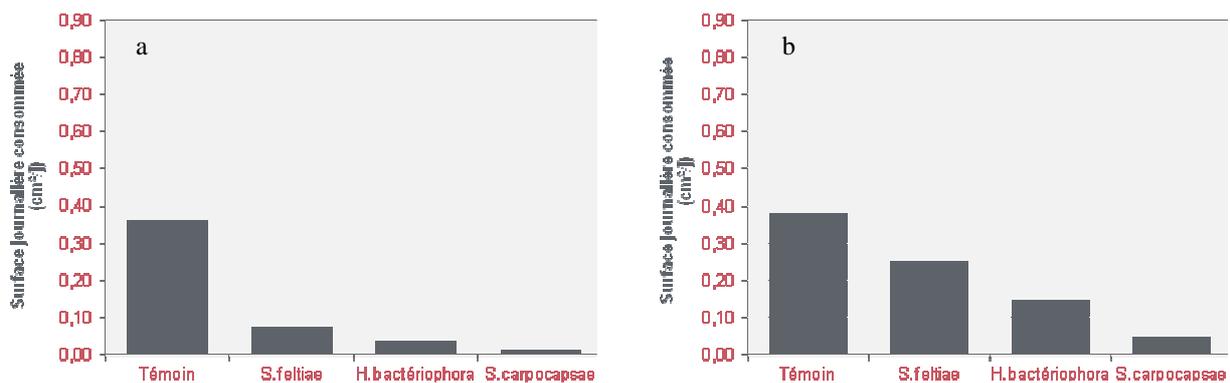


Figure 21 : Niveau d'appétit de *Sparganothis pilleriana* face à 3 nématodes entomopathogènes : *Steinernema feltiae*, *Heterorhabditis bacteriophora* et *Steinernema carpocapsae*. a : 3500 nématodes/chenilles; b : 350 nématodes/chenilles.

DISCUSSION

Le taux de mortalité est évidemment l'indicateur fiable de comparaison. Toutefois, il semble intimement anti-corrélé au taux d'appétit mesuré ici. L'essai réalisé à partir des préparations bactériennes montre cette relation (fig.19). De même, les tests où interviennent les nématodes montrent la reproductibilité de la relation proportionnelle à la dose (fig.20&21). C'est pourquoi, lorsque l'indicateur basé sur le caractère létal de l'expérience ne parvient à distinguer les traitements, le taux d'appétit reste discriminant en tests *in vitro*. Cet indicateur, qui traduit d'ailleurs la perte en biomasse provoquée par le ravageur, est régulièrement mesuré en recherche agronomique (Senthil-Nathan, 2005 ; Unruh *et al.*, 2012). Par contre, il est réversible contrairement à la mortalité, un insecte dont la nutrition est diminuée peut retrouver une consommation normale, même exacerbée (Zehnder & Gelernter, 1989).

Un taux de mortalité égal entre *Heterorhabditis bacteriophora* et *Steinernema carpocapsae*, est montré aux deux doses utilisées. Ce dernier semble être le nématode le plus efficace contre *Sparganothis pilleriana* dans ce test *in vitro* au regard de leur taux d'appétit (fig.21). Toutefois, *Steinernema feltiae* recherche activement ses proies et est plus rapidement actif en conditions froides que *Steinernema carpocapsae* (Lacey *et al.*, 2005, 2006) , il reste donc un agent potentiellement intéressant. Les nématodes entomopathogènes représentent une alternative intéressante puisqu'ils sont pulvérisables. Toutefois, ils sont sensibles à la dessiccation, aux rayonnements UV (Kaya & Gaugler, 1993, Stuart *et al.*, 2006) et s'avèrent plus efficace lorsqu'ils ont appliquées sur un substrat (Gaugler, 1999) tel que la litière où hivernent les larves néonates de *Sparganothis pilleriana*. Il serait donc intéressant de les tester en plein champ au mois de mars (T>14°C) lorsque les larves deviennent mobiles et que la litière s'est réchauffée. Avant, cela, il convient de vérifier la faisabilité économique d'un plan de contrôle dans lequel interviendraient les nématodes.

Utilisées aux doses d'applications couramment préconisées, les préparations bactériennes ont donné des résultats intéressants concernant les rapidités d'action et les taux de survie (fig.19). Ainsi, contre *Sparganothis pilleriana*, spinosad a induit la toxicité la plus rapide et la plus élevée. Il est considéré comme un produit de dégradation rapide et de faible toxicité chez les mammifères. Par contre il peut être nuisible pour la faune auxiliaire (Williams *et al.*, 2003). Chez *Bacillus thuringiensis*, la sous-espèce *aizawai* semble moins active sur pyrale que *kurstaki*, avec qui la mortalité est plus rapide et plus élevée contraire aux observations réalisées en plein champ sur la tordeuse *Lobesia botrana* (Shahini *et al.*, 2010). Il est important de rappeler que les chenilles étaient aux stades 4 et 5. La sensibilité et la rapidité d'action de *Bacillus thuringiensis* diminuent avec la croissance de nombreuses larves de lépidoptères (Glare & O'callaghan, 2000 ; Tan *et al.*, 2008 ; Zartaloudis *et al.*, 2009). Une efficacité plus intéressante des *Bacillus thuringiensis* peut probablement être obtenue avec les premiers stades larvaires de *Sparganothis pilleriana*.

Puisque aucun virus n'est connu sur *Sparganothis pilleriana*, deux espèces à larges spectre ont été testées (Wu *et al.*, 2004 ; Lacey *et al.*, 2008). Ils peuvent à présent être écartés des éventuelles méthodes curatives. Néanmoins, l'absence de résultat (fig.18) ne doit pas réduire l'intérêt porté à ce type d'organismes. Au contraire, les baculovirus montrent ici encore leur sélectivité. Il serait donc intéressant de poursuivre ce criblage, à partir de la même méthode, avec d'autres isolats et d'autres espèces virales issus de laboratoire partenaires ou détectés au sein de la plantation.

CHAPITRE 8

QUANTIFICATION DES PERTES EN RENDEMENT ET EVALUATION DES SEUILS DE DEGATS ECONOMIQUES

INTRODUCTION

Pour éviter les interventions insecticides inutiles et ainsi favoriser la conservation des ennemis naturels, il est indispensable de comparer la densité estimée à un seuil d'intervention dont le franchissement déclenche le traitement (Naranjo, 2002). Le seuil d'intervention est généralement inférieur au seuil de dégâts économiques (EIL) (Castle & Naranjo, 2009). Défini en 1959 par Stern *et al.*, l'EIL représente la plus petite densité de population qui induit une déprédation, c'est encore la somme des dégâts qui justifient les coûts de l'intervention.

Pour estimer cet indicateur essentiel à la prise de décision en protection intégrée (fig.1)(Higley & Pedigo, 1999), un modèle basé sur le coût d'une intervention curative (C), la valeur de la production (V), l'efficacité du traitement (K) et la perte en rendement par unité de densité de ravageur (D') a été mis en place par Pedigo *et al.* en 1986. L'EIL est fonction de variables économique (C et V) et de variables biologiques (D' et K) intrinsèques au système de culture. La relation entre les pertes de rendements et la l'intensité du ravageur est inconnue mais nécessaire à la définition de D'.

L'objectif de cette partie est d'évaluer les pertes occasionnées par la pyrale puis d'estimer les seuils de dégâts économiques.

MATERIELS ET METHODES

Estimation des pertes

Le rendement annuel, noté R et donné en kg/ha, est issu du rapport de la biomasse produite par an par la surface cultivée. L'intensité d'infestation annuelle est estimée à partir les indices annuels d'activité imaginale mesurés avec tous les pièges (IA) de 2008 à 2012 (tab.1).

Une absence complète de l'insecte permettrait d'atteindre le rendement maximal dans un contexte de production donné (âge de la plantation, itinéraire technique, climat...). Cet indicateur est appelé rendement potentiel ; il est noté R_p et mesuré en kg/ha. L'impact porté par l'insecte est noté Q et indiqué en kg/ha. Dès lors, il est logique que :

$$R = R_p - Q. \quad (6)$$

Aussi, Q est directement proportionnel à IA et D' dont l'unité est donnée en kg/ha/UI (UI : unité d'intensité d'insectes), c'est pourquoi :

$$Q = D' * IA \quad (7)$$

d'où la formule suivante, déduites des équations 5 et 6 correspondant à une fonction affine :

$$R = R_p - D' * IA \quad (8)$$

D' et R_p seront estimés par la régression linéaire des rendements par l'intensité d'infestation.

Q est rapidement converti en perte économique (PE) s'il est multiplié par le prix de vente de la production, noté V et exprimé en €/kg, d'où :

$$PE = V * Q = V * D' * IA \quad (9)$$

Estimation des seuils de dégâts économiques.

Le modèle, utilisé pour l'estimation de l'EIL, est établi sur la relation suivante :

Pedigo et al., 1986.

$$EIL = C/VD'K \tag{10}$$

L'estimation des EIL, dont l'unité est captures/piège/semaine, sera effectuée à partir d'une simulation factorielle de 4 efficacités de l'intervention différentes 10, 30,50 et 70% soit (K = 0.05 ; 0.10 et 0.15) en fonction du coût de l'intervention.

RESULTATS

Estimation des pertes

La régression linéaire de R par IA obtient un coefficient de détermination (R²) de 0,83 (fig.22). La fonction affine, dont la relation littérale est donnée à l'équation 8, est la suivante :

$$R = 2823-34.6*IA \tag{11}$$

où Rp = 2823kg/ha et D'=34.6 kg/ha/UI.

Obtenu à partir de conversion des variables utilisées pour la précédente régression, l'abaque indique quelles sont les pertes économiques en fonction de la densité larvaire avec V=2.2 €/kg (fig.23).

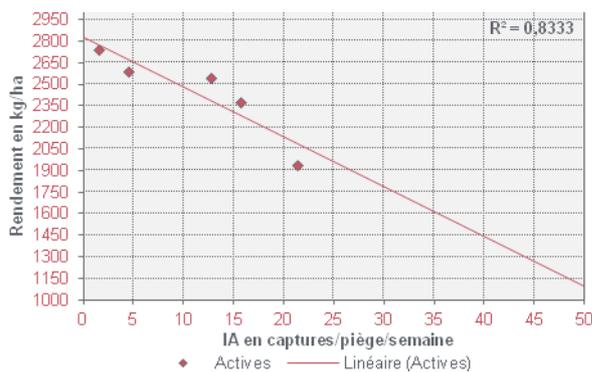


Figure 23 : Régression linéaire pour la mise en évidence de l'influence de l'intensité de l'insecte sur les rendements, évaluée à partir de l'indice annuel d'activité imaginaire (IA).



