

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

AMÉNAGEMENT D'UNE PLATE-BANDE DE FLEURS POUR AMÉLIORER LA LUTTE
NATURELLE DE DEUX RAVAGEURS DU POMMIER, *HOPLOCAMPA TESTUDINEA*
(TENTHREDINIDAE) ET *APHIS POMI* (APHIDIDAE)

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR
JENNIFER DE ALMEIDA

AVRIL 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 - Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je remercie profondément Martin Hutchison pour tout son support lors de ce long parcours agrémenté de mille et une péripéties que fut ma maîtrise. Je le remercie d'avoir trop souvent compris que ma passion pour la biologie (et le chocolat) passait avant lui.

Je tiens aussi à remercier Spencer Mason et Mr et Mme Mason pour leur précieuse aide lors de mon premier été de terrain. Je ne remercierai jamais assez Mélanie Däppen, Valérie Harvey et Maryse Boisjoli d'avoir été si présentes. Je remercie sincèrement Geneviève Labrie pour son enthousiasme, son aide lors de mon deuxième été de terrain, ses corrections lors de ma rédaction et sa facilité à me transmettre sa motivation quand je n'en voyais plus le bout...

*Enfin, merci à Juliette et Chocolat pour tous ses réconforts chocolatés et au *Camelia sinensis* pour m'avoir permis de mettre le monde entre parenthèses...*

AVANT-PROPOS

Ce mémoire est le résultat d'un travail de deux années, réalisé au sein de l'Université du Québec à Montréal. Ce travail a été dirigé par Éric Lucas (UQÀM) et co-dirigé par Daniel Cormier (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement).

Cette maîtrise a été financée par le Conseil pour le Développement de l'Agriculture au Québec (CDAQ). Elle a été réalisée en collaboration avec le personnel du Laboratoire en production fruitière intégrée de l'IRDA, le Club Agroenvironnemental de l'Estrie et avec l'aide principale de Spencer Mason et de Claudia Roberge, étudiants universitaires.

Les résultats de cette maîtrise ont été diffusés lors des congrès annuels de la Société d'Entomologie du Québec (SEQ) en 2007, 2008 et 2009, lors de la VIIe conférence de l'Organisation Internationale de Lutte Biologique et Intégrée (OILB) sur la production fruitière intégrée à Avignon (France) en octobre 2008, ainsi que lors des 17^e Journées Annuelles sur la Recherche et l'Innovation Technologique (JARIT) en février 2009.

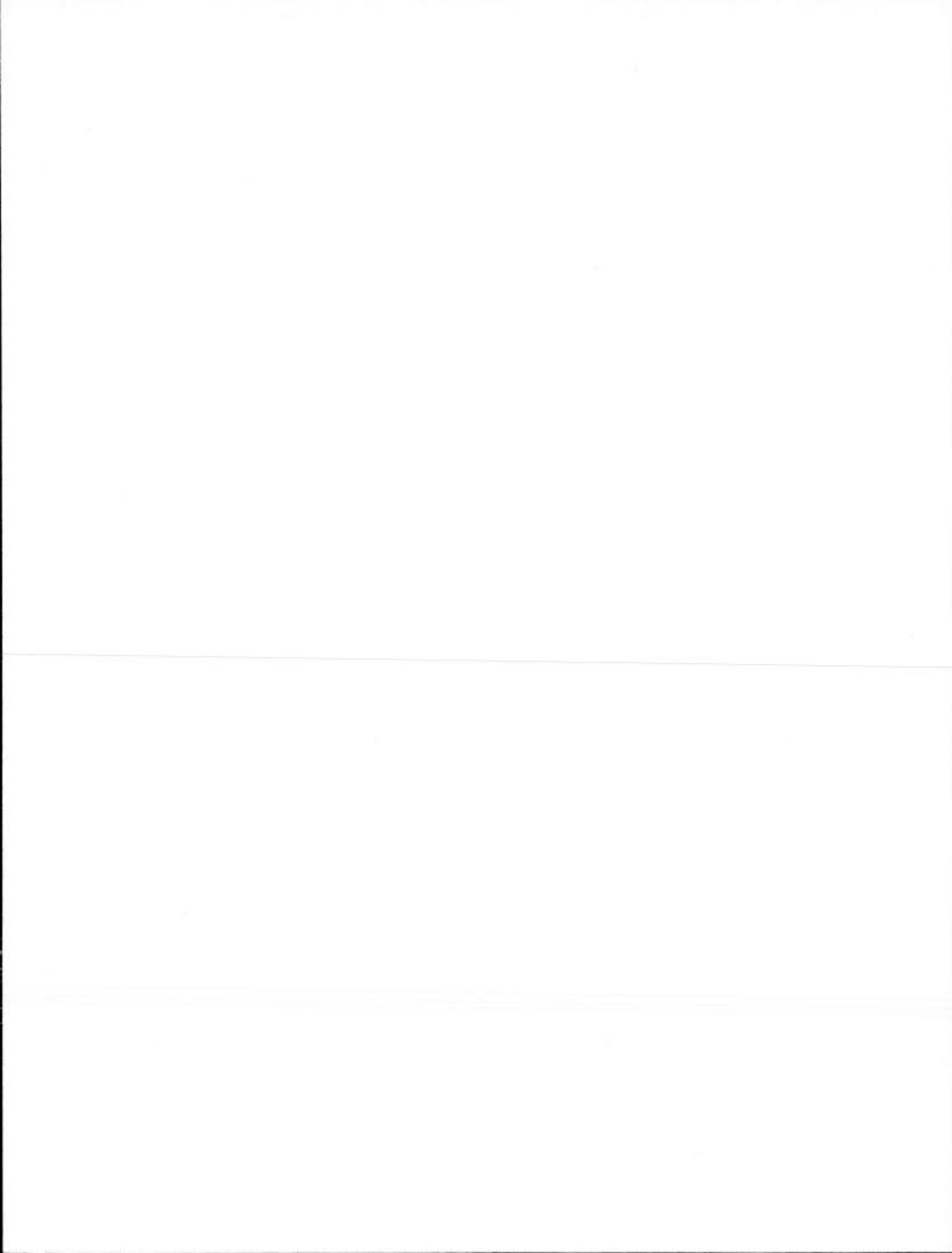
Le chapitre II sera soumis pour publication à la revue *Biological Control* et le chapitre III sera soumis pour publication à la revue *Phytoprotection*.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES ACRONYMES.....	xii
RÉSUMÉ.....	xiii
CHAPITRE I	
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1 La pomiculture au Québec.....	1
1.2 La problématique de recherche.....	3
1.2.1 Les arthropodes ravageurs en verger de pommiers.....	3
1.2.1.1 L'hoplocampe des pommes <i>H. testudinea</i>	3
1.2.1.2 Le puceron vert du pommier <i>A. pomi</i>	6
1.2.2 Les traitements chimiques en verger de pommiers.....	8
1.2.3 L'aménagement végétal en verger.....	9
1.2.4 Quelques types d'aménagements végétaux en verger.....	13
1.2.4.1 Les plates-bandes de fleurs.....	14
1.2.4.2 L'achillée millefeuille <i>A. millefolium</i>	19
1.2.4.3 La verge d'or du Canada <i>S. canadensis</i>	20
1.3 Les objectifs et les hypothèses.....	21

CHAPITRE II	
IMPACT OF <i>ACHILLEA MILLEFOLIUM</i> ON THE EUROPEAN APPLE SAWFLY <i>HOPLOCAMPA TESTUDINEA</i> (HYMENOPTERA : TENTHREDINIDAE) IN APPLE ORCHARD.....	
	23
2.1	Abstract.....
	23
2.2	Introduction.....
	24
2.3	Material and methods.....
	26
2.3.1	Apple orchards sites.....
	26
2.3.2	Arthropod management.....
	27
2.3.3	Flower strip management.....
	27
2.3.4	Sampling pest.....
	28
2.3.5	Sampling pest incidence.....
	28
2.3.6	<i>Achillea millefolium</i> essential oil.....
	29
2.3.7	Data analysis.....
	30
2.4	Results.....
	31
2.4.1	Flower strip effect.....
	31
2.4.2	<i>Achillea millefolium</i> essential oil effect.....
	34
2.5	Discussion.....
	35
CHAPITRE III	
ABSENCE D'EFFET DE LA PRÉSENCE D'UNE PLATE-BANDE DE FLEURS SUR LES POPULATIONS DE PUCERONS ET DE LEURS PRÉDATEURS EN VERGER DE POMMIERS.....	
	39
3.1	Résumé.....
	39
3.2	Introduction.....
	40
3.3	Matériel et méthode.....
	42
3.3.1	Les vergers de pommiers.....
	42
3.3.2	Pratiques phytosanitaires.....
	43
3.3.3	Aménagement de la plate-bande de fleurs.....
	43

3.3.4 Échantillonnage entomologique.....	44
3.3.4.1 Pièges collants blancs.....	44
3.3.4.2 Observation visuelle du feuillage des pommiers.....	45
3.3.4.3 Observation des fleurs de la plate-bande.....	45
3.3.5 Analyses statistiques.....	46
3.4 Résultats.....	47
3.4.1 Pièges collants blancs.....	47
3.4.2 Observation visuelle du feuillage des pommiers.....	52
3.4.3 Observation des fleurs de la plate-bande.....	54
3.5 Discussion.....	55
CONCLUSION.....	61
BIBLIOGRAPHIE.....	65



LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1.1	Illustration des stades phénologiques du pommier au Québec en fonction du temps pour la région de l'Estrie (adapté de Chouinard 2001).....	2
2.1	Mean abundance of European apple sawfly adults per sticky white trap and per week (\pm standard error) during the sample season, in three apple orchards, relative to the treatment (managed or unmanaged) and the distance to the treatment. * $P \leq 0.05$	33
2.2	Mean percent of apples damaged by the European apple sawfly (\pm standard error), relative to the treatment and the distance to the treatment.....	33
2.3	Mean percent of flowers per branch (\pm standard error) with oviposition scars and eggs of European apple sawfly, for control, sprayed and peripheral flowers.....	34
3.1	Abondance moyenne (\pm erreur type) par piège par semaine A) de tous les prédateurs, B) des Coccinellidae, C) des Syrphidae, D) des Neuroptera et E) des Araneae capturés sur les pièges collants blancs, installés dans les pommiers des trois vergers en 2008.....	49
3.2	Abondance moyenne (\pm erreur type) des différentes espèces de Coccinellidae adultes capturées par piège et par semaine sur les pièges collants blancs, installés dans les pommiers des trois vergers en 2008.....	50
3.3	Abondance moyenne (\pm erreur type) des prédateurs par piège par semaine, capturés à l'aide de pièges collants blancs dans la plate-bande de fleurs ou dans le couvre-sol naturel des trois vergers en 2008.....	51

Figure		Page
3.4	Abondance moyenne (\pm erreur type) des espèces de Coccinellidae par piège par semaine capturées à l'aide de pièges collants blancs dans la plate-bande de fleurs et dans le couvre-sol naturel dans les trois vergers en 2008.....	51
3.5	Abondance moyenne (\pm erreur type) par observation (une observation = 150 feuilles/arbre) de A) Tous les prédateurs, B) des Araneae, C) des Coccinellidae et D) des Cecidomyiidae sur les feuilles de pommiers dans les trois vergers en 2008.....	53
3.6	Pourcentage moyen (\pm erreur type) de feuilles avec présence d'A. pomi par observation (une observation = 150 feuilles/arbre) sur les feuilles de pommiers dans les trois vergers en 2008.....	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1.1	Les stades phénologiques du pommier appartenant au cultivar McIntosh, en Montérégie, d'après le modèle prévisionnel CIPRA (Bourgeois et Carisse 1996).....	2
1.2	Synthèse des études sur les aménagements de plates-bandes de fleurs en verger de pommiers.....	16

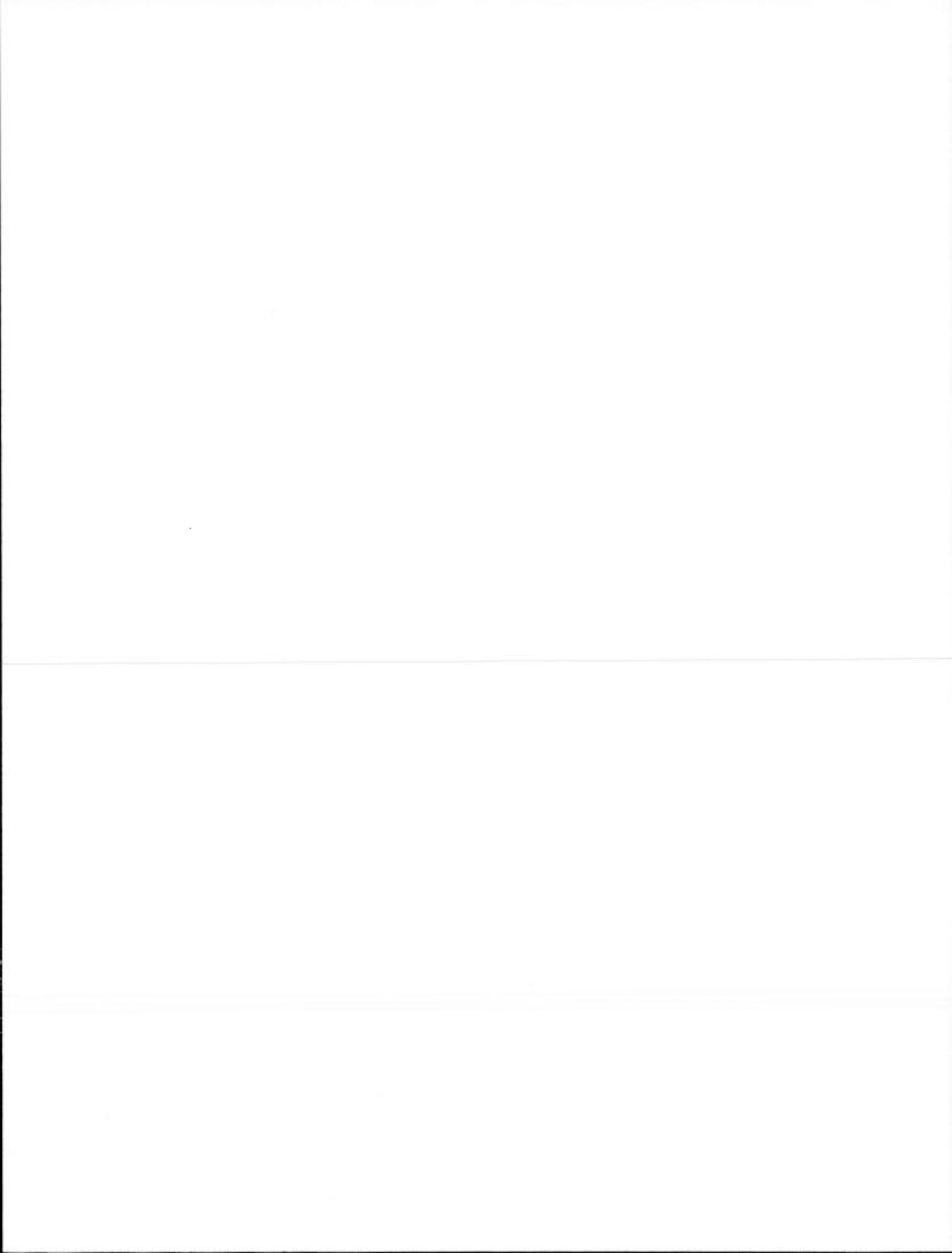
LISTE DES ACRONYMES

CIPRA	Centre Informatique de Prévisions des Ravageurs en Agriculture
CRAAQ	Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec
FPPQ	Fédération des producteurs de pommes du Québec
MAAARO	Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

RÉSUMÉ

Au Québec, de nombreux arthropodes s'attaquent au pommier, entraînant des pertes de rendement pour les producteurs. Afin de minimiser ces pertes, les producteurs ont recours à différents traitements chimiques qui ont des conséquences négatives pour l'environnement et la santé humaine. L'objectif de ce projet de recherche était d'établir un aménagement végétal pour améliorer la lutte naturelle aux arthropodes ravageurs. Des plates-bandes de fleurs composées d'achillée millefeuille (*Achillea millefolium* L.) et de verge d'or du Canada (*Solidago canadensis* L.) (Asteraceae) ont été établies dans trois vergers de pommiers commerciaux au Québec, afin d'évaluer leur impact sur deux ravageurs du pommier et sur les principaux prédateurs. Les populations de l'hoplocampe des pommes *Hoplocampa testudinea* Klug et du puceron vert du pommier *Aphis pomi* DeGeer ont donc été suivies durant l'été 2008 à l'aide de pièges collants blancs et d'observations visuelles dans les vergers et au sein même des aménagements. Dans le même temps, les principaux prédateurs aphidiphages en verger ont été suivis, soit les Araneae, Cecidomyiidae, Chrysopidae, Coccinellidae, Hemerobiidae et Syrphidae. Chaque verger de pommiers comportait des parcelles aménagées (avec plate-bande de fleurs) et non aménagées (avec couvre-sol naturel) qui étaient comparées entre elles. La plate-bande de fleurs a eu un effet positif sur l'hoplocampe des pommes en réduisant significativement l'abondance des populations dans les parcelles aménagées. De plus, une étude en parallèle a permis de démontrer que l'huile essentielle d'achillée millefeuille avait un effet répulsif sur ce ravageur, en réduisant significativement la ponte et le nombre d'œufs dans les fleurs de pommiers. D'un autre côté, le pourcentage de dommages aux fruits était similaire entre les parcelles aménagées et non aménagées. La plate-bande de fleurs n'a pas eu d'effet sur le puceron vert du pommier ni sur les prédateurs aphidiphages, car les abondances n'étaient pas différentes entre les parcelles aménagées et non aménagées, ni entre la plate-bande de fleur et le couvre-sol naturel du verger. La plate-bande de fleurs n'a donc pas joué son rôle attractif attendu envers les arthropodes bénéfiques.

Mots clefs: Aménagement végétal, plate-bande de fleurs, *Malus sp.*, huile essentielle, *Achillea millefolium*, *Solidago canadensis*, *Hoplocampa testudinea*, *Aphis pomi*, prédateurs, Araneae, Coccinellidae, Syrphidae.



CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 La pomiculture au Québec

Au Québec, la pomiculture couvre plus de 6500 ha cultivés par environ 600 producteurs et rapporte plus de 34 M\$ de valeurs à la ferme chaque année (FPPQ 2010). C'est la 3^e province productrice de pommes au Canada (MAPAQ 2011). En 2009, près de 100 000 tonnes de pommes ont été récoltées dans les cinq régions pomicoles du Québec, soit la Montérégie, les Laurentides, le Sud-Ouest de Montréal, l'Estrie et la Capitale Nationale (FPPQ 2011).

Au Québec, le pommier, *Malus sp.* (Rosales : Rosaceae) représente plus de 125 variétés de pommes dont 10 variétés dominantes (FPPQ 2011; Khanizadeh et Cousineau 1998). Les stades phénologiques du pommier sont prédits avec les degrés-jours de croissance accumulés à partir d'une température seuil de développement de 5 degrés Celsius (CIPRA 2009) (tableau 1.1). La figure 1.1 illustre ces différents stades phénologiques.

Tableau 1.1 Les stades phénologiques du pommier appartenant au cultivar McIntosh, en Montérégie, d'après le modèle prévisionnel CIPRA (Bourgeois et Carisse 1996).

Stade phénologique	Description du stade	Nombre de degrés-jours nécessaires (base 5 °C)
Débourrement	Bourgeons éclatent après un hiver en dormance	79
Débourrement avancé	Apparition des feuilles	116
Pré-bouton rose	Tous les boutons floraux apparaissent en faisceau, les sépales s'écartent, les pétales s'allongent	158
Bouton rose		197
Bouton rose avancé		224
Pleine floraison	Fleurs ouvertes, les pétales sont complètement étalés	255
Calice	90% des pétales sont tombés	313
Nouaison	Fruits de 5 mm diamètre	371
Maturité		

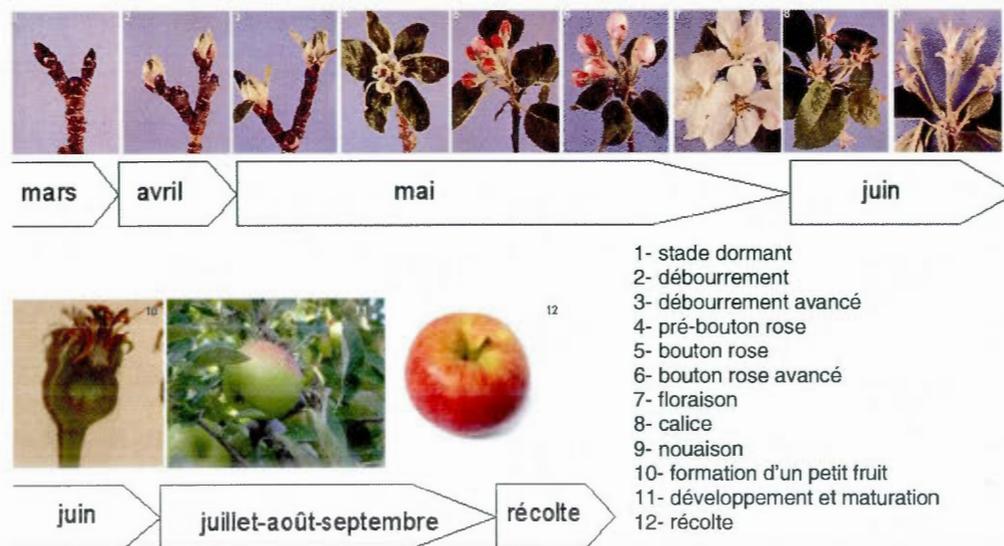


Figure 1.1 Illustration des stades phénologiques du pommier au Québec en fonction du temps pour la région de l'Estrie (adapté de Chouinard 2001).

