

LOUIS SIMARD

Distribution, abondance et écologie saisonnière des principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Québec et évaluation du potentiel de contrôle de nématodes entomopathogènes indigènes

Thèse présentée
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de doctorat en biologie végétale
pour l'obtention du grade de Philosophiae doctor (Ph. D.)

DÉPARTEMENT DE PHYTOLOGIE
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2006

Résumé

Les insectes ravageurs du gazon présents sur les terrains de golf du Québec sont la cause de l'application de pesticides de synthèse et entraînent des pertes économiques importantes à l'industrie du golf. Cette étude se divise en deux principaux volets soit 1-) de déterminer la distribution, l'abondance et l'écologie saisonnière des principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf, et 2-) d'évaluer le potentiel de contrôle de nématodes entomopathogènes indigènes sur les terrains de golf du Québec.

Le dépistage des insectes ravageurs sur 19 terrains de golf situés dans différentes régions du Québec en 2001, 2002 et 2003 indique que les populations les plus importantes de scarabée noir du gazon (*Ataenius spretulus*), d'Aphodius (*Aphodius granarius*) et de charançon du pâturin annuel (*Listronotus maculicollis*) se retrouvent dans le sud-ouest du Québec. Le ver gris (*Agrotis ipsilon*) est présent dans l'ensemble de la province alors que la tipule européenne (*Tipula paludosa*) se situe exclusivement dans la région de Québec. Le scarabée noir du gazon, Aphodius et la tipule européenne complètent une génération par année alors que deux générations sont observées chez le ver gris, une espèce migrante, et le charançon du pâturin annuel, lequel présente une génération à Rimouski. Des générations partielles et sans issues à la fin de la saison ont été observées pour le scarabée noir du gazon et le ver gris.

L'échantillonnage de nématodes entomopathogènes réalisé en 2002 et 2003 sur 38 terrains de golf du Québec et de l'Ontario a permis d'isoler trois espèces de nématodes entomopathogènes: *Steinernema carpocapsae*, une première mention en Ontario, *S. feltiae* et *S. kraussei*, deux nouvelles mentions dans l'est du Canada. *Steinernema feltiae* s'est avéré l'espèce la plus virulente contre les larves de tipule européenne et les souches isolées lors de nos travaux n'ont pas démontré une activité supérieure à la souche commerciale à des températures froides. Afin d'optimiser l'efficacité des traitements, *S. feltiae* devrait donc être appliqué sur les terrains de golf du Québec lorsque les températures sont supérieures à 10°C.

Avant-propos

Les travaux de recherche présentés dans cette thèse ont été réalisés dans le cadre du Programme de doctorat en biologie végétale de la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de l'Université Laval.

Je tiens à remercier mon directeur Dr Jacques Brodeur, Université Laval, ainsi que Dre Julie Dionne, Association Royale de Golf du Canada, pour leur support et leur implication au cours de la réalisation des travaux. De plus, j'ai apprécié l'accueil chaleureux de Guy Bélair et du laboratoire de nématologie d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu durant la période de rédaction de cette thèse.

J'aimerais également remercier pour leur appui technique Vincent Brousseau, Patricia Désilet, Marie-Eve Gosselin, Guillaume Grégoire et Élisabeth Taschereau qui ont travaillé à titre d'étudiants d'été pendant mes études doctorales. Je voudrais aussi souligner l'excellente collaboration des surintendants et leur équipe des terrains de golf participants au projet de recherche. De plus, je souhaite remercier les membres du comité d'évaluation de ma thèse, Dr Guy Allard, M. Guy Bélair et Dre Patricia Vittum.

Cette étude a été réalisée grâce à la contribution financière de la Fondation québécoise de la recherche sur le gazon, l'Association des surintendants de golf du Québec, le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada, la Fondation de la RCGA et de 'Bayer Environmental Science'.

Je remercie Julie, Sarah-Claude, mes parents et ma sœur qui ont contribué grandement à la réussite de ce cette étude par leur soutien et encouragement.

Les chapitres 2, 3, 4, 5, 6 et 7 de cette thèse constituent autant d'articles scientifiques qui sont en préparation ou ont été acceptés pour publication dans différentes revues scientifiques. Le candidat est l'auteur principal de tous les articles:

- Chapitre 2 Simard, L., Brodeur, J. et Dionne, J. Relative abundance of *Ataenius spretulus* and *Aphodius granarius* (Coleoptera: Scarabaeidae) and their seasonal activity on golf courses in Québec, Canada. *Journal of Economic Entomology*, en préparation.
- Chapitre 3 Simard, L., Brodeur, J. et Dionne, J. Distribution, abundance, and seasonal ecology of the annual bluegrass weevil (Coleoptera: Curculionidae) on golf courses in Québec, Canada. *Environmental Entomology*, en préparation.
- Chapitre 4 Simard, L., Brodeur, J. et Dionne, J. Seasonal ecology of the black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) on golf courses in Quebec, Canada. *The Canadian Entomologist*, en préparation.
- Chapitre 5 Simard, L., Brodeur, J., Gelhaus, J., Taschereau, E. et Dionne, J. Emergence of a new turfgrass insect pest on golf courses in Québec, the European crane fly [Diptera: Tipulidae]. *Phytoprotection*, accepté le 18 avril 2006.
- Chapitre 6 Simard, L., Bélair, G., Stock, S. P. et Dionne, J. Natural occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae) on golf courses in eastern Canada. *Nematology*, en préparation.
- Chapitre 7 Simard, L., Bélair, G., Gosselin, M.-E. et Dionne, J. Virulence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) against *Tipula paludosa* (Diptera: Tipulidae), a turfgrass pest on golf courses. *Biocontrol Science and Technology*, accepté le 12 janvier 2006.

La liste des co-auteurs des articles scientifiques et leurs affiliations suivent:

Bélaïr, Guy, M.Sc., nématologiste, Agriculture et Agroalimentaire Canada, St-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada.

Brodeur, Jacques, Ph.D., professeur, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada; Professeur associé, Université Laval, Québec, Québec, Canada.

Dionne, Julie, Ph.D., agr., Directrice de la Section des verts, Association Royale de Golf du Canada, Oakville, Ontario, Canada; professeure associée, Université Laval, Québec, Québec, Canada; professeure associée, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada.

Gelhaus, K. Jon, Ph.D., curateur associé d'entomologie, The Academy of Natural Sciences, Philadelphie, Pennsylvanie, États-Unis.

Gosselin, Marie-Eve, étudiante à la maîtrise en sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada.

Stock, Patricia, Ph.D., professeure, University of Arizona, Tucson, Arizona, États-Unis.

Taschereau, Élisabeth, étudiante à la maîtrise en biologie végétale, Université Laval, Québec, Québec, Canada.

Ce projet de recherche m'a permis d'acquérir des connaissances scientifiques qui seront un atout important au cours de ma carrière. Au-delà de celles-ci, j'ai également constaté l'importance du travail d'équipe, de la loyauté, de l'honnêteté et de l'éthique professionnelle dans la réalisation de mes études doctorales. C'est à ce niveau que réside ma principale réalisation.

Table des matières

RESUME	II
AVANT-PROPOS.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES	XII
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES SYMBOLES.....	XIV
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1. REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
1.1 LES TERRAINS DE GOLF ET LE GAZON	3
1.1.1 <i>L'importance de l'industrie du golf</i>	3
1.1.2 <i>Les superficies de jeu et les graminées à gazon sur les terrains de golf</i>	4
1.1.3 <i>La problématique environnementale sur les terrains de golf</i>	6
1.1.3.1 Réglementation sur l'utilisation de pesticides de synthèse.....	7
1.1.3.2 Utilisation des pesticides de synthèse sur les terrains de golf	9
1.1.4 <i>La lutte intégrée sur les terrains de golf</i>	10
1.2 LES INSECTES RAVAGEURS DU GAZON SUR LES TERRAINS DE GOLF	14
1.2.1 <i>Le scarabée noir du gazon (Coleoptera: Ataenius spretulus Haldeman)</i>	15
1.2.1.1 Description.....	15
1.2.1.2 Cycle de vie	19
1.2.1.3 Écologie saisonnière	19
1.2.1.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages	20
1.2.1.5 Méthodes de contrôle.....	21
1.2.2 <i>Aphodius granarius (Coleoptera: Aphodius granarius L.)</i>	23
1.2.2.1 Description.....	23
1.2.2.2 Cycle de vie	24
1.2.2.3 Écologie saisonnière	24
1.2.2.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages	25
1.2.2.5 Méthodes de contrôle.....	25
1.2.3 <i>Le charançon du pâturin annuel (Coleoptera: Listronotus maculicollis Dietz)</i>	26
1.2.3.1 Description.....	26
1.2.3.2 Cycle de vie	28
1.2.3.3 Écologie saisonnière	28
1.2.3.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages	29
1.2.3.5 Méthodes de contrôle.....	30
1.2.4 <i>Le ver gris (Lepidoptera: Agrotis ipsilon Hufnagel)</i>	32
1.2.4.1 Description.....	32
1.2.4.2 Cycle de vie	33
1.2.4.3 Écologie saisonnière	34
1.2.4.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages	35
1.2.4.5 Méthodes de contrôle.....	36
1.2.5 <i>La tipule européenne (Diptera: Tipula paludosa Meigen)</i>	37
1.2.5.1 Description.....	37
1.2.5.2 Cycle de vie	39
1.2.5.3 Écologie saisonnière	40

1.2.5.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages	40
1.2.5.5 Méthodes de contrôle.....	41
1.2.6 <i>Les nématodes entomopathogènes (Steinernematidae; Heterorhabditidae)</i>	43
1.2.6.1 Description.....	44
1.2.6.2 Mode d'action.....	45
1.2.6.2.1 Les bactéries symbiotiques	48
1.2.6.3 Distribution géographique des nématodes entomopathogènes	49
1.2.6.4 Utilisation des nématodes entomopathogènes en lutte biologique	51
RECHERCHE PROPOSÉE	54
CHAPITRE 2. ABONDANCE RELATIVE D'ATAENIUS SPRETULUS ET D'APHODIUS GRANARIUS (COLEOPTERA: SCARABAEIDAE) ET LEUR ECOLOGIE SAISONNIERE SUR LES TERRAINS DE GOLF DU QUEBEC, CANADA.	56
2.1 INTRODUCTION	58
2.2 MATERIALS AND METHODS	60
2.2.1 <i>A. spretulus and A. granarius sampling</i>	60
2.2.2 <i>Experimental site characterization</i>	61
2.2.3 <i>Statistical analysis</i>	61
2.3 RESULTS	62
2.4 DISCUSSION	64
2.5 ACKNOWLEDGMENTS.....	66
CHAPITRE 3. DISTRIBUTION, ABONDANCE, ET ECOLOGIE SAISONNIERE DU CHARANÇON DU PATURIN ANNUEL (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) SUR LES TERRAINS DE GOLF DU QUEBEC, CANADA.	75
3.1 INTRODUCTION	77
3.2 MATERIALS AND METHODS	79
3.2.1 <i>ABW sampling</i>	79
3.2.2 <i>Experimental site characterization</i>	80
3.2.3 <i>Statistical analysis</i>	81
3.3 RESULTS	82
3.4 DISCUSSION	84
3.5 ACKNOWLEDGMENTS.....	86
CHAPITRE 4. ÉCOLOGIE SAISONNIERE DU VER GRIS (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) SUR LES TERRAINS DE GOLF DU QUEBEC, CANADA.....	98
4.1 INTRODUCTION	100
4.2 MATERIALS AND METHODS	102
4.2.1 <i>Experimental sites</i>	102
4.2.2 <i>Black cutworm scouting</i>	102
4.2.3 <i>Statistical analysis</i>	103
4.3 RESULTS	103
4.4 DISCUSSION	105
4.5 ACKNOWLEDGMENTS.....	107
CHAPITRE 5. ÉMERGENCE D'UN NOUVEAU INSECTE RAVAGEUR DU GAZON SUR LES TERRAINS DE GOLF DU QUEBEC, LA TIPULE EUROPEENNE [DIPTERA: TIPULIDAE]	116

5.1 INTRODUCTION	118
5.2 MATERIALS AND METHODS	119
5.3 RESULTS AND DISCUSSION	119
5.4 ACKNOWLEDGEMENTS.....	120
CHAPITRE 6. OCCURRENCE NATURELLE DES NEMATODES ENTOMOPATHOGENES (RHABDITIDA: STEINERNEMATIDAE) SUR LES TERRAINS DE GOLF DE L'EST DU CANADA.....	123
6.1 INTRODUCTION	125
6.2 MATERIALS AND METHODS	126
6.2.1 <i>Soil Sampling</i>	126
6.2.2 <i>Soil analysis</i>	127
6.2.3 <i>Nematode isolation</i>	127
6.2.4 <i>Identification of nematode isolates by satellite DNA probes</i>	128
6.2.5 <i>Identification of S. kraussei isolates and morphometric traits</i>	128
6.2.6 <i>Multivariate Statistics</i>	129
6.3 RESULTS	129
6.4 DISCUSSION	130
6.5 ACKNOWLEDGEMENTS.....	133
CHAPITRE 7. VIRULENCE DES NÉMATODES ENTOMOPATHOGENES (RHABDITIDA: STEINERNEMATIDAE, HETERORHABDITIDAE) CONTRE TIPULA PALUDOSA (DIPTERA: TIPULIDAE), UN RAVAGEUR DU GAZON SUR LES TERRAINS DE GOLF.	142
7.1 INTRODUCTION	144
7.2 MATERIALS AND METHODS	146
7.2.1 <i>European Crane Fly Larvae</i>	146
7.2.2 <i>Nematode Species and Their Production</i>	146
7.2.3 <i>Nematode Inoculation</i>	146
7.2.4 <i>Virulence of Nematode Species</i>	147
7.2.5 <i>Virulence of Entomopathogenic Nematodes on Non-Feeding Larvae</i>	147
7.2.6 <i>Virulence of Four Indigenous S. feltiae Isolates</i>	148
7.2.7 <i>Virulence of S. feltiae Isolates at Contrasting Temperatures</i>	148
7.2.8 <i>Statistical Analysis</i>	148
7.3 RESULTS	149
7.3.1 <i>Virulence of Nematode Species</i>	149
7.3.2 <i>Virulence of Entomopathogenic Nematodes on Non-Feeding Larvae</i>	150
7.3.3 <i>Virulence of Four Indigenous S. feltiae Isolates</i>	150
7.3.4 <i>Virulence of S. feltiae Isolates at Contrasting Temperatures</i>	151
7.4 DISCUSSION	151
7.5 ACKNOWLEDGEMENTS.....	153
CONCLUSION GENERALE.....	162
BIBLIOGRAPHIE.....	169
ANNEXE.....	187

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Pourcentage des graminées à gazon selon les différentes zones d'un terrain de golf au Canada.	6
Tableau 1.2 Principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Canada.	14
Table 2.1 Geographic and average climatic conditions of golf courses (GC) sampled in Québec, Canada.	67
Table 2.2 Abundance (N/m ² ; x +SE)/m ² of the black turfgrass ateniens (<i>Ataenius spretulus</i>) and <i>Aphodius granarius</i> larvae and adults from 19 golf courses (GC) in Québec in 2001, 2002, 2003.	68
Table 3.1 Geographic location and average climatic conditions of golf courses (GC) sampled in Québec, Canada.	87
Table 3.2 Abundance (X + SE)/m ² of annual bluegrass weevil (<i>Listronotus maculicollis</i>) from golf courses (GC) sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.	88
Table 3.3 Size (mm; X + SD) of annual bluegrass weevil (<i>Listronotus maculicollis</i>) sampled from golf courses (GC) in Québec, Canada in 2001, 2002, and 2003.	89
Table 3.4 Turf species and uncompressed thatch thickness on greens and fairways (cm; X + SD) of golf courses (GC) sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.	90
Table 3.5 Pearson correlation coefficients between the annual bluegrass weevil (<i>Listronotus maculicollis</i>) probability of presence to soil components, turfgrass species, and thatch.	91
Table 4.1 Dates of pheromone trap setup and initial capture of black cutworm (<i>Agrotis ipsilon</i>) adults on golf courses (GC) in Québec, Canada in 2002, and 2003.	108
Table 5.1 Golf courses in Québec, Canada sampled for European crane fly (ECF), <i>Tipula paludosa</i> , in 2002.	121
Table 6.1 Golf courses surveyed for entomopathogenic nematodes in Ontario and Québec, Canada.	134
Table 6.2 Entomopathogenic nematode species (EPN) isolated from soil on golf courses in Ontario and Québec and the climatic and soil characteristics at these sites.	135
Table 6.3 Diagnostic morphometric traits of males and IJ of <i>Steinernema kraussei</i>	136
Table 6.4 Correlation matrix of morphometric variables of males and IJ of <i>Steinernema kraussei</i> populations.	138
Table 7.1 Mortality (%) of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) exposed to four entomopathogenic nematode species when fourth-instar larvae are actively feeding (with grass seedling) at 25°C after 5-d exposure time.	154
Table 7.2 LC ₅₀ values for four entomopathogenic nematode species against actively feeding fourth-instar larvae of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) at 25°C (10-d observation data).	155
Table 7.3 Mortality (%) of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) exposed to four entomopathogenic nematode species when fourth-instar larvae are not actively feeding (without grass seedling) at 25°C after 5-d exposure time.	156
Table 7.4 Mortality (%) of fourth-instar larvae of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) obtained at 5°C and 25°C with four indigenous <i>Steinernema feltiae</i> isolates after a 5-d exposure time.	157
Table 7.5 LC ₅₀ values for four <i>Steinernema feltiae</i> isolates collected from golf courses in Québec and Ontario used against actively feeding fourth-instar larvae of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) at 25°C (10-d observation data).	158