Figure 22 : Abaque de correspondance entre l'intensité de l'insecte et la perte de chiffre d'affaire, estimée à partir de l'indice annuel d'activité imaginaire (IA).

Estimation des seuils de dégâts économiques.

Les EIL obtenus par simulations donnent des seuils montrant que plus une intervention est efficace et bon marché, plus les seuils d'interventions sont bas (fig.24).

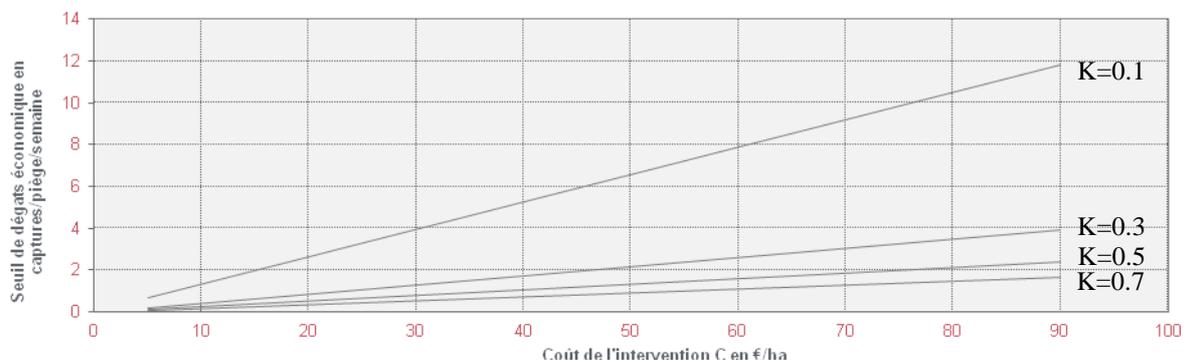


Figure 24: Estimation des seuils de dégâts économiques (EIL) en fonction de l'efficacité et du coût d'une intervention. EIL en captures/piège/semaine; C: Coût en €/ha; K: efficacité de l'intervention insecticide

DISCUSSION

Avec un coefficient de détermination de 0.83, l'impact du ravageur sur la production est précisé. Le résultat a été obtenu à partir d'une formule qui lie l'intensité de la population aux rendements. Après conversion, ce modèle donne les pertes occasionnées en fonction de l'intensité de la population.

Il est possible de savoir, que sur 5 ans la pyrale a engendré en moyenne près de 14% de diminution de rendement par an, soit une perte de 385kg/ha/an ou encore une baisse de chiffre d'affaire de 847€/ha/an. S'il n'avait pas eu d'intervention, l'IA de 2010 aurait valu 31.38 captures/piège/semaine (tab. 4). Dès lors, le rendement potentiel de 2823kg/ha, obtenu dans le contexte moyen de production, aurait été réduit à 1739kg/ha (fig. 22). La perte économique globale se serait élevée à plus de 429000€ pour une seule année de production sur 180ha.

Ces pertes montrent la nécessité de surveiller et de contrôler l'insecte à partir d'actions économiquement rentables ; c'est pourquoi, les seuils de dégâts économiques ont été évalués.

Il est possible de remarquer qu'en ayant recours à un moyen de lutte efficace et peu onéreux, le seuil de dégâts économiques est bas comparé à l'intensité des vols rencontrés sur les 5 années. Ces seuils se justifient par le gain économique réalisé à court terme. Par contre, ils ne prennent en compte ni le risque d'apparition de résistance, ni les pollutions des écosystèmes, ni les dommages imputés aux ressources premières que l'intervention engendre. De même l'estimation du seuil d'intervention doit s'appuyer sur la phénologie de la culture et sur l'impact de l'action insecticide sur les ennemis naturels. (Higley & Wintersteen, 1992 ; Naranjo *et al.*, 2002 ; Conways *et al.*, 2006 ; Musser *et al.*; 2006 ; Zhang & Swinton, 2009). La méthode favorise donc des seuils trop bas.

Ce résultat repose sur le plus large jeu de données disponible obtenu par piégeage sexuel. Pour éviter cette technique et apprécier plus précisément l'impact du ravageur, les pertes pourraient être estimées à partir d'une estimation de l'intensité larvaire réalisée chaque année à la mi-juin.

De plus, un seuil basé sur l'abondance des captures d'imagos est inutilisable en état puisqu'il serait applicable après que les déprédations soient portées. L'objectif est d'avoir un indicateur qui puisse aider à prendre une décision avant l'apparition des dégâts. Il est donc indispensable de connaître les corrélations qui lient le piégeage sexuel aux techniques de quantification précoce afin d'avoir un outil d'aide à la décision opérationnel.

CHAPITRE 9

CARACTERISATION DE LA DISPERSION SPATIALE DE *SPARGANOTHIS PILLERIANA* ET OPTIMISATION DU PLAN D'ECHANTILLONNAGE

INTRODUCTION

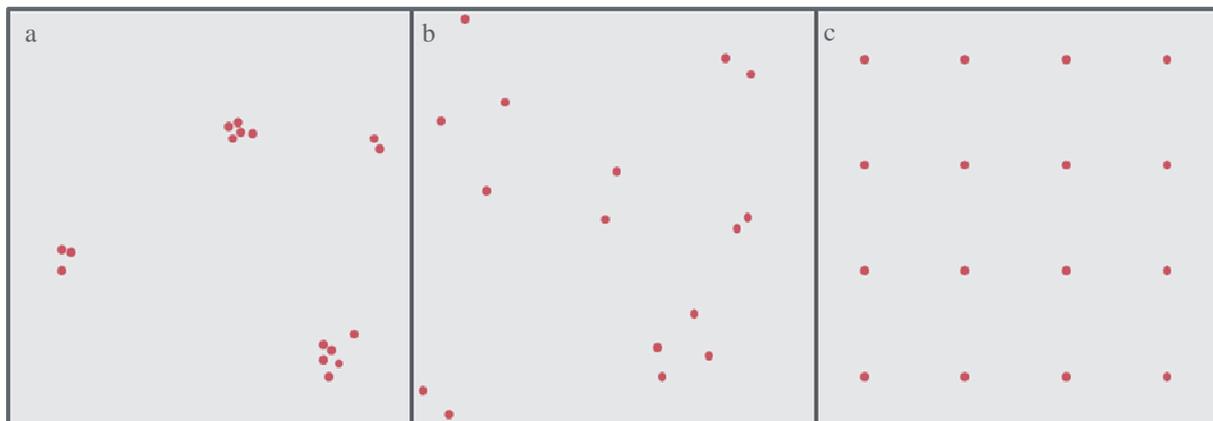
L'estimation absolue des populations est généralement irréalisable à cause du temps et du coût qu'il faut lui allouer (Pedigo, 1994). La qualité de l'échantillonnage est donc une condition essentielle aux programmes de protection intégrée (fig. 1) et à la compréhension de la dynamique des populations (Gonzalez, 1970 ; Taylor, 1984 ; Castle & Naranjo, 2009). Pour sa mise en œuvre, le développement d'un plan d'échantillonnage permet de poser le mode opératoire qu'il est nécessaire de maîtriser pour garantir la représentativité de l'échantillon observé. Ce plan définit l'univers (*i.e.* la population), le nombre et la taille des échantillons élémentaires (*i.e.* des quadrats), les sites à échantillonner et la technique d'échantillonnage qui donne l'information et la durée d'échantillonnage (Pedigo, 1994).

La société d'accueil a besoin de connaître précisément la densité de l'infestation, chaque année après l'apparition des symptômes, pour vérifier l'efficacité d'un traitement ou encore pour estimer l'impact économique du ravageur (chap.8). Il est donc indispensable de mettre en place un plan d'échantillonnage optimisé et de précision connue.

La mise en place d'un plan d'échantillonnage doit être raisonné en fonction de la dispersion du ravageur résultant de l'interaction entre les individus d'une espèce et leur milieu (Sevacherian & Stern, 1972 ; Taylor, 1984 ; Davis, 1994) (fig.25). Mais aucune information n'est disponible concernant la dispersion des populations de *Sparganothis pilleriana*.

De plus, la technique de dénombrement des abris développée au chapitre 3 repose sur une définition empirique du nombre de sous-unités à dénombrer. Ce plan, préconisé en viticulture (Charmillot *et al.* 1996), propose un nombre optimal de sous-unités fixe alors qu'en théorie il varie en fonction de la précision attendue et de la densité de l'insecte (Buntin, 1994 ; Davis, 1994 ; Binns *et al.*, 2000).

C'est pourquoi, l'objectif principal de l'étude est, premièrement, de définir la dispersion spatiale de l'espèce au sein de l'agroécosystème et, deuxièmement, de définir le nombre optimal de quadrats et de sous-unités utiles à une estimation de la densité statistiquement représentatif.



MATERIELS ET METHODES

Evaluation de la dispersion par régression

La technique de régression est la Loi de Puissance de Taylor (Taylor, 1961, 1984). Cette théorie empirique est basée sur la formule suivante :

Taylor, 1961.

$$s^2 = a\bar{X}^b \quad (12)$$

qui lie la variance (s^2) de la dispersion à une puissance fractionnaire de la moyenne (\bar{X}). Après une transformation logarithmique, la formule devient une fonction linéaire :

Southwood, 1978.

$$\log(s^2) = \log(a) + b \log(\bar{X}) \quad (13)$$

avec s^2 et \bar{X} définis plus haut, a un facteur d'échelle dépendant de la procédure d'échantillonnage (Southwood, 1978). b un indice d'agrégation dépendant de l'espèce dans un milieu donné et indépendamment du temps et de l'espace (Taylor, 1961).

Pour définir le type de dispersion (fig.25), b est comparé à l'index d'agrégation suivant :

Taylor, 1961.