1.2 La problématique de recherche

1.2.1 Les arthropodes ravageurs en verger de pommiers

Au Québec, il existe près d'une soixantaine de ravageurs du pommier dont une dizaine de ravageurs principaux (Chouinard 2001). Dans ce projet de recherche, deux insectes ravageurs principaux ont été étudiés. Ils causent des dommages aux feuilles, aux fleurs et aux fruits, et leurs fortes populations nécessitent l'application de traitements chimiques (Aslan et Karaca 2005; Lowery et al. 2006; Smirle et al. 2010; Solomon et al. 2000). Il s'agit de l'hoplocampe des pommes *Hoplocampa testudinea* Klug (Hymenoptera : Tenthredinidae) et du puceron vert du pommier *Aphis pomi* de Geer (Hemiptera : Aphididae).

1.2.1.1. L'hoplocampe des pommes *H. testudinea*

L'hoplocampe des pommes est une espèce introduite en Amérique du Nord au début du XX^e siècle et répertoriée pour la première fois au Québec en 1979 (Paradis 1980). Cet insecte hiberne dans le sol sous forme de pupes, à quelques centimètres de la surface, au pied des pommiers. Au stade bouton rose, les adultes émergent du sol et les femelles débutent la ponte dans la base du réceptacle des fleurs, le pic d'activité de ponte étant enregistré au stade de la pleine floraison (Ciglar et Baric 2002; Graf et al. 1996; Miles 1932; Zijp et Blommers 1997). Chaque femelle pond en moyenne 30 œufs et ne dépose qu'un seul œuf par fleur de pommier durant les 5 à 11 jours de sa vie d'adulte (Miles 1932; Tuzun et Sakaltas 2009). La ponte laisse une marque sous forme de petite tache brune sur la fleur et ces cellules nécrosées seront alors visibles sur le fruit par une petite piqûre soulignée d'une légère dépression. Au stade calice, les œufs éclosent et les larves se développent dans les jeunes fruits, causant deux types de dommages. Les dommages primaires sont le

résultat des galeries creusées par les jeunes larves sous l'épiderme de la pomme et elles laissent un sillon liégeux sur les fruits ce qui entraîne leur déclassement (Ciglar et Baric 2002; Dicker 1953; MAAARO 2011; MAPAQ 2011). Les dommages secondaires sont quant à eux le résultat des trous creusés par les larves en pénétrant dans un autre fruit. Ces trous peuvent atteindre 3 mm de diamètre et la larve laisse s'échapper un liquide brun foncé des galeries (Dicker 1953; Vincent et Bélair 1992). Les fruits endommagés par les dégâts secondaires n'atteignent jamais leur pleine maturité et chutent prématurément vers le mois de juin (Ciglar et Baric 2002; Dicker 1953; MAAARO 2011). Il existe cinq stades larvaires chez l'hoplocampe des pommes et chaque larve endommage deux à trois fruits (Miles 1932). Quatre à six semaines après l'éclosion, les larves se laissent tomber au sol où elles vont former un cocon et rester ainsi en dormance jusqu'au printemps suivant (Miles 1932). Il n'existe ainsi qu'une seule génération par année (Miles 1932).

Les pertes économiques causées par l'hoplocampe des pommes peuvent atteindre 14% de la récolte (Vincent et Mailloux 1988). Le seuil de dommage économique est atteint lorsque quatre à six individus sont capturés par piège durant toute la période de la floraison (stades bouton rose à calice) (Polk 1990). Pour lutter contre l'hoplocampe des pommes, les producteurs appliquent un insecticide de la famille des organophosphorés (azinphos-méthyl) au stade calice pour tuer les jeunes larves à l'intérieur des fruits (MAAARO 2011). Des études se sont penchées sur des produits alternatifs tels que le Kaolin pour lutter contre ce ravageur, ce qui semble avoir un effet réducteur significatif sur les dommages aux pommes (Bostanian et Racette 2008; Marko et al. 2008).

Au Québec, il n'existe aucun prédateur connu de l'hoplocampe des pommes. Cependant, les araignées sont des prédateurs occasionnels des adultes de l'hoplocampe lorsqu'ils se prennent par hasard dans leur toile (Observations personnelles 2007 et 2008). En Europe, deux principaux parasitoïdes de la famille des Ichneumonidae, *Aptesis nigrocincta* Gravenhorst et *Lathrolestes ensator* (Brauns), sont respectivement ectoparasitoïde des pupes et endoparasitoïde des larves de l'hoplocampe dans le sol (Babendreier 2000; Babendreier et Hoffmeister 2002; Zijp et Blommers 2002). Au Québec, Vincent et ses collaborateurs ont entrepris des lâchers de *L. ensator* dans un verger de la ferme expérimentale d'Agriculture Canada à Frelighsburg (Montérégie) entre 1995 et 1999 (Vincent et Rancourt 2001). De nouveaux points de lâchers inoculatifs ont été effectués en Estrie en 2010. Ce parasitoïde se serait ainsi établi au Québec depuis les dernières introductions (Vincent et Rancourt 2001). Également en Europe, l'hoplocampe des pommes est contrôlé en partie par l'application de champignons entomopathogènes (*Paecilomyces farinus*, *P. fumosoroseus*, *Beauveria bassiana*, *B. tenella*, *Aspergillus flavus*) dans le sol qui s'attaquent aux larves et aux pupes entraînant une forte mortalité ou réduisant la fécondité ainsi que la durée de vie des adultes qui émergeront (Jaworska 1992; Jaworska 1979). Au Québec, des essais sur l'introduction d'un nématode entomopathogène *Steinernema carpocapsae* (Weiser) au sol ont réduit l'émergence des adultes de près de 80% (Vincent et Belair 1992). D'autres essais sur l'application foliaire de *S. carpocapsae* sur les pommiers ont permis de réduire significativement les dommages primaires (Bélaïr et al. 1998).

La plupart des études se sont ainsi penchées sur des solutions portant sur l'introduction de parasitoïdes exotiques, de champignons ou de nématodes entomopathogènes, mais très peu d'études ont testé l'effet de l'aménagement du

verger sur la réduction des populations d'hoplocampes. Une étude réalisée dans deux vergers du Québec (Frelighsburg et St-Hyacinthe, Montérégie) a évalué l'efficacité de feuilles de cellulose placées au pied des arbres comme barrière physique à l'émergence des hoplocampes (Benoit et al. 2006). Le nombre d'adultes émergents était significativement plus bas dans un seul des deux vergers. Une seconde étude menée au Canada a évalué l'effet d'une plate-bande de fleurs sur les dommages sur pommes de nombreux arthropodes ravageurs dont l'hoplocampe des pommes et n'a obtenu aucun effet sur les dommages de ce dernier (Bostanian et al. 2004). Au vu du peu de littérature à ce sujet, il reste donc beaucoup de recherches à faire sur l'aménagement végétal en verger de pommiers pour tenter de lutter contre les populations de l'hoplocampe des pommes.

1.2.1.2 Le puceron vert du pommier *A. pomi*

Le puceron vert du pommier est l'une des cinq espèces de pucerons retrouvées en verger de pommiers au Québec (Chouinard 2001). C'est une espèce holocyclique qui hiberne sur les gourmands des pommiers sous forme d'œuf (Lowery et al. 2006). Les œufs éclosent au stade bouton-rose avancé et les nymphes percent les tiges, les feuilles ou les bourgeons et en sucent la sève (Fichter 1966; MAAARO 2011). Ces nymphes sont toutes des femelles et se reproduisent par parthénogenèse, ce qui a pour effet d'augmenter rapidement les populations (Artacho et al. 2011). Il existe ainsi plusieurs générations par année pour cet insecte au Québec. Au début de l'automne, des pucerons mâles sont engendrés et s'accouplent avec les femelles, qui pondent leurs œufs sur les jeunes pousses des pommiers (MAAARO 2011).

En cas de forte abondance les populations du puceron vert du pommier provoquent l'enroulement des feuilles, une diminution de la croissance des

bourgeons, des jeunes pousses et des fruits, et une diminution du carbone dans les pousses, les racines et les feuilles (Brown et Mathews 2007; Kaakeh et al. 1993; Lowery et al. 2006; Smirle et al. 2010). De plus, les pucerons sécrètent du miellat par leurs cornicules, un liquide jaune et sucré qui enduit les fruits et les feuilles d'un revêtement collant (Lowery et al. 2006). Le miellat est d'autant plus problématique qu'il sert de support à la fumagine, un champignon noir qui recouvre les fruits et réduit la photosynthèse des feuilles.

Le seuil de dommage économique du puceron vert du pommier est atteint lorsque 10% des jeunes pousses de pommiers possèdent des colonies de pucerons (MAAARO 2011). En cas d'infestation, des insecticides appartenant à différentes familles (carbamates, néonicotinoïdes, organochlorés, organophosphatés, pyréthroïdes, pyridinecarboxamides, etc.) sont appliqués pour tuer les adultes (CRAAQ 2010; SAgE pesticides 2012).

Au Québec, le puceron vert du pommier a plusieurs prédateurs connus dont les principaux sont les larves et les adultes de Coccinellidae (une dizaine d'espèces présentes parmi lesquelles *Coccinella septempunctata* L., *Harmonia axyridis* Pallas, *Coleomegilla maculata* De Geer et *Propylea quatuordecimpunctata* L.) (Aslan et Karaca 2005; Hodek et Honek 1996; Lucas et al. 2004; Fréchette et al. 2008; Provost et al. 2005); des larves de Syrphidae (Tenhumberg et Poehling 1995; Tourneur et al. 1992), de Chrysopidae (Pappas et al. 2007) et de Cecidomyiidae (*Aphidoletes aphidimyza*) (Fréchette et al. 2008; Harris 1973; Morse et Croft 1987; Stewart et Walde 1997) ainsi que des Araneae (Chant 1956; Fréchette et al. 2008; Nyffeler et Benz 1987). Il existe également plusieurs autres prédateurs en verger tels que des adultes de Miridae, d'Anthocoridae, de Pentatomidae ainsi que des larves

d'Hemerobiidae (Arnoldi et al. 1992; Sigsggard 2010). Les prédateurs peuvent avoir un bon contrôle sur le puceron vert du pommier mais sont en partie anéantis lors des applications d'insecticides (MAAARO 2011; Solomon et al. 2000).

1.2.2. Les traitements chimiques en verger de pommiers

Du stade débourrement jusqu'à la récolte, le pommier va être l'objet de diverses pressions provenant des arthropodes phytophages. Certains attaquent les racines, d'autres le tronc, ou encore les branches, les feuilles, les bourgeons, les fleurs et les fruits. Certaines espèces font des dommages à un seul stade de leur vie, tandis que d'autres sont nuisibles aussi bien au stade larvaire qu'au stade adulte. Les pertes associées aux dommages des arthropodes ravageurs peuvent s'avérer importantes sur la récolte. Les producteurs ont ainsi très souvent recours à des traitements chimiques pour réduire les dommages en dessous du seuil économique. Plusieurs insecticides utilisés contre les ravageurs appartiennent à la famille des organophosphorés et à celle des carbamates, mais ceux-ci entraînent également de la mortalité chez les insectes bénéfiques (prédateurs, parasitoïdes et pollinisateurs) (Solomon et al. 2000). Ces deux familles d'insecticides ont pour mode d'action l'inhibition des cholinestérases, dont l'acétylcholinestérase, une enzyme servant de neurotransmetteur (Smith 1993). Cette inhibition entraîne la défaillance du système nerveux et les insectes meurent généralement de paralysie respiratoire (Smith 1993).

À ces traitements s'ajoutent des acaricides, des fongicides et, lorsque le producteur le juge nécessaire, des herbicides. Les traitements chimiques utilisés en pomiculture contribuent à la dégradation de l'environnement (qualité de l'eau, de

l'air et du sol) et ont des conséquences négatives sur la faune (oiseaux, mammifères, amphibiens) et sur la santé humaine (effets cancérigènes sur le système nerveux, la peau et le système reproducteur) (Bouvier et al. 2011; Giroux 1998; Martin 2008; Smith 1993). De plus, les traitements insecticides exercent un contrôle à court terme et les attaques des ravageurs peuvent ensuite être plus sévères en raison de la réduction de l'abondance des insectes bénéfiques (Solomon et al. 2000).

D'après un document publié par le MAPAQ sur les organismes nuisibles réglementés (2011), trois éléments principaux démontrent la nécessité de développer des alternatives plus environnementales et d'exercer une meilleure lutte naturelle sur les populations d'arthropodes ravageurs en agriculture: l'inquiétude face à la détérioration de l'environnement, la préoccupation des consommateurs quant à la qualité des aliments et l'apparition de résistance aux pesticides chez les ravageurs.

1.2.3 L'aménagement végétal en verger

L'augmentation des pratiques de monoculture intensive et l'élimination des aires non cultivées (fossés, haies, ceintures de boisés, etc.) ont entraîné un appauvrissement et une simplification des grandes cultures pérennes (Gurr et al. 2004; Root 1973). Cet appauvrissement, additionné des applications de traitements chimiques, diminuent la présence des arthropodes prédateurs dans le verger. La recherche de bonnes pratiques d'aménagement des ressources naturelles et l'amélioration du contrôle naturel des ravageurs sont donc déterminantes (Altieri 1994; Andow 1991).

La lutte conservative est l'une des méthodes en lutte biologique qui permet d'améliorer la disponibilité des ressources pour augmenter l'efficacité des arthropodes prédateurs (Landis et al. 2000). Cette méthode est soutenue par l'hypothèse des ennemis naturels qui prévoit que l'abondance des arthropodes ravageurs sera plus faible dans un milieu où les ressources alternatives requises par les arthropodes bénéfiques sont peu disponibles (Root 1973). Ces ressources alternatives sont des proies ou des hôtes alternatifs, du pollen, du nectar, des refuges et des sites de ponte et de reproduction (Altieri 1994; Baggen et Gurr 1998; Halaji et al. 2000; Hickman et Wratten 1996; Powell 1986; Root 1973; Zehnder et al. 2007). Les populations de prédateurs colonisent alors le milieu et profitent des nombreuses ressources. La conséquence directe est le maintien des populations de prédateurs dans l'écosystème et la réduction de leurs fluctuations, évitant leur émigration vers un autre habitat dès que les proies principales se font rares (Risch 1981; Root 1973; Van Emden 1965). En aménageant l'habitat de façon à offrir suffisamment de ressources aux populations de prédateurs, il est alors possible d'accroître leur abondance, d'améliorer leur efficacité et de créer une pression suffisante sur les arthropodes ravageurs du verger (Altieri 1993; Altieri et Liebman 1986; Landis et al. 2000; Price et al. 1980; Rish 1981; Tschardt et al. 2002; Wyss 1996).

La lutte conservative est soutenue par une seconde hypothèse, celle de la concentration des ressources, qui prévoit que l'aménagement végétal engendrera un effet de confusion chez les arthropodes ravageurs à la recherche de la culture principale (Root 1973). L'effet de confusion est créé par les nombreux stimuli chimiques et visuels des autres espèces végétales qui masquent les stimuli aidant à reconnaître la culture principale; celle-ci devient alors plus difficile à trouver pour le

ravageur. Les différents micro-climats, micro-habitats et les diverses strates de l'aménagement végétal participent également à créer cet effet de confusion. Ceci a pour conséquence de réduire le taux de colonisation des ravageurs et de réduire l'abondance de leurs populations (Root 1973). Il existe également d'autres caractéristiques physiques et chimiques des plantes qui modifient les interactions entre les ravageurs et les prédateurs, tels que la pubescence des feuilles, la dureté des tissus ou l'émission de métabolites secondaires ayant des propriétés répulsives (Cook et al. 2007; Price et al. 1980). L'effet répulsif est causé par des composés organiques volatiles (terpènes) issus de métabolites secondaires contenus dans la plante, qui peuvent repousser les arthropodes ravageurs, entraver leur établissement, leur ponte ou leur nutrition, et inhiber l'émergence des larves ou des adultes (Amer et Mehlhorn 2006; Jovanovic et al. 2007; Pascual-Villalobos et Robledo 1999; Wäckers 2004). De nombreuses études ont été réalisées en laboratoire sur l'effet répulsif des plantes ou des extraits de plante envers des arthropodes ravageurs. Ainsi le puceron du maïs *Rhopalosiphum maidis* est repoussé par quatre Asteraceae (*Achillea millefolium*, *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus* et *A. tridentata*) et une Myrtaceae (*Melaleuca alternifolia*) (Halbert et al. 2009). Chez les hyménoptères, seuls *Cotesia glomerata* (Braconidae), *Heterospilus prosopidis* (Braconidae) et *Pimpla turionellae* (Ichneumonidae) ont été étudiés. Les deux Braconidae sont repoussés par deux Asteraceae (*A. millefolium* et *Erigeron annuus*) et deux Fabaceae (*Trifolium pratense* et *Vicia sepium*) tandis que *P. turionellae* est repoussé par ces deux mêmes Fabaceae (Wäckers 2004).

L'effet répulsif des plantes a été bien documenté en champs dans les études faisant intervenir la stratégie « push-pull ». Cette stratégie consiste à introduire des plantes en bordure du système agricole, des « cultures-pièges », pour attirer (pull)

les arthropodes ravageurs. Parallèlement, d'autres plantes sont introduites au sein de la culture et ont un effet répulsif sur les arthropodes ravageurs, ce qui les repousse (push) jusqu'aux bordures (Khan et al. 2011; Pyke et al. 1987). Cette stratégie a été appliquée dans des cultures très diversifiées (*Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Gossypium* sp., *Brassica napus*, etc.), ainsi qu'en horticulture et en foresterie, mais l'effet répulsif des plantes n'a pas été documenté en verger (Cook et al. 2007).

Les interactions entre les plantes, les arthropodes phytophages et leurs prédateurs sont des phénomènes complexes et ne peuvent se résumer aux deux théories énoncées précédemment (ennemis naturels et concentration des ressources). Chaque espèce végétale a ses caractéristiques propres qui peuvent modifier ces interactions (ex : valeur nutritive, quantité en eau, présence de trichomes, etc...) et influencer directement aussi bien les arthropodes phytophages que les prédateurs (Price et al. 1980). Les défenses des plantes sont complexes; certaines plantes émettent des composés organiques volatiles qui attirent les prédateurs des arthropodes phytophages présents sur celle-ci (Pierre et al. 2011; Simpson et al. 2011); tandis que d'autres rendent le déplacement des arthropodes difficiles en raison de trichomes présents sur les feuilles (Levin 1973). Dans ce projet de recherche, nous avons déterminé les objectifs en se basant sur les deux principales hypothèses (ennemis naturels et concentration des ressources) et en considérant que l'efficacité des prédateurs dans la lutte aux ravageurs dépendait d'un grand nombre de facteurs dont les principaux étaient le type d'aménagement végétal, la composition des espèces végétales utilisées, l'abondance des ressources alternatives, leur distribution spatiale et leur disponibilité temporelle (Altieri 1994;

Andow 1991; Andow et Risch 1985; Landis et al. 2000; Tschardt et al. 2002; Wyss 1996).

1.2.4 Quelques types d'aménagements végétaux en verger

Il existe différentes méthodes d'aménagement végétal dans un verger dont la plus commune et la plus étudiée est l'aménagement du couvre-sol (Brown et Glenn 1999; Kinkorova et Kocourek 2000; Minarro et Dapena 2003; Rieux et al. 1999; Yan et al. 1997). Cette méthode consiste à remplacer complètement le couvre-sol du verger, composé en grande partie de graminées. Le couvre-sol est souvent remplacé par des mélanges d'espèces végétales très diversifiés qui fournissent des ressources alternatives aux arthropodes bénéfiques (Prokopy 1994; Sirrine et al. 2008). Ceux-ci sont alors répartis à travers toute la culture, améliorant ainsi leur efficacité de lutte contre les ravageurs. Cependant, cette méthode demande un investissement non négligeable de la part du producteur et les plantes du couvre-sol présentes sur les rangs de pommiers reçoivent une application d'herbicide afin de ne pas entrer en compétition pour les éléments nutritifs dans le sol (TerAvest et al. 2010; CRAAQ 2010). Le couvre-sol au pied des pommiers (rarement entre les rangs) peut aussi être remplacé par du paillis ou autre revêtement, mais uniquement dans le but de réduire physiquement l'émergence de certains arthropodes ravageurs, et non dans le but d'attirer les arthropodes prédateurs (Mathews et al. 2004). Parmi les autres aménagements végétaux, des haies et des boisés sont installés en bordure des vergers (Rieux et al. 1999). Ils permettent d'offrir des micro-habitats très diversifiés pour de nombreux organismes tels que les arthropodes ou les oiseaux insectivores qui aideront à la lutte biologique (Altieri et Letourneau 1982).