Table 7.6 Mortality (%) of fourth-instar larvae of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) obtained at 5°C, 15°C and 25°C with three indigenous <i>Steinernema feltiae</i> isolates after a 5-d exposure time.	159
Table 7.7 Mortality (%) of fourth-instar larvae of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) obtained at 5°C, 10°C, 15°C and 25°C with two indigenous <i>Steinernema feltiae</i> isolates after a 10-d exposure time.	160

Liste des figures

Figure 1.1 Zones types retrouvées sur un terrain de golf.....	5
Figure 1.2 Étapes de l'implantation de la lutte intégrée selon trois niveaux.....	13
Figure 1.3 Scarabée noir du gazon <i>Ataenius spretulus</i>	16
Figure 1.4 Larve de scarabée noir du gazon <i>Ataenius spretulus</i>	17
Figure 1.5 Distribution des poils autour de l'anus et caractéristique de l'ouverture anale des larves d'espèces de Scarabaeidae présentes au Québec.....	18
Figure 1.6 Adulte de A. Scarabée noir du gazon <i>Ataenius spretulus</i> et B. <i>Aphodius granarius</i>	23
Figure 1.7 Charançon du pâturin annuel <i>Listronotus maculicollis</i>	27
Figure 1.8 Larve du charançon du pâturin annuel <i>Listronotus maculicollis</i>	27
Figure 1.9 Ver gris <i>Agrotis ipsilon</i> Adulte.....	32
Figure 1.10 Ver gris <i>Agrotis ipsilon</i>	33
Figure 1.11 Tipule européenne <i>Tipula paludosa</i> Adulte.....	38
Figure 1.12 Tipule européenne <i>Tipula paludosa</i>	39
Figure 1.13 Émergence de la tipule européenne <i>Tipula paludosa</i>	39
Figure 1.14 Stade infectieux du nématode entomopathogène <i>Steinernema glaseri</i>	44
Figure 1.15 Stade infectieux du nématode entomopathogène <i>Heterorhabditis bacteriophora</i> émergeant d'un cadavre de hanneton européen (<i>Rhizotrogus majalis</i>).....	45
Figure 1.16 Cycle de vie des nématodes entomopathogènes appartenant au genre <i>Steinernema</i>	47
Figure 1.17 Distribution géographique des nématodes entomopathogènes isolés depuis 1990 en Amérique du Nord.....	50
Figure 2.1 Location of golf courses (numbered from 1 to 19) sampled for black turfgrass ataenius (<i>Ataenius spretulus</i>) and <i>Aphodius granarius</i> in Québec, Canada in 2001, 2002 and 2003.....	69
Figure 2.2 Relationship between the density of black turfgrass ataenius (<i>Ataenius spretulus</i>) (A) and <i>Aphodius granarius</i> (B) and spatial coordinates (latitude, longitude) of golf courses in Québec.....	70
Figure 2.3 Seasonal development of black turfgrass ataenius (<i>Ataenius spretulus</i>) and <i>Aphodius granarius</i> on six golf courses in Québec, Canada in 2001, 2002, and 2003.....	74
Figure 3.1 Location of golf courses (numbered from 1 to 19) sampled for the annual bluegrass weevil (<i>Listronotus maculicollis</i>) in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.....	92
Figure 3.2 Relationship between the percentage of annual bluegrass on golf greens and the annual bluegrass weevil (<i>Listronotus maculicollis</i>) dimensions.....	93
Figure 3.3 Seasonal development of the annual bluegrass weevil (<i>Listronotus maculicollis</i>) on twelve golf courses sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.....	97
Figure 4.1 Pattern of sampling for the black cutworm (<i>Agrotis ipsilon</i>) on golf greens.....	109
Figure 4.2 Total number of black cutworm (<i>Agrotis ipsilon</i>) adults captured in 2002 and 2003 on nine golf courses in Québec, Canada.....	111
Figure 4.3 Seasonal development of the black cutworm (<i>Agrotis ipsilon</i>) on 12 golf courses sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.....	115
Figure 5.1 Seasonal abundance of the European crane fly, <i>Tipula paludosa</i> , on two golf courses in the Québec City area during 2002.....	122
Figure 6.2 Soil composition and occurrence of entomopathogenic nematodes in soil samples collected on golf course roughs in Ontario and Québec.....	140

Figure 6.3 UPGMA phenograph of <i>Steinernema kraussei</i> populations based on Mahalanobis difference distances.....	141
Figure 7.1 Mortality of second instar larvae of the European crane fly (<i>Tipula paludosa</i>) caused by three species of nematode <i>Heterorhabditis megidis</i> , <i>Steinernema carpocapsae</i> and <i>S. feltiae</i> at 25°C after 16 d.....	161
Figure 8.1 Distribution des insectes ravageurs et des nématodes entomopathogènes étudiés sur 19 terrains de golf au Québec, Canada en 2001, 2002 et 2003.....	165
Figure 8.2 Écologie saisonnière des insectes ravageurs étudiés sur 19 terrains de golf au Québec, Canada en 2001, 2002 et 2003 et période potentielle d'application des nématodes entomopathogènes.	166

Liste des abréviations et des symboles

ABW	Annual bluegrass weevil
CL ₅₀	Concentration létale pour 50% des individus
CPA	Charançon du pâturin annuel
ECF	European crane fly
EPN	Entomopathogenic nematodes
GC	Golf course
IJ	Infective juvenile
LC ₅₀	Lethal concentration for 50% of subjects
NE	Nématodes entomopathogènes
VG	Ver gris

Introduction générale

Les travaux de recherche présentés dans cette thèse concernent le développement de connaissances sur les insectes et les nématodes qui seront par la suite utiles pour mettre en œuvre un programme de lutte intégrée sur les terrains de golf du Québec. Cette étude se divise en deux principaux volets soit 1-) la caractérisation de la distribution, de l'abondance et de l'écologie saisonnière des principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Québec, et 2-) l'évaluation du potentiel de nématodes entomopathogènes isolés sur les terrains de golf du Québec et de l'Ontario pour le contrôle des insectes ravageurs du gazon.

Le premier chapitre présente une revue de la littérature traitant de l'importance du gazon dans notre société, de la problématique environnementale liée à l'utilisation des pesticides de synthèse, des principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf et de l'utilisation de nématodes entomopathogènes dans une gestion intégrée des ravageurs. La section suivante de cette thèse présente les hypothèses et les objectifs de la recherche proposée.

Le premier volet de notre étude, constitué des chapitres 2, 3, 4 et 5, examine les divers aspects décrits ci-haut de l'écologie saisonnière des principaux insectes ravageurs du gazon présents sur les terrains de golf du Québec: le scarabée noir du gazon (*Ataenius spretulus*), le scarabée *Aphodius granarius*, le charançon du pâturin annuel (*Listronotus maculicollis*), le ver gris (*Agrotis ipsilon*) et la tipule européenne (*Tipula paludosa*). De plus, cette section traite de l'influence de différents paramètres biotiques et abiotiques sur le développement des populations d'insectes ravageurs du gazon.

Le deuxième volet de cette thèse a pour objectif l'isolation de nématodes entomopathogènes présents sur les terrains de golf du Québec et l'évaluation de leur potentiel de contrôle de la tipule européenne. Le chapitre 6 présente les résultats d'une enquête sur les nématodes entomopathogènes conduite sur 38 terrains de golf du Québec et

de l'Ontario. Le chapitre 7 traite de la virulence des nématodes entomopathogènes contre la tipule européenne.

Finalement, nous concluons par une discussion générale résumant les principaux résultats obtenus dans le cadre de cette étude et leur utilisation en lutte intégrée.

Chapitre 1. Revue de littérature

1.1 Les terrains de golf et le gazon

Le golf comme on le connaît aujourd'hui est né à St-Andrews en Écosse il y a plus de 500 ans. Le Club de Golf Royal Montréal fut le premier terrain de golf fondé en Amérique du Nord en 1873 (Barclay, 1992).

Avant le 20^e siècle l'entretien des surfaces de jeu sur les terrains de golf se faisait selon la méthode essai et erreur. Typiquement la fertilisation était assurée par l'épandage de fumier, le contrôle des maladies et des insectes était assuré respectivement par l'application d'un mélange de bouillie bordelaise et d'une solution de nicotine et les mauvaises herbes étaient enlevées à la main à l'aide d'un couteau (Beard, 2002). La tonte était effectuée par le broutage des moutons, des lapins et des vaches.

Les premiers projets de recherche scientifiques portant sur les gazons ont été initiés en 1880 par le réputé botaniste William J. Beal à la Station expérimentale agricole du Michigan aux États-Unis. Par la suite, des associations nationales de golf [Association Royale Canadienne de Golf en 1895; United States Golf Association (USGA) en 1920] ont été fondées en Amérique du Nord contribuant ainsi à intensifier la recherche sur les gazons. Aujourd'hui, plusieurs universités canadiennes et américaines offrent des programmes de formation et de recherche sur les gazons. En 2005, 1,4 million de dollars américains ont été investis en recherche et développement sur les terrains de golf par la USGA aux États-Unis et plus de 350 000\$ a été investi par la Fondation canadienne de recherche en gazon (Nus, 2006; J. Dionne, 2006 communication personnelle).

1.1.1 L'importance de l'industrie du golf

Les retombées économiques découlant des activités sportives et récréatives sur les surfaces gazonnées sont importantes. Aux États-Unis, l'industrie du golf représentait au-delà de 62 milliards de dollars américains en 2000, dont 13,5 milliards provenaient des activités

touristiques reliées à la pratique du golf. Environ 20 milliards de dollars américains étaient consacrés à l'entretien et au fonctionnement des terrains de golf (Snow, 2003). Au Canada, aucune statistique précise n'est disponible concernant l'importance économique de l'industrie du golf. Toutefois, les intervenants de l'industrie s'entendent généralement pour utiliser un facteur de 1 sur 10 afin d'estimer l'importance relative du golf au Canada en comparaison aux États-Unis, ce qui représentait une somme d'environ 6,2 milliards de dollars américains pour l'année 2000.

La popularité du golf au Canada, comme ailleurs dans le monde, a augmenté de manière considérable au cours des dernières années. Selon l'Association Royale de Golf du Canada (2006), plus de 5,9 millions de canadiens s'adonnaient à la pratique de ce sport sur les 2000 terrains de golf du Canada pour un total de 92 millions de rondes jouées en 2005.

1.1.2 Les superficies de jeu et les graminées à gazon sur les terrains de golf

La construction d'un club de golf de 18 trous nécessite en moyenne une superficie totale de 78 hectares incluant les aires de pratique et de jeu (départ, allée, herbe longue, trappe de sable et vert), les zones boisées ou naturelles, les plans d'eau, le stationnement et les infrastructures d'accueil et de maintenance (Figure 1.1) (Beard, 2002).



Figure 1.1 Zones types retrouvées sur un terrain de golf.

(modifié de Club de golf Whitlock trou #2, 2006)

Les superficies moyennes des différentes zones d'un terrain de golf de 18 trous sont: les verts 0,8-1,6 hectare, les allées 12-16 hectares, les départs 0,6-1,6 hectare. L'aire réservée à l'herbe longue varie considérablement (26-49 hectares) selon: i-) la difficulté et la longueur du trou, ii-) la largeur de l'allée, iii) la disponibilité du terrain, iv-) la présence de zones protégées et v-) le partage avec un autre trou adjacent (Beard, 2002).

Les caractéristiques du gazon permettent d'offrir une surface de qualité pour la pratique du golf. Le gazon tolère de faibles hauteurs de tonte (ex. 3 à 4 mm) et procure une surface uniforme, dense et rapide. Les espèces de graminées à gazon produisant peu d'inflorescences à tonte rase sont recherchées car elles assurent un roulement en douceur de la balle de golf.

Les espèces de graminées à gazon cultivées sur les terrains de golf varient selon les différentes zones climatiques. On distingue les espèces de graminées à gazon des zones froides et des zones tempérées (Christians, 1998). Les extrêmes de température et la quantité de précipitation en pluie durant la saison sont les facteurs majeurs qui déterminent la distribution des espèces de graminées à gazon (Beard, 2002).

Le pâturin annuel (*Poa annua* var. *reptans* L.), le pâturin des prés (*Poa pratensis* L.) et l'agrostide (*Agrostis palustris* Huds) sont, par ordre d'importance, les trois graminées à gazon cultivées sur les terrains de golf du Canada (Association Royale de Golf du Canada, 2003). Le tableau 1.1 présente leur utilisation respective (en pourcentage) pour les verts, les allées et les départs d'un terrain de golf.

Tableau 1.1 Pourcentage des graminées à gazon selon les différentes zones d'un terrain de golf au Canada.

(adapté de Association Royale de golf du Canada, 2003)

Espèce de graminée à gazon	Vert (%)	Allée (%)	Départ (%)
Pâturin annuel (<i>Poa annua</i> var. <i>reptans</i> L.)	36	30	22
Pâturin des prés (<i>Poa pratensis</i> L.)	1	39	39
Agrostide stolonifère (<i>Agrostis palustris</i> Huds)	53	13	18
Pâturin commun (<i>Poa trivialis</i> L.)	---	3	---
Ivraie (<i>Lolium perenne</i> L.)	---	4	11
Autres	10	11	10

1.1.3 La problématique environnementale sur les terrains de golf

La culture du gazon sur un terrain de golf requiert une régie intensive. Afin de procurer une surface de jeu adéquate, plusieurs méthodes culturales incluant entre autres la tonte rase, la fertilisation, l'irrigation et l'aération doivent être pratiquées fréquemment. L'intensité de ces pratiques culturales peut entraîner des stress physiologiques à la plante favorisant l'infection par des pathogènes ou des insectes. Par conséquent, les gestionnaires

de terrains de golf doivent effectuer des interventions phytosanitaires pour contrôler les ravageurs et ainsi maintenir la qualité de la surface de jeu à un niveau acceptable. Une étude réalisée dans la région métropolitaine de New York, au Bethpage Golf Course, comparant une gestion traditionnelle et une gestion sans pesticide d'un terrain de golf a démontré la nécessité de réaliser des interventions phytosanitaires afin de préserver les surfaces gazonnées sur un terrain de golf (Oatis, 2004). Bien qu'il soit possible de réduire l'utilisation des pesticides, ces résultats indiquent que les produits de synthèse sont encore essentiels pour le contrôle de certains ravageurs du gazon sur les terrains de golf.

1.1.3.1 Réglementation sur l'utilisation de pesticides de synthèse

Depuis quelques années, les pressions des groupes de citoyens et des mouvements écologiques ont été de plus en plus présentes dans notre société et ont stimulé une réflexion profonde sur l'utilisation de pesticides de synthèse à des fins esthétiques pour l'entretien de nos espaces verts urbains et récréatifs. La présente section dresse un portrait du cheminement qui a récemment mené aux réglementations actuelles sur les pesticides de synthèse en milieu urbain et récréatif au Québec.

En 2000, la ville de Hudson au Québec a décidé d'interdire l'utilisation des pesticides de synthèse à des fins esthétiques sur son territoire. Cette décision a eu comme effet d'initier une suite de réactions et de réflexions sur la question. Les compagnies Spraytech, Société d'arrosage et Services des espaces verts Ltée/Chemlawn ont entamé la même année des procédures judiciaires pour contester le règlement de la ville de Hudson, Québec. En attente de la décision de la Cour Suprême du Canada, plusieurs autres villes québécoises ont imité la ville de Hudson et légiféré l'utilisation des pesticides de synthèse à des fins esthétiques sur leur territoire. En 2001, la Cour Suprême du Canada rendait une décision en faveur de la ville de Hudson (Spraytech, Société d'arrosage et Services des espaces verts Ltée/Chemlawn c, Ville de Hudson 2001) confirmant aux municipalités le droit de mettre en place un règlement régissant l'utilisation des pesticides sur son territoire dans la mesure où celui-ci n'est pas incompatible avec la réglementation provinciale. Par la suite, le gouvernement québécois a mis en place un groupe de réflexion ayant pour mandat de

consulter les différents intervenants sur le rôle des pesticides de synthèse en milieu urbain et récréatif et de recommander une voie à suivre pour le gouvernement du Québec. En 2003, à la suite du Rapport du groupe de réflexion sur l'utilisation des pesticides en milieu urbain (Cousineau, 2002), le gouvernement du Québec déposait un Code de gestion sur les pesticides (Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2005a). Ce code introduit des normes pour encadrer l'usage et la vente des pesticides, et ce, de façon à réduire l'exposition des personnes et de l'environnement à ces produits. Il est donc désormais interdit d'utiliser la majorité des pesticides de synthèse (mentionnés dans l'annexe I du Code) sur les surfaces gazonnées des terrains publics, parapublics et municipaux et sur les terrains où se déroulent des activités destinées aux enfants âgés de moins de 14 ans. Les terrains de golf publics et privés du Québec échappent à un bannissement des pesticides de synthèse mais doivent, à tous les trois ans, à compter du 3 avril 2006, transmettre au Ministre du développement durable, de l'environnement et des parcs un plan de réduction des pesticides. Ce plan, qui doit être préparé et signé par un agronome membre de l'Ordre des Agronomes du Québec (OAQ), présente entre autres les quantités totales de pesticides utilisées annuellement en 2003, 2004 et 2005 sur le terrain de golf et spécifie les objectifs de réduction pour les trois prochaines années, soit d'ici la soumission du prochain plan de réduction des pesticides en avril 2009. En plus des pourcentages de réduction visés pour les différentes catégories de pesticides: fongicides, herbicides, insecticides, rodenticides et autres pesticides (régulateurs de croissance), le document inclut les moyens identifiés pour atteindre les objectifs de réduction.