$b \approx 1$: Dispersion aléatoire

$b < 1$: Dispersion régulière

$b > 1$: Dispersion agrégée

Pour vérifier si la dispersion est aléatoire ($H_0 : b \approx 1$), un test t est réalisé d'après la condition suivante :

In Davis, 1994.

$$\text{si } t_{\text{th}} > t_{\text{obs}} = \frac{b-1}{s_b} \text{ alors } H_0 \text{ est accepté} \quad (14)$$

avec s_b l'écart-type de la pente du modèle de la régression linéaire et t_{th} la valeur théorique issue de la table de Student (ddl = $N-2$; $\alpha = 0.05$; avec N le nombre de quadrats)

Plan d'échantillonnage préliminaire

Pour obtenir l'indice b , il est nécessaire de réaliser une régression linéaire à partir des moyennes et variances de N quadrats (6m*500m) répartis au sein de la plantation (180ha). L'estimation de la densité d'abris d'un quadrat, définie au sein du chapitre 2, repose sur la formule suivante :

$$\bar{X} = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} \frac{X_i}{n_i} \quad (15)$$

avec N défini plus haut, N_s le nombre de sous-unités dénombrés dans le quadrat, n_i le nombre de plantes successives constituant la sous-unité et X_i le nombre d'abris par sous-unité. Ici, $N=18$, $N_s=10$ et, $n_i = 10$.

Ce sont donc 1800 plantes qui ont été observé entre le 1^{er} juin et le 1er juillet 2012.

Détermination des nombres de quadrats et de sous-unités optimaux

Le nombre optimal de sous-unités N_s est calculée d'après la formule suivante :

Snedecor & Cochran, 1967.
$$N_s = \sqrt{(s_{bs}^2 / s_{ws}^2)(c_{bs} / c_{ws})}$$
 (16)

avec N_s défini plus haut, s_{bs}^2 la variance entre les quadrats, s_{ws}^2 la variance au sein des quadrats, c_{ws} le temps de quantification des abris d'une sous-unité et c_{bs} le temps séparant le dénombrement de 2 quadrats.

Le nombre optimal de quadrats N est défini à partir d'un modèle d'estimation basé sur la Loi de Puissance de Taylor dont la formule est:

In Buntin (1994).
$$N = \frac{(cm^{b-2})}{c^2} ; c = \frac{s}{m}$$
 (17)

avec N défini plus haut, s l'écart-type et m la densité réelle de la population, et c le coefficient de variation définissant le niveau de précision attendu. Plus il est faible, plus l'échantillonnage est précis. Une simulation sera réalisée avec $c=10$ et 25%.

RESULTATS

6708 abris ont été dénombrés à partir des 1800 plantes soit une moyenne de 3.73 abris/plante avec une fluctuation comprise entre 14.76, pour le quadrat le plus infesté, et 0.11 abris/plante pour le moins infesté.

La régression des logarithmes des variances par les logarithmes des densités d'abris moyennes de chaque quadrat permet d'obtenir un coefficient de détermination (R^2) de 0.94 (fig.26). L'indice d'agrégation b est de 1.35 et l'origine à l'ordonnée $\log(a)$ est de -0.15, soit un indice a de 0.71.

L'écart-type de la pente du modèle s_b de 0,087 permet d'obtenir un t_{obs} de 4.06. La valeur théorique issue de la table de Student t_{th} ($ddl=16 ; \alpha=0.05$) est de 2.12. L'hypothèse nulle étant rejetée, la dispersion de *Sparganothis pilleriana* au sein de l'agroécosystème est donc significativement marquée par un niveau d'agrégation.

Les variances entre et au sein des 18 quadrats valent respectivement $s_{bs}^2 \approx 2231$ et $s_{ws}^2 \approx 777$. De plus, 2.5 min sont nécessaires au dénombrement d'une sous-unité c_{ws} et 45 min entre les quadrats c_{bs} .

Le nombre optimal de sous-unités par quadrat N_s est de 11.05. La relation entre le nombre optimale de quadrats N et la densité d'abris moyenne m de la population pour

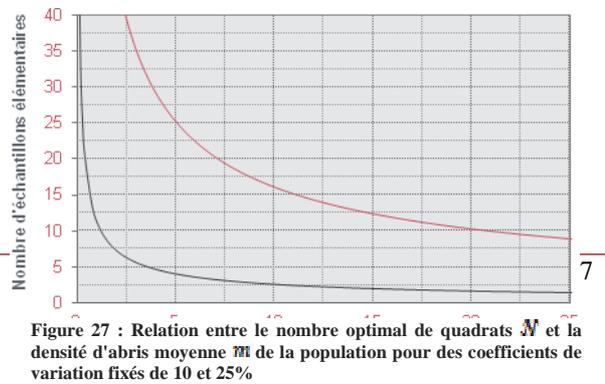
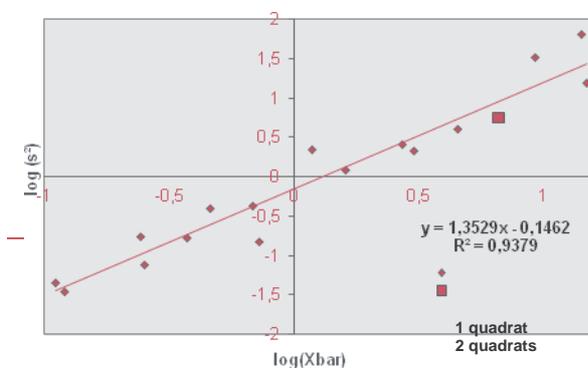


Figure 27 : Relation entre le nombre optimal de quadrats N et la densité d'abris moyenne m de la population pour des coefficients de variation fixés de 10 et 25%

des coefficients de variation fixés de 10 et 25% est montré à la figure 27.

DISCUSSION

L'empirique loi de puissance de Taylor s'applique à de nombreux phénomènes écologiques, biologiques, physiques et économiques, si bien qu'aujourd'hui elle est considérée universelle (Fronczak & Fronczak, 2010).

Malgré qu'il existe en écologie d'autres méthodes de régression liant la moyenne à la variance, ce modèle reste le plus précis et le plus utilisé (Nyrop & Binns, 1991 ; Buntin, 1994 ; Binns *et al.*, 2000 ; Tsai *et al.*, 2000).

Clark & Perry (1994) ont montré par simulation qu'un minimum de 15 observations et qu'une variation d'un facteur 2 entre les densités des observations remplissent les conditions d'utilisation minimales de la loi. Ici, 18 observations dont la densité fluctuait entre 14.76 et 0.11 abris/plante ont été réalisées. Elles ont permis d'obtenir une relation dont le coefficient de détermination (R^2) est supérieur à 0.93 pour une pente b de 1.35.

Le résultat est satisfaisant puisque les pentes sont pratiquement toujours comprises entre 1 et 2 (Kilpatrick & Ives, 2003). La répartition aléatoire est de rare dans la nature (Taylor *et al.*, 1978). Ici le niveau d'agrégation de *Sparganothis pilleriana* est faible mais significativement existant. Ce résultat n'est pas surprenant puisque les lépidoptères tendent à approcher la répartition aléatoire théorique ($b=1$). Au sein des agroécosystèmes de nombreux lépidoptères ont une dispersion faiblement agrégée (Pedigo *et al.* 1982 ; Overholt *et al.*, 1994) voire même considérée aléatoire (Hall & Albrigo 2007 ; Baek *et al.* 2009 ; Higbee & Burks, 2011 ; Paulamoraes *et al.*, 2011). Ce caractère peut être attribuée à l'équilibre entre le niveau de concentration des œufs pouvant parfois être imbriquées, *i.e.* ooplaque (Southwood, 1978 ; Davis & Pedigo, 1989) et la capacité migratoire des femelles gravides dont la détermination est influencée par l'espèce et les conditions anticycloniques (Baltensweiler & Fischlin, 1979 ; Basalto *et al.*, 2010).

La connaissance des paramètres de la Loi de puissance de Taylor donnent les directives pour optimiser le plan d'échantillonnage (Naranjo & Flint, 1995). Il est possible maintenant de quantifier à un degré de précision connu le niveau d'infestation rencontré sur l'exploitation.

Le nombre optimal de sous-unités \mathcal{N}_s composés de 10 plantes a été calculé en fonction de la variance de la méthode et le coût en temps qu'elle nécessite. Il est égal à 11 sous-unités de 10 plantes et, par conséquent, proche des préconisations de Charmillot *et al.* (1996) qui en proposent 10.

Ici on définit aussi le nombre optimal de quadrats \mathcal{N} à dénombrer. Il a été déterminé d'après deux coefficients de variation généralement utilisés en recherche ($c=0.1$) et en protection intégrée ($c=0.25$) (Southwood and Henderson, 2000).

L'intensité d'infestation moyenne est de 3.73 abris/plante en 2012. Connaissant la densité de plantation, cette information est rapidement convertie en densité, soit dans ce cas 89500 *Sparganothis pilleriana* à l'hectare. Cette année a été marqué par une faible infestation, cela précise que dans la plupart des cas, le nombre de quadrats à dénombrer serait inférieur à 5

(fig.27). Cette valeur relativement basse indique que la méthode de dénombrement absolue développée au chapitre 3 est précise d'après les critères de Reisig *et al.* 2011.

DISCUSSION GENERALE

APPORT DU MEMOIRE

L'objectif de l'étude était d'approfondir les connaissances relatives à la pyrale de la vigne pouvant être utile à la protection des cultures. L'étape préliminaire a donc été de connaître l'état du savoir actuel. Un recensement l'information disponible au sujet de *Sparganothis pilleriana* a été réalisé à partir d'un corpus de 34 documents publiés entre 1828 à 2012. Ce travail s'est accompagné d'une acquisition de données, débutée par les anciens stagiaires, et une recherche bibliographique ciblée. Il a permis d'émettre de nouvelles hypothèses (ann.2).

La dynamique de la population a été caractérisée à partir de techniques existantes au sein de la société d'accueil, mais aussi à partir du développement de nouvelles techniques d'échantillonnage. Les conclusions permettent de connaître la répartition dans le temps des étapes-clés du cycle biologique de la pyrale dans le bordelais et de confirmer la sporadicité de l'espèce. Le temps de migration, jamais mesuré auparavant, a été estimé à près d'une semaine grâce au suivi des larves de la litière et de celles arrivées aux sites d'alimentation (chap.3).

Les facteurs de régulation naturelle ont été approchés pour la première fois sur cette interaction (tri)trophique. L'entomofaune utile a été remarqué pour être non-négligeable, sur larve âgée et nymphe, avec près d'un quart de la population de *Sparganothis pilleriana* régulée. *Brachymeria tibialis* représente l'insecte qui s'est le plus distingué dans l'étude avec une part relative de 50 %.

La sporadicité des populations de *Sparganothis pilleriana* reste inexplicée. L'effet des pluies d'août sur la fluctuation des effectifs semble être le principal moteur de la dynamique de la population.

Trois nématodes entomopathogènes ont été testés sur la pyrale de la vigne. Les résultats obtenus *in vitro* sont prometteurs à l'instar de ceux du Spinosad et *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki*. Les baculovirus, CpGV et AcNPV, ont montré leur inefficacité sur les larves âgées de *Sparganothis pilleriana*.