1.2.4.1 Les plates-bandes de fleurs

Les plates-bandes de fleurs sont des aménagements végétaux facilement réalisables en verger, qui nécessitent peu de coûts pour le producteur. Les plates-bandes de fleurs sont des aménagements linéaires d'espèces florales, qui peuvent être installés au sein ou en périphérie du verger, et qui remplacent seulement une partie du couvre-sol habituel du verger (Bugg et Waddington 1994). Comme les zones florales sont très localisées, leur entretien est facile à gérer.

L'efficacité d'une plate-bande de fleurs relève avant tout des espèces végétales qui la composent (Landis et al. 2000). Celles-ci ne doivent pas appartenir à la même famille taxonomique que la culture principale, ici le pommier (Rosaceae), pour éviter d'être un refuge pour les ravageurs de cette culture (Wolfgang et al. 1989). Les plantes doivent être attractives pour les prédateurs visés, c'est-à-dire qu'elles doivent offrir du pollen et du nectar aux prédateurs aphidiphages et leur offrir des proies alternatives durant les périodes d'absence ou de faibles populations de pucerons dans le verger (Wyss 1995). Les périodes de floraison des espèces végétales de la plate-bande doivent se chevaucher afin d'obtenir une plus longue période de floraison et ainsi augmenter la disponibilité en pollen et en nectar (Bugg et Waddington 1994). Cependant, leur période de floraison ne doit pas avoir lieu en même temps que celle du pommier, sinon elles entreraient en compétition pour les insectes pollinisateurs (Wyss 1995). Les plantes doivent être préférablement pérennes pour ne pas demander trop d'entretien, avoir une bonne couverture au sol, avoir la capacité de s'établir largement et être compétitives avec les autres espèces végétales sans toutefois être envahissantes (Andow et Risch 1985; Landis et al. 2000). Elles doivent être de taille et de phénologie différentes afin d'offrir des ressources diversifiées aux arthropodes prédateurs (Bugg et Waddington 1994).

Les plates-bandes de fleurs ont l'avantage d'attirer les prédateurs à des endroits ciblés dans le verger (Landis et al. 2000). La distance entre les plates-bandes de fleurs et les premiers pommiers du verger est importante car elle détermine l'impact que les prédateurs auront sur la lutte biologique aux ravageurs dans le verger. En effet, les prédateurs qui ont un faible pouvoir de dispersion doivent être en mesure de se déplacer aisément entre les plates-bandes de fleurs et les pommiers (Altieri 1994; Andow et Risch 1985; Marshall et Moonen 2002).

Parmi les études antérieures en matière d'aménagement végétal, très peu d'études se sont concentrées sur l'aménagement de plates-bandes de fleurs en verger de pommiers. Six études ont été répertoriées et les plates-bandes fleurs comportaient de 4 à 20 espèces végétales avec une majorité d'Asteraceae, parmi lesquelles l'achillée millefeuille *A. millefolium* utilisée dans trois études (tableau 1.2). L'effet attractif sur les arthropodes bénéfiques se traduit généralement par une augmentation de l'abondance des prédateurs. Cependant, cet effet ne se traduit pas toujours par une répression des ravageurs ni par une diminution des dommages sur les pommes. Les résultats sur les effets de la plate-bande de fleurs varient en fonction des études. Ainsi, les populations de Syrphidae, Coccinellidae, Cecidomyiidae et Araneae augmentent avec l'installation d'une plate-bande de fleurs (Bostanian et al. 2004; Fitzgarld et Solomon 2004; Wyss 1995; Wyss 1996). Cet effet positif se répercute différemment sur les ravageurs et les dommages aux fruits. Les populations de pucerons sont tantôt réduites par l'augmentation des prédateurs (Wyss 1995), tantôt non affectées (Gruys 1982). Parmi les six études, les dommages sur pommes causés par l'hoplocampe des pommes, les Stigmelidae ou les Tortricidae n'ont pas diminué (Bostanian et al. 2004; Gruys 1982).

Tableau 1.2 Synthèse des études sur les aménagements de plates-bandes de fleurs en verger de pommiers.

Familles végétales	Effets sur les arthropodes		Pays	Référence
	Arthropodes bénéfiques	Arthropodes ravageurs		
Apiaceae (2 sp.)	↑ Hyménoptères parasitoïdes	↑ parasitisme de 2 familles	Canada	Leius 1967
Asclepiadaceae (1 sp.)	Encyrtidae (1 sp.)	Tortricidae (1 sp.)		
Asteraceae (6 sp. dont <i>Solidago</i> sp.)	Eupelmidae (1 sp.)	Lasioleptidae (1 sp.)		
Brassicaceae (1 sp.)	Ichneumonidae (3 sp.)			
Fabaceae (3 sp.)	Scelionidae (1 sp.)			
Iridaceae (1 sp.)				
Ranunculaceae (1 sp.)				
Rosaceae (2 sp.)				
Salicaceae (1 sp.)				
Violaceae (1 sp.)				
Apiaceae (3 sp.) + autres espèces non dévoilées		= Acari = Aphididae = Stigmellidae = Tortricidae	Pays-Bas	Gruys 1982
Apiaceae (2 sp.)	↓ 9 taxons aphidiophages	↓ Aphididae (2 sp. dont <i>Aphis pomi</i>)	Suisse	Wyss 1995
Asteraceae (7 sp. dont <i>A. millefolium</i>)	Anthocoridae (adultes et nymphes)			
Borraginaceae (2 sp.)	Aranea (adultes et juvéniles)			
Clusiaceae (1 sp.)	Cecidomyiidae (larves)			
Dipsacaceae (1 sp.)	Chrysopidae (larves)			
Fabaceae (4 sp.)	Coccinellidae (adultes et larves)			
Hypericaceae (1 sp.)	Miridae (adultes et nymphes)			
Onagraceae (1 sp.)	Nabidae (adultes et nymphes)			
Scrophulariaceae (1 sp.)	Staphylinidae (adultes et larves)			
	Syrphidae (larves)			

Abondance:

↑ augmentation

↓ diminution

= aucun effet

Familles végétales	Effets sur les arthropodes		Pays	Référence
	Arthropodes bénéfiques	Arthropodes ravageurs		
Apiaceae (2 sp.)	↑ 3 taxons aphidiphages	↑ 9 taxons	Suisse	Wyss 1996
Asteraceae (7 sp. dont <i>A. millefolium</i>)	Cecidomyiidae (1 sp.)	Cercopidae		
Boraginaceae (3 sp.)	Coccinellidae (6 sp.)	Cicadellidae		
Dipsacaceae (1 sp.)	Syrphidae (12 sp.)	Curculionidae		
Fabaceae (4 sp.)	↑ 7 taxons polyphages	Geometridae		
Hypericaceae (1 sp.)	Anthocoridae (2 sp.)	Lymnethriidae		
Onagraceae (1 sp.)	Cantharidae (4 sp.)	Psyllidae		
Scrophulariaceae (1 sp.)	Chrysopidae (1 sp.)	Scolytidae		
	Forficulidae (1 sp.)	Tortricidae		
	Miridae (6 sp.)	Yponomeutidae		
	Nabidae (1 sp.)			
	Staphylinidae			
	↑ Aranea			
Asteraceae (4 sp. dont <i>A. millefolium</i>)	↑ 2 taxons	↓ 5 taxons	Canada	Bostanian et al. 2004
	Ichneumonoidae	Curculionidae (1 sp.)		
	Syrphidae	Miridae <i>Lygus lineolaris</i>		
	↓ 4 taxons	Autres punaises		
	Chalcidoidea	Noctuidae (1 sp.)		
	Cynipoidea	Tortricidae (2 sp.)		
	Proctotrupoidea	↔ 3 taxons		
	Tachinoidea	Tenthredinidae <i>Hoplacampa testudinea</i>		
		Tephritidae (1 sp.)		
		Tortricidae (1 sp.)		

Abondance: ↑ augmentation ↓ diminution = aucun effet

Dommages sur pommes: ↓ diminution ↔ aucun effet

Familles végétales	Effets sur les arthropodes		Pays	Référence
	Arthropodes bénéfiques	Arthropodes ravageurs		
Apiaceae (3 sp.)	↑ 4 taxons	= Phyllidae	royaume Uni	Fitzgerald et Coleman 2004*
Asteraceae (4 sp.)	Anthocoridae			
Boraginaceae (1 sp.)	Aranea			
Camparuliaceae (1 sp.)	Coccinellidae			
Caryophyllaceae (1 sp.)	Hymenoptères parasitoïdes			
Fabaceae (1 sp.)	= Phytoseiidae			
Lamiaceae (1 sp.)	↓ Chrysopidae			
Papaveraceae (1 sp.)				
Polygonaceae (1 sp.)				

Abondance: ↑ augmentation ↓ diminution - aucun effet

*verger de pommiers et de poiriers

Pour ce projet de recherche, des plates-bandes de fleurs ont été aménagées au sein de vergers de pommiers. Les Asteraceae étant la famille de plantes la plus utilisée lors d'aménagements végétaux et étant l'une des familles les plus attractives envers d'importants prédateurs, notamment les prédateurs aphidiphages tels que les Coccinellidae, les Syrphidae et les Cecidomyiidae (Al-Doghairi et Cranshaw 1999; Colley et Luna 2000; Wyss 1995), deux espèces d'Asteraceae, l'achillée millefeuille *A. millefolium* L. et la verge d'or du Canada *Solidago canadensis* L. ont été retenues. Leur période de floraison débute après celle du pommier et n'interfère pas avec sa pollinisation. Ces deux plantes ont des architectures, des tailles, des fleurs, des couleurs et des phénologies différentes afin de favoriser la complexité des microhabitats et d'attirer des prédateurs diversifiés.

1.2.4.2 L'achillée millefeuille *A. millefolium*

L'achillée millefeuille est l'une des plantes vivaces les plus communes au Québec et est considérée à la fois comme indigène et introduite (Marie-Victorin et al. 2002). Elle fleurit de juin à septembre et tolère les périodes de sécheresse (Horticulture Indigo 2011; Marie-Victorin et al. 2002). C'est une plante très attractive pour les prédateurs aphidiphages, tels que les Syrphidae (*Meliscaeva cinctella*, *Paragus* sp., *Sphaerophoria sulphuripes*, *Syrphus opinator*, *Toxomerus occidentalis*) et les Coccinellidae (*Adalia bipunctata*, *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata*, *Propylea quatuordecimpunctata*) qui viennent y pondre leurs œufs et dont les larves se nourrissent de pucerons (Bostanian et al. 2004; Colley et Luna 2000; Meiners et Obermaier 2004; Wyss 1996). Le pollen et le nectar de l'achillée millefeuille en font l'une des plantes les plus attractives en milieu de saison lorsqu'elle est en pleine floraison et elle est l'une des plantes les plus utilisées en aménagement végétal (Colley et Luna 2000).

L'achillée millefeuille est également une plante très aromatique, c'est-à-dire qu'elle possède des composés organiques volatiles qui lui confèrent des propriétés répulsives (Wäckers 2004). Les deux principaux composés aromatiques responsables de cet effet chez *A. millefolium* sont le camphre et le 1,8-cineole (Kokkalou et al. 1992; Wäckers 2004). Des études réalisées en laboratoire avec de l'huile essentielle d'achillée millefeuille, extraite des feuilles, des tiges, des racines ou des fleurs par distillation ou avec des solvants, ont démontré son effet répulsif envers des arthropodes tels qu'*Aedes aegypti* (Culicidae), *Rhopalosiphum maidis* (Aphididae), *Heterospilus prosopidis* et *Cotesia glomerata* (Braconidae), ainsi que sur *Acanthoscelides obtectus* (Bruchidae) sur qui elle a également eu pour effet d'inhiber l'émergence de l'adulte (Halbert et al. 2009; Jaenson et al. 2006; Jovanovic et al. 2007; Wäckers 2004). D'après la littérature, l'effet répulsif de l'achillée millefeuille n'a jamais été testé sur *A. pomi* ni *H. testudinea* ni sur aucun autre Tenthredinidae.

1.2.4.3 La verge d'or du Canada *S. canadensis*

La verge d'or du Canada est une plante indigène au Québec qui fleurit du milieu de l'été jusqu'à l'automne (Marie-Victorin et al. 2002). En raison de ses nombreuses fleurs jaunes et de la qualité de son pollen et de son nectar, elle attire de nombreux prédateurs adultes tels que les Anthocoridae (*Orius insidiosus*) (Paterno et al. 2003) et les Thomisidae (Garcia-Bengochea et Morse 2010) et nous pouvons y retrouver des larves de prédateurs tels que les Syrphidae (*Toxomerus marginatus*; *Sphaerophoria scripta*; *Syrirta pipiens*) (de Groot et al. 2007; Robson 2008). La verge d'or du Canada attire également les hyménoptères parasitoïdes (Leius 1967) ainsi que les pollinisateurs tels que les Apidae (*Bombus ternarius*) (Robson 2008). Le

genre *Solidago* est connu pour attirer les parasitoïdes Pteromalidae, Eulophidae et Ichneumonidae qui se nourrissent du nectar, ainsi que les prédateurs Coccinellidae, Cecidomyiidae (*Aphidoletes* sp.) et Chrysopidae (Sholes 1984).

1.3 Les objectifs et les hypothèses

Dans ce projet de recherche, nous voulions répondre à deux questions principales :

- La plate-bande de fleurs a-t-elle un effet sur l'abondance des populations d'*H. testudinea* et d'*A. pomi*, ainsi que sur l'abondance de leurs prédateurs potentiels en vergers de pommiers?
- Si oui, quels sont les mécanismes impliqués?

Hypothèse 1 : Par l'implantation d'une plate-bande de fleurs, l'abondance des populations de prédateurs va augmenter dans le verger.

Justification : La théorie des ennemis naturels prévoit que la plate-bande de fleurs va procurer aux prédateurs des sources de nourriture alternatives (proies, pollen et nectar), des refuges, ainsi que des sites de ponte et de reproduction pendant la saison (Halaji et al. 2000; Baggen et Gurr 1998; Hickman et Wratten 1996; Altieri 1994; Powell 1986).

Hypothèse 2 : La distance des pommiers à la plate-bande de fleurs aura un effet sur la répartition des populations de prédateurs. Plus les pommiers seront près de la plate-bande de fleurs, plus les prédateurs seront abondants.

Justification : Certains arthropodes prédateurs ont un faible pouvoir de dispersion et ne se rendront pas dans les parties plus éloignées du verger (Andow 1991). De plus,

il existe une plus grande probabilité de retrouver les arthropodes à proximité de la plate-bande comparativement à un pommier plus éloigné. L'abondance des prédateurs sera donc plus élevée sur les pommiers situés près de la plate-bande de fleurs.

Hypothèse 3 : La plate-bande de fleurs aura indirectement un impact réducteur sur *H. testudinea* et *A. pomi*.

Justification : Les populations de prédateurs aphidiphages et les araignées vont jouer un rôle répresseur sur les deux ravageurs présents dans les pommiers.

Hypothèse 4 : Par l'implantation d'une plate-bande de fleurs, les dommages à la récolte causés par les arthropodes ravageurs (pucerons, hoplocampe des pommes et autres ravageurs tels que la punaise terne) diminueront.

Justifications : Les populations d'arthropodes ravageurs seront moins nombreuses en raison de l'effet répresseur exercé par les populations de prédateurs.

CHAPITRE II

IMPACT OF *ACHILLEA MILLEFOLIUM* ON THE EUROPEAN APPLE SAWFLY *HOPLOCAMPA TESTUDINEA* (HYMENOPTERA: TENTHREDINIDAE) IN APPLE ORCHARD

Jennifer De Almeida¹, Daniel Cormier² & Éric Lucas¹

¹Département des Sciences biologiques, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888
Succ. Centre-ville, Montréal, Qc, Canada H3C 3P, ²Institut de recherche et de
développement en agroenvironnement, 3300, rue Sicotte, C.P. 480, Saint-Hyacinthe,
Qc, Canada J2S 7B8

2.1 Abstract

The European apple sawfly *Hoplocampa testudinea* (Klug) (Hymenoptera: Tenthredinidae) is a specific pest of apple which is present in most of the orchards in the eastern parts of North America. In Quebec, the apple sawfly can damage up to 14 % of apples in orchards and the growers use a phosphate insecticide during the petal fall stage to control the pest, which is also toxic for beneficial insects. As an alternative to pesticides, we established a flower strip in three orchards in Quebec, composed of *Achillea millefolium* L. (Asteraceae), to interfere in the oviposition of the apple sawfly and reduce damages on apples. These managed areas were compared to areas with the natural groundcover of the orchard. The populations of the apple sawfly were monitored in 2008, using sticky white traps and visual observations on apples. Our results showed that the population of apple sawfly adults was significantly reduced in orchard's area close to flower strip than in orchard's area with natural groundcover (control). In order to understand the mechanism of the flower strip effect, we tested the potential repellent effect of *A. millefolium* on populations of *H. testudinea* adults. We sprayed an essential oil extract from this plant on twenty apple's flowers per tree during the full bloom, which is the oviposition period of the pest. Sprayed and control flowers were then collected and dissected to note the presence of oviposition scars and eggs of the apple sawfly. Significantly less scars and eggs were observed on sprayed flowers than on control flowers, which mean that *A. millefolium* had a repellent effect on the insect.

Key words: *Hoplocampa testudinea*, *Achillea millefolium*, habitat management, flower strip, essential oil, apple orchard

2.2 Introduction

The apple sawfly *Hoplocampa testudinea* (Klug), a specific pest of apple in Europe was first recorded in Quebec in 1979 (Paradis 1980). It is a pest in most of the orchards in North America (Cross et al. 1999; Vincent & Mailloux 1988). The adult emerges from the soil at the tight cluster stage and can damage up to 14 % of apples in Quebec's orchard, resulting from egg laying in the receptacle of apple's flowers during the full bloom (Graf et al. 1996; Vincent & Mailloux 1988; Zijp & Blommers 1997). Eight to 15 days later, at petal fall stage, larvae hatch and grow up in young fruits, causing damages by digging galleries under the epidermis and by feeding on apple's pulp (Miles 1932). These damages, called primary damages, leave a typical spiral scar on apples, which depreciate the fruit (Dickers 1953; Miles 1932). Larvae penetrate then in other fruits and burrow a tunnel of 3mm diameter. Fruits from secondary damages will not mature and will fall during June. Larvae will then overwinter beneath the ground in a cocoon (Ciglar & Baric 2002; Miles 1932). No pesticides can be used to control this pest during the full bloom, which is the oviposition time of *H. testudinea*, because this is the period of intense activities of pollinators. Thus, the apple growers use mainly an organophosphate insecticide (guthion) during the petal fall stage to kill the young larvae, however the treatment is toxic for wildlife and environment (Anderson et al. 1974; Matz et al. 1998).

The practice of habitat management could be an alternative to chemical control since it can enhance insect's diversity and reduce phytophagous insects populations in crops (Andow 1990; Root 1973; Thomas & Marshall 1999). A review of 209 studies showed that in more diversified crops, 52 % of pests, which corresponded to 149

species, are less abundant than in monoculture. Only 9 % of pests had lower densities in diversified crops and the remains were not affected (Andow 1991). Directly, the habitat management increases the difficulty for pests to locate their host plant, because of the several different chemicals stimuli produced by the diversity of plants, around or inside the culture, and because of the varied stratum and physical borders (Root 1973). It can also reduce residence time of pests in the culture and reduce their oviposition (Andow & Risch 1985; Meiners & Obermaier 2004). The habitat management can also affect pests indirectly by attracting natural enemies, predators and parasitoids, by providing pollen, nectar, alternative preys or hosts and also refuges, oviposition sites and breeding sites (Altieri 1994; Baggen & Gurr 1998; Halaji et al. 2000; Hickman & Wratten 1996; Mills & Daane 2005; Powell 1986; Root 1973; Van Emden 1965). However, no research has been done at this point to test the effect of a vegetation habitat management on apple sawfly populations in orchards.