Ces changements sur l'utilisation des pesticides au Québec ont incité plusieurs villes d'autres provinces canadiennes à reconsidérer leur réglementation sur les pesticides. Par exemple en 2004, la ville de Toronto, la métropole canadienne, Toronto, a banni l'utilisation des pesticides à des fins esthétiques sur son territoire (City of Toronto, 2005). Bien que les terrains de golf ne soient pas exemptés par le règlement, ces derniers doivent réduire l'utilisation des pesticides en plus d'adhérer au *Integrated Pest Management Accreditation Program* (IPMAP) (IMP-PHC Council de l'Ontario, 2005). La ville de Vancouver a aussi réglementé l'utilisation des pesticides sur son territoire et depuis janvier

2006, les traitements pesticides sur les gazons et les jardins sont restreints. Certaines conditions doivent être rencontrées avant qu'un traitement pesticide soit autorisé comme par exemple le contrôle d'une infestation (City of Vancouver, 2005). À l'heure actuelle, bien que plusieurs municipalités canadiennes aient instauré une réglementation sur l'utilisation des pesticides en milieu urbain et récréatif, aucun autre gouvernement provincial n'a légiféré en ce sens.

De son côté, le gouvernement fédéral par l'entremise de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) réévalue l'homologation de plusieurs pesticides de synthèse utilisés sur les terrains de golf pour le contrôle des organismes nuisibles (ARLA, 2006). Dans un avenir prochain, certaines matières actives risquent d'être interdites.

1.1.3.2 Utilisation des pesticides de synthèse sur les terrains de golf

Selon une étude américaine, l'utilisation des pesticides de synthèse représente environ 13% des dépenses d'exploitation des terrains de golf pour un montant total de 1,3 milliard de dollars américains en 2001 aux États-Unis (Snow, 2003).

Au Canada, le coût moyen d'exploitation pour l'entretien annuel d'un parcours de golf totalise 441 789\$ dont environ 5 144\$ (1,2%), 6 209\$ (1,5 %) et 12 742\$ (3,0%) respectivement consacrés aux herbicides, insecticides et fongicides (Association Royale de Golf du Canada, 2003).

Au Québec, il n'existe aucune statistique sur les quantités de pesticides appliqués sur les terrains de golf. Le Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec compile conjointement les ventes de pesticides aux entreprises d'entretien d'espaces verts, aux municipalités et aux terrains de golf (Gorse, 2004). En 2000, 3,4% des ventes totales de pesticides au Québec se retrouvaient dans ces secteurs. Pour la période 2003, 2004 et 2005, il sera possible pour le Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec de déterminer les quantités de pesticides appliqués

par catégorie sur les terrains de golf puisque ces informations font partie des plans de réduction des pesticides qui devaient être soumis le 3 avril 2006.

Un sondage réalisé en 2001 auprès d'environ 100 surintendants de golf du Québec rapporte des dépenses annuelles variant de 0 à 20 000\$ pour les insecticides (L. Simard, document non publié). Cet investissement correspond à environ 1,7 traitement sur les verts et 0,5 traitement sur les allées pour le contrôle des insectes nuisibles. La grande variabilité observée s'explique principalement par l'intensité des infestations des ravageurs, l'expertise des surintendants et le budget dédié à l'entretien du terrain de golf.

L'utilisation des pesticides de synthèse représente une problématique importante pour l'ensemble des terrains de golf du Québec et d'ailleurs en Amérique du Nord. Les gestionnaires des terrains de golf doivent et peuvent réduire le recours aux pesticides de synthèse dans les prochaines années tel que prescrit par les nouvelles législations.

1.1.4 La lutte intégrée sur les terrains de golf

De plus en plus consciente de la fragilité de l'environnement et de la complexité des écosystèmes, la société souhaite une réduction significative du recours aux traitements pesticides pour l'entretien des espaces verts. Au Québec, les lois restrictives sur l'utilisation des pesticides de synthèse sur les terrains de golf accentuent la nécessité d'amorcer un virage vers une gestion raisonnée des problèmes phytosanitaires. Dans ce contexte, la lutte intégrée s'impose comme une alternative durable (Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2005a). En 1975, la 'Food and Agriculture Organization' a adopté la définition suivante de la lutte intégrée: la lutte intégrée est une stratégie de contrôle des ravageurs considérant l'environnement et les dynamiques de populations des espèces de ravageurs qui utilise toutes les techniques et méthodes appropriées d'une manière compatible afin de maintenir les populations de ravageurs sous les seuils causant des pertes économiques (Kogan, 1998).

Le concept de la lutte intégrée a été proposé et développé pour la protection des plantes contre leurs ravageurs bien avant l'utilisation de l'expression elle-même. À la fin du 19^e siècle, on préconisait le développement des connaissances sur la biologie des ravageurs et les pratiques culturales étaient utilisées comme stratégie de contrôle (Kogan, 1998). On assista à cette époque à l'élaboration des assises de la lutte intégrée moderne. Durant la première moitié du 20^e siècle, plusieurs chercheurs s'intéressaient à l'étude des différentes actions à prendre afin d'éviter, d'atténuer ou de décaler l'impact des ravageurs d'importance économique sur une culture (Kogan, 1998). Au début des années 40, l'étude de la biologie des ravageurs et des méthodes alternatives de contrôle a diminué en intérêt avec le développement des insecticides organophosphorés. À la fin des années 50, les premiers signes néfastes et les questionnements sur les risques qu'entraîne l'utilisation des pesticides de synthèse ont redonné un nouvel élan à la lutte intégrée (Ripper, 1957).

La mise en oeuvre des principes de la lutte intégrée demeure néanmoins relativement récente dans le secteur des terrains de golf où quelques concepts commencent à s'imposer. Entre autres, le dépistage des organismes nuisibles et de leurs symptômes ou dommages est de plus en plus courant. De nouvelles techniques de dépistage et une meilleure connaissance des seuils d'intervention ont certainement contribué à l'accroissement des activités de dépistage (Schumann et al., 1998; Majeau et al., 2000a; Niemczyk et Shetlar, 2000). De plus, on observe maintenant une meilleure formation académique chez les surintendants de golf et de plus grandes connaissances sur la biologie des organismes nuisibles et la culture du gazon. Les surintendants connaissent davantage les concepts de la lutte intégrée et les étapes nécessaires à son implantation. Par exemple, ils comprennent mieux l'impact de différentes méthodes culturales sur le développement des organismes nuisibles et les bénéfices que celles-ci peuvent apporter. La mise en place de certifications environnementales basées sur la lutte intégrée par certaines associations, organismes ou universités contribue à la formation continue des différents intervenants et à la promotion de la lutte intégrée. Par exemple le *IPM-PHC Council* de l'Ontario s'est doté en janvier 2004 d'un programme volontaire d'accréditation en lutte intégrée : le *Integrated Pest Management Accreditation Program* (IPMAP) visant à faire de la lutte intégrée un standard dans la gestion des terrains de golf (IMP-PHC Council de l'Ontario, 2005).

Les compagnies de produits anti-parasitaires et les laboratoires de recherche sont désormais sensibilisés au développement de produits phytosanitaires ayant une toxicité faible et un moindre impact sur l'écosystème et la santé humaine. Quelques méthodes alternatives de contrôle des ravageurs du gazon sont en voie de développement. L'utilisation du champignon antagoniste *Typhula phacorrhiza* Reich sur les verts de golf à la fin de l'automne réduit l'incidence des moisissures nivéales (*Typhula incarnata* Lasch ex. Fr., *Typhula ishikariensis* Imai et *Microdochium nivale* Fr. Samuels & Hallett) (Hsiang et Cook, 2001). Le champignon *Sclerotinia minor* Jagger démontre un potentiel pour le contrôle des mauvaises herbes à feuilles larges dans le gazon (Watson, 2001). Le gluten de maïs (*Zea mays* L.) est utilisé pour fertiliser le gazon mais possède aussi un effet herbicide pré-émergent (McDade et Christians, 2001). La découverte récente d'une nouvelle espèce de nématodes entomopathogènes, *Steinernema scarabaei*, permet d'envisager un meilleur contrôle du hanneton européen (Koppenhöfer et Fuzzy, 2003). Ces nouveaux agents de lutte biologique ne sont toutefois pas encore homologués pour le contrôle des ravageurs au Canada.

La sensibilisation du public et des golfeurs est également importante dans la promotion de la lutte intégrée. En Alberta, la *Alberta Golf Industry Association* a produit et distribué à tous ses membres un document audio-visuel visant à informer les golfeurs sur les nouvelles réalités environnementales auxquelles les surintendants de golf font face (Alberta Golf Industry Association, 2004).

On peut considérer que la lutte intégrée est en voie de développement sur les terrains de golf. Kogan (1998) suggère que son implantation se fasse selon un continuum où l'on distingue trois principaux niveaux (Figure 1.2). Le premier niveau est atteint lorsqu'on effectue le dépistage régulier des ravageurs et de leurs ennemis naturels, établit des seuils d'intervention et utilise des pesticides sélectifs. Sur les terrains de golf du Québec, des connaissances notamment sur la biologie des ravageurs du gazon restent à acquérir et à mettre en pratique afin d'atteindre ce premier niveau. L'atteinte du deuxième niveau signifie l'utilisation courante des modèles prévisionnels ainsi que de méthodes alternatives

comme les agents de lutte biologique, les plantes résistantes et les pratiques culturales. De plus, les interactions entre les différents ravageurs d'un même écosystème et la modification de ce dernier doivent être prises en considération à ce niveau. Le dernier niveau tient compte des relations entre plusieurs écosystèmes. Par exemple, l'impact de la présence d'un champ de maïs sur l'observation de dommages de vers gris sur un terrain de golf à proximité sachant que le maïs et le gazon sont des plantes hôtes de cet insecte.

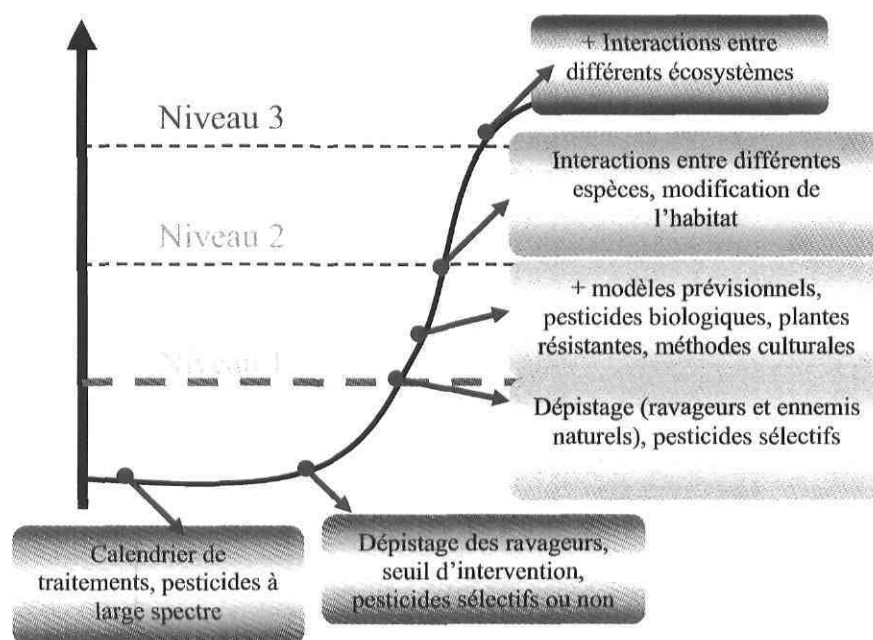


Figure 1.2 Étapes de l'implantation de la lutte intégrée selon trois niveaux.
(adapté de Kogan, 1998)

1.2 Les insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf

Les principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Canada sont présentés au tableau 1.2. Ils endommagent les racines (Scarabaeidae, Tipulidae), les couronnes et les tiges (Curculionidae) et les feuilles (Noctuidae, Pyralidae, Lygaeidae) des graminées à gazon. L'importance des différentes espèces d'insectes ravageurs est variable selon les provinces canadiennes. Par exemple, la tipule européenne (*Tipula paludosa* Meigen) représente un ravageur important en Colombie-Britannique alors que le ver gris (*Agrotis ipsilon* Hufnagel) domine au Québec (Coalition pour un Golf Responsable, 2006). L'incidence d'un insecte ravageur diffère aussi d'une région à l'autre. Par exemple, au Québec, le hanneton européen (*Rhizotrogus majalis* Razoumowky) se retrouve presque exclusivement dans la région de Montréal.

Tableau 1.2 Principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Canada.

(adapté de Sears et al., 1996; Potter, 1998)

Ordre	Famille	Nom commun/Genre/Espèce
Coléoptère	Scarabaeidae	Hanneton européen, <i>Rhizotrogus majalis</i>
		Hanneton commun, <i>Phyllophaga</i> spp.
		Scarabée japonais, <i>Popillia japonica</i>
		Scarabée noir du gazon, <i>Ataenius spretulus</i>
		<i>Aphodius granarius</i>
	Curculionidae	Charançon du pâturin annuel, <i>Listronotus maculicollis</i>
		Calandre du pâturin, <i>Sphenophorus parvulus</i>
Diptère	Tipulidae	Tipule européenne, <i>Tipula paludosa</i>
Lépidoptère	Noctuidae	Ver gris, <i>Agrotis ipsilon</i>
	Pyralidae	Pyrale de la canneberge, <i>Chrysoteuchia topiaria</i>
Hémiptère	Lygaeidae	Punaise velue, <i>Blissus leucopterus hirtus</i>

Parmi les insectes mentionnés dans le tableau 1.2, le charançon du pâturin annuel, le scarabée noir du gazon et le ver gris constituent les insectes les plus problématiques sur les terrains de golf du Québec selon un sondage réalisé auprès d'environ 100 surintendants (L. Simard, document non publié). Par conséquent, cette étude doctorale avait initialement ciblé ces ravageurs. Toutefois, les premières captures d'insectes sur les terrains de golf du Québec nous ont permis de distinguer rapidement la présence de deux autres ravageurs en importance soit le scarabée *Aphodius granarius* et la tipule européenne. Cette section présente une revue de littérature sur ces cinq insectes ravageurs.

1.2.1 Le scarabée noir du gazon (Coleoptera: *Ataenius spretulus* Haldeman)

1.2.1.1 Description

Le scarabée noir du gazon, *Ataenius spretulus* Haldeman, appartient à l'ordre des Coléoptères, famille des Scarabaeidae et sous-famille des Aphodinae. Appelé 'Black turfgrass *Ataenius*' aux États-Unis, il est également connu sous le nom de 'Black fairway beetle' au Canada (Niemczyk et Shetlar, 2000). Les adultes matures sont noirs et luisants, de petites dimensions, soit une longueur moyenne de 4,9 mm et une largeur moyenne de 2,2 mm (Figure 1.3) (Tashiro, 1987). Les adultes juvéniles sont brunâtres allant progressivement vers le noir après quelques jours (Figure 1.3). Des lignes longitudinales sont présentes sur les ailes antérieures sclérifiées, appelées élytres, et qui confèrent une protection supplémentaire à l'insecte. On observe facilement les adultes de scarabée noir du gazon sur les verts de golf puisqu'ils réfléchissent la lumière du soleil. Les adultes colonisent les premiers centimètres de sol et le chaume.

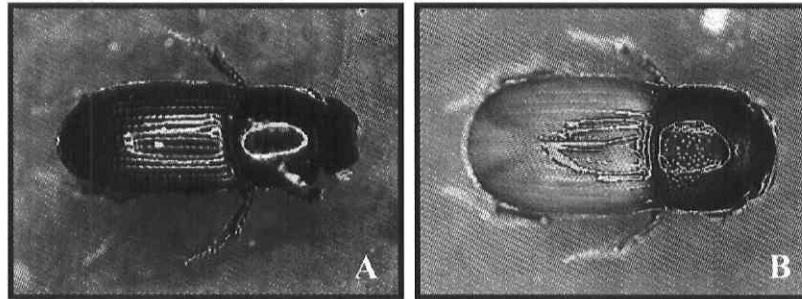


Figure 1.3 Scarabée noir du gazon *Ataenius spretulus*.

A. Adulte mature B. Adulte juvénile

Les œufs, d'une longueur moyenne de 0,72 mm et d'une largeur moyenne de 0,52 mm, sont déposés en masse de 11 à 12 individus dans une petite cavité formée par les femelles à l'interface du chaume et du sol (Wegner et Niemczyk, 1981).

Les larves des Scarabaeidae surnommées 'vers blanc' présentent trois stades distincts et se caractérisent par leur position en forme de C (Figure 1.4). De couleur blanc crème, la transparence de la larve permet de voir les vaisseaux sanguins dorsaux ainsi que la nourriture ingérée qui s'accumule à l'extrémité de l'abdomen. À maturité, les larves de scarabée noir du gazon sont relativement petites atteignant une longueur moyenne de 8,5 mm. Elles ont une capsule céphalique de 0,5 mm au premier stade larvaire, de 0,8 mm au deuxième stade larvaire et de 1,3 mm au troisième stade larvaire (Tashiro, 1987).