Pour la première fois les pertes engendrées par la pyrale de la vigne ont été estimées. L'impact économique du ravageur est ainsi approché. Il a permis de définir plusieurs seuils d'intervention selon différents couts et efficacités d'intervention.

Obtenu grâce à la loi de puissance de Taylor, un plan d'échantillonnage a été élaboré pour la technique de dénombrement absolue des abris. Il permettra de réaliser une estimation précise de la densité d'infestation rencontrée sur la parcelle.

ANALYSE CRITIQUE

L'insuffisance de données et l'absence de recul caractérisent l'étude. L'approfondissement des connaissances nécessite d'acquérir plus de données pour valider l'ensemble des observations.

Les deux techniques de détection précoces, *i.e.* extraction de Berlèse et dissection de bourgeons, ont été mises au point il y a deux ans et appliquées pour la première fois il y a un an. Les analyses doivent donc faire face au manque d'information. La corrélation entre les deux techniques reposent sur 3 observations en 2011 et sur 5 observations en 2012. Néanmoins leurs coefficients de détermination sont élevés, soit respectivement 0.99 et 0.91. Ces techniques ont permis de définir un temps approximatif de la migration, toutefois, pour avoir une précision plus importante, l'essai devra être réitéré avec un pas de temps plus court entre les observations.

Bien que ce soit une technique biaisée ; le piégeage sexuel a permis d'obtenir le plus large jeu de données disponible avec 650 observations collectées en 5 ans. Il a donc été décidé de l'exploiter. Cependant, aucune corrélation n'a été établie entre les densités larvaires et le taux de captures. Mais puisque la corrélation a été obtenue à plusieurs reprises chez d'autres lépidoptères (Gilbert *et al.*, 2003 ; Augustin *et al.*, 2004 ; Unlu & Ozturk, 2007) et que l'environnement au sein de l'agroécosystème est relativement homogène, l'hypothèse ne peut toujours pas être rejetée.

Un autre facteur d'erreur a été induit. Pour l'estimation du facteur de régulation k_1 (chap.5), il a fallu évaluer le taux de captures qui aurait été observé sans intervention insecticide, un biais a très sûrement été introduit. Toutefois l'analyse comparative des 40 corrélations a indiqué que la fluctuation accordée à l'échantillonnage ne dépasse jamais le seuil déterminé par un coefficient de détermination égale à 0.65.

L'entomofaune a été étudié sur seulement 1 mois et demi. L'échantillon était ciblé dans le temps et sur une catégorie d'organismes utiles, il est donc tronqué. Certaines espèces ont sûrement été omises et d'autres surestimées.

L'essai insecticide a été réalisé sur des larves âgées. Là aussi, la prise en compte des jeunes larves modifierait probablement certaines conclusions et un travail à doses variables aurait permis de mieux cerner la réponse même si le niveau d'appétit semble donner quelques indications. Toutefois, l'objectif était de déterminer qualitativement les candidats pour une planification d'essais. D'autres insecticides auraient mérités une attention particulière. Il s'agit notamment des champignons entomopathogènes. Par contre, leur origine biologique ne constitue pas un gage de sélectivité certains d'entre eux peuvent provoquer des dommages aux populations d'auxiliaires. Enfin, un test statistique pour la comparaison de moyennes aurait permis de distinguer objectivement les modalités.

La modélisation des pertes aurait été plus précise en utilisant une régression logistique. Ce modèle permettrait d'obtenir une courbe de dommages qui représente plus fidèlement la relation trophique (Higley&Pedigo, 1999). Toutefois, face au manque de données, le modèle linéaire a été réalisé et a obtenu un coefficient de détermination acceptable de 0.83.

Les densités faibles diminuent la précision de la Loi de Taylor. Les indices ainsi obtenus peuvent engendrer des variations de résultats significatives lorsqu'ils sont utilisés à d'autres fins (Davis, 1994 ; Kilpatrick & Ives, 2003) ; d'autant que les populations agrégées semblent avoir une dispersion aléatoire lorsque les densités sont faibles (Davis, 1994). Puisque l'agrégation des populations augmente la taille de l'échantillonnage, la faible densité de 2012 peut expliquer une sous estimation du nombre de quadrats à échantillonner.

PERSPECTIVES POUR LA SOCIÉTÉ D'ACCUEIL

Concernant la dynamique sporadique du ravageur, l'avenir proche devra s'attacher à définir la corrélation entre les différentes techniques de quantification. Il sera alors possible de vérifier que le piégeage est proportionnel à la densité larvaire et les seuils d'intervention calculés ici seront convertis pour les rendre opérationnels précocement.

Les facteurs de mortalité naturelle doivent être appréhendés plus précisément afin d'établir un modèle prédictif de la dynamique de la population pour évaluer *a priori* le risque de dommage.

D'importantes pertes économiques sont occasionnées par la pyrale. Si le recours aux interventions insecticides est choisi, alors les applications sélectives devront être réalisées le plus précocement possible à partir de la reprise d'activité larvaire. C'est à ce moment que les dommages portés sur les auxiliaires sont les plus faibles (Voukassovitch, 1924 ; Cabezuelo & Berger, 1980 ; Del Rivero &

Garcia-Mari, 1984) et que la pyrale est la plus exposée (Mazet, 1905 ; Ravaz, 1920 ; Russ, 1960 ; Bovey, 1966).

L'effort de diversification des méthodes de lutte doit être poursuivi. Il serait intéressant d'évaluer l'influence d'un choc thermique appliquée sur la litière lors de la reprise d'activité. L'échaudage était le principal moyen de lutte utilisé en viticulture du début au milieu du 20^{ème} siècle (Rinville *et al.*, 1997).

Pour limiter l'emploi des insecticides, la distribution spatiale de l'infestation, changeante d'année en année (Vinatier *et al.*, 2011), devrait être définie. L'utilisation de la géolocalisation, des Systèmes d'Information Géographique et des géostatistiques fournirait des cartes de répartition (fig.28) qui faciliteraient la sélection des zones d'actions et l'analyse de l'évolution de l'infestation.

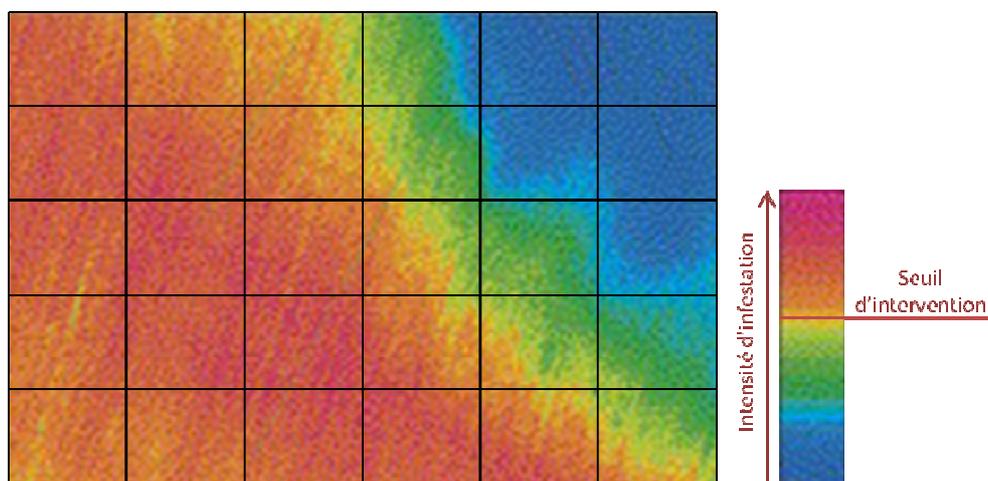


Figure 28 : Carte pouvant être obtenue après une analyse de la distribution spatiale de l'infestation. Chaque rectangle symbolise une parcelle. Bartier, 2012.

Cette analyse serait réalisée lors du pic de l'extraction de Berlèse et une seconde serait réalisée à l'apparition des symptômes grâce au plan d'échantillonnage développé au chapitre 9.

Mais puisqu'il convient d'éviter l'usage des insecticides de toute nature, lorsque la confusion sexuelle sera disponible, il conviendra de l'utiliser puisqu'elle est très efficace et adaptée à la taille de la plantation (Schmidt-Tiedemann *et al.*, 2001).

Plus encore, la lutte par conservation des ennemis naturels est préconisée et doit être favorisée par l'aménagement du paysage à l'échelle du parcellaire et par l'adaptation des pratiques culturales. L'objectif est de réduire les méfaits de la monoculture.