Here, we test the effect of a permanent habitat management, a flower strip, on the reduction of *H. testudinea* populations. Studies on the effect of flower strip in the literature do not provide constants results. Some noted a higher abundance of herbivorous insects in managed area (Wyss 1996) whereas other noted a lower abundance of herbivorous and a higher abundance of parasitoids and predators (Bostanian et al. 2004; Wyss 1995). For other studies, no differences were noted between managed or control habitat (Fitzgerald & Salomon 2004). In our study, one perennial Asteraceae very common in Quebec, *Achillea millefolium*, was selected. It possesses two main required traits: it does not belong to the same family of the apple tree, to avoid attracting the apple tree pests, and its flowering period occurs after the apple tree in order to avoid interfering with pollinators. *Achillea millefolium* is a very attractive plant for natural enemies such as Syrphidae,

Coccinellidae and Ichneumonidae parasitoids, and also for preys such as aphids (Meiners & Obermaier 2004; Bostanian et al. 2004; Colley & Luna 2000). It can also be a strong repellent for pests such as the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Halbert et al. 2009), the mosquitoes *Aedes aegypti* L. (Jaenson et al. 2006), the bean weevil *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Jovanovic et al. 2007) and also the Braconidae *Heterospilus prosopidis* Viereck and *Cotesia glomerata* L. (Wäckers 2004). All these studies tested plant-derived compounds and extracts of *A. millefolium* in laboratory, obtained with the stems, the flowers or the leaves. The repellent effect is mainly due to two aromatic compounds, camphor and 1,8-cineole (Abramson et al. 2006; Halbert et al. 2009; Thorsell et al. 2006). The concentrations of these compounds vary with a wide range depending on the native area of the plant, and *A. millefolium* demonstrates a stronger potential than many other aromatic plants (Kokkalou et al. 1992; Wäckers 2004). At this time, no research has been carried out to test the effect of aromatic plants on apple sawfly populations, neither on Tenthredinidae.

The aims of the present research project were to test the effect of a flower strip of *A. millefolium* on adult populations of *H. testudinea* and to evaluate the potential repellent effect of essential oil extracts on this pest. We expected that flower strips would reduce apple sawfly populations near the managed stand, and possibly reducing damaged apples. As a potential mechanism, we propose that *A. millefolium* would have a repulsive effect on apple sawfly populations.

2.3 Material and methods

2.3.1 Apple orchards sites

The experiments took place in three commercial and conventional apple orchards located in Compton (45.238356° N; -71.854711° W), Stanstead (45.075421° N; -72.069612° W) and Magog (45.213273° N; -72.135468° W) (Quebec, Canada). All apple trees were on dwarf or semidwarf rootstock. The orchard cultivars were McIntosh, Paulared, Lobo, Cortland and Spartan.

2.3.2 Arthropod management

The orchards were managed through application of pesticides. Azinphos-méthyl was applied annually at petal fall against *H. testudinea* and phosalone or phosmet was applied at the end of July against *Cydia pomonella*. Besides, Deltamethrin was applied in Compton at the beginning of May against bugs and phosmet was applied in Stanstead at the end of July to control *Rhagoletis pomonella*. Acaricide (superieur oil) was used at the beginning of May in Magog and Compton against spider mites.

2.3.3 Flower strip management

Composite flower strips were established in 2006, perpendicularly on a border to apple trees rows, in the three apple orchards. Flower strips (2 m x 20 m) were composed of *S. canadensis* and *A. millefolium* sowed respectively at 1 g/m² and 0.5 g/m². During the sampling period of the study, *S. canadensis* was not emerged yet so the flower strip was only composed of *A. millefolium*. Each orchard contained flower strips paired with natural groundcover (2 m x 20 m) for a total of eight flowers strips and eight control for the three orchards (Compton (2), Stanstead (2) and Magog (4)). Each managed area of the orchard (with flower strip) was paired to an unmanaged area (control), composed by the natural groundcover of the orchard, and paired areas had similar apple tree age, size and variety. In total, we had eight repetitions shared between the three orchards. Buffer zones of 10 to 15 m composed of apple

tree rows were established at each side of the sampling orchard's areas to minimize edge effect.

2.3.4 Sampling pest

Hoplocampa testudinea populations were monitored weekly from mid-May to the end of June in 2008, with sticky white traps hanged in apple trees at 150 cm from the soil surface. On the two apple tree rows facing each flower strip and each control, one tree per row and per distance were chosen, located at 0, 10 and 30 m. 0 m was the first apple tree of the row, corresponding to a mean distance of 10 m from the managed stand. On each tree, one sticky white trap was hanged and replaced weekly, and the number of adults was counted.

Hoplocampa testudinea populations were also monitored weekly from mid-May to the end of June in 2008 within each flower strip and control treatments, with sticky white traps placed at 50 cm from the soil surface (height of *A. millefolium* in the flower strip), to verify if this pest was present in the managements.

2.3.5 Sampling pest incidence

At harvest, in the end of august, 50 fruits randomly selected on each of the sampling trees in the orchards were observed for pest injury, with a total of 100 apples examined per distance in each treatment. The fruit were randomly selected around the tree, at different height, and observed directly in the orchard. All damages made by *H. testudinea* (typical spiral scar on apples and oviposition scar near the calyx) or other pests, were counted and identified. All the observations were made the same day for the three orchards.

2.3.6 *Achillea millefolium* essential oil

A second experiment was lead with essential oil of *A. millefolium*. The experiment took place in Stanstead orchard because it was the most infested by the apple sawfly. We selected 40 apple trees at random, with 20 treated apple trees and 20 controls. Each treated tree was paired with a control tree with the same cultivar, age and size. The cultivars were Spartan, Empire and Cortland, and six meters were established between two paired trees. On each tree, at about 150 cm from the soil surface, one branch having a minimum of four floral bouquets was selected at random and identified with a flag. During the five days that last the full bloom period, the same branch on each of the 20 apple trees received one application, each morning at the same hour, of *A. millefolium* essential oil (Union nature aromaphyto inc., Québec). The essential oil was diluted in water at a concentration of 4 % (resulting from pre-test). One application corresponded to ten sprayings of 2 ml each along one branch, that is 20 ml of solution per branch containing 0,8 ml of essential oil. At the same time, the control branches of the 20 other apple trees received one application of water (ten sprayings of 2 ml along one branch that is 20 ml of water).

At the sixth day of the experiment, 20 flowers were collected per branch on each control and treated trees. We also collected 20 other flowers randomly at the periphery of the treated branch (about 30 cm surrounding). These 20 peripheral flowers were collected to verify if the flowers near the treated branch received the same repulsive effect of essential oil that the flowers sprayed. All flowers were put in bags, placed in a cooler, and observed in the laboratory during the following 24

hours. We noted the presence and the number of oviposition scars made by apple sawfly females on each flower. To verify which proportion of scars corresponded to an egg of apple sawfly (because of unsuccessful oviposition), all flowers with an oviposition scar were put individually in an identified Petri dish with a moisturized blotting paper and sealed up with paraffin wax. Flowers were then placed in an incubator at 25 °C during three days and then dissected and observed under binocular microscope to detect the presence of an egg.

2.3.7 Data analysis

In order to evaluate the impact of the flower strip on the apple sawfly populations, the mean number of apple sawfly trapped by sticky white trap was calculated, based on the average number of sawflies trapped each week for each distance in manage and control plots of the three orchards. Paired T-test analyses were then performed for each of the measured distance on the average captures per trap and for the overall amount of trapped sawflies. Data were calculated from the mean number of trapped apple sawflies in the whole collect period (six weeks). Since multiple tests are involved with this research design, a correction using the Holm-Bonferonni procedure has been completed to obtain a more conservative p value ($\alpha = 0.05$) (Aickin & Gensler 1996).

In order to evaluate if the the flower strip had an impact on apples damaged by the apple sawfly, the same design was used, but instead of comparing mean numbers of trapped sawflies, the mean numbers of damaged apples were compared. Again, paired T-tests (managed area and unmanaged area) were performed with corrected p values.

In order to evaluate the proportion of flowers with oviposition scars and eggs between the three treatments (sprayed, peripheral and control), we compared the mean number of oviposition scars and eggs per branch with an univariate analysis of variance (ANOVA), with Tuckey-Kramer post-hoc comparisons (Sall et al. 2000). Data were not transformed.

All statistical analyses were performed with SPSS for Windows, version 17.0 (SPSS Inc. 2008, Chicago, IL) and JMP IN 4 (SAS Institute 2002).

2.4 Results

2.4.1 Flower strip effect

3441 apple sawfly adults were captured during the sample season with sticky white traps in the three orchards. The maximum number of apple sawfly captured in one week on one trap was 109 (observed in an apple tree in unmanaged area). The population of apple sawfly was significantly less abundant in managed areas of the orchard than in control areas ($T_7=3.27$; $P=0.018$) (original p value= 0.006) (Fig.2.1). Regarding the distances, the populations of apple sawfly were significantly less abundant at 0 m and 10 m in managed areas (respectively $T_7=3.65$; $P=0.016$ and $T_7=2.41$; $P=0.046$) (original p values= 0.004 and $=0.023$). In spite of the Holm-Bonferonni corrections, all significative results were conserved. Within the flowers strips and natural groundcover, there were very few individuals captured so no statistic analyses could be done.

At harvest, 4440 apples were observed, with a damage of 16.3 % in managed area and 17.8 % in control area. Five principal insect's damages were identified: the

apple sawfly, which represented 41.6 % of all apples damaged, followed by the tarnished plant bug *Lygus lineolaris* (39 %) (Miridae), other bugs (Miridae) (7.8 %), spring budworms (4.7 %) and summer budworms (2.1 %) (Tortricidae). Percent of apples damaged was similar in managed and unmanaged areas (Fig.2.2).

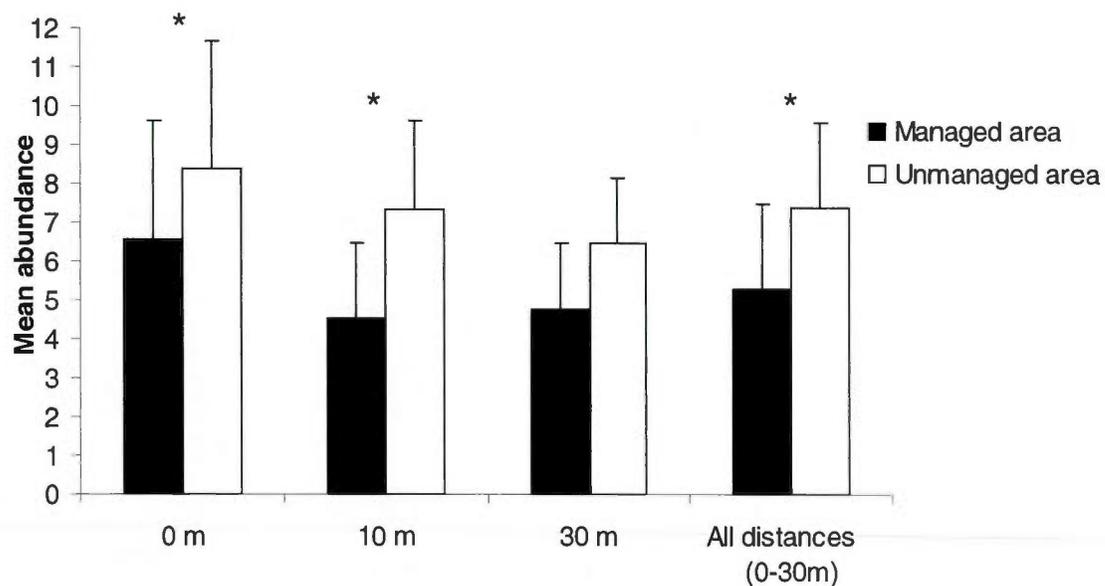


Figure 2.1 Mean abundance of European apple sawfly adults per sticky white trap and per week (\pm standard error) during the sample season, in three apple orchards, relative to the treatment (managed or unmanaged) and the distance to the treatment. * $P \leq 0.05$

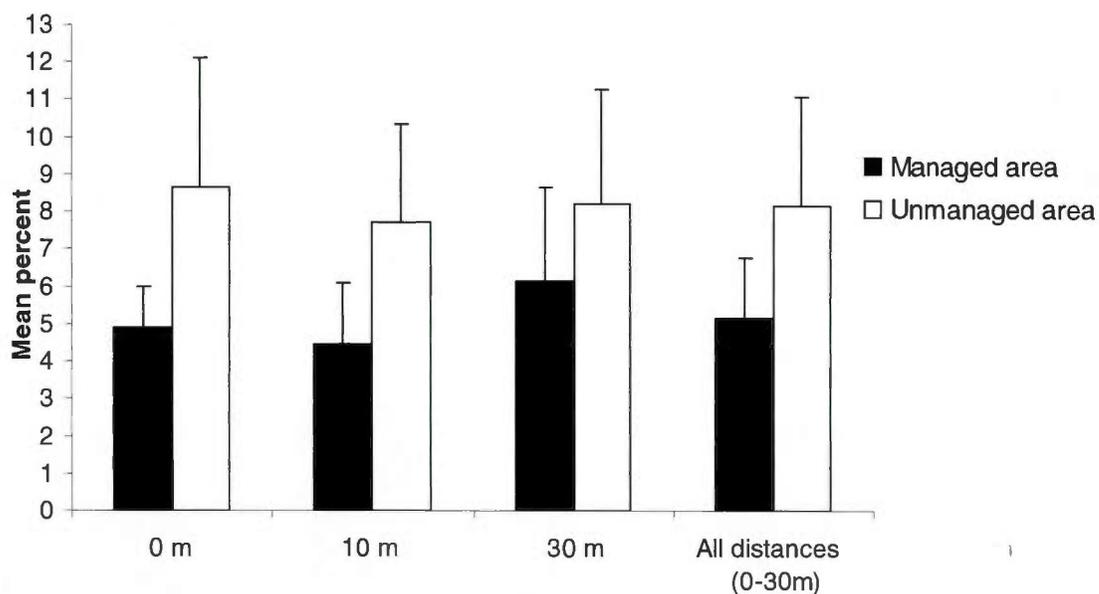


Figure 2.2 Mean percent of apples damaged by the European apple sawfly (\pm standard error), relative to the treatment and the distance to the treatment.

2.4.2 *Achillea millefolium* essential oil effect

On the 969 collected flowers, 12.6 % presented oviposition scars and 7.4 % were bearing an egg of apple sawfly. A maximum of eight oviposition scars and five eggs were observed on a control branch (20 flowers). There were significantly more oviposition scars in control flowers (23.4 %) than in sprayed flowers (9.1 %) and peripheral flowers (9.5 %) ($F_{2,15}$ 12.98; $P < 0.0001$) (Fig.2.3). There was no difference between sprayed and peripheral flowers. The same pattern was observed for eggs of apple sawfly, with 12.9 % of flowers bearing an egg on control flowers compared to 5.5 % on sprayed flowers and 5.2 % on peripheral flowers ($F_{2,15}$ 5.08; $P=0.0125$). There was no difference between sprayed and peripheral flowers.

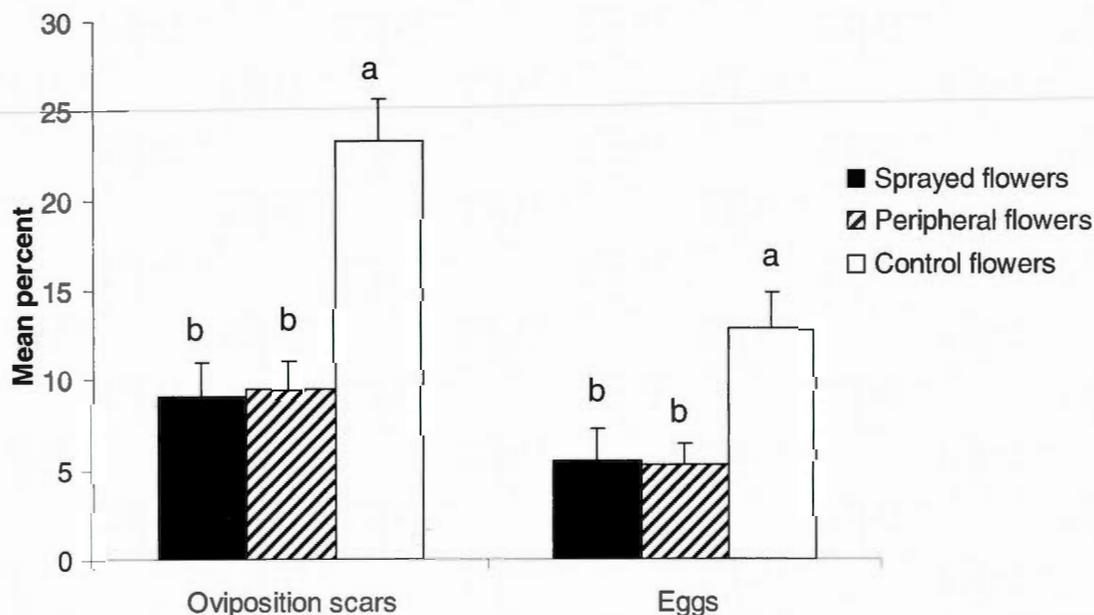


Figure 2.3 Mean percent of flowers per branch (\pm standard error) with oviposition scars and eggs of European apple sawfly, for control, sprayed and peripheral flowers.

2.5 Discussion

The effect of plant diversity on pests' population in cultures could result from three main mechanisms. First, by increasing the difficulty for pests to locate their host plant (Andow & Risch 1985; Meiners & Obermaier 2004; Root 1973); second by attracting natural enemies which will suppress the pest population (Altieri 1994; Mills & Daane 2005; Root 1973); and third by repelling pests due to the emission of aromatic compounds (Abramson et al. 2006; Halbert et al. 2009; Thorsell et al. 2006).

In this research, we confirm two of the three hypotheses that we suggested. First, we showed that the management of a flower strip of *A. millefolium* reduced *H. testudinea* populations near the managed stand. Regarding the distance, the reducing effect on *H. testudinea* was observed at 0 m and 10 m of the flower strip, but was no longer observed over 30 m in the managed area.

Second, as a potential mechanism to explain the lower abundance of the pest in managed area, we confirmed that *A. millefolium* has a repellent effect on the European apple sawfly. The repellent effect of *A. millefolium* is mainly attributed to two main aromatic compounds, camphor and 1,8-cineole possessed by most of Asteraceae and aromatic plants (Traboulsi et al. 2005). The number of flowers with scars and eggs of apple sawfly was significantly lower on branches treated by essential oil of *A. millefolium* or peripheral flowers. Our results demonstrated that essential oil of *A. millefolium* can repel adults of *H. testudinea* and reduce oviposition on trees near the managed stand.

Furthermore, since adults' populations were less abundant on sticky white traps in managed area, particularly near the flower strip at 0 m and 10 m, *A. millefolium* plants could have repel this pest. The repellent effect of extracts of this plant was already documented on pests but not on Tenthredinidae. Furthermore, most studies were done in laboratory and no one was tested in orchard.

We did not confirm our hypothesis about the reduction of apples damaged. The reducing effect of the flower strip on apple sawflies populations did not be reflected as a diminution of apples damaged in managed areas. The mean percent of apples damaged varied from 5.1 % in managed area to 8.2 % in unmanaged area. In fact, even if there was a significative reduction of the number of apple sawflies, the abundance of this pest was still largely higher than the economic threshold injury. This threshold is evaluated from four to six apple sawfly captured per trap from the tide cluster stage to the calyx, whereas in our study, we noted a mean cumulative capture of 17.8 and 21.7 apple sawfly per trap, respectively for the managed and unmanaged area.