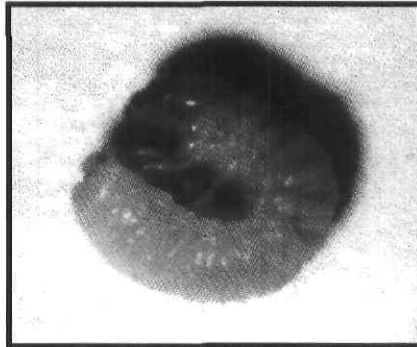


Figure 1.4 Larve de scarabée noir du gazon *Ataenius spretulus*.

Le troisième stade larvaire du scarabée noir du gazon peut être facilement confondu avec le premier stade larvaire d'autres espèces de vers blancs présentes au Québec, soit le hanneton commun, *Phyllophaga* spp., le hanneton européen, *Rhizotrogus majalis*, et le scarabée japonais, *Popillia japonica* Newman. L'observation de la distribution des poils autour de l'anus et de l'ouverture anale permet de distinguer les différentes espèces de vers blancs (Figure 1.5). Le scarabée noir du gazon possède environ 40 à 45 poils distribués aléatoirement à l'extrémité de l'abdomen avant l'ouverture anale. Cependant, la caractéristique la plus utile pour l'identification du scarabée noir du gazon est la présence de deux structures rondes formant le tampon anal entre les poils et l'ouverture anale à l'extrémité de l'abdomen (Wegner et Niemczyk, 1981).

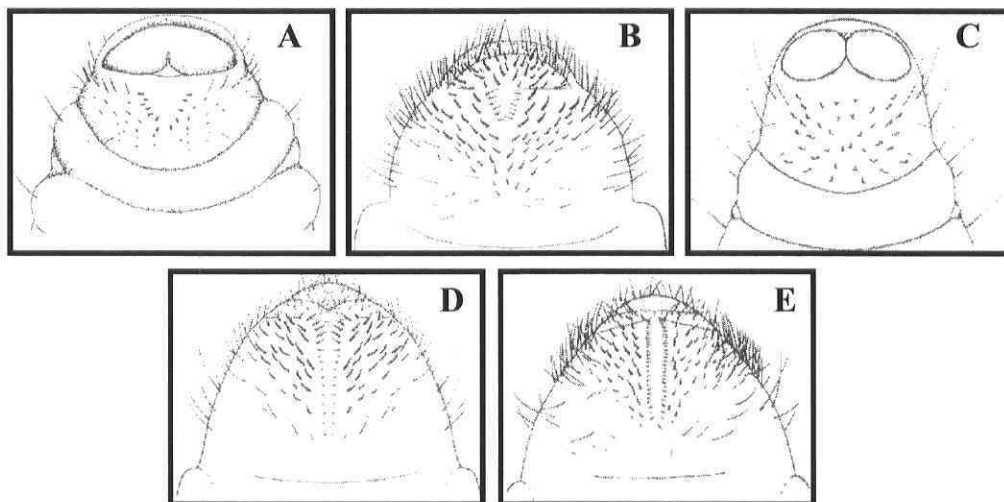


Figure 1.5 Distribution des poils autour de l'anus et caractéristique de l'ouverture anale des larves d'espèces de Scarabaeidae présentes au Québec.

A. *Aphodius granarius* B. *Popillia japonica* C. *Ataenius spretulus* D. *Rhizotrogus majalis* E. *Phyllophaga* spp. (adapté de Potter, 1998; Niemczyk et Shetlar, 2000)

Les pupes sont d'une longueur variant de 4,2 à 5,7 mm avec les ailes en développement et les pattes repliées près du corps. Initialement de couleur blanc crème, elles deviennent brunâtres peu avant l'émergence des adultes (Tashiro, 1987).

1.2.1.2 Cycle de vie

Le cycle de vie du scarabée noir du gazon comprend le stade adulte, l'œuf, trois stades larvaires et le stade pupes. Les adultes passent l'hiver dans des habitats boisés près des terrains de golf sous des débris végétaux, là où le sol est bien drainé et sablonneux (Sears et al., 1996). Environ 90% des femelles sont inséminées avant la diapause. Wegner et Niemczyk (1981) rapportent une survie hivernale élevée et similaire des mâles (90%) et des femelles (96%) sur trois terrains de golf de l'état de l'Ohio. De plus, des sites ayant un pH (5,8-7,3), une composition de matière organique (1-4%) et une granulométrie du sol (sable 43-72%, limon 14-26% et argile 13-28%) variables s'avèrent favorables à l'hivernation des adultes de scarabée noir. Les larves et les pupes n'ayant pas atteint le stade adulte avant la fin de la saison estivale meurent. À l'arrivée des températures plus chaudes au printemps, les adultes sortent des sites d'hivernation à la tombée du jour et sont observés à la surface du gazon. Une augmentation du vol des adultes a été notée en Ohio avant et durant de faibles précipitations à la tombée du jour (Wegner et Niemczyk, 1981). Les femelles pondent leurs œufs et les jeunes larves se transforment du premier au troisième stade larvaire avant d'atteindre la pupaison. Cette dernière a lieu dans une cellule dans le sol à une profondeur de 1 à 8 cm. Les jeunes adultes apparaissent par la suite et complètent le cycle de vie.

1.2.1.3 Écologie saisonnière

Le scarabée noir du gazon complète une à deux générations par année selon sa distribution géographique et la température durant la saison estivale. Généralement, on observe deux générations par année en Ohio et dans les régions plus au sud. Le scarabée noir du gazon complète une génération par année dans la partie nord de l'état de New York et la Nouvelle-Angleterre, les états américains limitrophes des Grands Lacs et l'Ontario (Canada) (Tashiro, 1987; Potter, 1998; Niemczyk et Shetlar, 2000). Au Québec, aucune information n'est disponible sur l'écologie saisonnière du scarabée noir du gazon sur les terrains de golf. Pourtant, dans un contexte de phytoprotection, ces connaissances sont

essentielles car les larves sont difficiles à observer dans le sol et l'intervention phytosanitaire doit être rapide avant l'apparition des dommages (Sears et al., 1996).

1.2.1.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages

Espèce native d'Amérique, le scarabée noir du gazon a été noté pour la première fois dans l'état du Minnesota aux États-Unis en 1932 où il causait des dommages aux verts et allées de terrains de golf (Hoffman, 1935). Ce n'est qu'en 1969 qu'on observa des dommages au gazon des allées de terrains de golf dans l'état de New York. Par la suite, plusieurs autres dommages furent rapportés dans les états américains voisins (Tashiro, 1987). Aujourd'hui, le scarabée noir du gazon a été identifié dans plus de 40 états américains et est probablement présent dans l'ensemble du pays (Niemczyk et Shetlar, 2000). Cependant, les dommages les plus importants sont principalement observés dans le nord-est des États-Unis. Au Canada, des dommages causés par le scarabée noir du gazon ont été observés dans le sud de l'Ontario et au Québec (L. Simard, document non publié, Campbell et al., 1989; Bousquet, 1991; Sears et al., 1996; Potter, 1998).

Le scarabée noir du gazon est un ravageur des graminées à gazon des zones tempérées tel le pâturin annuel, le pâturin des prés et l'agrostide. Cet insecte cause des dommages sporadiques mais généralement sévères sur les allées des terrains de golf et moins importants sur les verts et les départs (Beard, 2002). Le scarabée noir du gazon est présent sur les gazons tondus ras, bien irrigués et ayant une couche compactée de chaume. Les allées irriguées de terrains de golf ayant un fort pourcentage de pâturin annuel sont particulièrement susceptibles à l'infestation du scarabée noir du gazon (Potter, 1998). L'espèce infeste rarement les gazons des terrains résidentiels.

Ce sont les larves de scarabée noir du gazon qui causent les dommages en consommant les racines des graminées à gazon. Les adultes quant à eux se nourrissent de matière organique et de débris végétaux en décomposition. Les dommages s'observent tout d'abord par un flétrissement du gazon similaire à celui causé par un stress hydrique et ensuite par l'apparition de plaques irrégulières de gazon mort. Une période de sécheresse couplée à

l'affaiblissement du système racinaire par les larves de scarabée noir du gazon accentue souvent l'étendue des dommages. L'absence de réponse du gazon suite à une irrigation permet également de suspecter la présence du scarabée noir du gazon. Aucun seuil d'intervention précis n'a été déterminé pour le scarabée noir du gazon mais une densité de 30 larves/0,1m² pourrait causer des dommages surtout durant une période de sécheresse (Tashiro, 1987). Des densités supérieures à 300 larves/0,1m² ont déjà été notées sur un terrain de golf de l'état de l'Ohio (Niemczyk et Dunbar, 1976).

1.2.1.5 Méthodes de contrôle

La lutte chimique est actuellement utilisée pour le contrôle du scarabée noir du gazon. L'application curative d'insecticide est effectuée sur les jeunes stades larvaires, peu de temps après l'éclosion des œufs. Une irrigation adéquate suite au traitement est nécessaire afin de favoriser la migration du produit insecticide dans la zone racinaire du gazon. Le traitement préventif avec un insecticide résiduel (ex. imidacloprid (C₉H₁₀ClN₅O₂; 1-[(6-chloro-3-pyridinyl)methyl]-N-nitro-2-imidazolidinimine) est également possible contre les larves durant la période de ponte (Potter, 1998). Dans ce cas, le contrôle sera efficace contre la première génération de larves et également la seconde, s'il y a lieu. Au Canada, la seule matière active homologuée pour le contrôle du scarabée noir du gazon est l'imidacloprid' (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2006).

Les traitements curatif et préventif des adultes sont de plus en plus courants comme stratégie de contrôle de ce ravageur. Même si les adultes ne causent pas de dommage au gazon, l'objectif est de s'attaquer aux femelles avant que celles-ci n'aient pondu leurs œufs (Niemczyk et Shetlar, 2000). Dans ce cas, la période d'application est importante afin de cibler la plus grande proportion des adultes quittant les sites d'hivernation.

Les nématodes entomopathogènes ont la capacité d'infecter les larves de scarabée noir du gazon. Alm et al. (1992) ont démontré l'efficacité du nématode *Steinernema carpocapsae* appliqué sur une allée de terrain de golf constituée de pâturin annuel contre des larves de scarabée noir du gazon. Des niveaux de contrôle de 46% et de 94% ont été obtenus

respectivement pour les doses $4,9 \times 10^9$ et $24,7 \times 10^9$ nématodes/hectare. Le nématode *S. glaseri* a procuré un faible contrôle des larves de scarabée noir du gazon dans cette même étude. De grandes concentrations de nématodes sont souvent nécessaires pour obtenir un contrôle satisfaisant. Cette méthode de contrôle alternative demeure prometteuse car la découverte de nouvelles souches ou espèces plus virulentes se fait régulièrement (Mracek et al., 1998; Bélair et al., 2001; Koppenhöfer et Fuzzy, 2003).

Le seul pathogène naturel identifié à ce jour sur le scarabée noir du gazon est celui causant la maladie laiteuse ('milky disease') (Tashiro, 1987). Les spores de ce bacille ressemblent à *Bacillus popilliae* Dutky et *B. lentimorbus* Dutky retrouvés chez le scarabée japonais. Cependant, la bactérie est complètement différente et ne cause pas d'infection chez d'autres espèces de vers blancs comme le scarabée japonais et le hanneton européen. Au moins trois types de spores morphologiquement différentes ont été identifiés chez le bacille infectant le scarabée noir du gazon (Kawanishi et al., 1974). Les souches commercialement disponibles ne sont toutefois pas virulentes contre le scarabée noir du gazon. Il est intéressant de noter que la combinaison de deux méthodes de contrôle peut avoir un effet additif ou synergique pour le contrôle de certains Scarabaeidae (Thurston et al., 1993; Thurston et al., 1994; Koppenhöfer et Kaya, 1997; Koppenhöfer et Kaya, 1998; Koppenhöfer et al., 2000a; Koppenhöfer et al., 2000b; Koppenhöfer et al., 2002; Koppenhöfer et al., 2003). Koppenhöfer et Kaya (1998) ont révélé un effet synergique entre le nématode *Heterorhabditis bacteriophora* et l'imidacloprid utilisés en combinaison contre des larves de troisième stade de *Cyclocephala hirta* et *C. pasadenae*, deux espèces de Scarabaeidae. Dans une autre étude, Koppenhöfer et al. (2003) ont démontré que l'imidacloprid en mélange n'affecte pas la virulence des nématodes entomopathogènes et leur persistance dans le sol. Des effets synergiques ou additifs entre *Bacillus thuringiensis* et les nématodes *H. bacteriophora* et *S. glaseri* contre des espèces de Scarabaeidae ont également été rapportés (Koppenhöfer et Kaya, 1997)

1.2.2 *Aphodius granarius* (Coleoptera: *Aphodius granarius* L.)

1.2.2.1 Description

Plus de 100 espèces appartenant au genre *Aphodius* (ordre des Coléoptères, famille des Scarabaeidae et sous-famille des Aphodinae) sont actuellement identifiées en Amérique, mais seulement deux espèces (*Aphodius granarius* L. et *Aphodius paradalis* Le Conte) sont reconnues comme ravageurs du gazon spécialement sur les allées de terrain de golf (Tashiro, 1987). *Aphodius granarius* est l'espèce la plus commune et celle retrouvée sur les terrains de golf du Québec. Les adultes ressemblent beaucoup aux adultes du scarabée noir du gazon. La longueur d'*A. granarius* tend à être légèrement plus faible (3,0-5,0 mm) comparativement au scarabée noir du gazon (4,0-5,6 mm) (Wegner et Niemczyk, 1981). *Aphodius granarius* et le scarabée noir du gazon se distinguent en examinant le tibia des pattes arrières des adultes. *A. granarius* possède deux épines sur le tibia qui sont absentes chez le scarabée noir du gazon (Figure 1.6)

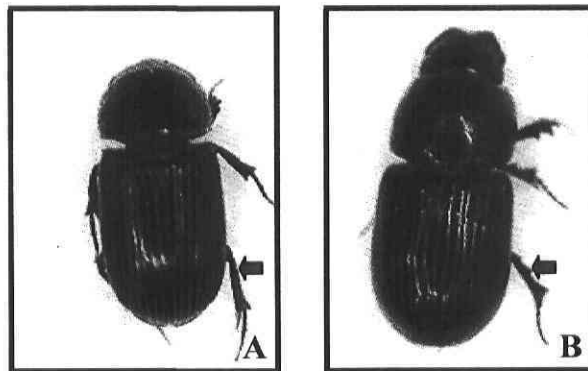


Figure 1.6 Adulte de A. Scarabée noir du gazon *Ataenius spretulus* et B. *Aphodius granarius*.

Les flèches pointent le tibia de la patte postérieure.

L'œuf, les larves et la puppe sont également similaires au scarabée noir du gazon. Toutefois, la distribution des poils autour de l'anus des larves est différente (Figure 1.5) *Aphodius*

granarius possède deux rangées de poil formant un ‘V’ tandis que les poils sont distribués aléatoirement chez le scarabée noir du gazon.

1.2.2.2 Cycle de vie

Le cycle de vie d'*A. granarius* tout comme le scarabée noir du gazon comprend les stades œuf, larve (3), pupa et adulte. Dans les pâturages, les femelles d'*A. granarius* déposent leurs œufs dans le fumier laissé par le bétail ou dans le sol à proximité (Mohr, 1943; Floate et Gill, 1998). Cependant, la ponte sur les terrains de golf semble s'effectuer dans le chaume tout comme le scarabée noir (Tashiro, 1987). L'information disponible sur *A. granarius* est similaire à celle sur le scarabée noir du gazon. Les deux espèces sont souvent confondues et leur statut respectif n'est pas bien défini. Smitley et al. (1998) ont observé différentes proportions entre les deux espèces sur des terrains de golf de l'état du Michigan et ont noté une plus grande abondance de *A. spretulus* dans les allées que dans l'herbe longue.

1.2.2.3 Écologie saisonnière

L'écologie saisonnière d'*A. granarius* a été moins étudiée que celle de *A. ataenius*. *Aphodius granarius* complète une génération par année dans les états américains du Michigan, du New Jersey, de l'Ohio et en Ontario au Canada (Potter, 1998, Niemczyk et Shetlar, 2000) et ces derniers auteurs mentionnent un décalage au niveau du développement saisonnier d'*A. granarius* et d'*A. ataenius*. La ponte des femelles d'*Aphodius granarius* semble débiter deux à trois semaines avant *A. ataenius* (Potter, 1998). Les dommages engendrés par les larves du genre *Aphodius* apparaissent généralement deux à quatre semaines avant les dommages de la première génération de scarabée noir du gazon (Niemczyk et Shetlar, 2000). Au Québec, aucune donnée n'est disponible sur l'écologie saisonnière d'*A. granarius* sur les terrains de golf.