BIBLIOGRAPHIE

- Andow D.A., Kareiva P.M., Levin S.A., Okubo A. (1990). Spread of invading organisms. *Landscape Ecology*, 4, pp.177-188.
- André E. (1882). Les parasites et les maladies de la vigne. 1^{éd.}, Vogt Press, Genève, 250p.
- Audouin V. (1842). Histoire des insectes nuisibles à la vigne et particulièrement de la pyrale. 1^{éd.}, Fortin, Masson et Cie, Paris, 349p.
- Augustin S., Guichard S., Svatos A., Gilbert M. (2004). Monitoring the regional spread of the invasive leafminer *Cameraria ohridella* (*Lepidoptera: Gracillariidae*) by damage assessment and pheromone trapping. *Env. Entomol.*, 33, pp.1584-1592.
- Baek J., Cho Y., Koo W.W. (2009). The environmental consequences of globalization: a country-specific time-series analysis. *Ecol. Econ.*, 68, pp.2255-2264.
- Balevski A. (1950). Nouvelles possibilités dans la lutte chimique contre la pyrale (*Sparganothis pilleriana*, Schiff.). *Rev. Inst. Rech. Sci.*, 18, pp.69-88.
- Baltensweiler W., Fischlin A. (1979). The role of migration for the population dynamics of the larch bud moth, *Zeiraphera diniana* Gn. (*Lep. Tortricidae*). *Bull. Soc. Entomol. suisse*, 52, pp.259-271.
- Barbuceanu D., Andriescu I. (2008). *Diadegma germanica* Horstman, (*Hymenoptera: Ichneumonidae*), an important parasitoid of grape leaf-roller *Sparganothis pilleriana* Den. et Schiff. larvae in Southern vineyards of Romania. *Seria Horticultura USAMV*, 51, pp.1321-1326.
- Basoalto E., Miranda M., Knight A.L., Fuentes-Contreras E. (2010). Landscape analysis of adult codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) : distribution and dispersal within typical agroecosystems dominated by apple production in central Chile. *Enviro. Entomol.* 39, pp.1399-1405.
- Binns, M. R., Nyrop J.P., van der Werf W. (2000). Sampling and monitoring in crop protection. CAB International Wallingford, Oxon, 284p.
- Bovey P. (1966). Pyrale de la vigne. In : Entomologie appliquée à l'agriculture, Tome II, Volume 1 Lépidoptères. Balachowsky A. S., (1^{éd.}) Masson et Cie, Paris, pp.617-631.
- Buntin G.D. (1994). Developing a primary sampling program. In: Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. Pedigo L.P. & Buntin G.D., (1^{éd.}) CRC press, Boca Raton, pp.99-115.
- Byers J. (2012). Estimating insect flight densities from attractive trap catches and flight height distributions. *J. Chem. Ecol.*, 38, pp.592-601.
- Cabezuelo P., Berger H. (1980). La lutte intégrée en viticulture dans la région de 'La Mancha' (Espagne). In: International symposium of IOBC/WPRS on integrated control in agriculture and forestry. Vienne, 8-12 octobre 1979, pp.515.
- Caldumbide C., Faessel L., Travers M., Thierry D., Rat-Morris E. (2001). Les chrysopes communes, auxiliaires polyvalents. *Phytoma*, 540, pp.14-19.
- Campbell J.F., Mullen M.A., Dowdy A.K. (2002). Monitoring stored-product pests in food processing plants with pheromone trapping, contour mapping, and mark-recapture. *J. Econ. Entomol.*, 95, pp.1089-1101.
- Castle S., Naranjo S.E. (2009). Sampling plans, selective insecticides and sustainability: the case for IPM as 'informed pest management'. *Pest Manag Sci.* 65, pp.1321-1328.
- Chambers U., Bruck D.J., Olsen J., Walton V.M. (2010). Control of overwintering filbertworm (*Lepidoptera: Tortricidae*) larvae with *Steinernema carpocapsae*. *J. Econ. Entomol.*, 103, pp.416-422.
- Chambon J.P. (1986). Les tordeuses nuisibles en arboriculture fruitière. 1^{éd.} Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 120p.
- Charmillot P.J., Pasquier D., Höhn H. (1996). Fiche 827 : La pyrale de la vigne. 1^{éd.}, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil, Wädenswil, 2p.
- Clark S.J., Perry J.N. (1994). Small sample estimation for Taylor's power law. *Enviro. and Ecol. Stat.*, 1, pp.297-302.
- Conway, H. E., Steinkraus D. C., Ruberson J. R., Kring T. J. (2006). Experimental treatment threshold for the cotton aphid (*Homoptera: Aphididae*) using natural enemies in Arkansas cotton. *J. Entomol. Sci.* 4, pp. 361-373.
- Cornell H.V., Hawkins B.A. (1995). Survival patterns and mortality sources of herbivorous insects : some demographic trends. *The Am. Nat.*, 145, pp.563-593.
- Davis P.M. (1994). Statistics for describing population. In : Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture. Pedigo L.P., Buntin G.D., (éd) CRC Press, inc. Boca Raton, pp.33-54.
- Davis P.M., Pedigo L.P. (1989). Analysis of spatial patterns and sequential count plans for stalk borer (*Lepidoptera: Noctuidae*). *Enviro. Entomol.*, 18, pp.504-509.
- Deguine J., Ferron P., Russell D. (2008). Protection des cultures, de l'agrochimie à l'agroécologie. 1^{éd.}, Quae, Paris, 187p.
- Del Rivero J.M., García-Marí, F. (1984). Ensayo de productos contra la yesca de la vid y la piral de la vid en tratamientos de invierno. *Boletín de sanidad vegetal*, 10, pp. 17-30.
- Directive 2009/128/CE du Parlement Européen et du Conseil (2009). Directive instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. *Journal officiel de l'Union Européenne* du 24 novembre 2009.
- Eigenbrode S.D., Stoner K.A., Shelton A.M., Kain W.C. (1991). Characteristics of glossy leaf waxes associated with resistance to diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) in *Brassica*. *J. Econ. Entomol.*, 84, pp.1609-1618.
- Eigenbrode S.D., Shelton A.M., Dickson M.H. (1990). Two types of resistance to the diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) in cabbage. *Environ. Entomol.* 19, pp.1086-1090.
- Feeny P. (1976). Plant apparency and chemical defense. *Recent Adv. Phytochem.*, 10, pp.1-40.
- Fitt G.P., Wilson L., Mensah R., Daly J. (2009). Advances with integrated pest management as a component of sustainable agriculture: the case of the Australian cotton industry. In : 4th International Crop Science Congress, Brisbane, 2004, 11p.
- Fronczak A., Fronczak P. (2010). Origins of Taylor's power law for fluctuation scaling in complex systems. *Phys. Rev. E* 81, 066112.
- Galet P. (1982). Les maladies & les parasites de la vigne, Tome 2. 2^{éd.}, Impr. du Paysan du Midi, Montpellier, 1008p.
- Gaprindashvili N.K. (1975). Biological control of the main pests on tea plantations in the Georgian SSR. In : VIII International Plant Protection Congress, Moscou, 1975, pp.29-33.
- Gardiner M.M., Landis D.A., Gratton C., Difonzo C.D., O'Neal M., Chacon J.M., Wayo M.T., (2009). Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA. *Ecol. Appl.*, 19, pp.143-154.
- Gaugler R. (1999). Matching nematodes and insect to achieve optimal performance. In : Optimal use of insecticidal nematodes in pest management, New Brunswick, 1999, pp.9-14.
- Gilbert M., Svatos A., Lehmann M., Bacher S. (2003). Spatial patterns and infestation processes in the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic' (*Lepidoptera: Gracillariidae*): a tale of two cities. *Entomol. Exp. Appl.*, 107, pp.25-37.
- Glare T.M., O'Callaghan M. (2000). *Bacillus thuringiensis*: Biology, Ecology and Safety. 1^{éd.}, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 368p.
- Gonzalez D. (1970). Sampling as a basis for pest management strategies. Tall Timbers Conf. *Ecol. Anim. Cont. Hab. Manag.*, Reynoldsburg, pp.83-101.
- Griffon M. (2006). Nourrir la planète : Pour une révolution doublement verte. 1^{éd.}, Odile Jacob, Paris, 456p.
- Guerin P.M., Buser H.R., Tóth M., Höbaus E., Schmid A., Arn, H. (1986). Sex pheromone of *Sparganothis pilleriana*: E- and Z-11-Tetradecenylacetates as essential compounds. *Entomol. Exp. Appl.*, 40, pp.137-140.
- Haifeng Z., Lijun J., Li S. (1984). The life history, habits and control measures of *Sparganothis pilleriana*. *Sci. Silvae Sinicae*, 20, pp.100-103.
- Hajek A.E., St. Leger R.J. (1994). Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Ann. Rev. Entomol.*, 39, pp. 293-322.
- Hall D.G., Albrigo L.G., Estimating the relative abundance of flush shoots in citrus with implications on monitoring insects associated with flush. *HortScience*, 42, pp.364-368.
- Higbee B.S., Burks C.S. (2011). Effect of bait formulation and number of traps on detection of navel orangeworm (*Lepidoptera: Pyralidae*) oviposition using egg traps. *J. Econ. Entomol.*, 104, p.211-219.
- Higley L.G., Pedigo L.P. (1999). Decision thresholds in pest management. In : Handbook of pest management. Ruberson J.R., (1^{éd.}) Marcel Dekker Inc, New York & Basel, pp.741-763.
- Higley L.G., Wintersteen W. K., (1992). A novel approach to environmental risk assessment of pesticides as a basis for incorporating environmental costs into economic injury levels. *Am. Entomol.*, 38, pp.34-39.