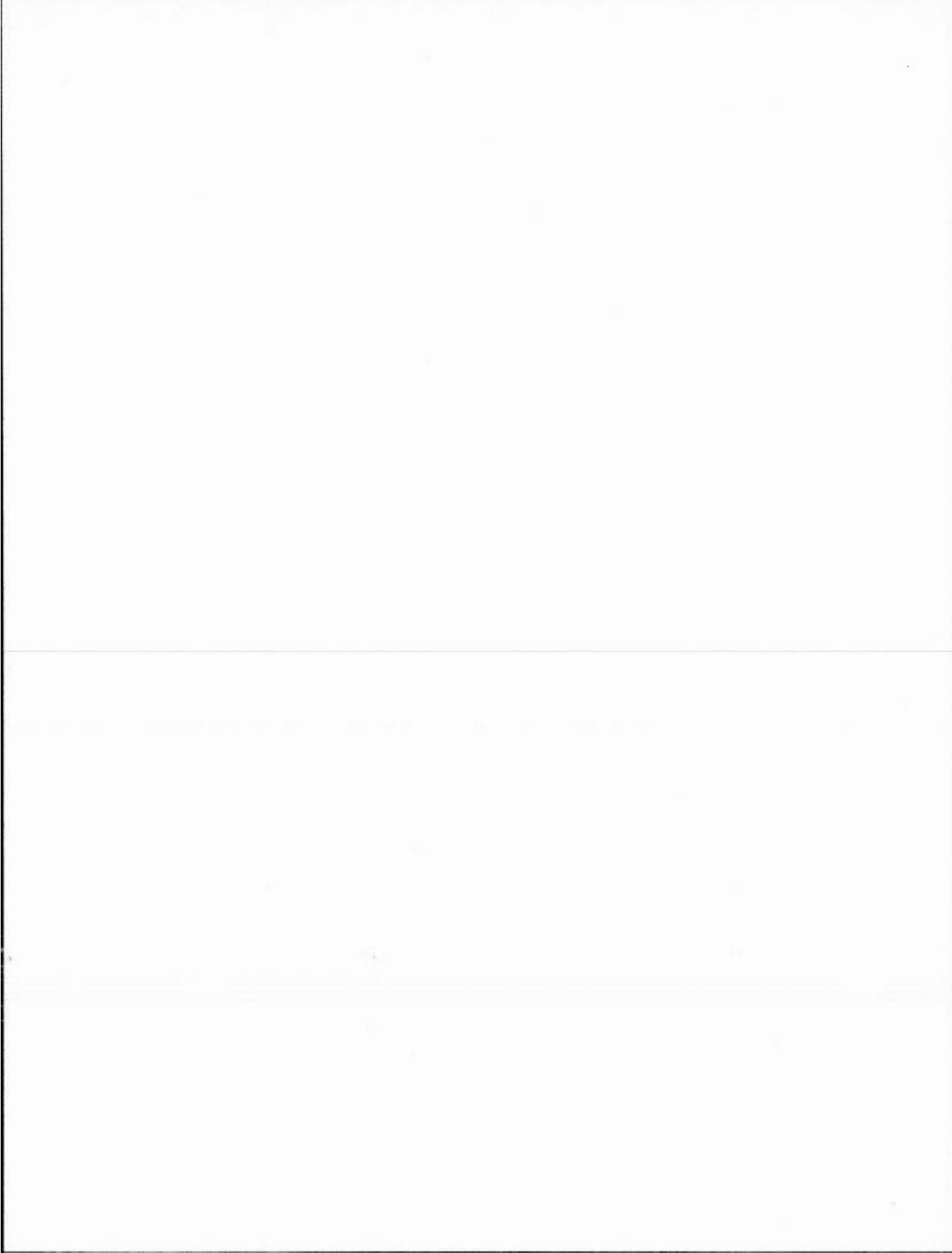
Another study realized in Quebec showed similar results. A flower strip composed of four Asteraceae of which *A. millefolium*, was established in an apple orchard during five years but didn't success to reduce significantly apple damages made by *H. testudinea* (Bostanian et al. 2004). Furthermore, the tree cultivars can influence the rate of apples damaged. In fact, scent, abundance of pollen and nectar and date of blossoming determine the degree of attraction by *H. testudinea* (Miles 1932). It will be interesting to study the influence of cultivar on the reduction of apple sawfly populations in this kind of habitat management.

This research demonstrated that a flower strip composed of *A. millefolium* can reduce apple sawfly populations, and that *A. millefolium* essential oil had a repellent effect on *H. testudinea* and success to reduce its oviposition on fruits. Yet, we showed that its efficiency was at short distance only, and was not strong enough to reduce significantly the percent of apples damaged. We suggest then to manage differently the flower strips in apple orchards in order to improve their efficiency and to reach apple trees at longer distance in the orchard.

Our results suggest that *A. millefolium* plants and extracts can participate to the control of the important apple pest, *H. testudinea*, by repelling adults and reducing the oviposition rate on apple's flowers.

Acknowledgment

We thank the three apple growers, Alessandro Dieni, Annick Pannetier Leboeuf, Benjamin Carrara, Claudia Roberge, David Beauregard, Francine Pelletier, Franz Vanoosthuyse, Geneviève Labrie, Jacinthe Trembaly, Louise Voynaud, Noémie Bourdon-Charest, Olivier Morrisset and Sylvain Hutchison for their precious help in the sampling. Thanks to Bertrand Fournier, Maxime Paquet and Olivier Lalonde for their appreciated advices in statistics. Thanks to Yves Mauffette and Conrad Cloutier who help to improve the text of this document. I thank especially Spencer Mason, Mr and Mme Mason and Martin Hutchison for all their effort in this project. Research was financing by the Conseil pour le Développement de l'Agriculture au Québec and supported by Horticulture Indigo and the Club Agroenvironnemental de l'Estrie.



CHAPITRE III

ABSENCE D'EFFET DE LA PRÉSENCE D'UNE PLATE-BANDE DE FLEURS SUR LES POPULATIONS DE PUCERONS ET DE LEURS PRÉDATEURS EN VERGER DE POMMIERS

Jennifer De Almeida¹, Daniel Cormier² & Éric Lucas¹—————

¹Département des Sciences biologiques, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888,
Montréal (Qc) H3C 3P8, ²Institut de recherche et de développement en
agroenvironnement, 3300, rue Sicotte, Saint-Hyacinthe (Qc) J2S 7B8

3.1 Résumé

L'étude portait sur l'impact de l'établissement d'une plate-bande de fleurs, composée d'achillée millefeuille (*Achillea millefolium* L.) et de verge d'or du Canada (*Solidago canadensis* L.) (Asteraceae), sur le puceron vert du pommier *Aphis pomi* De Geer et sur les prédateurs aphidiphages, dans trois vergers de pommiers commerciaux au Québec. Les arthropodes ont été échantillonnés en 2008 à l'aide de pièges collants blancs et d'observations visuelles dans des parcelles de pommiers aménagées (avec plate-bande de fleurs) et non aménagées (avec couvre-sol naturel) du verger, ainsi qu'au sein même de la plate-bande et du couvre-sol naturel. Les prédateurs les plus communs retrouvés sur les pièges collants blancs étaient les Araneae, les Chrysopidae, les Coccinellidae, les Hemerobiidae et les Syrphidae. Les observations du feuillage des pommiers ont dénoté la présence principale des Coccinellidae, Cecidomyiidae et Araneae. L'abondance des populations d'*A. pomi* n'était pas différente entre les parcelles aménagées et non aménagées. La plate-bande de fleurs n'a pas joué son rôle attractif attendu et l'abondance des populations de prédateurs n'était pas différente du couvre-sol naturel.

Mots clefs: Aménagement végétal, plate-bande de fleurs, *Achillea millefolium*, *Solidago canadensis*, verger de pommiers, prédateurs, Araneae, Coccinellidae, Syrphidae, *Aphis pomi*

3.2 Introduction

L'aménagement végétal a pour but d'attirer et de maintenir les populations de prédateurs aux abords ou à l'intérieur de la culture afin de fournir des ressources telles que le pollen, le nectar, des proies alternatives, des refuges, des sites de pontes et de reproduction (Altieri & Liebman 1986; Altieri 1994; Baggen & Gurr 1998; Root 1973; Zehnder et al. 2007). Dans un système agricole, l'aménagement végétal peut jouer un rôle prédominant pour améliorer la lutte biologique aux ravageurs et réduire l'utilisation de traitements chimiques (Andow 1990; Root 1973; Thomas & Marshall 1999). En verger de pommiers conventionnel, une soixantaine de ravageurs attaquent le tronc, les tiges, les feuilles, les bourgeons, les fleurs et les fruits (Chouinard 2001). Plusieurs traitements chimiques utilisés appartiennent aux familles des organophosphorés et des carbamates qui causent également une mortalité significative chez les arthropodes bénéfiques (Solomon et al. 2000). Les pyréthrinoïdes, également utilisés en vergers, ont aussi des effets néfastes sur les insectes bénéfiques (CRAAQ 2010). L'aménagement végétal peut être utilisé comme alternative aux traitements chimiques pour réduire les populations de ravageurs en-dessous du seuil de dommages économiques. L'aménagement du couvre-sol en verger est le type d'aménagement le plus documenté (Brown & Glenn 1999; Kinkorova & Kocourek 2000; Minarro & Dapena 2003; Rieux et al. 1999; Yan et al. 1997) mais son efficacité sur les arthropodes n'est pas concluante. Les études en verger de pommiers génèrent des résultats contradictoires. L'effet du couvre-sol peut être soit positif avec une augmentation des populations de prédateurs (Nabidae, Anthocoridae) et une réduction de l'abondance des ravageurs (Miridae) (Kinkorova & Kocourek 2000; Yan et al. 1997); soit négatif avec une augmentation de populations de ravageurs (Aphididae, Cicadellidae) (Brown & Glenn 1999). De plus, certaines études ne démontrent aucun effet de l'aménagement du couvre-sol

sur les populations d'arthropodes bénéfiques (Cecidomyiidae, Coccinellidae, Araneae, Figitidae) (Fréchette et al. 2008) mais parviennent parfois tout de même à réduire les populations de ravageurs (Tortricidae) (Irvin et al. 2006). Ceci signifie que la corrélation entre les aménagements végétaux et l'abondance de prédateurs et de ravageurs n'est pas claire.

L'aménagement d'une plate-bande de fleurs en verger de pommiers est très peu documenté. L'effet attractif des plates-bandes de fleurs sur les arthropodes bénéfiques a été démontré dans la plupart des études (Anthocoridae, Araneae, Cantharidae, Cecidomyiidae, Chrysopidae, Coccinellidae, Encyrtidae, Eupelmidae, Forficulidae, Hymenoptera parasitoids, Ichneumonidae, Miridae, Nabidae, Scelionidae, Staphylinidae, Syrphidae) (Leius 1967; Wyss 1995; Wyss 1996; Fitzgerald & Solomon 2004) mais cet effet ne se traduit pas systématiquement par une réduction du niveau des populations de ravageurs (Cercopidae, Cicadellidae, Curculionidae, Geometridae, Lymanthriidae, Psyllidae, Scolytidae, Tortricidae, Yponeumotidae) (Wyss 1996; Fitzgerald & Solomon 2004). Un exemple de réussite est l'étude de Wyss (1995) menée dans un verger de pommiers en Suisse, dans laquelle une plate-bande de fleurs composée de 20 espèces végétales (dont sept Asteraceae) a permis d'augmenter neuf familles de prédateurs aphidiphages et de réduire les populations de deux pucerons, *A. pomi* et *Dysaphis plantaginea* Passerini.

Dans la présente étude, deux Astereaceae vivaces, très communes au Québec, *Achillea millefolium* L. et *Solidago canadensis* L. ont été sélectionnées en fonction de quatre critères principaux : 1) elles n'appartiennent pas à la famille du pommier (pour minimiser l'attraction des ravageurs du pommier); 2) leur période de floraison a lieu après celle du pommier (pour ne pas interférer avec les pollinisateurs); 3) leurs

périodes de floraison se recoupent ce qui permet d'avoir une floraison qui dure tout l'été (dans le but de maximiser les ressources disponibles pour les prédateurs); 4) elles sont reconnues pour attirer les ennemis naturels (Marie-Victorin et al. 2002). *Achillea millefolium* fleurit de juin à septembre (Marie-Victorin et al. 2002). C'est une plante attractive pour les prédateurs aphidiphages tels que les Syrphidae et les Coccinellidae, mais aussi pour les proies potentielles tels que les pucerons (Bostanian et al. 2004; Colley & Luna 2000; Meiners & Obermaier 2004). C'est l'une des plantes les plus utilisées en aménagement végétal (Colley & Luna 2000). *Solidago canadensis* fleurit du milieu de l'été jusqu'à l'automne (Marie-Victorin et al. 2002). Ses nombreuses fleurs jaunes attirent plusieurs prédateurs tels que les Syrphidae (de Groot et al. 2007; Robson 2008) ainsi que les pollinisateurs Apidae (Robson 2008). Le genre *Solidago* est également connu pour attirer les Coccinellidae, les Chrysopidae et les Cecidomyiidae (*Aphidoletes* sp.) (Sholes 1984).

Le but de ce projet de recherche était d'évaluer l'effet de la présence d'une plate-bande de fleurs composée d' *A. millefolium* et de *S. canadensis*, dans un verger de pommiers, sur le ravageur *A. pomi* et sur les populations de prédateurs. Nous avons comme hypothèse que la plate-bande de fleurs augmenterait les populations de prédateurs près de l'aménagement végétal et qu'elle réduirait les populations d'*A. pomi* présentes sur les pommiers.

3.3 Matériel et méthode

3.3.1 Les vergers de pommiers

L'étude a été menée dans trois vergers de pommiers commerciaux en production fruitière intégrée situés à Compton (45.238356° N; -71.854711° O), Stanstead

(45.075421° N; -72.069612° O) et Magog (45.213273° N; -72.135468° O) (Québec, Canada). Tous les pommiers étaient sur des porte-greffes nains ou semi-nains (distance entre les rangs de 4,2 à 6,2 m; distance entre les arbres de 2 à 3,2 m). Chaque parcelle était composée d'un seul cultivar. Les différents cultivars présents dans les trois vergers étaient McIntosh, Paulared, Lobo, Cortland et Spartan.

3.3.2 Pratiques phytosanitaires

Les ravageurs étaient gérés par l'application de traitements chimiques. L'azinphos-méthyl était appliqué tous les ans au stade nouaison contre l'hoplocampe des pommes, *Hoplocampa testudinea* Klug (Tenthredinidae), et du phosalone ou du phosmet était appliqué à la fin juillet contre le carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* L. (Tortricidae). Du deltaméthrine a été appliqué dans le verger de Compton au début mai contre la punaise terne *Lygus lineolaris* Palisot de Beauvois (Miridae) et du phosmet a été appliqué à Stanstead à la fin juillet pour lutter contre la mouche de la pomme *Rhagoletis pomonella* Walsh (Tephritidae). Un acaricide a été appliqué au début mai à Magog et à Compton contre les tétranyques rouge, *Panonychus ulmi* Koch (Tetranychidae). De plus, 10 à 18 traitements fongicides était appliqués dans chacun des vergers durant la saison de croissance pour contrer la tavelure et les chancres. À ces traitements s'ajoutaient un à deux traitements herbicides dans chaque verger pour réduire la végétation au sol le long des rangs de pommiers.

3.3.3 Aménagement de la plate-bande de fleurs

Les plates-bandes de fleurs ont été établies en 2006 dans les trois vergers, perpendiculairement aux rangs de pommiers. Les plates-bandes de fleurs (2 m x 20

m) étaient composées de *S. canadensis* et d'*A. millefolium* semées respectivement à 1 g/m^2 et 0.5 g/m^2 . Chaque verger possédait des plates-bandes de fleurs appariées avec des zones de couvre-sol naturel (2 m x 20 m) pour un total de huit plates-bandes de fleurs et huit couvre-sol naturels (2 à Compton, 2 à Stanstead et 4 à Magog). Chaque parcelle aménagée du verger (avec plate-bande de fleurs) était appariée à une parcelle non-aménagée (témoin), composée par le couvre-sol naturel du verger. Deux parcelles pairées représentaient une répétition pour un total de huit répétitions pour les trois vergers. Les pommiers des parcelles appariées étaient similaires en âge, taille et cultivar. Une parcelle correspondait à une surface moyenne de 76 m^2 , composée de deux rangs de pommiers sur 30 m de long. Des zones tampons de 10 à 15 m de large, composées par des rangs de pommiers, étaient laissées de chaque côté des parcelles afin de minimiser l'effet de bordure sur la prise de données.

3.3.4 Échantillonnage entomologique

3.3.4.1 Pièges collants blancs

Les populations de prédateurs ont été suivies de la première semaine de mai à la première semaine de septembre 2008. Les pièges collants blancs étaient placés le long des deux rangs de pommiers face à la plate-bande de fleurs ou au couvre-sol naturel. Sur chacun des deux rangs, un pommier était sélectionné à 0, 10 et 30 m du début du rang. Le « 0 m » correspondait donc au premier pommier du rang, ce qui équivalait à une distance moyenne de 10 m des plates-bandes de fleurs. Sur chaque pommier, un piège collant blanc était accroché à 150 cm du sol et remplacé chaque semaine. Les arthropodes étaient ensuite dénombrés et identifiés à la famille en

laboratoire, excepté pour les Coccinellidae qui étaient identifiés à l'espèce (Borror et al. 1989; Hodek 1993; Laroche 1979).

Les populations de prédateurs étaient également suivies à l'intérieur de chaque plate-bande de fleurs et de chaque couvre-sol naturel, à l'aide de pièges collants blancs accrochés à 50 cm du sol sur des piquets, ce qui correspondait à la hauteur moyenne des plantes de la plate-bande de fleurs. Les pièges étaient remplacés chaque semaine en même temps que les pièges du verger puis observés en laboratoire.

3.3.4.2 Observation visuelle du feuillage des pommiers

Des observations visuelles ont été menées sur le feuillage des mêmes pommiers où se trouvaient les pièges collants, du 3 juin au 20 août 2008. Sur chaque arbre, 15 branches et gourmands étaient sélectionnées de façon aléatoire tout autour de l'arbre, de 50 cm à 170 cm de hauteur. Sur chaque branche ou gourmand, les 10 plus jeunes feuilles étaient observées pour un total de 150 feuilles par arbre (soit 14 400 feuilles par jour d'échantillonnage pour les trois vergers). Une première observation globale était effectuée pour noter la présence d'arthropodes adultes, puis chaque feuille était soulevée pour noter la présence d'œufs, de larves, de pupes et d'adultes d'arthropodes. Tous les arthropodes (ravageurs et prédateurs) étaient identifiés à la famille, excepté pour les Coccinellidae et les pucerons qui étaient identifiés à l'espèce. Si nécessaire, les œufs et les larves étaient collectés, mis en Pétri et ramenés en laboratoire jusqu'à l'émergence des adultes pour identification.

3.3.4.3 Observation des fleurs de la plate-bande

Des observations visuelles ont été menées à l'intérieur de la plate-bande de fleurs, du début juillet à la fin août, ce qui correspond à la période de floraison partagée par les deux espèces végétales. Au sein de chaque plate-bande de fleurs, dix plants d' *A. millefolium* et dix plants de *S. canadensis* étaient sélectionnés au hasard afin de déterminer si une espèce était plus attractive qu'une autre. Dans un premier temps, les plants étaient observés du bord de la plate-bande pendant 30 secondes pour noter la présence d'arthropodes adultes. Puis les plants étaient inspectés de près, de la base jusqu'à l'apex, les feuilles étaient soulevées et tous les œufs, larves, pupes et adultes d'arthropodes étaient notés et identifiés à la famille, excepté pour les Coccinellidae qui étaient identifiés à l'espèce. Un échantillonnage correspondait donc à l'observation de dix plants d' *A. millefolium* et dix plants de *S. canadensis* dans une plate-bande de fleurs.

3.3.5 Analyses statistiques

Pour les pièges collants blancs, le nombre moyen d'arthropodes par piège par semaine a été calculé pour chaque verger, en fonction du traitement (plate-bande de fleurs ou couvre-sol naturel) et de la distance au traitement (0, 10 et 30 m), sur toute la période d'échantillonnage soit 16 semaines. Des tests de t appariés sur le nombre moyen d'arthropodes capturés ont été réalisés pour chaque famille d'arthropodes ainsi que pour l'ensemble des prédateurs. Puisque plusieurs tests de comparaison ont été menés simultanément, une correction de Holm-Bonferroni a donc été utilisée afin d'obtenir une valeur de p ($\alpha = 0.05$) plus conservative et d'éviter les faux positifs (Aickin & Gensler 1996).

Pour les données d'observation des feuilles de pommiers, la même procédure statistique a été utilisée avec l'abondance moyenne d'arthropodes observés par

arbre (150 feuilles) par verger, en fonction du traitement et de la distance au traitement, sur toute la période d'échantillonnage soit 12 semaines. Une fois de plus, des tests de *t* appariés ont été utilisés avec une correction de Holm-Bonferroni effectuée sur les valeurs de *p* ($\alpha = 0.05$).

Une procédure similaire a été utilisée pour l'analyse des données des plates-bandes de fleurs, avec l'abondance moyenne d'arthropodes observés par plant pour chaque plate-bande, en fonction de l'espèce végétale (achillée millefeuille ou verge d'or du Canada), durant sept semaines. Seuls les pucerons étaient dénombrés en fonction de l'abondance moyenne de colonies au lieu de l'abondance moyenne d'individus. Une colonie correspondait à 30 pucerons en moyenne. Des tests de *t* appariés avec correction de Holm-Bonferroni ont été effectués. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec SPSS for Windows, version 17.0 (SPSS Inc. 2008, Chicago, IL) et JMP IN 4 (SAS Institute 2002).

3.4 Résultats

3.4.1 Pièges collants blancs

Dans les parcelles aménagées et non-aménagées du verger, 923 prédateurs adultes ont été collectés sur les pièges collants blancs, répartis en 61 % de Syrphidae, 18 % de Coccinellidae, 11 % d'Araneae et 10 % de Neuroptera (Chrysopidae et Hemerobiidae). Dans l'ensemble, le nombre moyen de prédateurs n'était pas significativement différent dans les parcelles aménagées et non-aménagées ($t_7 = -1.824$; $P = 0.221$) (Fig. 3.1). Parmi les Coccinellidae, 12 espèces ont été collectées, principalement représentées par *Harmonia axyridis* Pallas (64 % de toutes les

Coccinellidae), *Propylea quatuordecimpunctata* L. (10 %) et *Coleomegilla maculata* DeGeer (6 %) (Fig. 3.2).