1.2.2.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages

Aphodius granarius, une espèce introduite d'Europe, a colonisé les États-Unis et le Canada. Au Canada, des dommages furent mentionnés sur les allées d'un terrain de golf pour la première fois en 1976 dans la région de Toronto en Ontario (Sears, 1978). Par la suite, l'espèce fut identifiée au Colorado et au Michigan alors que les dommages avaient préalablement été attribués au scarabée noir du gazon. En 1981, *Aphodius granarius* fut observé pour la première fois en Ohio (Tashiro, 1987). Les dommages sont rapportés plus fréquemment dans la région des Grands Lacs incluant l'Ohio et le Michigan, le Nord-Est des Grandes Plaines incluant l'Iowa, le Minnesota, le Nebraska et les Dakota du Sud et du Nord ainsi qu'en Ontario (Potter, 1998). Cet insecte a été rapporté dans plusieurs provinces canadiennes incluant: Colombie-Britannique, Alberta, Manitoba, Ontario, Québec, Nouveau-Brunswick et Nouvelle-Écosse (Bousquet, 1991; Campbell et al., 1989).

Les larves d'*A. granarius* s'attaquent essentiellement aux mêmes espèces de graminées à gazon et causent des dommages similaires au scarabée noir du gazon. *A. granarius* semble être moins souvent associé au gazon que le scarabée noir du gazon mais est néanmoins capable de causer des dommages sévères (Potter, 1998). Les adultes d'*A. granarius* ne causent pas de dommages au gazon et se nourrissent de débris, de matière organique, de compost, de charogne et de fumier (Tashiro, 1987).

1.2.2.5 Méthodes de contrôle

Les mêmes méthodes de lutte que celles préconisées contre le scarabée noir du gazon sont utilisées pour *A. granarius*. La susceptibilité de l'insecte aux différentes méthodes de contrôle est actuellement peu documentée. Les études d'efficacité ne font généralement pas la distinction entre le scarabée noir du gazon et *A. granarius*. Il est à noter qu'aucun produit insecticide n'est actuellement homologué au Canada pour une utilisation sur un terrain de golf contre *A. granarius* (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2006).

1.2.3 Le charançon du pâturin annuel (Coleoptera: *Listronotus maculicollis* Dietz)

1.2.3.1 Description

Le charançon du pâturin annuel, *Listronotus maculicollis* Dietz, est un coléoptère de la famille des Curculionidae, sous-famille des Cyliindrorhininae. Les adultes ont une longueur moyenne de 3,6 mm (Figure 1.7) (Tashiro, 1987). Ces derniers sont de plus petite taille mais ressemblent aux adultes du calandre du pâturin (*Sphenophorus parvulus* Gyllenhal), qui cause plus fréquemment des dommages aux pelouses des terrains résidentiels. Les adultes matures sont noirs et recouverts de poils et d'écailles brunâtres et grises. Les adultes plus âgés deviennent généralement plus luisants en raison de la perte graduelle des poils et écailles. Pour leur part, les jeunes adultes sont brunâtres et deviennent noirs après quelques jours (Potter, 1998). La tête des adultes de charançon du pâturin annuel est prolongée par un rostre auquel sont attachées, près de l'extrémité, les antennes (Figure 1.7). Chez le charançon du pâturin annuel, la longueur du rostre et du prothorax est plus petite que la longueur des ailes. Au contraire, la calandre du pâturin est caractérisée par une longueur comparable entre le rostre et le prothorax et la longueur de ses ailes (Potter, 1998).

Les œufs de charançon du pâturin annuel sont déposés entre les feuilles du gazon près de la gaine. D'une longueur moyenne de 0,25 mm et d'une largeur moyenne de 0,80 mm (Tashiro, 1987), les œufs sont d'une forme longitudinale et arrondis aux extrémités, sont d'une couleur jaune pâle peu de temps après la ponte mais deviennent plutôt noir transparents près de l'éclosion, laissant ainsi paraître l'embryon.

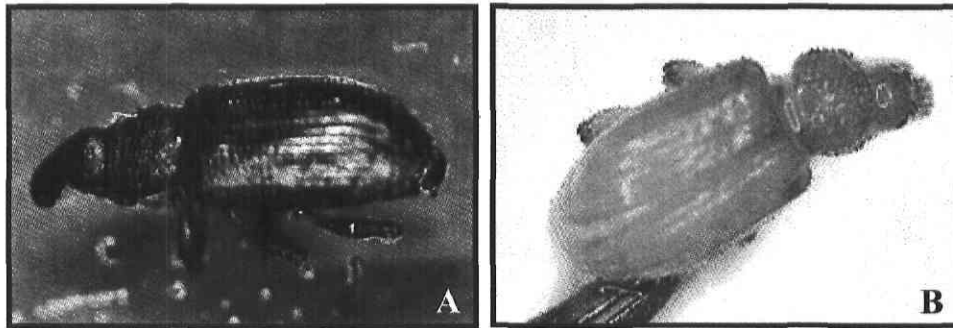


Figure 1.7 Charançon du pâturin annuel *Listrionotus maculicollis*.

A. Adulte mature B. Adulte juvénile

Les larves de charançon du pâturin annuel sont de couleur blanc crème avec une capsule céphalique brune caractérisée par une suture qui forme un 'Y' inversé (Tashiro, 1987) (Figure 1.8). Les larves n'ont pas de pattes et sont plus larges au milieu qu'aux extrémités de leur corps. Leurs longueurs varient d'un millimètre au premier stade larvaire à 4,5 mm au cinquième et dernier stade larvaire (Potter, 1998).

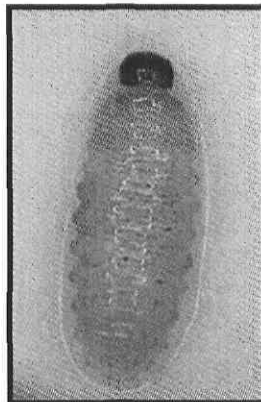


Figure 1.8 Larve du charançon du pâturin annuel *Listrionotus maculicollis*.

Les pupes sont également de couleur blanc crème et deviennent plus foncées au cours de leur développement. L'observation de la pupa du charançon du pâturin annuel permet de distinguer assez facilement le rostre, les pattes et les ailes qui sont repliés près du corps.

1.2.3.2 Cycle de vie

Le cycle de vie du charançon du pâturin annuel comprend l'œuf, l'adulte, cinq stades larvaires et la pupa. Les adultes de charançon deviennent actifs lorsque la température se réchauffe au printemps et recherchent des sites propices à la ponte comme le pâturin annuel dont la pousse est précoce sur les terrains de golf. Ils demeurent plutôt cachés dans le chaume durant le jour et s'activent le soir à la surface du gazon, et parfois ils volent (Niemczyk et Shetlar, 2000). Lors de la ponte, la femelle dépose deux ou trois œufs entre la gaine et la tige du gazon. Après l'éclosion (4 à 5 jours), les jeunes larves se nourrissent tout d'abord à l'intérieur des brindilles de gazon causant la mort de la feuille centrale du plant. Par la suite, elles sortent graduellement pour s'alimenter des couronnes et ainsi causer les dommages les plus importants (Vittum et Tashiro, 1987). Des morsures caractéristiques en forme de 'U' à la base des tiges révèlent la présence des larves de charançon du pâturin annuel (Niemczyk et Shetlar, 2000). Aux derniers stades, elles creusent de petits tunnels dans le chaume et se déplacent à la base des plants de gazon pour se nourrir. Après avoir complété cinq stades larvaires, cet insecte amorce sa pupaison dans une petite cellule construite dans le sol à une profondeur d'environ 6 à 7 mm.

1.2.3.3 Écologie saisonnière

Vittum et Tashiro (1987) ont étudié l'écologie saisonnière du charançon du pâturin annuel sur les terrains de golf dans les états de New York et du Connecticut. L'insecte complète deux générations par année et occasionnellement une troisième partielle lors de saison estivale plus chaude. Les années 1976, 1977 et 1978 ont permis d'observer un maximum de larves de charançon entre le 13 juin et le 19 juin pour la première génération et entre le 19 juillet et le 31 juillet pour la deuxième génération (Vittum et Tashiro, 1987). Beard (2002) rapporte que le charançon du pâturin annuel nécessite environ 60 jours pour réaliser son cycle vital et complète de deux à trois générations par année selon les régions. Potter (1998) suggère une génération par année pour les régions les plus au nord de la distribution du charançon du pâturin annuel. Cependant, Sears et al. (1996) mentionnent deux périodes d'alimentation des larves pour l'Ontario soit de la mi-mai à la mi-juin ainsi que de la mi-

juillet à la mi-août. Aucune donnée n'est actuellement disponible sur le développement saisonnier du charançon du pâturin annuel sur les terrains de golf du Québec.

1.2.3.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages

Le charançon du pâturin annuel, comme l'indique son nom, s'attaque au pâturin annuel (Beard, 2002). Cette graminée à gazon sous une régie de tonte rase est la seule susceptible au charançon du pâturin annuel (Tashiro, 1987; Potter, 1998; Niemczyk et Shetlar, 2000). Certains surintendants de golf rapportent des dommages de charançon sur des verts composés d'agrostide. Une observation plus précise a cependant démontré que ce ravageur s'attaquait plutôt aux zones de pâturin annuel présentes sur ces verts de golf (Tashiro, 1987). Les dommages apparaissent habituellement autour des départs, des verts et des allées de golf (Niemczyk et Shetlar, 2000). Cette situation s'explique en raison du déplacement progressif des adultes de leurs sites d'hivernement, constitués essentiellement de boisés, vers le terrain de golf. Le pin blanc (*Pinus strobus* L.) est particulièrement apprécié du charançon du pâturin annuel comme site d'hivernement (Brandenburg et Villani, 1995). Les dommages causés par des jeunes larves apparaissent tout d'abord comme de petites zones isolées de gazon mort qui s'agrandissent et se rejoignent lors de l'apparition des derniers stades larvaires (Potter, 1998). Les adultes se nourrissent également de gazon sans toutefois entraîner la mort du plant. Des morsures sur les côtés des feuilles ou des trous à l'intérieur même de la feuille de gazon sont caractéristiques de l'alimentation des adultes de charançon du pâturin annuel.

Le charançon du pâturin annuel est une espèce native en Amérique du Nord (Rothwell, 2003). Les premiers dommages au gazon causés par le charançon du pâturin annuel ont été notés en 1931 au Connecticut. De 1957 à 1967, des dommages ont été rapportés dans la ville de New York. Actuellement, l'espèce est présente dans plusieurs états du nord-est des États-Unis suivants: Connecticut, Delaware, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Ohio, Pennsylvanie, Rhode Island, Vermont et Virginie de l'Ouest (Tashiro, 1987; Niemczyk et Shetlar, 2000; Rothwell, 2003). Au Canada, le charançon du pâturin annuel cause des dommages au gazon en Ontario et au Québec (L. Simard,

document non publié; Sears et al., 1996). Cet insecte a également été rapporté au Yukon, en Alberta et en Colombie-Britannique sans toutefois être un ravageur du gazon reconnu (Bousquet, 1991)

1.2.3.5 Méthodes de contrôle

Au Canada, le chlorpyrifos ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$; *O,O*-diethyl *O*-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate) est la seule matière active actuellement homologuée pour le contrôle du charançon du pâturin annuel (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2006). Les interventions chimiques sur le charançon du pâturin annuel se font sur les stades adultes ou larvaires. L'application d'un insecticide tôt au printemps cible les adultes qui sortent de leurs sites d'hivernement et marchent sur le pâturin annuel. Il est normalement plus difficile d'atteindre les jeunes larves de charançon du pâturin annuel qui se cachent à l'intérieur des tiges de gazon (Potter, 1998). Une autre façon de contrôler les larves de charançon du pâturin annuel est d'appliquer un insecticide résiduel (ex. imidacloprid) lorsque les adultes deviennent actifs au printemps. L'action systémique de l'insecticide permet de tuer les jeunes larves qui se nourrissent des tiges. Toutefois, contrairement aux États-Unis, la matière active 'imidacloprid' n'est pas homologuée au Canada pour le charançon du pâturin annuel ce qui limite ce type d'intervention (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2006).

Les formulations commerciales de nématodes entomopathogènes ont démontré une bonne efficacité contre les larves de charançon du pâturin annuel (Niemczyk et Shetlar, 2000). D'autres espèces de charançon vivant dans le sol telles le charançon de la carotte (*Listronotus oregonensis*), le charançon de la vigne (*Otiorhynchus sulcatus*) et le charançon des racines (*Diaprepes abbreviatus*) sont également susceptibles aux nématodes entomopathogènes (Bélaïr et Boivin, 1985; Schroeder, 1994; Bélaïr et Boivin, 1995; Long et al., 2000; Willmott et al., 2002). Cependant, les traitements aux nématodes entomopathogènes contre le charançon du pâturin annuel sont restreints.

D'autres ennemis naturels du charançon du pâturin annuel sont connus comme les carabes et les oiseaux mais ne représentent pas des méthodes de contrôle valables (Johnson et Cameron, 1969).

1.2.4 Le ver gris (*Lepidoptera: Agrotis ipsilon* Hufnagel)

1.2.4.1 Description

Le ver gris, *Agrotis ipsilon* Hufnagel, est un lépidoptère de la famille des Noctuidae, sous-famille des Noctuinae. Nocturne et robuste, le papillon a une envergure des ailes de 35-45 mm (Figure 1.9). Les ailes antérieures sont grises et noires avec les extrémités plus pâles. Une caractéristique importante pour son identification est la présence d'une marque noire dans le centre de chaque aile antérieure à environ 6 mm de l'extrémité. Les ailes postérieures sont blanches nuancées de gris avec les veines plus foncées. La distinction des sexes est relativement facile car les mâles présentent des antennes pectinées tandis que celles des femelles sont plutôt filiformes (Figure 1.9).

Les œufs sont d'une grosseur d'environ 0,5 mm. Juste après la ponte, ils sont de couleur blanc crème et deviennent orange foncé peu avant l'éclosion.

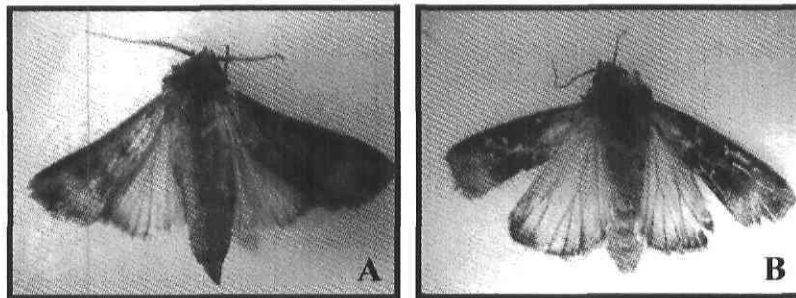


Figure 1.9 Ver gris *Agrotis ipsilon* Adulte.

A. Mâle B. Femelle

Les larves matures de vers gris mesurent environ 30-45 mm de longueur et 7 mm de largeur (Figure 1.10) (Tashiro, 1987). Elles n'ont pratiquement pas de poils à l'exception de quelques-uns distribués aléatoirement. La partie supérieure des larves (au-dessus des spiracles) présente un gradient allant du gris vers le noir tandis que la partie inférieure (en dessous des spiracles) est plus pâle (Potter, 1998). Les spiracles sont noirs. Peu de lignes

ou de marques distinctes caractérisent les larves de ver gris si ce n'est une ligne plus pâle allant du milieu du dos jusqu'à l'extrémité inférieure. Les larves ont trois paires de pattes thoraciques et cinq paires d'appendices sur l'abdomen (Potter, 1998). Quand les larves sont perturbées, elles ont tendance à s'enrouler sur elle-même. Les pupes sont d'une dimension d'environ 19 mm et de couleur brunâtre (Figure 1.10) et peuvent bouger l'abdomen lorsque perturbées.

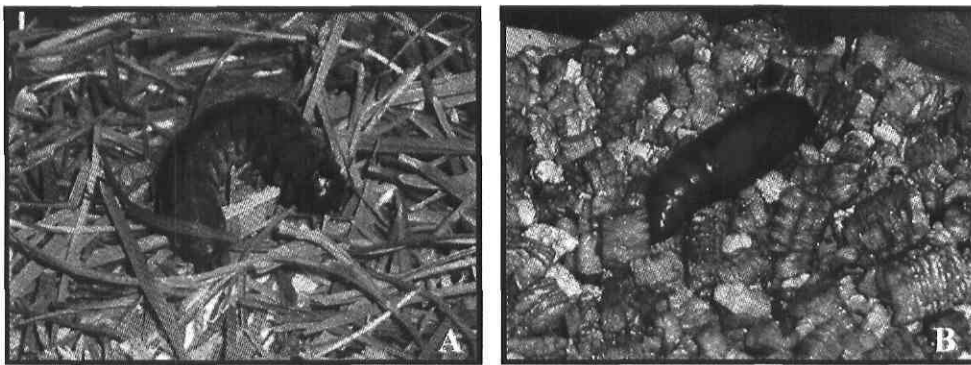


Figure 1.10 Ver gris *Agrotis ipsilon*.