- Hunter A., Elkinton J.S. (2000). Effects of synchrony with host on populations of spring-feeding lepidopteran. *Ecol.*, 81, pp.1248-1261.
- Hutchins S.H. (1994). Techniques for sampling arthropods in integrated pest management. In: *Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. Pedigo L.P. & Buntin G.D., (éd.) CRC press, Boca Raton, pp.99-115.
- Inglis G.D., Goettel M.S., Butt T.M., Strasser H. (2001). Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In : *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential*. Butt T.M., Jackson C. Magan N., (éd.) CABI Publishing, Oxford, pp.23-69.
- Johnson C.W., Goyer R.A., Lenhard G.J. (2007). Asynchronous budbreak in *Taxodium distichum* L. Richard (Baldcypress) as a mode of resistance against Archipis goyerana Kruse (Baldcypress leafroller). *J. Coastal Res.*, 23, pp.1503-1503.
- Jung J. (1828). Bulletin des sciences agricoles et économique, Tome X. 1^{éd.}, Didot, Paris, 352p.
- Kara K., Tschorsnig H.P. (2003). Host catalogue for the Turkish *Tachinidae* (Diptera). *J. Appl. Entomol.*, 127, pp.465-476.
- Karagoz M., Gulcu B., Hazir S., Kaya H.K. (2009). Laboratory evaluation of Turkish entomopathogenic nematodes for suppression of the chestnut pests, *Curculio elephas* (Coleoptera: Curculionidae) and *Cydia splendana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Biocont. Sci. Techno.*, 19, pp.755-768.
- Kaya H.K., and Gaugler R. (1993). Entomopathogenic nematodes. *Annu. Rev. Entomo.*, 38, pp.181-206.
- Kilpatrick A.M., Ives A.R., (2003). Species interactions can explain Taylor's power law for ecological time series. *Nat.*, 422, pp.65-68.
- Kogan M., Lattin J.D. (1999). Agricultural systems as ecosystems. In : *Handbook of pest management*. Ruberson J.R., (éd.) Marcel Dekker Inc, New York & Basel, pp.1-34.
- Kogan M. (1998). Integrated pest management: historical perspectives and contemporary development. *Annu. Rev. Entomol.*, 43, pp.243-270.
- Lacey L.A., Thomson D., Vincent C., Arthurs S.P. (2008). Codling moth granulovirus: a comprehensive review. *Biocont. Sci. Techno.*, 18, pp.639-663.
- Lacey L.A., Arthurs S.P., Unruh T.R., Headrick H., Fritts Jr R. (2006). Entomopathogenic nematodes for control of codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) in apple and pear orchards: Effect of nematode species and seasonal temperatures, adjuvants, application equipment, and post-application irrigation. *Biolo. Cont.*, 37, pp.214-223.
- Lacey L.A., Neven L.G., Headrick H.G., Fritts Jr R. (2005). Factors affecting entomopathogenic nematodes (*Steinernematidae*) for control of overwintering codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) in fruit bins. *J. Econ. Entomo.*, 98, pp.1863-1869.
- Lomeli-Flores J.R., Barrera J.F., Bernal J.S. (2010). Impacts of weather, shade cover and elevation on coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (*Lepidoptera: Lyonetiidae*) population dynamics and natural enemies. *Crop Protection*, 29, pp.1039-1048
- Loi n°2009-967 (2009). Loi de programmation relative à l'application du Grenelle de l'Environnement. Journal officiel de la République française du 5 août 2009.
- Louis F., Schmidt-Tiedmann A., Schirra K.J. (2002). Control of *Sparganothis pilleriana* Schiff. and *Lobesia botrana* Den. & Schiff. in german vineyards using sex pheromone-mediated mating disruption. *Bull. IOBS/WPRS*, 25, pp.51-58.
- Mandour N.S., Osman M.A.M., Mahmoud M.F., Mosleh Y.Y. (2008). Evaluation of spinosad as a biopesticide for controlling the jasmine moth, *Palpita unionalis* Hb. (*Lepidoptera: Pyralidae*). *Egyptian J. of Biol.* Pest Con.1, 18, pp.207-213
- Mayet V. (1890). Les insectes de la vigne. 1^{éd.}, Coulet, Montpellier, 470p.
- Moizand A. (2010). Rapport de stage, confidentiel.
- Moral Garcia F.J. (2006). Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato field using a stochastic approach. *Biosyst. Engin.*, 93, pp.253-259.
- Musser F.R., Nyrop J.P., Shelton A.M.. (2006). Integrating biological and chemical controls in decision making: European corn borer (*Lepidoptera: Crambidae*) control in sweet corn as an example. *J. Econ. Entomol.*, 99, pp.1538-49.
- Naranjo S.E., Hagler J.R., Ellsworth P.C. (2003). Improved conservation of natural enemies with selective management systems for *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*) in cotton. *Biocont. Sci. Techno.* 13, pp.571-587.
- Naranjo S.E., Ellsworth P.C., Chu C.C., Henneberry T.J. (2002). Conservation of predatory arthropods in cotton : Role of action thresholds for *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*). *J. Econ. Entomol.*, 95, pp.682-691.
- Naranjo S.E. (2001). Conservation and evaluation of natural enemies in IPM systems for *Bemisia tabaci*. *Crop protection*, 20, pp.835-852.
- Naranjo S.E. (1995). Sampling *Bemisia* for research and pest management applications. In : *Bemisia : 1995. Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling D., Mayer R.T., (éd.) Intercept Ltd, Andover, pp.209-224.
- Naranjo S.E., Flint H.M. (1995). Spatial distribution of adult *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*) in cotton and development and validation of fixed-precision sampling plans for estimating population density. *Environ. Entomol.*, 24, pp.261-270.
- Nyrop J.P., Binns M. (1991). Quantitative methods for designing and analysis sampling programs for use in pest management. In : *Handbook of pest management in agriculture*. Pimentel D., (2^{éd.}) CRC press, Boca Raton, pp.67-132.
- OEPP (2002). Bonne pratique phytosanitaire. *Bull. OEPP*, 32, pp.371-392.
- ONU (1992). Agenda 21. In : U.N. Conf. Environ. Dev., Rio de Janeiro, 1992.
- Overholt W.A., Ogedah K., Lammers P.M. (1994). Distribution and sampling of *Chilo partellus* (*Lepidoptera: Pyralidae*) in maize and sorghum on the Kenya coast. *Bul. Entomol. Res.*, 84, pp.367-378.
- Paula-Moraes S., Burkness E.C., Hunt T.E., Wright R.J., Hein G.L., Hutchison W.D. (2011). Cost-effective binomial sequential sampling of western bean cutworm, *Striacosta albicosta* (*Lepidoptera: Noctuidae*), egg masses in corn. *J. Econ. Entomol.*, 104, pp.1900-1908.
- Parry D., Spence J.R., Volney W., Jan A. (1998). Budbreak phenology and natural enemies mediated survival of first-instar forest tent caterpillar (*Lepidoptera:Lasiocampidae*). *Entomol. Soc. Am.*, 7, pp.1368-1374.
- Pedigo L.P. (1994). Introduction to sampling arthropod populations. In : *Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture*. Pedigo L.P., Buntin G.D., (éd) CRC Press, Boca Raton, pp.1-14.
- Pedigo L.P., Hutchins S.H., Higley L.G. (1986). Economic injury levels in theory and practice. *Ann. Rev. entomol.*, 31, pp.341-368.
- Pedigo L.P., Buntin G.D., Bechinski E.J. (1982). Flushing technique and sequential-count plan for green cloverworm (*Lepidoptera: Noctuidae*) moths in soybean. *Environ. Entomol.*, 11, pp.1223-1228.
- Perez Marin J.L., Ramos Saez de Ojer J.L. (2011). Piral de la vid, biologia, sintomas, danos y estrategia de lucha. *Agric. Vergel*, 345, pp.101-108.
- Pineda S., Schneider M., Smaghe G., Martínez A., Del Estal P., Viñuela E., Valle J., Budia F. (2007). Lethal and sublethal effects of methoxyfenozide and spinosad on *Spodoptera littoralis* (*Lepidoptera: Noctuidae*). *J. Econ. Entomo.*, 100(3), pp.773-780.
- Ragut C. (1841). Compte-rendu des travaux de la société d'agriculture, sciences et belles-lettres de Macon. 1^{éd.}, Dejussieu, Macon, 476 p.
- Ravaz L. (1920). Les traitements arsenicaux contre la pyrale. *Pro. Agricol. Viticol.*, 74, pp.53-55.
- Raymond B., Johnston P., Nielsen-LeRoux C., Lereclus D., Crickmore N. (2010). *Bacillus thuringiensis*: an impotent pathogen? *Trends in microbiology*, 18, pp.189-194.
- Reddy G.V.P. (2012). Recent trends in the olfactory responses of insect natural enemies to plant volatiles. *Signal. Comm. Plants*, 14, pp.281-301.
- Regier J.C., Brown J.W., Mitter C., Baixeras J., Cho S., Cummings M.P., Zwick A. (2012). A molecular phylogeny for the leaf-roller moths (*Lepidoptera: Tortricidae*) and its implications for classification and life history evolution. *PLoS ONE* 7, e3557.
- Règlement n°1782/2003/CE du Conseil (2003). Règlement établissant des règles communes pour les régimes de soutien direct dans le cadre de la politique agricole commune et établissant certains régimes de soutien en faveur des agriculteurs. Journal officiel de l'Union Européenne de 21 octobre 2003.
- Reisig D.D., Godfrey L.D., Marcum D.B. (2011). Spatial dependence, dispersion, and sequential sampling of *Anaphothrips obscurus* (*Thysanoptera: Thripidae*) in Timothy. *Environ. Entomol.*, 40, pp.689-696.
- Rinville C., Virion M.C., Panon M.L., Panigai, L. (1999). Pyrales: mise au point d'une méthode de comptage plus séduisante. *Vign. Champ.*, 120, pp.59-63.
- Rinville C., Moncomble D. (1998). Contre la pyrale: une nouvelle méthode de comptage et des homologations récentes pour accompagner la lutte raisonnée. *Vign. Champ.*, 119, pp.29-32.
- Rinville C., Moncomble D., Descotes A. (1997). Pyrales : le retour. *Vign. Champ.*, 118, pp.29-37.
- Roy H.E., Steinkraus D.C., Eilenberg J., Hajek A.E., Pell j.k. (2006). Bizarre interactions and endgames: entomopathogenic fungi and their arthropod hosts. *Ann. Rev. Entomol.*, 51, pp.331-357.