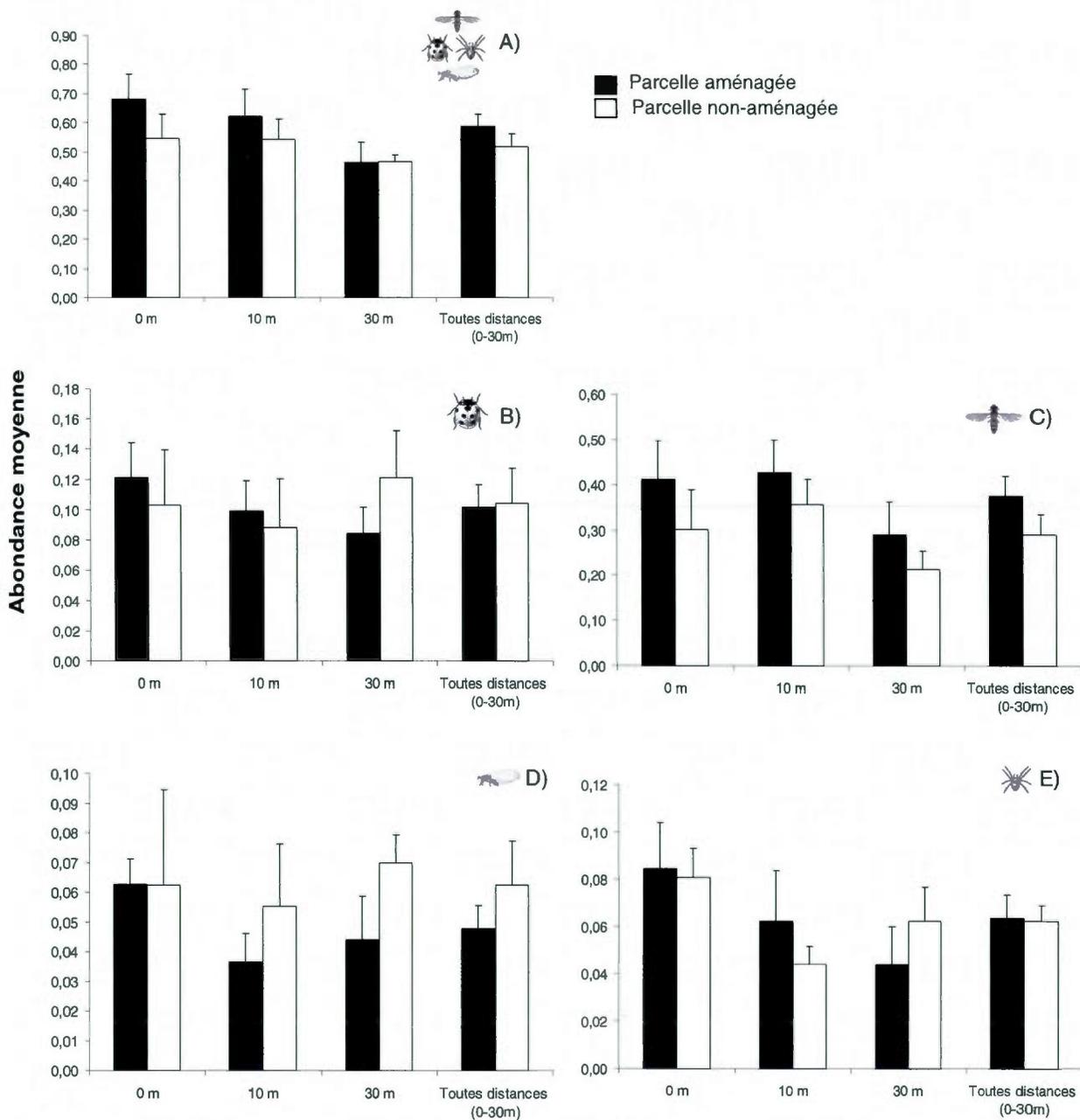


Figure 3.1 Abondance moyenne (\pm erreur type) par piège par semaine A) de tous les prédateurs, B) des Coccinellidae, C) des Syrphidae, D) des Neuroptera et E) des Araneae capturés sur les pièges collants blancs, installés dans les pommiers des trois vergers en 2008.

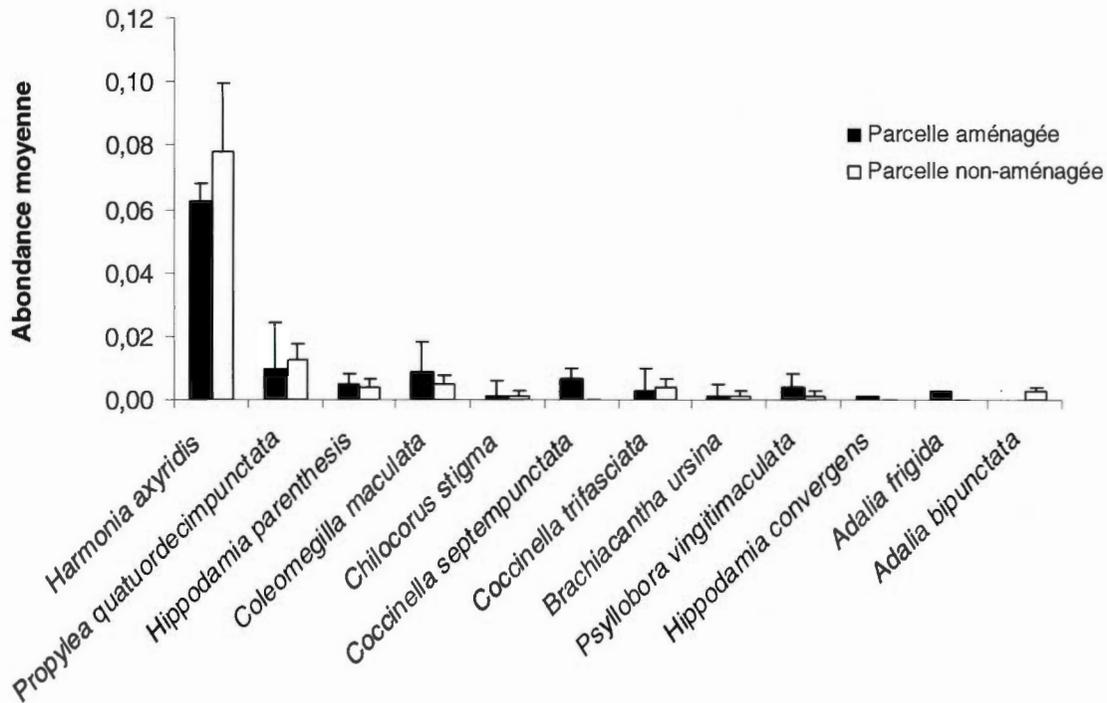


Figure 3.2 Abondance moyenne (\pm erreur type) des différentes espèces de Coccinellidae adultes capturées par piège et par semaine sur les pièges collants blancs, installés dans les pommiers des trois vergers en 2008.

Au sein de la plate-bande de fleurs et du couvre-sol naturel, 950 prédateurs adultes ont été capturés sur les pièges collants blancs répartis comme suit : 70 % de Syrphidae, 23 % de Coccinellidae, 3 % d'Araneae et 3 % de Neuroptera (Fig. 3.3). L'abondance des prédateurs n'était pas significativement différente dans la plate-bande de fleurs et dans le couvre-sol naturel ($t_7 = 1.669$; $P = 0.219$). Huit espèces de Coccinellidae ont été capturées, majoritairement représentées par *P. quatuordecimpunctata* (32 % de toutes les Coccinellidae), *H. axyridis* (22 %) et *H. parenthesis* Say (15 %) (Fig. 3.4). L'abondance des Coccinellidae n'était pas significativement différente entre la plate-bande de fleurs et le couvre-sol naturel ($t_7 = -2.611$; $P = 0.100$).

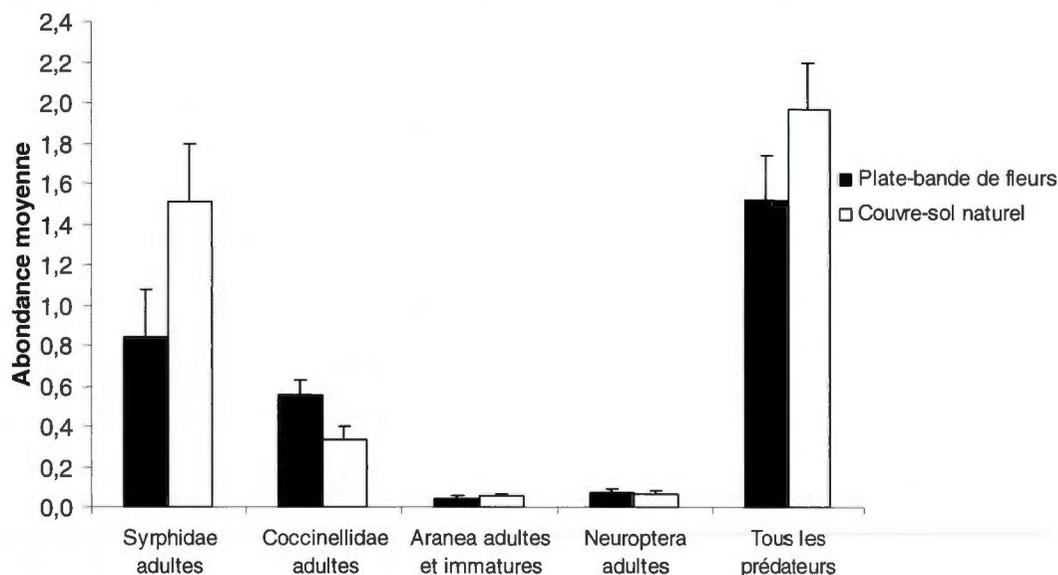


Figure 3.3 Abondance moyenne (\pm erreur type) des prédateurs par piège par semaine, capturés à l'aide de pièges collants blancs dans la plate-bande de fleurs ou dans le couvre-sol naturel des trois vergers en 2008.

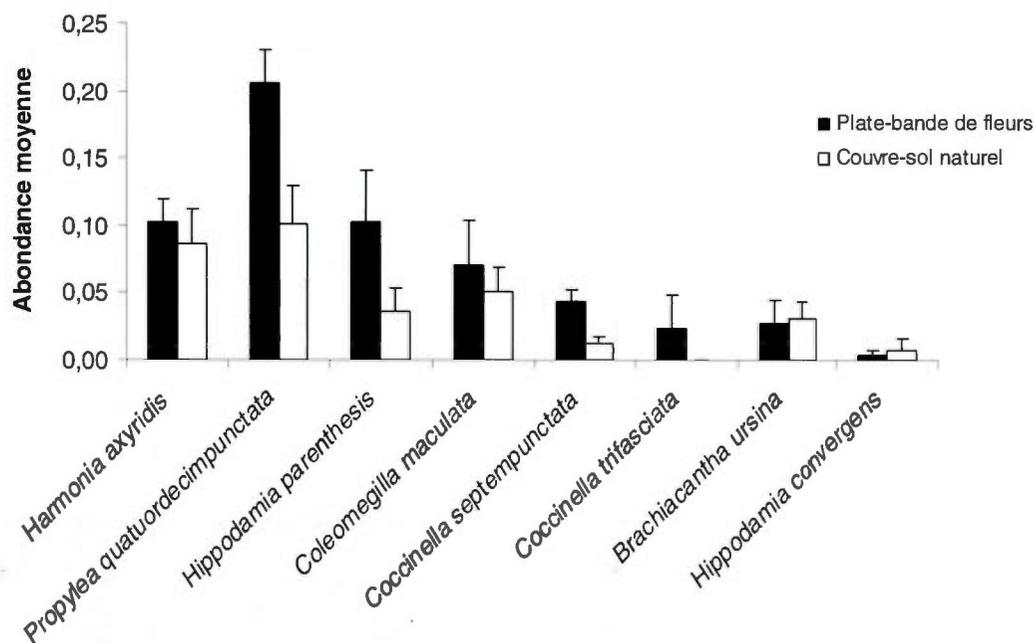


Figure 3.4 Abondance moyenne (\pm erreur type) des espèces de Coccinellidae par piège par semaine capturées à l'aide de pièges collants blancs dans la plate-bande de fleurs et dans le couvre-sol naturel dans les trois vergers en 2008.

3.4.2 Observation visuelle du feuillage des pommiers

Sur les feuilles de pommier, 223 œufs, larves, pupes et adultes de prédateurs ont été observés, dont 51 % d'Araneae immature et adultes, 25 % de larves de Cecidomyiidae et 24 % d'œufs, de pupes, de larves et d'adultes de Coccinellidae. Aucun Syrphidae, adulte ou larve, ni de Neuroptera n'a été observé. Dans l'ensemble, l'abondance des prédateurs était faible et n'était pas significativement différente dans les parcelles aménagées et non-aménagées du verger ($t_{103} = 1.737$; $P = 0.170$) (Fig.3.5). Seules *H. axyridis*, *C. septempunctata* L. et *P. quatuordecimpunctata* ont été observées sur le feuillage des pommiers.

Concernant les observations de pucerons, moins de 1 % des feuilles dénotaient la présence d'*A. pomi* (Fig. 3.6). Une autre espèce, *D. plantaginea*, a été observée seulement deux fois durant toute la période d'échantillonnage. Il n'y avait aucune différence significative dans l'abondance des populations d'*A. pomi* entre les parcelles aménagées et non-aménagées ($t_{103} = 1.787$; $P = 0.153$).

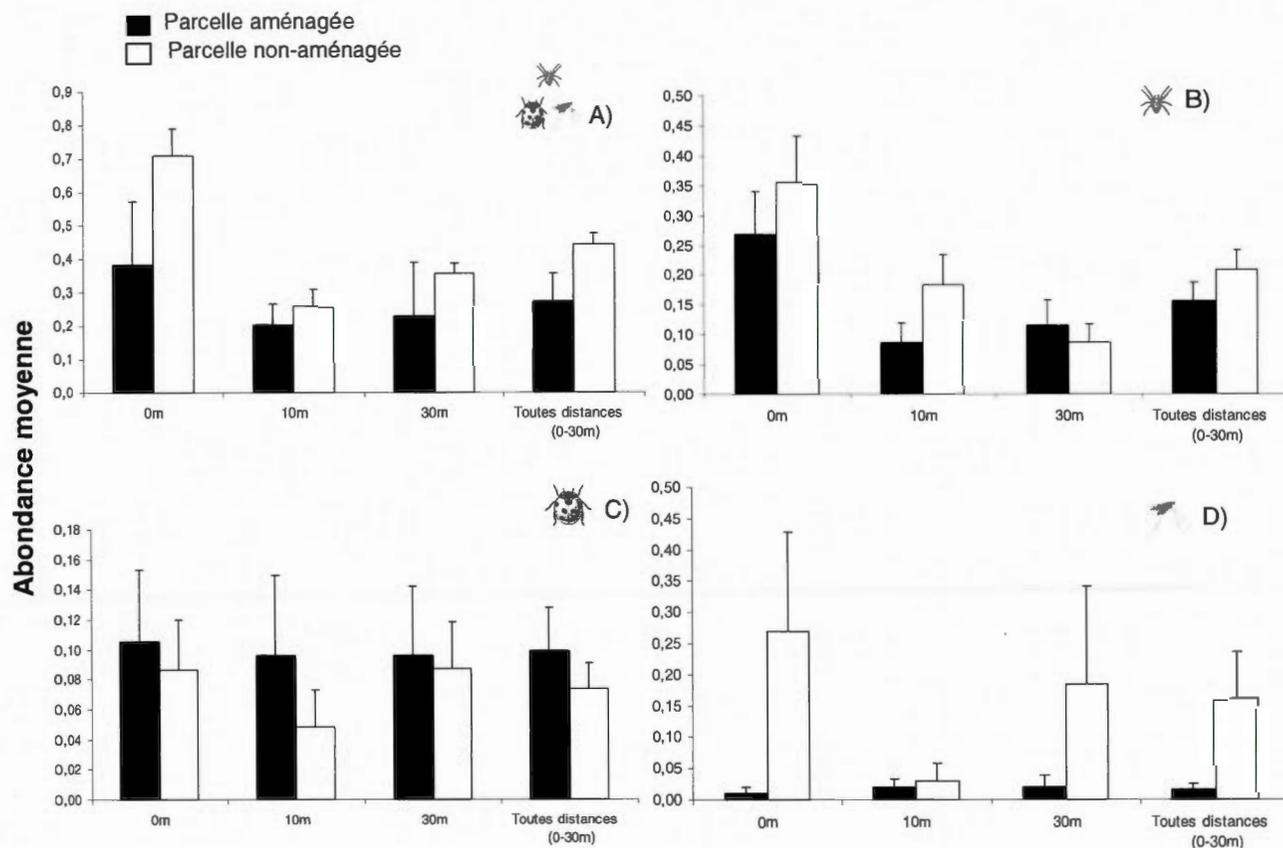


Figure 3.5 Abondance moyenne (\pm erreur type) par observation (une observation = 150 feuilles/arbre) de A) Tous les prédateurs, B) des Araneae, C) des Coccinellidae et D) des Cecidomyiidae sur les feuilles de pommiers dans les trois vergers en 2008.

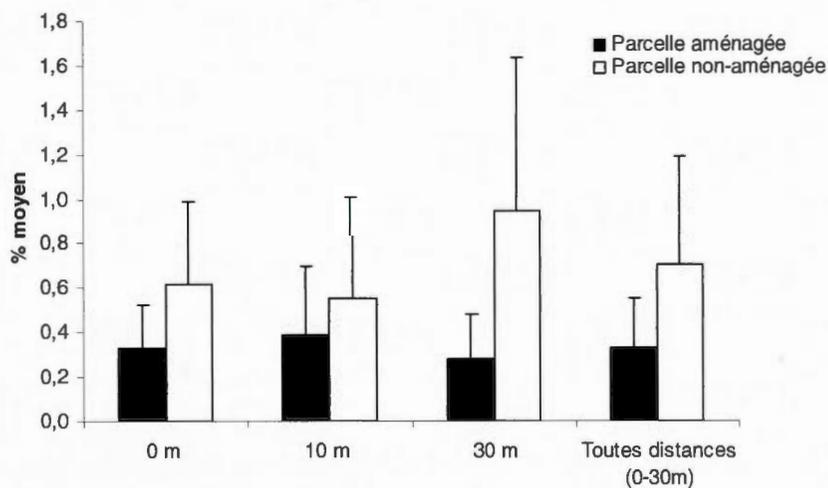


Figure 3.6 Pourcentage moyen (\pm erreur type) de feuilles avec présence d'*A. pomi* par observation (une observation = 150 feuilles/arbre) sur les feuilles de pommiers dans les trois vergers en 2008.

3.4.3 Observation des fleurs de la plate-bande

Dans la plate-bande de fleurs, 54 prédateurs et pollinisateurs ont été observés sur *A. millefolium* et *S. canadensis* composés d'Araneae (46 %), de Syrphidae (18 %), de Coccinellidae (13 %), de Pentatomidae (11 %) et d'Apoidea (11 %). Aucune différence significative n'a été observée dans l'abondance des prédateurs entre les deux espèces végétales ($t_{22} = 2.23$; $P = 0.089$), ni dans l'abondance des pollinisateurs ($t_{22} = 0.43$; $P = 0.332$). Cependant, l'abondance des araignées était près du seuil de signification ($\alpha = 0.05$) avec une plus grande abondance sur la verge d'or ($t_{22} = 2.64$; $P = 0.051$).

Dans la plate-bande de fleurs, 86 colonies de pucerons ont été observées sur l'achillée millefeuille et deux sur la verge d'or. Une seule espèce de puceron (que nous n'avons pas réussi à identifier) a été observée dans la plate-bande de fleurs et son abondance était significativement plus grande sur l'achillée millefeuille ($T_{22} = -7.42$; $P = 0.0008$). Ce puceron ne faisait pas partie des espèces de pucerons s'attaquant au pommier.

Un ravageur du pommier, la punaise terne *Lygus lineolaris* Palisot de Beauvois (Miridae), a été observé à raison de 4 individus sur l'achillée millefeuille et 17 sur la verge d'or ($t_{22} = 1.78$; $P = 0.176$).

3.5 Discussion

L'objet de ce projet de recherche était d'évaluer l'influence de l'établissement d'une plate-bande de fleurs sur les prédateurs aphidiphages et sur le ravageur *A. pomi* dans les vergers de pommiers. Contrairement aux attentes, la plate-bande de fleurs n'a pas augmenté l'abondance des populations de prédateurs ni réduit les populations de pucerons.