A. Larve B. Pupa

1.2.4.2 Cycle de vie

Le cycle de vie du ver gris comprend l'œuf, l'adulte, six ou sept stades larvaires et la pupa. Les adultes de ver gris ne passent pas l'hiver à une latitude supérieure à 38°50'N et doivent donc recoloniser le sud du Canada au début de chaque printemps (Showers, 1997). L'écologie migratoire du ver gris telle que décrite par Showers (1997) suggère un mouvement des adultes vers le nord du Canada grâce à un système de vents provenant des États-Unis. Les adultes se nourrissent de nectar et ne causent pas de dommage aux graminées à gazon. L'accouplement se réalise la nuit peu de temps après l'émergence et les femelles peuvent déposer de 1200 à 1600 œufs sur le bout des brindilles de gazon durant une période de 5 à 10 jours (Potter, 1998). L'éclosion s'effectue rapidement (3-6 jours) et les 6 ou 7 stades larvaires se succèdent. Les jeunes larves se nourrissent sur les feuilles de gazon et se déplacent graduellement au niveau du sol. Aux derniers stades larvaires, elles

creusent un trou ou utilisent ceux laissés par l'aération du sol pour se cacher durant le jour. Durant la nuit, elles sortent pour se nourrir des brindilles de gazon autour de leur trou et peuvent ainsi causer des dommages considérables (Potter, 1998). La période la plus intense de nutrition chez le ver gris s'effectue entre minuit et l'aube. Les larves peuvent parcourir jusqu'à 20 m durant une seule nuit ce qui explique les nouvelles infestations des verts de golf après une intervention phytosanitaire (Williamson et Potter, 1997a). La pupaison se fait dans le sol.

1.2.4.3 Écologie saisonnière

Le nombre de générations de ver gris observées annuellement varie d'une région à l'autre: cinq à six en Louisiane, quatre dans le Nord-Est du Tennessee, trois en Ohio, au Missouri et dans la région centrale des Grandes Plaines (Colorado, Kansas et Oklahoma), deux à trois dans la région Nord-Est des Grandes Plaines (Iowa, Minnesota, Nebraska, Dakota du Sud et du Nord) et finalement deux dans l'état de New York (Tashiro, 1987; Potter, 1998). En Ontario, deux à trois générations sont mentionnées durant la période estivale. Les périodes d'alimentation des larves en Ontario s'échelonnent de la mi-mai jusqu'à la troisième semaine de juin et de la troisième semaine de juillet à la troisième semaine d'août (Sears et al., 1996). Les différentes générations de ver gris se superposent, ce qui permet d'observer plusieurs stades larvaires simultanément au même endroit. De façon générale, trois à six générations peuvent se superposer durant la saison et le ver gris nécessite de 40 à 80 jours pour compléter son cycle vital sur les graminées à gazon (Beard, 2002). L'écologie saisonnière du ver gris, particulière aux terrains de golf du Québec, n'a pas été documentée jusqu'à présent.

1.2.4.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages

Le ver gris est distribué dans l'ensemble de l'Amérique du Nord, en Europe, en Asie et en Afrique. Il a été rapporté pour la première fois en 1831 en Grande-Bretagne (Showers, 1997). Généralement, il ne survit pas à l'hiver quand la température minimale est inférieure à -10°C (Niemczyk et Shetlar, 2000). Les larves de ver gris sont polyphages et causent des dommages dans plusieurs cultures légumières et céréalières (Busching et Turpin, 1977; Richard et Boivin, 1994; Kullik et al., 2005). Ce ravageur s'attaque à la plupart des espèces de graminées à gazon mais certaines espèces ou cultivars semblent plus favorables à son développement. Williamson et Potter (1997b) ont observé que des cultivars de pâturin des prés pouvaient être des hôtes non-favorables au développement du ver gris. De plus, les auteurs mentionnent que la fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et l'ivraie vivace (*Lolium perenne* L.) sont des hôtes aussi favorables que l'agrostide. La survie et le développement du ver gris sur 12 cultivars d'agrostide ne diffèrent pas significativement selon une étude menée par Williamson et Potter (2001). La qualité de la plante hôte modifie la vitesse de développement de l'insecte et entraîne des décalages au niveau de la période d'apparition des différents stades de développement et par conséquent des dommages. Au Québec, une étude réalisée sur différents écotypes de pâturin annuel a permis de montrer des différences de développement des larves de ver gris selon les écotypes (Tanvez, 2003). Les dommages les plus importants se retrouvent sur les verts de golf. Les larves se nourrissent des brindilles de gazon autour de leur abri et entraînent ainsi de nombreuses plaques circulaires de gazon mort similaire à celles causées par les balles de golf (Potter, 1998). Les oiseaux qui recherchent activement les vers gris contribuent à agrandir les trous où logent les insectes et ainsi accentuent les dommages sur les verts de golf. La nécessité d'obtenir une surface de jeu uniforme sur les verts est à l'origine de la faible tolérance des surintendants et des golfeurs envers cet insecte. Cette situation explique probablement pourquoi les surintendants de golf du Québec considèrent le ver gris comme étant l'insecte le plus dommageable. Selon un sondage récent, près de 90% d'entre eux disent avoir observé la présence du ver gris sur leur terrain (L. Simard, document non publié).

1.2.4.5 Méthodes de contrôle

L'application curative d'insecticide [chlorpyrifos ($C_9H_{11}Cl_3NO_3PS$; O,O-diethyl O-(3,5,6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate) et le carbaryl ($C_{12}H_{11}NO_2$; 1-naphthalenyl methylcarbamate)] est la méthode de contrôle la plus utilisée par les surintendants de golf. Ces deux matières actives sont les seules homologuées pour le contrôle du ver gris sur les terrains de golf au Canada (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2006). Des traitements en début de soirée sont préférables afin de minimiser l'exposition avec les golfeurs et maximiser celle avec le ver gris qui est actif durant la nuit. Des résultats satisfaisants sont généralement observés.

Les nématodes entomopathogènes ont démontré un potentiel contre les larves de ver gris (Capinera et al., 1988; Swier, 1989; Georgis et Poinar, 1994; Shetlar et al., 1996; Baur et al., 1997). Les conditions suivantes rendent propices l'utilisation des nématodes entomopathogènes: 1-) le ver gris se situe en surface des verts de golf ce qui facilite le contact avec les nématodes; 2-) le déplacement du ver gris sur de grandes distances augmente la probabilité d'un contact avec les nématodes qui sont peu mobiles; 3-) l'activité nocturne du ver gris permet une application en fin de soirée des nématodes et diminue les risques de mortalité des nématodes reliés à la déshydratation et aux rayons ultraviolets. Les nématodes entomopathogènes sont peu utilisés par les surintendants de golf en raison principalement de la faible tolérance des dommages du ver gris sur les verts de golf (Shapiro-Ilan et al., 2002).

Une protéine (Vip3A), présente dans le surnageant durant la phase végétative de croissance du pathogène *Bacillus thuringiensis* AB88, a démontré un potentiel contre les larves de ver gris (Estruch et al., 1996; Donovan et al., 2001). De plus, d'autres travaux rapportent une toxicité de l'endotoxine Cry9ca de *B. thuringiensis* contre les larves de ver gris (Lambert et al., 1996; De Maagd et al., 2003).

Aly (2002) a démontré la susceptibilité des œufs et des différents stades larvaires du ver gris au champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*. D'autres travaux ont étudié

l'interaction entre l'utilisation de *B. bassiana* et des nématodes entomopathogènes contre le légionnaire (*Spodoptera exigua*), une espèce similaire au ver gris, (Barbercheck et Kaya, 1990, 1991).

L'azadirachtine, un extrait de la plante du neem (*Azadirachta indica*), agit comme régulateur de croissance chez les insectes et offre un certain contrôle du ver gris. Des applications répétées et un dépistage rigoureux sont essentiels au succès de cette méthode de contrôle (Potter, 1998).

De bonnes pratiques culturales peuvent diminuer les infestations de ver gris (Williamson et Potter, 1997a). Par exemple, 80 à 90% des œufs de ver gris se retrouve dans les résidus de tonte parce que les femelles les déposent à l'extrémité des brindilles de gazon (Williamson et Potter, 1997c). Il est donc important de déplacer les résidus de tonte loin des zones que l'on veut protéger. De plus, une tonte très tôt le matin permet de broyer mécaniquement les vers gris et ainsi de diminuer les dommages.

1.2.5 La tipule européenne (Diptera: *Tipula paludosa* Meigen)

1.2.5.1 Description

La tipule européenne, *Tipula paludosa* Meigen, est un diptère appartenant à la famille des Tipulidac. L'adulte ressemble à un gros moustique (Figure 1.11). En milieu urbain, les adultes se rassemblent à la fin de l'été au moment de la brunante sur les parois des bâtiments où on peut les observer. Les principaux caractères utilisés pour l'identification des adultes sont la nervation des ailes, le nombre de segments des antennes et l'espacement entre les yeux (Coe et al., 1950; Alexander et Byers, 1981). Les femelles sont plus grandes que les mâles avec des longueurs respectives variant de 19 à 25 mm et 14 à 19 mm (Tashiro, 1987). Dans l'état de Washington, le ratio mâle-femelle se situe entre 1,2:1 et 1,8:1 (Jackson et Campbell, 1975). Les œufs sont noirs, elliptiques mesurant 1 mm de longueur et 0,4 mm de largeur.

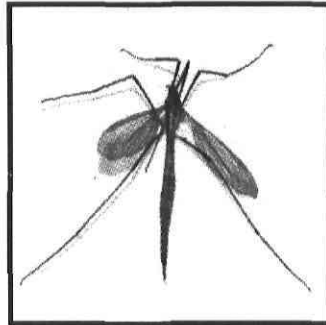


Figure 1.11 Tipule européenne *Tipula paludosa* Adulte.

Les larves de la tipule européenne sont de forme cylindrique, de couleur gris brun clair et dotées d'une petite tête noire en partie rétractable à l'intérieur de la cuticule prothoracique (Figure 1.12). Selon Pritchard (1982), les quatre différents stades larvaires de la tipule européenne se distinguent à l'aide de la dimension de la capsule céphalique. La cuticule est légèrement transparente laissant paraître deux tubes trachéens longitudinaux et le tube alimentaire (Jackson et Campbell, 1975). De plus, les larves de tipule européenne sont caractérisées, comme les autres espèces appartenant à la famille des Tipulidac, par la présence de six lobes autour de l'anous (Brindle, 1960). Les pupes sont de la même couleur que les larves et possèdent des protubérances sur les cinq segments abdominaux postérieurs permettant à la pupa de se déplacer verticalement (Tashiro, 1987). On peut observer à la surface du sol les pupes en position verticale juste avant l'émergence des adultes (Figure 1.13).

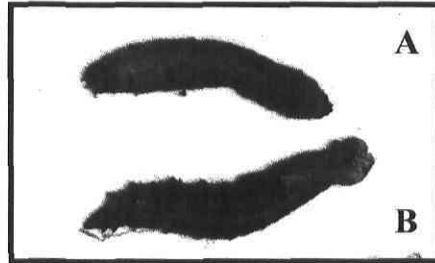


Figure 1.12 Tipule européenne *Tipula paludosa*.

A. Larve B. Puce

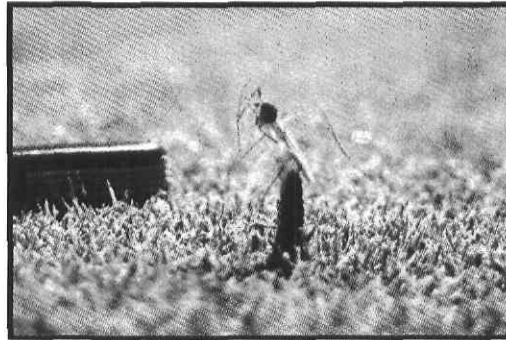


Figure 1.13 Émergence de la tipule européenne *Tipula paludosa*.

(Photo: Éric Rondeau)

1.2.5.2 Cycle de vie

Le cycle vital de la tipule européenne comprend l'œuf, quatre stades larvaires, la pupa et l'adulte (Laughlin, 1967). L'accouplement et l'oviposition se font généralement durant la première nuit de vie des adultes (Tashiro, 1987). Les femelles déposent leurs œufs légèrement sous la surface du sol, au plus à cinq millimètres de profond (Coulson, 1962). Le développement embryonnaire nécessite de 11 à 15 jours avant l'éclosion. Par la suite, les jeunes larves se nourrissent abondamment pour accroître leur poids de 0,3 mg à 50 mg en un à deux mois afin d'atteindre le second stade (Laughlin, 1967). Elles passent ensuite l'hiver sous la forme du second ou du troisième stade et plus rarement du quatrième stade

larvaire (Laughlin, 1967). Le printemps est la période la plus favorable pour observer des dommages car les larves se nourrissent intensément jusqu'à la mue en quatrième stade et demeurent actives jusqu'à la pupaison (Jackson et Campbell, 1975). Les larves creusent des tunnels et se retrouvent dans le sol à une profondeur moyenne de 2,5 cm (Meats, 1967). La majorité des adultes émergent pendant les mois d'août et septembre même si la période de vol s'étend de juillet à octobre (Laughlin, 1967). Les adultes sont matures sexuellement au moment de leur émergence. Ils sont actifs dès le coucher du soleil et copulent alors sans se nourrir ni s'hydrater.

1.2.5.3 Écologie saisonnière

La tipule européenne est une espèce univoltine, c'est-à-dire qu'elle ne complète qu'une seule génération par année (Tashiro, 1987). Toutefois, son développement est différent selon les régions. En Angleterre, la tipule européenne émerge au moins deux semaines plus tard dans les régions froides du nord comparativement à celles plus chaudes du sud (Coulson, 1962). Dans l'état de Washington, des adultes peuvent être observés en juillet ou en octobre, mais 95% des adultes émergent à la fin août et au début septembre (Jackson et Campbell, 1975). En Ontario, Charbonneau et Dupuis (1999) ne rapportent aucune capture de larves du 21 septembre au 4 octobre suggérant que cette période correspond au vol des adultes. De plus, les larves de quatrième stade larvaire ont été observées du début mai jusqu'à la pupaison à la fin août (Charbonneau et Dupuis, 1999). L'écologie saisonnière de la tipule européenne particulièrement aux terrains de golf du Québec n'a pas été documentée jusqu'à présent.

1.2.5.4 Distribution de l'insecte et importance des dommages

Originnaire du Nord-Ouest de l'Europe, la tipule européenne a été introduite à Terre-Neuve au Canada en 1952 dans des sols utilisés pour lester les navires. La tipule européenne fut par la suite rapportée dans différentes régions: la Nouvelle-Écosse, 1955 (Fox, 1957); la Colombie-Britannique, 1965 (Wilkinson et MacCarthy, 1967); l'état de Washington, 1966; l'Oregon, 1984 (Tashiro, 1987) et l'Ontario, 1996 (Charbonneau, 2003). Au Québec, plus

de 300 espèces de tipules ont été identifiées (Harper et Lauzon, 1985) mais aucune mention de la présence de la tipule européenne n'a été faite jusqu'à présent.

Les adultes ne s'alimentent pas ou peu et ne causent aucun dommage. Cependant, les larves sont polyphages et reconnues comme ravageurs importants des pâturages et des cultures céréalières (Blackshaw et Coll, 1999). Leur développement est meilleur si elles s'alimentent de plantes de la famille des composées, des légumineuses et des graminées (Ricou, 1967). Elles peuvent manger toutes les parties de la plante, mais préfèrent les feuilles aux racines (Vlug et Harrewijn, 1994). Pesho et al. (1981) ont observé que les tipules européennes préfèrent les ivraies vivaces (*Lolium* L.) aux pâturins (*Poa* spp.), agrostides (*Agrostis* spp.) et fétuques (*Festuca* spp.). Elles peuvent donc causer des dommages importants aux pelouses résidentielles et aux terrains de golf. Des populations importantes de larves en surface des verts et départs de terrains de golf peuvent interférer avec le jeu et nécessiter des interventions phytosanitaires. Tout comme le ver gris, les larves de la tipule européenne creusent un trou ou utilisent ceux laissés par l'aération du sol et se nourrissent des brindilles de gazon à proximité. La présence d'oiseaux ou des petits mammifères peut entraîner des dommages secondaires aux terrains de golf.

1.2.5.5 Méthodes de contrôle

Les larves de la tipule européenne peuvent être contrôlées à l'aide d'un insecticide. Les matières actives homologuées pour le contrôle de la tipule européenne au Canada en 2006 sont le chlorpyrifos et le carbaryl (Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, 2006). Ce dernier possède une toxicité relative moins élevée (Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2005b). Les applications peuvent être réalisées au printemps à la fin avril ou début mai ou à l'automne en octobre avant les gelées (Charbonneau et Dupuis, 1999).

Les méthodes culturales ainsi que la modification de l'environnement peuvent contribuer au contrôle des larves de la tipule européenne. Kell et Blackshaw (1988) rapportent notamment des différences significatives entre le nombre de larves retrouvées dans des

champs ayant quatre systèmes de drainage différents. Sur un terrain de golf, un drainage efficace pourrait devenir un outil approprié pour les zones abritant des populations élevées de tipule européenne. Pesho et al. (1981) ont observé au cours de leur étude que les champs non-irrigués présentaient des populations de larves plus faibles comparativement aux champs irrigués. De plus, tout comme le ver gris, une tonte très tôt le matin permet de diminuer les dommages en broyant mécaniquement les larves de la tipule européenne.

Quelques études se sont intéressées au contrôle des larves de tipule européenne à l'aide d'agents de lutte biologique. Par exemple, le virus *Tipula iridescent* (TIV) a démontré un potentiel mais sa production à l'échelle commerciale s'avère problématique puisqu'il n'existe aucune méthode de culture *in vitro* pour le moment (Carter, 1974; Blackshaw et Coll, 1999). Les nématodes entomopathogènes, particulièrement l'espèce *S. feltiae*, ont démontré une virulence en laboratoire contre les larves de la tipule européenne. Un niveau de mortalité plus élevé pour le premier stade larvaire a été observé (Peters et Ehlers, 1994). L'efficacité réelle des nématodes entomopathogènes contre les larves de la tipule européenne reste à démontrer lors d'applications sur le terrain.