- Russ K., Rupf O. (1970). Beobachtungen über die Beendigung der Eudiapause von *Sparganothis pilleriana* Schiffermüller (Springwurmwickler). I. Beendigung der Eudiapause unter Freilandbedingungen. Pflanzenschutzberichte, 41, pp.187-191.
- Russ K. (1960). Ein Schritt weiter in der Springwurmbeekämpfung. Pflanzenarzt, 13, pp.13-14.
- Savary A., Baggiolini M. (1958). La lutte contre la pyrale de la vigne (*Sparganothis pilleriana* Schiff.) dans les cultures de fraises. Rev. Romane Agric. Vitic. Arboric., 14, pp.81-83.
- Schmidt-Tiedemann A., Louis F., Zebitz C.P.W., Arn H. (2001). Successful control of *Sparganothis pilleriana* (Lepidoptera : Tortricidae) by mating disruption - Conclusions from a three-year study. Bull. OILB/WPRS, 24, pp.89-93.
- Schneider-Orelli O. (1947). Entomologisches Praktikum; Einführung in die land- und forstwirtschaftliche Insektenkunde. 1éd., Aarau, Sauerländer, 237p.
- Sentenac G. (2003). Les antagonistes naturels des insectes ravageurs de la vigne. In : Journées techniques viticulture biologique, Cognac, 2003, pp.49-55.
- Senthil Nathana S., Kalaivanib K., Muruganb K., Chunga P.G. (2005). The toxicity and physiological effect of neem limonoids on *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) the rice leafhopper. Pest. Bioch. Physiol., 81, pp.113-122.
- Sevacherian V., Stern V. M. (1972). Sequential sampling plans for Lygus bugs in California cotton fields. Environ. Entomol., 1, pp.704-710.
- Snedecor G.W., Cochran W.G. (1967). Statistical methods. 6éd., State University Press, Ames, 593p.
- Singer M.S., Stireman J.O. (2003). What determines host range in parasitoids? An analysis of a tachinid parasitoid community. Oecol., 135, pp.629-638.
- Shah P.A., Pell J.K. (2003). Entomopathogenic fungi as biological control agents. Appl. Microbiol. Biotech., 61, pp.413-423.
- Shahini S., Kullaj E., Çakalli A., Çakalli M., Lazarevska S., Pfeiffer D.G., Gumeni R. (2010). Population dynamics and biological control of European grapevine moth (*Lobesia botrana*: Lepidoptera: Tortricidae) in Albania using different strains of *Bacillus thuringiensis*. Inter. J. Pest Manag., 56, pp.281-286.
- Southwood, T.R.E. and P.A. Henderson. 2000. The sampling programme and the measurement of description and dispersion. In: Ecological Methods. 3éd., Blackwell Science Ltd., Oxford, pp.7-62.
- Southwood T.R.E. (1978). Ecological methods, 2éd., Wiley/Halsted, New York, 524p.
- Stern V.M., Smith R.F., van den Bosch K., Ragen K.S. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concept. Hilgard., 29, pp.81-101.
- Stuart R.J., Barbercheck M.E., Grewal P.S., Taylor R.A.J., Hoy C.W. (2006). Population biology of entomopathogenic nematodes: Concepts, issues, and models. Biological control, 38, pp.80-102.
- Stoner K.A. (1997). Behaviour of neonate imported cabbageworm larvae (Lepidoptera: Pieridae) under laboratory conditions on collard leaves with glossy or normal wax. J. Entomol. Sci., 32, pp.290-295.
- Szewczyk B., Rabalski L., Krol E., Sihler W., Lobo de Souza. M. (2009). Baculovirus biopesticides - a safe alternative to chemical protection of plants. J. Biopest., 2, pp.209-216.
- Tan S.Y., Yusuf I., Dzolkhifli O. (2008). Efficacy of *Bacillus thuringiensis* Berliner subspecies *Kurstaki* and *Atizawai* against the bagworm, *Metisa plana* walker on oil palm. J. Biosci., 19, pp.103-114.
- Taylor L.R. (1984). Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. Ann. Rev. Entomol., 29, pp.321-357.
- Taylor L.R., Woiwod I.P., Perry J.N. (1978). The density-dependence of spatial behavior and the rarity of randomness. J. Anim. Ecol., 47, pp.383-406.
- Taylor L.R. (1961). Aggregation, variance and the mean. Nature, 189, pp.732-735.
- Thiéry D., Kuntzmann P., Sentenac G. (2011). Tordeuses de la vigne. In : La faune auxiliaire des vignobles de France. Sentenac G., (1éd.) Editions France Agricole, Paris, pp.16-27.
- Thiéry D. (2009) Futur dans la lutte contre les vers de la grappe. In : Colloque Euroviti, Montpellier, 2009, pp.21-30.
- Thiéry D., Retaud P., Dumas-Lattaque L. (2006). Piégeage alimentaire de l'eudemis de la vigne. Phytoma, 592, pp.27-30.
- Tobin P.C., Zhang P., Onufrieva K., Leonard D. (2011). Field evaluation of effect of temperature on release of disparlure from a pheromone-baited trapping system used to monitor gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). J. Econ. Entomol., 104, pp.1265-1271.
- Tobin P.C., Nagarkatti S., Saunders M.C. (2002). Diapause maintenance and termination in grape berry moth (Lepidoptera: Tortricidae). Envir. Entomol., 31, pp.708-713.
- Tolle P. (2011). Rapport de stage, confidentiel.
- Tsai J.H., Wang J.J., Lui Y.H. (2000). Sampling of *Diaphorina citri* (Homoptera : Psyllidae) on orange jessamine in southern Florida. Flo. Entomol., 83, pp.446-459.
- Unlu, L. Ozturk, I. (2007). Relationships between the numbers of adult male pink bollworm (*Pectinophora gossypiella* Saund.) catches on pheromone traps and infestation ratio of cotton bolls. J. Entomol., 5, pp.397-400.
- Unruh T.R., Lacey L.A., Headrick H.L., Pfannenstiela R.S. (2012). The effect of the granulovirus (PapyGV) on larval mortality and feeding behaviour of the Pandemis leafroller, Pandemis pyrusana (Lepidoptera: Tortricidae). Biocont. Sci. Techno., 22, pp.981-990.
- Villemant C., Delvare G. (2011). Clé simplifiée d'identification des espèces d'hyménoptères parasitoïdes des Tortricidae de la vigne. In : La faune auxiliaire de la vigne. Sentenac G., (1éd.) Editions France Agricole, Paris., pp.292-311.
- Villemant C., Delvare G., Martinez M., Sentenac G., Kuntzmann P. (2011). Les principaux auxiliaires en viticultures : description, écologie, biologie. In : Sentenac G., (1éd.) Editions France Agricole, Paris, pp.119-136.
- Vinatier F., Tixier P., Duyck P.F., Lescourret F. (2011). Factors and mechanisms explaining spatial heterogeneity: A review of methods for insect populations. Meth. Ecol. Evol., 2, pp.11-22.
- Voukassovitch P., (1924). Contribution à l'étude de l'eudemis (*Polychrosis botrana*, Schiff.), de la pyrale de la vigne (*Oenophthira pilleriana*, Schiff.) et de leurs parasites Doctorat de Zoologie., Université de Toulouse, 248p.
- Ware G.W., Whitacre D.M. (2004). The pesticide book. 1éd., MeisterPro, Willoughby, 488p.
- Watt A.D., Mc Farlane A.M. (1991). Wintermoth on sitka spruce : synchrony of egg hatch and budburst, and its effect on larval survival. Ecol. Entomol., 16, pp.387-390.
- Weed A.S., Gassmann A., Leroux A.M., Casagrande R.A. (2011). Performance of potential European biological control agents of *Vincetoxicum* spp. with notes on their distribution. J. Appl. Entomol., 135, pp.700-713.
- Williams T., Valle J., Vinuela E. (2010). Is the naturally derived insecticide spinosad compatible with insect natural enemies? Biocont. Sci. Techno., 13, pp.459-475.
- Witzgall P., Stelinski L., Gut L., Thomson D. (2008). Codling moth management and chemical ecology. Annu. Rev. Entomol., 53, pp.503-522.
- Wu Z., Schenk-Hamlin D., Zhan W., Ragsdale D.W., Heimple G.E. (2004). The soybean aphid in China: a historical review. Ann. Entomol. Soc. Am. 97, pp.209-218.
- Xiao H.J., Li F., Wei X.T., F.S. Xue , A comparison of photoperiodic control of diapause between aestivation and hibernation in the cabbage butterfly *Pieris melete*, J. Insect Physiol., 54, pp.755-764.
- Yin X., Wu Q., Li X., Zhang Y., Xu B. (2008). Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). Crop Protec., 27, pp. 1385-1391.
- Zalucki M.P., Clarke A.R., Malcolm S.B. (2002). Ecology and behavior of first instar larval *Lepidoptera*. Annu. Rev. Entomol., 47, pp.361-393.
- Zartaloudis Z.D., Kalapanida M.D., Navrozidis E.I. (2009). Efficacy and speed of action of selected plant protection products on *Lymantria dispar* in laboratory conditions. Entomol. Hellen., 18, pp.62-73.
- Zehnder, G. W.; Gelernter, W. D. (1989). Activity of the M-ONE formulation of a new strain of *Bacillus thuringiensis* against the colorado potato beetle (*Coleoptera: Chrysomelidae*): Relationship between susceptibility and insect life stage. J. Econ. Entomo., 82, pp.756-761.
- Zhang W.Z., Swinton S.M. (2009). Incorporating natural enemies in an economic threshold for dynamically optimal pest management. Ecol. Model., 220, pp.1315-1324.

CONCLUSION PERSONNELLE

Sparganothis pilleriana a fait l'objet de peu d'études. De nature polyphage, elle affecte des filières dont l'importance économique est considérablement réduite comparée à celle de certains géants des grandes cultures. L'investissement alloué à la recherche et au développement est, dans ce cas, amoindri lui aussi. L'accès à l'information représente, pour ses filières mineures mais indispensables, un facteur de succès pour le développement rapide de stratégies efficaces et respectueuses de l'environnement.

J'ai donc souhaité faciliter la diffusion du mémoire afin qu'il ait la possibilité de dépasser les frontières de la société d'accueil. La contrepartie est lourde pour un sujet de cette nature. La localisation précise et l'accès à certains travaux préliminaires sont impossibles. Le plus préjudiciable est d'avoir dissimulé la plante-hôte, base des interactions trophiques ; je l'ai caché, elle, qui est si généreuse.

ANNEXE I : MORPHOLOGIE DE SPARGANOTHIS PILLERIANA.

L'imago, de forme triangulaire au repos, mesure de 20 à 24 mm d'envergure et 11 à 16 mm de longueur (Audouin, 1842). L'aile postérieure est grise avec une frange plus claire. L'aile antérieure est de couleur variable, elle fluctue du brun cuivré au jaune doré. Elle est ornementée d'une tâche et de trois bandes transversales ferrugineuses dont deux obliques et une dernière formant un liseré sur la frange (Bovey, 1966). Ce patron est plus ou moins marqué selon l'adulte, et peut s'estomper totalement, notamment chez les femelles (fig.1).

La particularité morphologique de cette tordeuse est due à ses palpes labiaux remarquablement allongés. En anglais, ce caractère lui offre le nom commun de long-palpi tortrix. L'observation de la face ventrale de l'abdomen permet de déterminer le sexe du papillon. Chez le mâle, l'abdomen est mince et terminé par un peigne alors que chez la femelle, il est bombé par les œufs contenus et invaginé à son extrémité (fig.2).



Figure 29 : Femelles adultes présentant des ornementsations faiblement marquées (a) ou totalement estompées (b). Bartier, 2012.



Figure 30 : Dimorphisme abdominal des imagos. a: mâle ; b: femelle). Bartier, 2012

Les œufs sont plats, ovales et mesurent environ 1.2mm de long pour 0.8mm de large (Bovey, 1966). Ils sont pondus en ooplaque de forme variable, composée de 10 à 300 pour une moyenne de 50 œufs imbriqués et fixés sur la feuille grâce à une substance agglutinante sécrétée par la femelle (Audouin, 1842 ; Thiéry *et al.*, 2011). L'ooplaque est verte au moment de la ponte puis vire progressivement au jaune ; ensuite, les capsules céphaliques deviennent visibles, ce stade est appelé « tête noire » ; après l'éclosion, elle est finalement blanche, le chorion n'étant pas consommé par la chenille (fig.3).