Les populations de prédateurs adultes et immatures étaient aussi abondantes dans les parcelles aménagées et non-aménagées du verger, de même que dans la plate-bande de fleurs et dans le couvre-sol naturel. Nous avons obtenu les mêmes résultats avec chaque taxon de prédateurs analysé séparément, soit les Araneae, Cecidomyiidae, Chrysopidae, Coccinellidae, Hemerobiidae, Pentatomidae et Syrphidae. Concernant les Coccinellidae, 12 espèces ont été capturées dans le verger contre huit espèces dans la plate-bande de fleurs. Nous nous serions attendus à une plus grande richesse dans la plate-bande de fleurs que dans le verger, car l'aménagement végétal est censé jouer un rôle attractif (Alhmedi et al. 2007a; Alhmedi et al. 2007b). Ces résultats sur l'absence d'influence de la plate-bande de fleurs sont surprenants puisque *A. millefolium* et *Solidago sp.* sont reconnues pour attirer des Coccinellidae (*Adalia bipunctata* L., *C. septempunctata*, *Hippodamia variegata* Goeze, *P. quatuordecimpunctata*) et des Syrphidae (*Meliscaeva cinctella* Zetterstedt, *Paragus sp.*, *Sphaerophoria scripta* L., *S. sulphuripes* Thomson, *Syrpitta pipiens* L., *Syrphus opinator* Osten Sacken, *Toxomerus occidentalis* Curran, *T. marginatus* Meigen) (Bostanian et al. 2004; Colley & Luna 2000; de Groot et al. 2007; Meiners & Obermaier 2004; Robson 2008; Wyss 1996).

Au sein de la plate-bande de fleurs, les observations visuelles des prédateurs adultes et immatures ont montré que ceux-ci n'étaient pas plus attirés par l'une des deux espèces végétales. Les larves de Syrphidae sont connues pour se nourrir des pucerons qui colonisent l'achillée millefeuille et les pucerons étaient significativement plus abondants sur l'achillée millefeuille que sur la verge d'or (48 fois plus) (Wyss 1996), mais aucune larve de Syrphidae n'a été observée.

Nous attribuons ces divergences entre nos hypothèses et nos résultats à quatre principaux facteurs. Premièrement, l'abondance des populations de prédateurs était très faible, peut-être trop, pour observer une différence significative entre les traitements. L'abondance des prédateurs adultes capturés sur les pièges collants blancs variait entre 0.52 et 0.58 prédateurs par piège par semaine dans le verger, et entre 1.52 et 1.96 dans les aménagements. Les populations de prédateurs adultes et immatures notées par observation visuelle étaient également faibles, mais du même ordre de grandeur que des études antérieures (Wyss 1995). La faible abondance des prédateurs aphidiphages dans les différentes parcelles du verger peut être expliquée par les très faibles populations de pucerons sur les pommiers avec moins de 1 % des feuilles de pommier colonisées par *A. pomi*.

Le second facteur serait la perturbation du milieu engendré par l'application de traitements chimiques durant toute la période d'échantillonnage qui a pu prévenir la colonisation et la croissance des populations de pucerons, et également affecter les populations d'arthropodes bénéfiques. Les applications de traitements chimiques peuvent affecter les prédateurs dans le verger puisqu'il est connu que les traitements chimiques utilisés contre les ravageurs causent de la mortalité chez les prédateurs (Solomon et al. 2000). Durant toute la période d'échantillonnage, cinq à

huit traitements insecticides et acaricides ont été employés dans chaque verger, ainsi que 10 à 18 traitements fongicides et un à deux traitements herbicides.

Le troisième facteur serait le seuil d'abondance minimal d'habitats semi-naturels à atteindre dans une culture pour être capable de voir une relation entre l'aménagement végétal et l'abondance des arthropodes bénéfiques. En effet, Kleijn et van Langevelde (2006) ont observé un effet d'augmentation des populations de Syrphidae et de pollinisateurs dans les habitats semi-naturels (plate-bande de fleurs, fossé, boisés, haies, etc...) uniquement lorsque l'abondance des fleurs dépassait un seuil minimal. Gurr et ses collaborateurs (2004) ont déterminé qu'au moins 10 % du paysage agricole devait être dédié à des habitats semi-naturels, mais qu'il y en aurait seulement 2 à 3 % en réalité. Kleijn et van Langevelde (2006) ont trouvé que 5 % d'habitats semi-naturels étaient insuffisants pour maintenir une visite des fleurs par les arthropodes bénéfiques, notamment les Syrphidae. Ainsi, les plates-bandes de fleurs à elles seules (40 m²) n'étaient peut-être pas suffisantes pour le verger puisque l'abondance des arthropodes bénéfiques serait déterminée par la quantité et la qualité des parcelles semi-naturelles dans le paysage agricole, donc à une échelle plus grande que le verger lui-même.

Le quatrième facteur qui pourrait expliquer l'absence d'influence de l'aménagement végétal serait le manque de ressources alternatives que la plate-bande de fleurs pouvait offrir. Celle-ci était composée de deux espèces végétales appartenant à la même famille botanique. Dans les études antérieures en aménagement d'une plate-bande de fleurs en verger de pommiers, les plates-bandes étaient composées généralement de 4 à 20 espèces végétales appartenant à une à dix familles botaniques différentes. Un aménagement plus diversifié pourrait générer un effet plus attractif envers les arthropodes bénéfiques puisqu'il offre plus

de ressources diversifiées (pollen, nectar, proies alternatives, refuges), du aux différentes architectures de plantes, aux différents stimuli, couleurs, qualité de nectar et de pollen des espèces végétales.

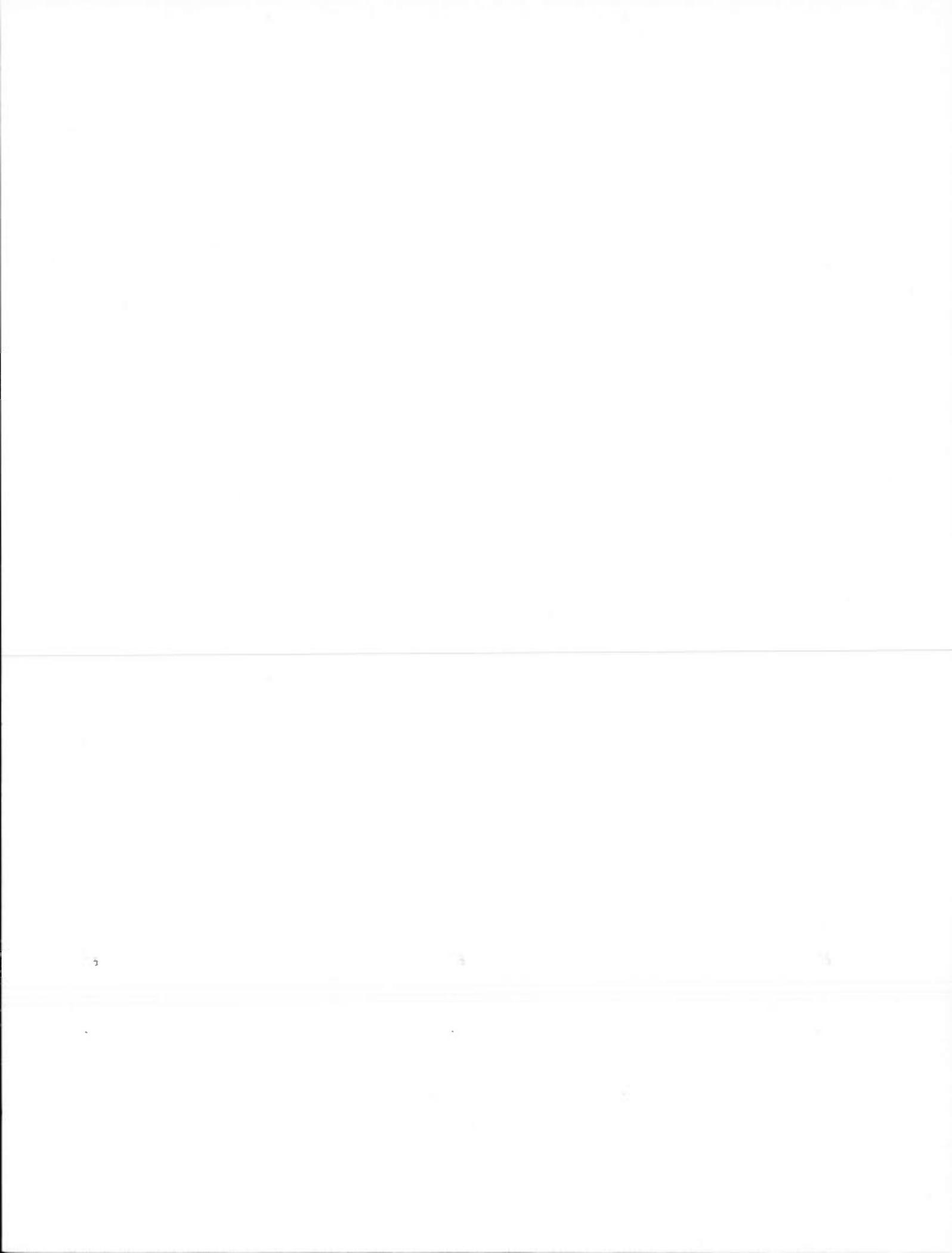
Finalement, la distance entre la plate-bande de fleurs et les premiers pommiers du verger (10 m en moyenne) a pu influencer la dispersion des arthropodes. Cette trop grande distance a peut-être évité que les prédateurs se rendent systématiquement sur les premiers pommiers, comme attendu. L'abondance des populations de prédateurs n'était pas différente entre les distances dans le verger (0, 10 et 30 m), ce qui n'a pas permis d'évaluer la distance moyenne de migration de la plate-bande de fleurs aux pommiers du verger.

Dans cette étude, aucune relation n'a été trouvée entre la présence de plates-bandes de fleurs et l'abondance des populations de pucerons et de prédateurs. D'autres recherches sont nécessaires afin d'améliorer nos connaissances sur l'aménagement de plates-bandes de fleurs en verger de pommiers et leurs effets sur l'entomofaune.

Remerciements

Nous remercions les trois pomiculteurs ayant participé à ce projet, ainsi qu'Alessandro Dieni, Annick Pannetier Leboeuf, Benjamin Carrara, Claudia Roberge, David Beauregard, Francine Pelletier, Franz Vanoosthuysse, Geneviève Labrie, Jacinthe Trembaly, Louise Voynaud, Noémie Bourdon-Charest, Olivier Morrisset et Sylvain Hutchison pour leur aide précieuse lors de l'échantillonnage. Merci à Bertrand Fournier, Maxime Paquet et Olivier Lalonde pour leurs conseils en analyses statistiques. Merci à Yves Mauffette et Conrad Cloutier pour leurs commentaires

lors de l'évaluation de cet article. Je remercie tout spécialement Spencer Mason, Mr et Mme Mason et Martin Hutchison pour tous leurs efforts mis dans ce projet. Cette recherche a été financée par le Conseil pour le Développement de l'Agriculture au Québec et supportée par Horticulture Indigo et le Club Agroenvironnemental de l'Estrie.



CONCLUSION

Les principaux objectifs de ce projet de recherche étaient 1) de tester l'effet d'une plate-bande de fleurs sur l'abondance des populations d'*H. testudinea* et d'*A. pomi*, ainsi que sur l'abondance de leurs prédateurs potentiels en vergers de pommiers, et 2) de comprendre les mécanismes responsables d'un tel effet s'il y en avait un.

La plate-bande de fleurs a eu un effet positif sur la réduction des populations de l'hoplocampe des pommes, *H. testudinea*, dans les parcelles aménagées du verger, avec des abondances de populations significativement plus faibles, particulièrement 0 m et à 10 m. Les abondances moyenne par piège par semaine était de 5,29 hoplocampes adultes dans les parcelles aménagées comparativement à 7,40 hoplocampes adultes dans les parcelles non-aménagées. Malgré la réduction de ces populations, les dommages sur pommes n'ont pas été significativement réduits (5,2 % et 8,2 %, respectivement dans les parcelles aménagées et non-aménagées), d'une part parce que les populations étaient encore au-dessus du seuil de dommages économique (quatre à six individus capturés par piège durant toute la période de la floraison) (Polk 1990), et d'autre part parce qu'il existait une grande variabilité entre le niveau de dommages des différents vergers. Si les effets de réduction de populations avaient été plus marqués, les dommages sur pommes auraient possiblement été réduits. De plus, l'étude portant sur l'huile essentielle d'achillée millefeuille a démontré un effet répulsif envers les femelles de l'hoplocampe des pommes en réduisant significativement la ponte (de 23,4 % à 9,1 % de fleurs avec traces d'oviposition) et le nombre d'œufs insérés dans les fleurs de pommiers (de 12,9 % à 5,5 % des fleurs). En appliquant la méthode de l'huile essentielle durant plusieurs années, les populations de l'hoplocampe des pommes auraient sans doute diminué dans les parcelles traitées puisque le taux de ponte était beaucoup plus

faible. L'achillée millefeuille peut donc éloigner l'hoplocampe des pommes dans les premiers mètres de la plate-bande de fleurs (jusqu'à 10 m dans le verger), et les extraits d'achillée millefeuille peuvent réduire sa ponte. Ces résultats peuvent être expliqués par un effet de répulsion engendré par l'achillée millefeuille. Cette plante est bien connue pour son rôle répulsif envers plusieurs arthropodes ravageurs tels que les Aphididae (*Rhopalosiphum maidis* Fitch) et les Bruchidae (*Acanthoscelides obtectus* Say), et c'est la première étude qui montre un pouvoir répulsif envers un ravageur du pommier.

La plate-bande de fleurs n'a cependant pas eu d'effet sur l'augmentation de l'abondance des populations de prédateurs étudiées, c'est-à-dire les adultes et les immatures de Coccinellidae, Syrphidae, Hemerobiidae, Chrysopidae, Araneae, les larves de Cecidomyiidae et les Pentatomidae adultes. De plus, la distance à la plate-bande de fleurs n'a pas influencé la répartition des populations de prédateurs puisque les prédateurs n'étaient pas plus abondants à 0 m qu'à 30 m dans les parcelles aménagées. À cela, s'ajoute le fait que la plate-bande de fleurs n'a pas eu l'effet attractif attendu puisque l'abondance des populations était similaire dans la plate-bande de fleurs et dans le couvre-sol naturel. La plate-bande de fleurs n'a pas eu d'effet sur la réduction des populations du puceron vert du pommier. Les populations étaient très faibles dans le verger, allant respectivement de 0,33 % à 0,70 % de feuilles infestées de pucerons dans les parcelles aménagées et non-aménagées. L'hypothèse des ennemis naturels n'a donc pas été validée car ni l'abondance des prédateurs, ni l'abondance du ravageur n'ont été influencées par la plate-bande de fleurs. L'achillée millefeuille et la verge d'or sont pourtant deux espèces reconnues pour être attractives envers la plupart des prédateurs visés par notre étude (Coccinellidae, Syrphidae, Cecidomyiidae, Chrysopidae, etc.) (de Groot et al. 2007; Meiners & Obermaier 2004; Sholes 1984). Plusieurs pistes ont été

proposées afin d'expliquer l'absence d'influence de la plate-bande de fleurs sur les populations de prédateurs, tels que les faibles populations de prédateurs et de pucerons observées, le paysage agricole faiblement diversifié, le nombre d'espèces végétales de la plate-bande de fleurs trop faible, la perturbation du milieu dû aux traitements chimiques et au passage de la machinerie, ainsi que la distance trop grande entre la plate-bande de fleurs et les premiers pommiers du verger.

Avec l'aménagement d'une plate-bande de fleurs en verger, nos résultats démontrent que les effets sur les arthropodes varient en fonction des espèces et peuvent avoir des effets positifs sur certains arthropodes, tandis que négatifs sur d'autres. Ce type d'aménagement ne peut donc être généralisé et doit être testé pour chaque arthropode ciblé.

En verger de pommiers, afin d'obtenir une plate-bande de fleurs plus efficace, il serait conseillé d'établir des aménagements de plus grande superficie (au moins trois fois la superficie des plates-bandes de notre étude) pour répondre au seuil de diversité minimale d'habitats semi-naturels. Les plates-bandes de fleurs seraient établies perpendiculairement aux rangs de pommiers, mais la distance entre l'aménagement et les premiers pommiers devrait être réduite dans la mesure du possible afin de permettre une meilleure migration des prédateurs tout en permettant à la machinerie de circuler dans le verger. L'utilisation conjointe des boisés et des fossés pourrait améliorer la distribution des prédateurs et augmenter la diversification du verger. La mise en place des plate-bandes demanderait une plus grande diversité d'espèces végétales provenant de familles botaniques différentes pour attirer des prédateurs diversifiés. Afin de pouvoir tester le plein potentiel de l'aménagement végétal, il serait conseillé de réaliser l'étude dans des vergers de

pommiers non-traités afin que les populations d'arthropodes soient plus abondantes et ne soient pas affectées par les traitements chimiques.

Les connaissances sur l'aménagement d'une plate-bande de fleurs en verger doivent être approfondies avant de recommander son installation aux producteurs. Il faudrait s'assurer que les parasitoïdes ne soient pas repoussés par la plate-bande de fleurs, puisque certains parasitoïdes présents dans d'autres cultures (crucifères) peuvent être repoussés par des extraits d'achillée millefeuille (*Heterospilus prosopidis* Viereck, *Cotesia glomerata* L. (Braconidae)) (Wäckers 2004). L'application d'extraits ou d'huile essentielle d'achillée millefeuille n'est présentement pas envisageable pour des producteurs car leur coût est extrêmement élevé. De plus, sa très grande volatilité en fait un produit difficile d'utilisation, en plus de devoir évaluer sa fréquence d'utilisation et de procéder aux tests de phytotoxicité sur l'ensemble de la faune du verger.

Les études doivent donc se poursuivre sur l'effet de l'établissement des plates-bandes de fleurs afin d'augmenter la lutte biologique aux ravageurs en verger. Les plates-bandes de fleurs établies pour cette étude ne peuvent être recommandées aux producteurs présentement en raison de l'absence de résultats significatifs sur les arthropodes bénéfiques. Cependant, les plates-bandes de fleurs sont des aménagements peu coûteux, faciles d'installation et d'entretien, qui peuvent aider les producteurs à la gestion phytosanitaire. Les vergers sont des cultures propices à l'établissement de tels aménagements car le sol n'est pas renouvelé annuellement comme dans les grandes cultures, ce qui laisse la possibilité aux populations de prédateurs de s'établir dans le verger. De plus amples recherches sont donc à poursuivre afin de réussir à établir une plate-bande de fleurs efficace pour lutter contre les principaux ravageurs des vergers au Québec.