Les conditions climatiques sont considérées comme l'un des facteurs les plus importants dans la régulation des populations de tipule européenne, plus encore que la présence d'ennemis naturels tels que certains insectes, vertébrés, virus, bactéries, nématodes et champignons (Blackshaw, 1992). Par exemple, une courte période de sécheresse durant la présence du premier stade larvaire de la tipule européenne peut entraîner la mortalité d'une forte proportion d'une population (Pritchard, 1983).

1.2.6 Les nématodes entomopathogènes (Steinernematidae; *Heterorhabditidae*)

Au fil des années, les nématodes entomopathogènes ont démontré leur potentiel de contrôle contre plusieurs insectes ravageurs du gazon (Simard et al., 2001; Simard et al., 2002; Grewal et al., 2005). Dans le contexte actuel où les terrains de golf du Québec sont contraints de réduire l'utilisation des pesticides de synthèse, ces agents de lutte biologique suscitent un intérêt particulier (Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2005a). La section suivante décrit les nématodes entomopathogènes et leur importance en lutte biologique dans les gazons.

1.2.6.1 Description

Les nématodes constituent l'un des six groupes du règne animal avec les plathyhelminthes, les annélides, les arthropodes, les mollusques et les chordés à posséder plus de 10 000 espèces. Les nématodes sont des pseudocoelomates, c'est-à-dire qu'ils possèdent une cavité corporelle située entre le mésoderme et l'endoderme (Harris, 1992). Ces petits vers non segmentés et effilés peuvent être des parasites mais se retrouvent principalement à l'état libre dans le sol et en milieu aquatique. Incolores et de très petites tailles (environ 0,5 mm), ils sont invisibles à l'œil nu (Figure 1.14). Au Québec, certaines espèces de nématode du sol sont nuisibles car ils parasitent les racines des plantes. Par exemple, le nématode cécidogène *Meloidogyne hapla* qui cause des nodules sur les racines secondaires affecte considérablement le rendement des cultures comme la carotte, la tomate et la pomme de terre (Bélair et Parent, 1996; Meyer, 1998; Bélair et al., 2004; Bélair et al., 2005). À l'opposé, les nématodes entomopathogènes sont bénéfiques en raison de leur potentiel à infecter les insectes. Ces nématodes transportent avec eux une bactérie symbiotique laquelle cause la mort rapide (24-48 heures) des insectes par septicémie (Gaugler, 2002).

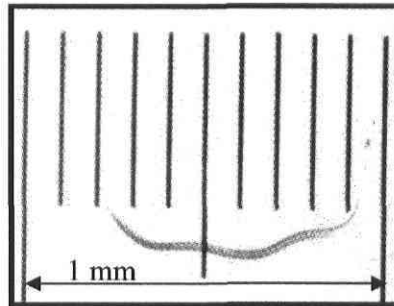


Figure 1.14 Stade infectieux du nématode entomopathogène *Steinernema glaseri*.

Parmi les nématodes entomopathogènes, on distingue actuellement deux genres: *Steinernema* et *Heterorhabditis*. Les premiers nécessitent obligatoirement la présence de deux adultes de sexe opposé dans un même insecte hôte pour initier la reproduction tandis que les seconds produisent préalablement, avec un seul individu hermaphrodite, une première génération d'individus sexués (Gaugler et Kaya, 1990).

1.2.6.2 Mode d'action

Les nématodes entomopathogènes ont la capacité, suivant un même processus, d'infecter des insectes appartenant à plusieurs ordres différents. Par exemple, le nématode *Heterorhabditis bacteriophora* infecte le hanneton européen, la pyrale de la canneberge (*Chrysoteuchia topiaria*) et la tipule européenne, trois insectes ravageurs du gazon appartenant respectivement aux coléoptères, aux lépidoptères et aux diptères (Ehlers et Gerwien, 1993; Simard et al., 2001; Simard et al., 2002). Le cycle vital des nématodes entomopathogènes est relativement simple comprenant l'œuf, quatre stades larvaires, et l'adulte (Gaugler, 2002). De plus, lorsque les ressources à l'intérieur de l'hôte sont épuisées, un stade larvaire infectieux possédant une bactérie symbiotique se développe (Figure 1.15). Ces larves ne se nourrissent pas mais localisent leur hôte à l'aide de stimuli chimiques (ex. gradient de bioxyde de carbone) ou physiques (ex. température).

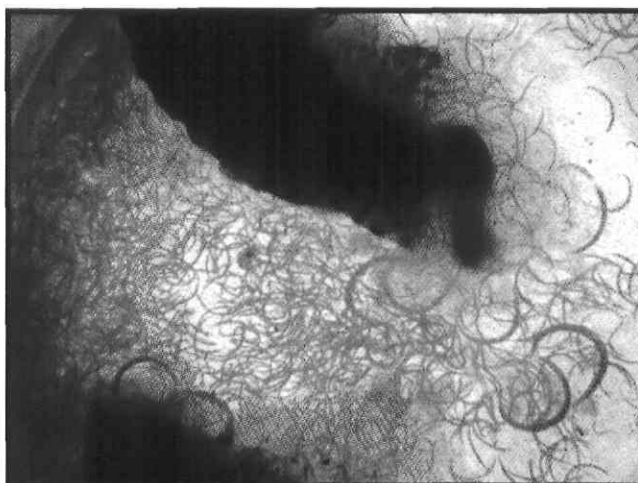


Figure 1.15 Stade infectieux du nématode entomopathogène *Heterorhabditis bacteriophora* émergeant d'un cadavre de hanneton européen (*Rhizotrogus majalis*).

Les larves résistent davantage aux conditions à l'extérieur de l'hôte et peuvent survivre dans le sol pendant une plus longue période (Gaugler, 2002). Les larves infectieuses entrent normalement à l'intérieur de l'insecte par les ouvertures naturelles (bouche, anus et spiracles). La présence d'un crochet dorsal chez certaines espèces de nématodes pourrait également contribuer à briser la cuticule des petits insectes et créer une voie d'entrée supplémentaire à l'intérieur de ceux-ci (Gaugler et Kaya, 1990).

Une fois à l'intérieur d'un hôte, les nématodes de stade infectieux relâchent leurs bactéries symbiotiques et entament leur cycle vital pour se transformer en adultes (Figure 1.16). Les *Steinernema* produisent immédiatement une première génération de femelles et de mâles amphimictiques tandis que les *Heterorhabditis* produisent des individus hermaphrodites à la première génération avant de produire une deuxième génération d'individus amphimictiques (Gaugler, 2002). Les femelles hermaphrodites du genre *Heterorhabditis* sont ovipares au début de leur cycle et par la suite deviennent ovovivipares tandis que les femelles amphimictiques sont seulement ovovivipares. Pour leur part, les *Steinernema* sont ovipares au début de leur cycle et deviennent ovovivipares par la suite (Gaugler et Kaya, 1990). Le premier stade larvaire apparaît deux jours après l'éclosion des œufs. Après la deuxième génération, tous les nématodes stoppent leur développement au stade larvaire infectieux et émerge via la cuticule du cadavre qui rupture sous la pression. À 22°C, le cycle vital dure environ 10 jours chez les *Steinernema* mais requiert quelques jours de plus chez les *Heterorhabditis* (Gaugler et Kaya, 1990). Dans le cas où les ressources seraient très limitées, il est possible que le stade infectieux apparaisse immédiatement après la première génération d'adultes abrégant ainsi le cycle de vie.

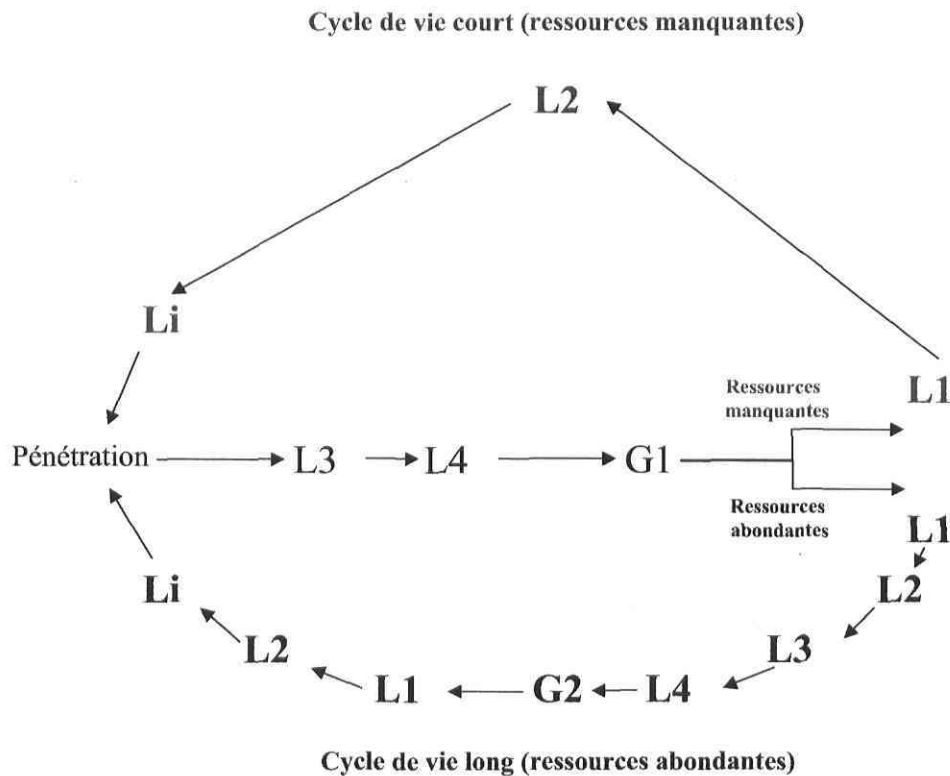


Figure 1.16 Cycle de vie des nématodes entomopathogènes appartenant au genre *Steinernema*.

G1=1^{ère} génération, G2=2^e génération, Li=stade infectieux (3^e stade larvaire retenant la gaine du 2^e stade larvaire et ayant incorporé des bactéries symbiotiques), L1=1^{er} stade larvaire, L2=2^e stade larvaire, L3=3^e stade larvaire, L4=4^e stade larvaire (adapté de Adams et Nguyen, 2002)

Les nématodes entomopathogènes peuvent être de «type chasseur» c'est-à-dire qu'ils recherchent activement leur hôte ou de «type embuscadeur» lorsqu'ils attendent le passage d'un hôte (Gaugler, 1997). Parmi ces derniers, on retrouve le nématode *S. carpocapsae* qui exerce la 'niction' qui consiste à un mouvement de vague du nématode fixé à un substrat (Campbell et Gaugler, 1997). À l'opposé, le nématode *S. glaseri* est l'une des espèces les plus mobiles. Lewis et al. (1993) rapportent une forte attraction de ce nématode aux stimuli libérés par *G. mellonella*. Les *Heterorhabditis* possèdent une certaine mobilité mais beaucoup moindre que celle du nématode *S. glaseri* (Gaugler et Kaya, 1990).

1.2.6.2.1 Les bactéries symbiotiques

Les nématodes entomopathogènes des genres *Steinernema* et *Heterorhabditis* agissent respectivement en symbiose avec les bactéries des genres *Xenorhabdus* et *Photorhabdus*. Chez les *Heterorhabditis*, les bactéries du genre *Photorhabdus* produisent une pigmentation rougeâtre des cadavres d'insectes ce qui facilite leur identification. Les bactéries symbiotiques sont libérées rapidement dans la cavité abdominale de l'hôte et liquéfient les tissus afin de rendre disponible les nutriments nécessaires au développement du nématode (Boemare, 2002). Les bactéries symbiotiques des nématodes agissent en libérant une multitude de toxines et d'exoenzymes hydrolytiques qui sont responsables de la mort des larves d'insectes (Forst et Clarke, 2002). Selon certaines études, quelques espèces de nématode contribuent également à la mortalité de l'hôte en produisant différentes toxines (Boemare et al., 1982; Burman, 1982). Par contre, Bonifassi et al. (1999) ont démontré que le nématode *S. scapterisci* et la bactérie *Xenorhabdus* ne sont pas pathogènes lorsqu'ils sont injectés séparément dans l'hôte *G. mellonella*. La reproduction des nématodes à l'intérieur de son hôte se fait obligatoirement en présence d'une bactérie. Toutefois, outre les bactéries du genre *Xenorhabdus*, d'autres bactéries comme *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia liquefacien* et *Enterobacter agglomeran*, suffisent pour permettre la reproduction des nématodes (Boemare et al., 1983).

Chez les *Heterorhabditis*, la symbiose nématode-bactérie est spécifique car chaque espèce de nématode est associée à une seule espèce de bactérie. Toutefois, des travaux récents ont démontré l'association du nématode *H. bacteriophora* avec deux sous-espèces de *Photorhabdus luminescens* (Boemare, 2002). Chez les *Steinernema*, on observe différentes espèces de nématodes associées à une même bactérie comme *S. feltiae*, *S. affinis* et *S. kraussei* en symbiose avec *X. bovienii* (Akhurst et Boemare, 1990). Le succès de la maturation et la multiplication des nématodes jusqu'à leur phase infectieuse dépend du degré d'établissement de la bactérie symbiotique. On note la présence de deux phases (type de cellule) de bactéries symbiotiques dans les populations de nématodes. La première semble idéale pour favoriser le développement du nématode. Cette première phase secrète, contrairement à la deuxième phase, des composés ou molécules agissant possiblement comme signal déclencheur chez le nématode (Forst et Clarke, 2002). Plusieurs travaux

mentionnent que des espèces de *Steinernema* et d'*Heterorhabditis* ne peuvent se développer sur des bactéries symbiotiques de la deuxième phase (Gerritsen et Smits, 1997; Hu et Webster, 1998; Volgyi et al., 2000)

La défense de l'hôte face à un complexe nématode-bactérien varie selon les espèces d'insectes. Notamment, quelques insectes développent des protéines anti-bactériennes qui empêchent la prolifération des cellules bactériennes. En réponse, les nématodes peuvent sécréter des inhibiteurs de protéines et favorisent ainsi l'action des bactéries symbiotiques (Akhurst, 1993). D'autres insectes entament un processus d'encapsulation du nématode immédiatement après son entrée pour empêcher son développement. Dans ce contexte, les bactéries symbiotiques du nématode jouent un rôle majeur car elles sont généralement relâchées rapidement à l'extérieur du nématode et ne semblent pas affectées par ce moyen de défense. L'encapsulation a été décrite pour l'espèce *Tipula oleracea*, un ravageur du gazon présent sur les terrains de golf du Canada (Peters et Ehlers, 1997; Peters et al., 1997).

1.2.6.3 Distribution géographique des nématodes entomopathogènes

Les nématodes entomopathogènes se retrouvent sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique (Bélaïr, 1992). Peu de nématodes entomopathogènes ont été isolés en Amérique du Nord, particulièrement au Canada. Depuis 1990, grâce aux nouvelles techniques moléculaires, l'identification des nématodes entomopathogènes est considérée plus certaine et précise et plusieurs chercheurs ont réalisé des recherches afin d'isoler des espèces indigènes (Figure 1.17) (Gaugler, 2002). Des recherches exhaustives ont été réalisées dans les Caraïbes (Cuba, Guadeloupe, Jamaïque, Martinique, Puerto Rico, République Dominicaine, Saint-Vincent, Trinidad et Tobago) et aux États-Unis (Californie, New Jersey, Tennessee) (Campbell et al., 1998; Constant et al., 1998; Fisher-Le Saux et al., 1998; Gaugler et al., 1992; Rueda et al., 1993; Stock et al., 1999; Stuard et Gaugler, 1994). Globalement, les espèces de nématode suivantes ont été isolées aux États-Unis : *S. carpocapsae*, *S. feltiae*, *S. glaseri*, *S. kraussei*, *S. longicaudum*, *S. oregonense*, *H. bacteriophora* et *H. marelatus*.

Jusqu'à aujourd'hui, la seule espèce isolée dans l'est du Canada est le nématode *S. carpocapsae*. On a trouvé ce nématode pour la première fois au Québec dans un cadavre de charançon de la carotte (*Listronotus oregonensis*) (Bélaïr et al., 1984). Les espèces *S. feltiae*, *S. kraussei* et *H. megidis* ont été isolées dans l'ouest canadien (Colombie-Britannique, Alberta et Yukon) à partir de sols provenant d'habitats agricoles, forestiers et fruitiers où des infestations d'insectes ont été observées et que l'influence de l'homme sur les habitats était importante (Mracek et Webster, 1993; Stock et al., 2000). Au Canada, aucun nématode entomopathogène n'a été rapporté sur les terrains de golf.



Figure 1.17 Distribution géographique des nématodes entomopathogènes isolés depuis 1990 en Amérique du Nord.

1.2.6.4 Utilisation des nématodes entomopathogènes en lutte biologique

Les nématodes entomopathogènes ont été utilisés pour la première fois au début des années 30 en lutte biologique contre le scarabée japonais (Glaser, 1931; Glaser et Farrell, 1935). Pendant plusieurs années, ils ont été délaissés en raison du développement de l'industrie des pesticides de synthèse. Dernièrement, les problèmes environnementaux et la sensibilisation du public à la protection de la nature ont favorisé une recrudescence de la recherche et de l'utilisation des nématodes entomopathogènes. Aujourd'hui, plusieurs équipes de recherche travaillent à améliorer la génétique des nématodes, à isoler de nouvelles espèces et à développer des techniques de reproduction et de mise en marché. Des applications à grande échelle sont effectuées dans des cultures aussi variées que le citron, les crucifères et les gazons (Gaugler, 2002).