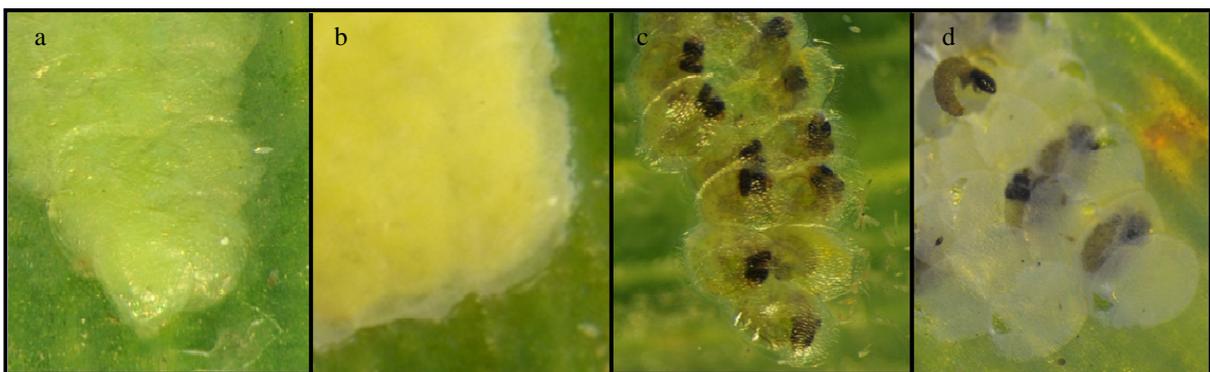
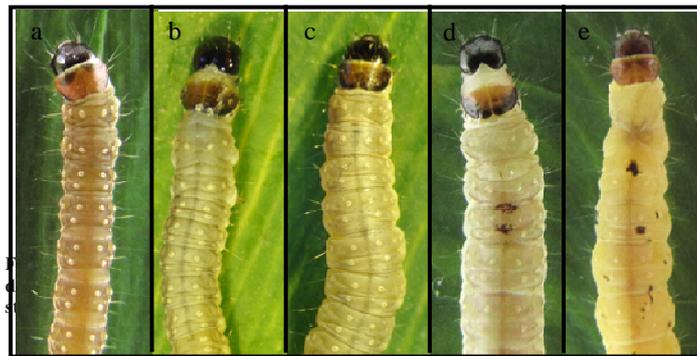


Figure 31 : Variation chromatique de l'ooplaque en fonction du temps, a: Ooplaque stade vert pomme, b: ooplaque stade jaune, c: ooplaque stade tête noire, d: ooplaque en cours d'éclosion. Bartier, 2012.

La chenille de 2 mm de long à l'éclosion est jaune verdâtre avec la tête et l'écusson prothoracique noirs brillants. Cinq stades larvaires se succèdent. Lorsque la mue approche la larve est ternie (fig.4). Au début des stades 2, 3, 4 et 5, elle mesure respectivement 4, 6, 8, 10, 14 mm (Audouin, 1842) et atteint 2.5cm à la fin du 5ème stade. En fin de développement, la chenille possède une couleur gris sale à verdâtre avec des *pinacula* plus claires ; la tête est noire brillante et la plaque prothoracique, qui parfois enveloppe en partie la tête, a viré au brun roux et parfois bordée de noir ; une ligne longitudinale verte peut être visible, elle est due aux aliments contenus dans le canal intestinal (fig.4).



Verte et rapidement brune, la chrysalide mesure près de 12 à 14 mm (Audouin, 1842) et possède un crémaster équipé de huit soies en crochet dont deux de chaque côté et les autres à l'extrémité. A l'extrémité abdominale de la face ventrale, le mâle possède un orifice génital entouré de protubérances aussi larges que longues, alors que chez la femelle elles sont au moins deux fois plus longues que larges. L'anus est plus proche de l'orifice génital chez le mâle (fig.5).

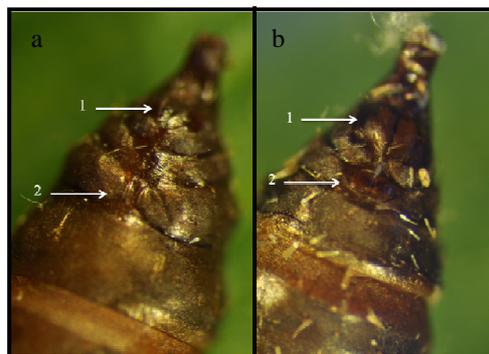


Figure 33 : Dimorphisme sexuel de la chrysalide. L'orifice anal (1) est plus distant de l'orifice génital (2) chez le mâle. a: mâle ; b: femelle. (M. Bartier, 2012, Bordeaux)

ANNEXE II : NOUVELLES HYPOTHESES

DETERMINISME GENETIQUE DES PHENOLOGIES

Les chapitres 3 à 5 ont mis en évidence une répartition bimodale des phénologies (fig.36).

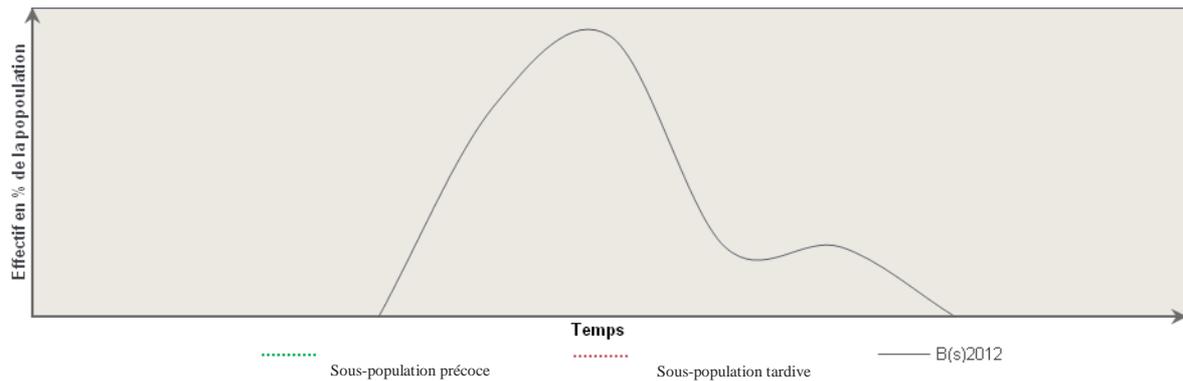
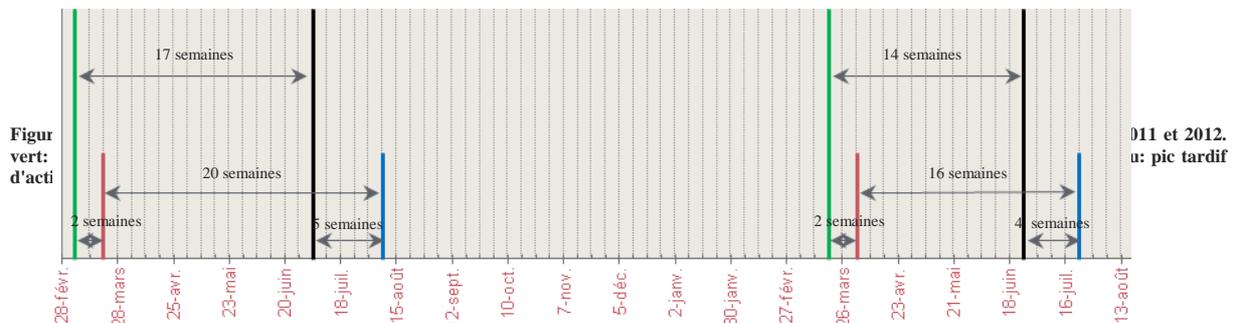


Figure 34 : Représentation graphique de l'hypothétique existence de deux sous-populations à phénologie décalée dans le temps ; exemple illustré avec le résultat de l'extraction de Berlèse de 2012.

Les distributions phénologiques s'étalent de plus en plus en fonction de l'avancement du cycle biologique (chap.1, chap.3). Pour les deux années, les écarts de temps entre les 2 pics obtenus précocement sont plus faibles que ceux mesurés entre les pics tardifs (fig.7).



Cette synthèse ouvre une nouvelle hypothèse où :

- la population est composée de 2 cohortes,
- le métabolisme, thermosensible, est plus rapidement actif chez la cohorte précoce,
- la diapause, photorégulée, resynchronise les cohortes,
- le déterminisme est génétique et sans impact sur le fitness.

La thermorégulation et la photorégulation de la distribution des phénologies des poikilothermes, i.e. organismes à sang froid, sont connues et interprétés comme une stratégie évolutive de sauvegarde de l'espèce (Tobin et al., 2002, Xiao et al, 2008 ; Chuine, 2010 ; Valtonen et al., 2010 ; Baumgärtner et al., 2012).

CAUSES DE LA REGULATION NATURELLE

Lorsque la comparaison entre les années a été possible, les outils de dénombrements ont toujours été en accord les uns envers les autres. Ils ont permis de détecter des facteurs de régulations naturels tels que k1, identifié grâce au piégeage sexuel, et k2 et k3. Ces derniers sont supposés depuis l'observation de la corrélation entre les résultats de l'extraction de Berlèse et ceux de la dissection de bourgeons.

Il est tentant de supposer que le facteur k2 (chap.3) est dû à la défense de la plante à laquelle la chenille s'expose avec la première prise alimentaire. Il est connu que les cires induisent un taux de mortalité important chez les premiers stades d'autres lépidoptères (Stoner, 1997 ; Eigenbrode et al., 1990, 1991) et Cornell et Hawkins (1995) indiquent que les défenses de la plante, traduite notamment par la production de métabolites secondaires, affecte principalement ce stade. Ces défenses, lorsqu'elles seront identifiées, pourraient être des critères de sélection à intégrer à un programme d'amélioration variétale.

Le facteur k3 a été plus important en 2011 où la reprise d'activité a plus précocement de 2 semaines par rapport à 2012. L'hypothèse est que ce facteur de régulation est induit par le défaut de synchronisation entre la reprise d'activité et le débourrement du bourgeon. Ce phénomène est connu chez d'autres espèces pour être un facteur important de la régulation naturelle (Feeny, 1976 ; Watt & McFarlane, 1991 ; Parry et al., 1998 ; Hunter & Elkinton, 2000 ; Johnson et al. 2007). Le débourrement tardif pourrait également être un critère de sélection variétale.

Le plus important reste le facteur k1 qui explique en grande partie l'abondance de l'insecte. L'influence de la pluviométrie sur le taux de mortalité de la pyrale n'a jamais été démontrée. Seules les pluies, tombées aux environs proches du mois d'août, régulent la génération qui causera des dommages l'année suivante. Deux interprétations sont probables : soit les chenilles, en pré-diapause, sont noyées et/ou emportées dans les sols ; soit cette période cadre l'activité d'un organisme dont l'action s'annule avec des températures plus basses. 80% des épizooties touchant les insectes sont dus aux champignons (Hajek & St. Leger, 1994). Pour la plupart des 700 pathogènes connus, plus de 90% d'humidité relatives sont requises (Inglis et al., 2001). Les cas massifs de régulations des populations d'arthropodes par les champignons sont régulièrement enregistrés (Hajek & St. Leger, 1994 ; Shah & Pell, 2003 ; Roy et al., 2006).

La vérification de ces hypothèses ouvre de nouvelles pistes de recherche.