BIBLIOGRAPHIE

- Abramson C.I., Wanderley P.A., Wanderley M.J.A., Mina A.J.S. et de Souza O.B. 2006. Effect of essential oil from *Citronella* and *Alfazema* on fennel Aphids *Hyadaphis foeniculi* Passerini (Hemiptera: Aphididae) and its predator *Cycloneda sanguinea* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *American Journal of Environmental Sciences*, 3 (1): 9-10
- Al-Doghairi M.A. et Cranshaw W.S. 1999. Surveys on visitation of flowering landscape plants by common biological control agents in Colorado. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 72(2): 190-196
- Alhmedi A., Haubruge E., Bodson B. et Francis F. 2007a. Aphidophagous guilds on nettle (*Urtica dioica*) strips close to fields of green pea, rape and wheat. *Insect Science*, 14: 419-424
- Alhmedi A., Francis F., Bodson B. et Haubruge E. 2007b. Évaluation de la diversité des pucerons et de leurs ennemis naturels en grandes cultures à proximité de parcelles d'orties. *Notes fauniques de Gembloux*, 60(4) : 147-152
- Altieri M.A. 1993. Ethnoscience and biodiversity: key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46: 257-272
- Altieri M.A. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Food Products Press, New-York, 185 p.
- Altieri M.A. et Letourneau D.K. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop protection*, 1(4): 405-430
- Altieri M.A. et Liebman M.Z. 1986. Insect, weed and plant disease management in multiple cropping systems. Dans : *Multiple Cropping Systems*, MacMillan, New-York, 183-218
- Amer A. et Mehlhorn H. 2006. Repellency effect of forty-one essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex* mosquitoes. *Parasitology research*, 99: 478-490
- Anderson C.A., Cavagnol J.-C. et Cohen C.-J. 1974. Guthion (azinphosmethyl): organophosphorus insecticide. *Residue Reviews*, 51: 123-176

- Andow D.A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. Annual review of Entomology, 36: 561-586
- Andow D.A. 1990. Population dynamics of an insect herbivore in simple and diverse habitats. Ecology, 71(3): 1006-1017
- Andow D.A. et Risch S.J. 1985. Predation in diversified agroecosystems: relation between a coccinellid predator *Coleomegilla maculata* and its food. Journal of Applied Ecology, 22: 357-372
- Arnoldi D., Stewart R. K. et Boivin G. 1992. Predatory mirids of the green apple aphids *Aphis pomi*, the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and the European red mite *Panonychus ulmi* in apple orchards in Quebec. Entomophaga, 37(2): 283-292
- Artacho P., Figueroa C.C., Cortes P.A., Simon J.-C. et Nespolo R.F. 2011. Short-term consequences of reproductive mode variation on the genetic architecture of energy metabolism and life-history traits in the pea aphid. Journal of Insect Physiology, 57(7): 986-994
- Aslan B. et Karaca I. 2005. Fruit tree aphids and their natural enemies in Isparta region, Turkey. Journal of Pest Science, 78: 227-229
- Babendreier D. 2000. Life history of *Aptesis nigrocincta* (Hymenoptera: Ichneumonidae) a cocoon parasitoid of the apple sawfly, *Hoplocampa testudinea* (Hymenoptera: Tenthredinidae). Bulletin of Entomological Research, 90: 291-297
- Babendreier D. et Hoffmeister T.S. 2002. Superparasitism in the solitary ectoparasitoid *Aptesis nigrocincta*: the influence of egg load and host encounter rate. Entomologia Experimentalis et Applicata, 105: 63-69
- Baggen L.R. et Gurr G.M. 1998. The influence of food on *Copidosoma koehleri*, and the use of flowering plants as a habitat management tool to enhance biological control of potato moth *Phthorimaea operculella*. Biological Control, 11: 9-17
- Bélair G., Vincent C. et Chouinard G. 1998. Foliar sprays with *Steinernema carpocapsae* against early-season apple pests. Supplement to the Journal of Nematology, 30(4S): 599-606

- Benoit D.L., Vincent C. et Chouinard G. 2006. Management of weeds, apple sawfly (*Hoplocampa testudinea* Klug) and plum curculio (*Conotrachelus nenuphar* Herbst) with cellulose sheeting. *Crop Protection*, 25: 331-337
- Borror D.J., Triplehorn C.A. et Johnson N.F. 1989. An Introduction to the study of insects, 6th Edition. Philadelphia, Saunders College Publishing, 875 p.
- Bostanian N.J. et Racette G. 2008. Particle films for managing arthropod pest of apple. *Horticultural Entomology*, 101(1): 145-150
- Bostanian N.J., Goulet H., O'Hara J., Masner L. et Racette G. 2004. Towards Insecticide Free Apple Orchards: Flowering Plants to Attract Beneficial Arthropods. *Biocontrol Science and Technology*, 14(1): 25-37
- Bourgeois G. et Carisse O. 1996. Implantation et utilisation, en temps réel, de modèles prévisionnels d'infections phytopathogènes dans les cultures maraîchères et fruitières. Colloque international sur la prévision et le dépistage des ennemis des cultures, Québec, Canada, 121-125
- Bouvier J.-C., Ricci B., Agerberg J. et Lavigne C. 2011. Apple orchard pest control strategies affect bird communities in southeastern France. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(1): 212-219
- Brown M.W. et Glenn D.M. 1999. Ground cover plants and selective insecticides as pest management tools in apple orchards. *Journal of Economic Entomology*, 92 (4): 899-905
- Brown M.W. et Mathews C.R. 2007. Conservation Biological Control of Rosy Apple Aphid, *Dysaphis plantaginea* (Passerini), in Eastern North America. *Environmental Entomology*, 36(5): 1131-1139
- Bugg R.L. et Waddington C. 1994. Using cover crops to manage arthropod pests of orchards: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 50(1): 11+28
- Ciglar I. et Baric B. 2002. Monitoring the appearance and possibility for prevention of the apple sawfly in Croatia. *Journal of Pest Science*, 75: 41-45
- Chant D.A. 1956. Predacious spiders in orchards in south-eastern England. *Journal of Horticultural Science*, 31: 35- 46

- Chouinard G. 2001. Guide de gestion intégrée des ennemis du pommier, Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, Québec, 226 p.
- Colley M.R. et Luna J.M. 2000. Relative attractiveness of potential beneficial insectary plants to aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environmental Entomology*, 29(5): 1054-1059
- Cook S.M., Khan Z.R. et Pickett J.A. 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology*, 52: 375-400
- CRAAQ. 2010. Guide des traitements foliaires du pommier 2010-2011
- Cross J.V., Solomon M.G., Chandler D., Jarrett P.J., Richardson, P.N., Winstanley D., Bathon H., Huber J., Keller B., Langenbruch G.A. et Zimmermann G. 1999. Biocontrol of pests of apples and pears in northern and central Europe: 1. Microbial agents and nematodes. *Biocontrol Science and Technology*, 9 (2): 125-149
- De Groot M., Kleijn D., Jogan N. 2007. Species groups occupying different trophic levels respond differently to the invasion of semi-natural vegetation by *Solidago canadensis*. *Biological Conservation*, 136(4): 612-617
- Dicker G.H.L. 1953. Some notes on the biology of the apple sawfly, *Hoplocampa testudinea* (Klug). *Journal of Horticulture Sciences*, 28: 238-245
- Fichter G. S. 1966. Insect pests. Golden press-New-York, 160 p.
- Fitzgerald J.D. et Solomon M.G. 2004. Can flowering plants enhance numbers of beneficial arthropods in UK apple and pear orchards? *Biocontrol Science and Technology*, 14(3): 291-300
- FPPQ-Fédération des Producteurs de Pommes du Québec (2011)
<http://lapommeduquebec.ca>
- Fréchette B., Cormier D., Chouinard G., Vanoosthuysse F. et Lucas É. 2008. Apple aphids, *Aphis* spp. (Hemiptera : Aphididae), and predator populations in an apple orchard at the non-bearing stage: The impact of the ground cover and cultivar. *European Journal of Entomology*, 105: 521-529

- Garcia-Bengochea Y. et Morse D.H. 2010. Balancing predator avoidance with hunting opportunities: Substrate choice by *Misumena vatia* spiderlings. *Journal of Arachnology*, 38(2): 341-345
- Giroux I. 1998. Suivi environnemental des pesticides dans des régions de vergers de pommiers, Rapports d'échantillonnage de petits cours d'eau et de l'eau souterraine au Québec en 1994, 1995 et 1996. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 23 p.
- Graf B., Hohn H. et Höpli H.U. 1996. The apple sawfly *Hoplocampa testudinea*: a temperature driven model for spring emergence of adults. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 78: 301-307
- Gruys P. 1982. Hits and misses. The ecological approach to pest control in apple orchards. *Entomologia Experimentalis et applicata*, 31: 70-87
- Gurr G.M., Wratten S.D., et Altieri M.A. 2004. Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods. Comstock Publishing Associates, 232 p.
- Halaji J., Cady A.B. et Uetz G.W. 2000. Modular habitat refugia enhance generalist predators and lower plant damage in soybeans. *Environmental Entomology*, 29: 383-393
- Halbert S.E., Corsini D., Wiebe M. et Vaughn S.F. 2009. Plant-derived compounds and extract with potential as aphid repellents. *Annals of Applied Biology*, 154: 303-307
- Harris K.M. 1973. Aphidophagous Cecidomyiidae (Diptera): taxonomy, biology and assessments of field populations. *Bulletin of Entomological Research*, 63: 305-325
- Hickman J.M. et Wratten S.D. 1996. Use of *Phacelia tanacetifolia* strips to enhance biological control of aphids by hoverfly larvae in cereal fields. *Journal of Economic Entomology*, 89: 832-840
- Hodek I. et Honek A. 1996. Ecology of Coccinellidae. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 464 p.

Horticulture Indigo (2011)

<http://www.horticulture-indigo.com>

- Irvin N.A., Scarratt S.L., Wratten S.D., Frampton C.M., Chapman R.B. et Tylianakis J.M. 2006. The effects of floral understoreys on parasitism of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) on apples in New Zealand. *Agricultural and Forest Entomology*, 8: 25-34
- Jaenson T.G.T., Palsson K. et Borg-Karlson A.K. 2006. Evaluation of Extracts and oils of mosquito (Diptera: Culicidae) repellent plants from Sweden and Guinea-Bissau. *Entomological Society of America*, 43: 113-119
- Jovanovic Z., Kostic M. et Popovic Z. 2007. Grain-protective properties of herbal extracts against the bean weevil *Acanthoscelides obtectus* Say. *Industrial Crops and Products*, 26: 100-104
- Jaworska M. 1992. Biological control of *Hoplocampa testudinea* Klug. (Hymenoptera: Tenthredinidae). *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 27: 311-315
- Jaworska M. 1979. The role of some entomopathogenic fungi in reduction of European apple sawfly *Hoplocampa testudinea* (Klug) (Hymenoptera: Tenthredinidae), laboratory studies. *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série des Sciences Biologiques*, 27: 1059-1062
- Kaakeh W., Pfeiffer D.G. et Marini R.P. 1993. Effect of *Aphis spiraecola* and *A. pomi* (Homoptera: Aphididae) on the growth of young apple trees. *Crop Protection*, 12(2): 141-147
- Khan Z., Midega C., Pittchar J., Pickett J. et Bruce T. 2011. Push-pull technology: a conservation agriculture approach for integrated management of insect pests, weeds and soil health in Africa. *International Journal of Agriculture Sustainability*, 9(1): 162-170
- Khanizadeh S. et Cousineau J. 1998. Les pommes de chez nous. *Agriculture et Agroalimentaire Canada*, 259 p.

- Kinkorova J. et Kocourek F. 2000. The effect of integrated pest management practices in an apple orchard on Heteroptera community structure and population dynamics. *Journal of Applied Entomology*, 124: 381-385
- Kleijn D. et van Langevelde F. 2006. Interacting effects of landscape context and habitat quality on flower visiting insects in agricultural landscapes. *Basic and Applied Ecology*, 7(3): 201-214
- Kokkalou E., Kokkini S. et Hanlidou E. 1992. Volatile constituents of *Achillea millefolium* in relation to their intraspecific variation. *Biochemical Systematic and Ecology*, 20: 665-670
- Landis D.A., Wratten S.D. et Gurr G.M. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175-201
- Larochelle A. 1979. Les coléoptères Coccinellidae du Québec. *Cordulia*, supplément 10, 111 p.
- Leius K. 1967. Influence of wild flowers on parasitism of tent caterpillar and codling moth. *The Canadian Entomologist*, 99: 444-446
- Levin D.A. 1973. The role of trichomes in plant defense. *The Quarterly Review of Biology*, 48: 3-15
- Lowery D.T., Smirle M.J., Footitt R.G. et Beers E.H. 2006. Susceptibilities of apple aphid and spirea aphid collected from apple in the Pacific Northwest to selected insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 99(4): 1369-1374
- Lucas É., Demougeot S., Vincent, C. et Coderre D. 2004. Predation upon the oblique-banded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae), by two aphidophagous coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae) in the presence and absence of aphids. *European Journal of Entomology*, 101(1): 37-41
- MAAARO- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (2011)
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/hort/apples.html>
- MAPAQ-Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (2011)

<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/Protectiondescultures/Pages/Protectiondescultures.aspx>

- Marie-Victorin, Rouleau E. et Brouillet L. 2002. Flore Laurentienne, 3^e édition, Éditeur Gaëtan Morin, 1112 p.
- Marko V., Blommers L.M.H., Bogya S. et Helsen H. 2008. Kaolin particle films suppress many apple pests, disrupt natural enemies and promote woolly apple aphid. *Journal of Applied Entomology*, 132: 26-35
- Marshall E.J.P. et Moonen A.C. 2002. Field margins in northern Europe: Their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 89(1-2): 5-21
- Martin J. 2008. Une approche intégrée et écosystémique de la gestion normative des risques sur l'environnement et la santé, liés à l'utilisation de pesticides en agriculture : le cas de la pomiculture au Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, 107 p.
- Mathews C.R., Bottrell D.G., Brown, M.W. 2004. Habitat manipulation of the apple orchard floor to increase ground-dwelling predators and predators of *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Biological Control*, 30(2): 265-273
- Matz A.C., Bennett R.S. et Landis W.G. 1998. Effects of azinphos-methyl on northern bobwhite: A comparison of laboratory and field results. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(7): 1364-1370
- Meiners T. et Obermaier E. 2004. Hide and seek on two spatial scales-vegetation structure effects herbivore oviposition and egg parasitism. *Basic and Applied Ecology*, 5: 87-94
- Miles H.W. 1932. On the biology of the apple sawfly, *Hoplocampa testudinea* Klug. *Annals of Applied Biology*, 19: 420-431
- Mills N. et Daane K.M. 2005. Nonpesticide alternatives can suppress crop pests. *California Agriculture*, 59(1): 23-28
- Minarro M. et Dapena E. 2003. Effects of groundcover management on ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in an apple orchard. *Applied Soil Ecology*, 23(2): 111-117

- Morse J.G. et Croft B.A. 1987. Biological control of *Aphis pomi* (Hom. : Aphididae) by *Aphidoletes aphidimyza* (Dip.: Cecidomyiidae); a predator-prey model. *Entomophaga*, 32(4): 339-356
- Nyffeler M. et Benz G. 1987. Spiders in natural pest control: A review. *Journal of Applied Entomology*, 103: 321- 339
- Paradis R.O. 1980. L'Hoplocampe des pommes, *Hoplocampa testudinea* (Klug) (Hymenoptera: Tenthredinidae), au Québec. *Phytoprotection*, 61: 26-29
- Pappas M.L., Broufas G.D et Koveos D.S. 2007. Effects of various prey species on development, survival and reproduction of the predatory lacewing *Dichochrysa prasina* (Neuroptera : Chrysopidae). *Biological Control*, 43: 163-170
- Pascual-Villalobos M.J. et Robledo A. 1999. Anti-insect activity of plant extracts from the wild flora in southeastern Spain. *Biochemical Systematics and Ecology*, 27: 1-10
- Paterno S., Paes Bueno L.C., Santa Rosa Pierre V.H. et Mendes L. 2003. Crops and weeds as host plants *Orius species* (Heteroptera: Anthocoridae). *Bragantia*, 62(2): 261-265
- Pierre P., Dugravot S., Ferry A., Soler R., Van Dam N.M. et Cortesero A.-M. 2011. Aboveground herbivory affects indirect defences of brassicaceous plants against the root feeder *Delia radicum* Linnaeus: laboratory and field evidence. *Ecological Entomology*, 36: 326-334
- Polk D. 1990. Insect and mite management. Dans: Management guide for low input sustainable apple production, United States Department of Agriculture
- Powel W. 1986. Enhancing parasitoid activity in crops. Dans: Insect parasitoids, Academic press, London, 319-340
- Price P.W., Bouton C.E., Cross P., McPheron B., Thompson J.N. et Weis A.E. 1980. Interactions among three trophic levels: Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual review of Ecology and Systematics*, 11: 41-65

- Prokopy R.J. 1994. Integration in orchard pest and habitat management: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 50(1): 1-10
- Provost C., Coderre D., Lucas É., Chouinard G. et Bostanian N.J. 2005. Impact of intraguild predation and lambda-cyhalothrin on predation efficacy of three acarophagous predators. *Pest Management Science*, 61: 532-538
- Pyke B., Rice M., Sabine B. et Zalucki M. 1987 The push-pull strategy-behavioural control of *Heliothis*. Workshop on Australian cotton grower, Australia, 7-9
- Rieux R., Simon S. et Defrance H. 1999. Role of edgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 73: 119-127
- Risch S.J. 1981. Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. *Ecology*, 62: 1325-1340
- Robson D.B. 2008. The structure of the flower-insect visitor system in tall-grass prairie. *Botany*, 86(11): 1266-1278
- Root R.B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The Fauna of Collards (*Brassica Oleracea*). *Ecological Society of America*, 43(1): 95-124
- SAGe pesticides (2012)
<http://www.sagepesticides.qc.ca>
- Sall J., Lehman X et Greighton Y. 2000. JMP start statistics: A guide to statistics and data analysis using Jmp and Jmp in Software. SAS Institute, Duxbury Press, 656 p.
- Sholes O.D.V. 1984. Responses of arthropods to the development of goldenrod inflorescences (*Solidago*: Asteraceae). *American Midland Naturalist*, 112(1): 1-14
- Sigsgaard L. 2010. Habitat and prey preferences of the two predatory bugs *Anthocoris nemorum* (L.) and *A. nemoralis* (Fabricius) (Anthocoridae: Hemiptera-Heteroptera). *Biological Control*, 53: 45-54

- Simpson M., Geoff M.G., Simmons A.T., Wratten S.D., James D.G., Leeson G., Nicol H.I. et Orre-Gordon G.U.S. 2011. Attract and reward: combining chemical ecology and habitat manipulation to enhance biological control in field crops. *Journal of Applied Ecology*, 48: 580-590
- Sirrine J.R., Letourneau D.K., Shennan C., Sirrine D., Fouch R., Jackson L. et Mages A. 2008. Impacts of groundcover management systems on yield, leaf nutrients, weeds, and arthropods of tart cherry in Michigan, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125: 239-245
- Smirle M.J., Zurowski C.L., Lowery D.T. et Foottit R.G. 2010. Relationship of insecticide tolerance to esterase enzyme activity in *Aphis pomi* and *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 103(2): 374-378
- Smith G.J. 1993. Toxicology and pesticide use in relation to wildlife: Organophosphorus and Carbamate compounds. U.S. Department of the interior, 171 p.
- Solomon M.G., Cross J.V., Fitzgerald J.D, Campbell C.A.M., Jolly R.L., Olszak R.W., Niemczyk E. et Vogt H. 2000. Biocontrol of pests of apples and pears in Northern and Central Europe-3. Predators. *Biocontrol Science and Technology*, 10: 91-128
- Stewart H.C et Walde S.J. 1997. The dynamic of *Aphis pomi* De Geer (Homoptera: Aphididae) and its predator *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae), on apple in Nova Scotia. *The Canadian Entomologist*, 129: 627-636
- Tenhumberg B. et Poehling H.-M. 1995. Syrphids as natural enemies of cereals aphids in Germany: Aspects of their biology and efficacy in different years and regions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 52: 39-43
- TerAvest D., Smith J.L., Carpenter-Boggs L., Hoagland L., Granatstein D. et Reganold J.P. 2010. Influence of orchard floor management and compost application timing on nitrogen partitioning in apple trees. *HortScience*, 45(4): 637-642
- Thomas C.F.G. et Marshall E.J.P. 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 72: 131-144

- Thorsell W., Mikiver A. et Tunon H. 2006. Repelling properties of some plant materials on the tick *Ixodes ricinus* L.. *Phytomedicine*, 13: 132-134
- Tourneur J.-C., Bouchard D. et Pilon J.-G. 1992. Le complexe des ennemis naturels des pucerons en pommeraie au Québec dans : *La lutte biologique*, Gaetan Morin Edition, 671 p.
- Traboulsi A.F., El-Haj S., Tueni M., Taoubi K., Abi Nader N. et Mrad A. 2005. Repellency and toxicity of aromatic plant extracts against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera : Culicidae). *Pest Management Science*, 61: 597-604
- Tscharntke T., Steffan-Dewenter I., Kruess A. et Thies C. 2002. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. *Ecological application*, 12(2): 354-363
- Tuzun A. et Sakaltas E. 2009. Detrimental effects of species of Tenthredinidae (Insecta : Hymenoptera) on plants and control methods. *African Journal of Biotechnology*, 8(22): 6437-6441
- Union Nature Aroma-Phyto Inc. (2008)
<http://www.union-nature.com>
- Van Emden H.F. 1965. The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Sciences of Horticulture*, 17: 121-136
- Vincent C. et Bélair G. 1992. Biocontrol of the apple sawfly *Hoplocampa testudinea*, with entomogenous nematodes. *Entomophaga*, 37(4): 575-582
- Vincent C. et Mailloux M. 1988. Abondance, importance des dommages et distribution de l'hoplocampe des pommes au Québec de 1979 à 1986. *Annual Society of Entomology*, 24: 39-46
- Vincent C. et Rancourt B. 2001. Releases and first recovery of *Lathrolestes ensator* (Hymenoptera: Ichneumonidae) in North America, a parasitoid of *Hoplocampa testudinea* (Hymenoptera : Tenthredinidae). *The Canadian Entomologist*, 133: 147-149

- Wäckers F.L. 2004. Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. *Biological Control*, 29: 307-314
- Wolfgang S., Schettini T., Edwards S., Matthews-Gehring D. et Lachowski E. 1989. Orchard habitat management to enhance biological pest control. *Northeast LISA apple newsletter*, 1: 17-18
- Wyss E. 1996. The effect of artificial weed strips on diversity and abundance of the arthropod fauna in a Swiss experimental apple orchard. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 60: 47-59
- Wyss E. 1995. The effect of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 75: 43-49
- Yan Y.-H., Yu Y., Du X.-G. et Zhao B.-G. 1997. Conservation and augmentation of natural enemies in pest management of Chinese apple orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 62: 253-260
- Zehnder G., Gurr G.M., Kühne S., Wade M.R., Wratten S.D. et Wyss E. 2007. Arthropd pest management in organic crops. *Annual Review of Entomology*, 52: 57-80
- Zijp J.P. et Blommers L.H.M. 1997. Prediction of flight of apple sawfly using temperature sums. *Applied Entomology Experience*, 84: 71-75
- Zijp J.P. et Blommers L.H.M. 2002a. Impact of the parasitoid *Lathrolestes ensator* (Hym., Ichneumonidae, Ctenopelmatinae) as antagonist of apple sawfly *Hoplocampa testudinea* (Hym., Tenthredinidae). *Journal of Applied Entomology*, 126(7-8): 366-377
- Zijp J.P. et Blommers L.H.M. 2002b. Apple sawfly *Hoplocampa testudinea* (Hym., Tenthredinidae) and its parasitoid *Lathrolestes ensator* in Dutch apple orchards (Hym., Ichneumonidae, Ctenopelmatinae). *Journal of Applied Entomology*, 126(6): 265-274