Les nématodes entomopathogènes présentent de nombreux avantages. Tout d'abord, ils sont inoffensifs pour les vertébrés (Gaugler et Boush, 1979; Poinar et al., 1982; Obenford et al., 1983). La température corporelle élevée des vertébrés empêche les nématodes de survivre et de poursuivre leur développement (Schmiege, 1963). De plus, l'inoculation du nématode *H. bacteriophora* résistant à des températures plus élevées suite à des modifications génétiques n'a pas causé de mortalité ou de diminution de croissance chez les souris (Wilson et al., 1999). Bien qu'ils aient la capacité d'infecter un large spectre d'insectes, les nématodes entomopathogènes affectent peu les arthropodes bénéfiques comme les pollinisateurs et les décomposeurs. Contrairement à ce qui est observé avec les pesticides, les insectes qui se posent sur les pelouses entrent rarement en contact avec les nématodes entomopathogènes. De plus, les nématodes entomopathogènes causent une mortalité rapide des ravageurs, soit 24 à 48 heures suivant l'infection (Gaugler, 2002). Le traitement empêche donc rapidement la progression des dommages. Cette méthode biologique est parfaitement compatible avec la régie actuelle des entreprises d'entretien d'espaces verts puisque l'application des nématodes se fait avec un pulvérisateur conventionnel en solution aqueuse. Toutefois, il est recommandé d'enlever les filtres dans les buses du pulvérisateur et d'éviter des pressions excessives c'est-à-dire au-delà de 2070kPa (300 psi) (Grewal, 2002). Plusieurs pesticides n'affectent pas les nématodes

entomopathogènes et peuvent être appliqués simultanément lors d'un traitement (Rovesti et Deseö, 1990; Ishibashi, 1993).

Certains désavantages sont cependant à prendre en considération lors de l'utilisation des nématodes en lutte biologique. Après une application, une irrigation insuffisante peut causer la dessiccation des larves infectieuses de nématodes. L'eau contenue dans le sol facilite le déplacement des nématodes. Leur capacité d'infection et de recherche d'un hôte peut donc être grandement réduite par une faible humidité du sol (Gaugler et Kaya, 1990; Shetlar et al., 1988). Les nématodes entomopathogènes sont très sensibles aux rayons ultraviolets (Gaugler et Boush, 1978), alors les applications doivent obligatoirement se faire tôt le matin, en début de soirée ou encore mieux, lors de journée de pluie. De plus, la température de sol doit se situer entre 12°C et 28°C pour obtenir une infection par les nématodes (Grewal et al., 1994).

Les nématodes sont appliqués vivants et des méthodes de conservation et de distribution particulières sont essentielles afin d'assurer une viabilité maximale à la livraison. Le développement de techniques pour la production de masse des nématodes entomopathogènes à des fins commerciales a connu des progrès considérables depuis une vingtaine d'années. Jadis, la reproduction des nématodes entomopathogènes était possible selon la méthode *in vivo* seulement. Selon la technique de Dutky et al. (1964), la production de nématodes s'effectue sur un lépidoptère, la fausse teigne du rucher (*Galleria mellonella*) comme insecte hôte. Toutefois, les coûts élevés en main-d'œuvre et matériel ont favorisé la mise au point de techniques *in vitro* sur milieu de culture riche en protéines animales. Bedding (1981, 1984) a développé un procédé de culture sur phase solide mais ce dernier ne s'avérait pas rentable à grande échelle. Actuellement, plusieurs compagnies produisent des nématodes sur culture liquide à l'aide de bio-réacteurs (Gaugler et Han, 2002). Le stockage et le transport des nématodes se font généralement sous une formulation d'argile et d'alginate pour conserver les larves infectieuses environ six mois. Suite à des modifications génétiques, la création de nématodes plus tolérants à des températures élevées pourrait faciliter l'entreposage et le transport (Koltai et al., 1994; Gaugler, 1997). Dans ce sens, Wilson et al. (1999) ont démontré que les caractéristiques

importantes du nématode *H. bacteriophora* comme la virulence, la reproduction et la survie n'étaient pas affectées suite à l'ajout d'un gène (hsp70A) augmentant la thermorésistance.

Recherche proposée

La recherche présentée vise le développement de la lutte intégrée sur les terrains de golf du Québec par l'apport de connaissances sur la biologie des insectes ravageurs du gazon et sur le potentiel d'agents de lutte biologique, plus spécifiquement les nématodes entomopathogènes. Au Québec, aucun groupe de recherche n'a initié jusqu'à présent une recherche de nature descriptive sur les insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf et aucune publication sur le sujet n'est disponible. Un projet de recherche réalisé en milieu urbain au Québec sur les insectes ravageurs du gazon a permis d'établir l'écologie saisonnière de certains insectes s'attaquant au gazon comme la punaise velue (Hemiptera: *Blissus leucopterus hirtus*, Montandon), la calandre du pâturin (Coleoptera: *Sphenophorus parvulus*, Gyllenhal) et la pyrale de la canneberge (Rochefort et al., 1998, 2003). Ces résultats ont permis notamment de mieux cibler les périodes de traitements et d'établir des seuils d'intervention. Toutefois, des espèces différentes d'insectes présentent une problématique importante sur les terrains de golf comme le scarabée noir du gazon (Coleoptera: *Ataenius spretulus*, Haldeman), Aphodius (Coleoptera: *Aphodius granarius* L.), le charançon du pâturin annuel (Coleoptera: *Listronotus maculicollis*, Dietz), le ver gris (Lepidoptera: *Agrotis ipsilon*, Hufnagel) et la tipule européenne (Diptera: *Tipula paludosa*, Meigen). Une meilleure connaissance de l'écologie saisonnière s'avère nécessaire préalablement à la mise en œuvre d'une stratégie de lutte intégrée aux insectes ravageurs sur les terrains de golf du Québec. Les surintendants des terrains de golf utiliseront les résultats encourus par cette recherche dans le but de se conformer aux nouvelles législations les obligeant à réduire l'utilisation des pesticides et à intégrer progressivement des méthodes alternatives de contrôle.

A la suite de la revue de littérature présentée ci-haut, il est possible de dégager les hypothèses de recherche suivantes :

- 1- *Aphodius granarius* et le scarabée noir du gazon complètent une génération par année sur les terrains de golf du Québec et leur abondance relative se situe autour de 25% et 75% respectivement.

2-Le charançon du pâturin annuel se retrouve exclusivement sur les terrains de golf de la région de Montréal et complète deux générations par année.

3-Le ver gris est une espèce bivoltine qui se retrouve sur l'ensemble des terrains de golf du Québec.

4-La tipule européenne est localisée dans la région de Québec et complète une génération par année.

5-Les sols des terrains de golf du Québec renferment des nématodes entomopathogènes indigènes appartenant aux genres *Steinernema* et *Heterorhabditis*.

6-Les nématodes entomopathogènes indigènes au Québec possèdent une virulence accrue comparativement aux souches commerciales contre les larves de la tipule européenne.

Afin de vérifier ces hypothèses, trois objectifs généraux seront poursuivis durant le projet de recherche:

1-Caractériser la distribution, l'abondance et l'écologie saisonnière du scarabée noir du gazon, d'*Aphodius granarius*, du charançon du pâturin annuel, du ver gris et de la tipule européenne sur 19 terrains de golf de différentes régions du Québec.

2-Isoler des nématodes entomopathogènes indigènes de sols prélevés sur des terrains de golf de différentes régions du Québec.

3-Évaluer le potentiel des nématodes entomopathogènes indigènes au Québec comme méthode de contrôle de la tipule européenne.

Chapitre 2. Abondance relative d'*Ataenius spretulus* et d'*Aphodius granarius* (Coleoptera: Scarabaeidae) et leur écologie saisonnière sur les terrains de golf du Québec, Canada.

Le scarabée noir du gazon (*Ataenius spretulus* Haldeman) et *Aphodius granarius* sont deux espèces de scarabées s'attaquant aux graminées à gazon des terrains de golf. Afin de caractériser la distribution, l'abondance et l'écologie saisonnière de ces deux insectes au Québec, dix-neuf terrains de golf (GC1-GC19) situés dans différentes régions ont été dépistés en 2001, 2002 et 2003. De fortes populations des deux espèces ont été retrouvées sur les terrains de golf situés dans le sud-ouest du Québec. *Ataenius spretulus* et *A. granarius* ont également été capturés dans la région de la Ville de Québec (GC15, 46°15'N et GC17, 46°52'N), suggérant la limite nord-est de la distribution des espèces. Les deux espèces complètent une génération par année avec parfois une seconde génération partielle pour *A. spretulus* dans le sud-ouest du Québec. Différents patrons d'abondance relative de *A. spretulus* and *A. granarius* ont été observés sur les terrains de golf avec une abondance relative globale respective de 61,3% et 38,7% pour les larves et de 51,1% et 48,9% pour les adultes.

Relative abundance of *Ataenius spretulus* and *Aphodius granarius* (Coleoptera: Scarabaeidae) and their seasonal activity on golf courses in Québec, Canada

Louis Simard^{1,2}, Jacques Brodeur^{1,3} and Julie Dionne^{1,4}

¹Centre de Recherche en Horticulture, Département de phytologie, Université Laval, Québec, Québec, G1K 7P4, Canada.

²Current address: Horticulture Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, St-Jean-sur-Richelieu, Québec, J3B 3E6, Canada.

³Current address: Institut de recherche en biologie végétale, Département des sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal, Québec, H1X 2B2, Canada.

⁴Current address: Royal Canadian Golf Association, Oakville, Ontario, L6M 4X7, Canada.

Black turfgrass ataenius (*Ataenius spretulus* Haldeman) and *Aphodius granarius* are two scarab species attacking cool-season turfgrass species on golf courses. To determine their distribution, abundance, and seasonal ecology on golf courses in Québec, Canada, we sampled nineteen golf courses (GC1-GC19) from different geographic and climatic conditions during 2001, 2002 and 2003. Highest populations of both species were observed on golf courses located in southwestern Québec. The most northeasterly capture of *A. spretulus* and *A. granarius* reported was in Québec city area (GC15, 46°15'N and GC17, 46°52'N) indicating the extreme limits of the distribution of the species. Both species complete one generation per year with sometimes a partial second generation for *A. spretulus* in southwestern Québec. Various relative abundance patterns for *A. spretulus* and *A. granarius* were observed on golf courses with an overall relative abundance of 61.3% and 38.7% for larvae and 51.1% and 48.9% for adults, respectively.

2.1 Introduction

The genus *Ataenius* (Coleoptera: Scarabeidae) includes hundreds of species worldwide. Their life histories are not well documented but they are known to be humus- and root-feeders with a few species attracted to decaying vegetation and animal dung (Wegner and Niemczyk, 1981; Arnett et al., 2002). Black turfgrass ataenius, *Ataenius spretulus* Haldeman, is a pest of cool-season turfgrass species on golf courses. Native to North America, this species causes sporadic, often severe damage mostly to fairways but also to tees, approaches, and greens (Vittum et al., 1999). On golf courses in Michigan state, *A. spretulus* is more abundant in fairways than in roughs (Smitley et al. 1998). Larvae feed on roots of bentgrasses (*Agrostis* spp.), annual bluegrass (*Poa annua* L.) and Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) (Niemczyk and Dunbar, 1976). The adults do not damage turf but they feed on manure and decaying organic matter. *Ataenius spretulus* is observed across United States and damage has occurred in most of the states where cool-season turfgrasses are grown (Niemczyk and Shetlar, 2000). In Canada, *A. spretulus* is uncommon in coastal British Columbia (Canada) but is becoming more common in the southeastern area (MacDonald 2002). It is considered an important turfgrass pest in Ontario (Sears et al. 1996).

Aphodius is a tremendously large genus of more than 900 species occupying numerous niches worldwide. They are dung feeders and detritivores, feeding on decaying plant material (Arnett et al., 2002). *Aphodius* is often mistaken with species of the genus *Ataenius*. More than 100 species of this genus are known to occur in North America with *A. granarius* L. being the most important on golf courses. *Aphodius granarius* has been introduced from Europe and it is considered as an occasional turfgrass pest on golf courses in North America. It is widely distributed in the United States and southern Canada (Potter, 1998). Damage caused by *A. granarius* was first reported on golf courses in southern Ontario where this species was found in association with *A. spretulus*, the former being more abundant (Sears, 1978). The same two species were found in different proportions on golf courses in Michigan (Smitley et al., 1998). Adults and larvae of *A. granarius* feed

mainly on decaying organic matter, particularly on animal manure. This species has the capacity of inflicting serious damage to bentgrasses, annual bluegrass and Kentucky bluegrass (Vittum et al., 1999).

No information is currently available on the seasonal development of both *A. spretulus* and *A. granarius* and their relative abundance on golf courses in Québec (Canada). *Ataenius spretulus* complete two generations per year throughout most of its range while one generation and occasionally a partial second generation has been observed in northeastern North America (Wegner and Niemczyk, 1981; Vittum, 1995; Sears et al., 1996; Potter, 1998). The seasonal life history of *A. granarius* is less documented than the one of *A. spretulus*. One generation per year has been reported in Ohio, Michigan, New Jersey and Ontario (Potter, 1998; Niemczyk and Shetlar, 2000). In southern Alberta (Canada), a single generation of adults exploiting cattle dung was observed from late May to mid-June from individuals captured in pitfall traps (Floate and Gill, 1998).

Understanding the ecology of *A. spretulus* and *A. granarius* is a major key to their management on golf courses. Our objectives were to: i-) determine the distribution and the relative abundance of the *A. spretulus* and *A. granarius* on golf courses in Québec; ii-) document their seasonal development in different locations in Québec; and iii-) determine the effect of soil characteristics and turfgrass species on the ecology of both species.

2.2 Materials and Methods

This study was conducted on nineteen golf courses (GC) in Québec (Canada) in 2001, 2002 and 2003 (Figure 2.1). The experimental sites were selected because of their contrasting geographic and climatic conditions (Table 2.1).

2.2.1 *A. spretulus* and *A. granarius* sampling

From the end of April to mid-October, every two weeks in 2001 and weekly in 2002 and 2003, *A. spretulus* and *A. granarius* were scouted on three golf holes (greens and fairways) at each experimental site, except for the followings: four golf holes were scouted on GC3, two golf holes on GC4 and GC15, and five greens on GC14. In addition, GC19 was sampled only during 2001 and 2002 and GC13 during 2002 and 2003.

Ataenius spretulus and *A. granarius* were scouted exclusively on greens and on a pre-determined section of fairways. Larvae were only sampled in the fairways because destructive soil sampling was not possible on the greens, whereas adults were scouted only on greens where they were easily observable. Adults on the green surfaces were counted using a 0.25m² grid. A total of 10 grids/green in 2001 and 25 grids/green in 2002 and 2003 were randomly sampled at each visit. In the fairways, a golf course hole cutter (10.8 cm in diameter) was used for sampling larvae and pupae in thatch and soil to a depth of 7.7 cm. Once removed, samples were broken up and insects were counted. A total of 10 samples/fairway in 2001 and 25 samples/fairway in 2002 and 2003 were randomly taken at each visit. In summer 2002 (28 July–24 August), the number of samples in the fairways was reduced to 10 on two golf courses (GC3, GC8) because the dry and hot conditions limited the recovery of golf course hole cutter plugs.

All adults and larvae captured were brought back to the laboratory for identification and preserved in a solution of ethyl alcohol, glycerin, acetic acid and distilled water (8/1/1/5, v/v/v/v). Adult length, from the head to the abdomen, and width, at metathorax level (hind

legs), were measured using a dissecting microscope at 4x magnification equipped with the software Motic Images 2000 1.3[®] (Motic Instruments Inc., Richmond, BC, Canada).

2.2.2 Experimental site characterization

Plant species composition for each green (except GC5) and fairways was determined in fall 2002 as the percentage of annual bluegrass (*Poa annua* L.) and creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.). Ten grids (0.25m²) per green and per fairways were sampled by visual rating.

For each experimental site, climatic data including minimum and maximum average daily temperature and average yearly precipitation (rain and snow) were obtained from the nearest Environment Canada weather station.

Golf course superintendents provided their turfgrass management practice records detailing information on fertilizer and pesticide applications, and cultural management practices including mowing, aeration, irrigation, and top dressing.

2.2.3 Statistical analysis

Ataenius spretulus and *A. granarius* abundance were analyzed using an analysis of variance (PROC GLM, SAS Institute, 1999) followed by protected LSD to compare means. Scarab densities are expressed as the summation of the average number of adults and larvae/m² collected for each scouting date for the three-year period. Linear regression analysis was applied comparing densities of *A. spretulus* and *A. granarius* as a function of spatial coordinate (PROC REG, SAS Institute, 1999). Type I error rate was set at $P = 0.05$ for these analysis.

2.3 Results

In northeastern Québec, *A. spretulus* was collected only once at GC15 in July 2003 and was not found on golf courses located in northerly latitudes and easterly longitudes (GC16, GC17, GC18, and G19) (Table 2.2). Distribution of *A. granarius* is similar than *A. spretulus*, except that *A. granarius* was not found on GC15 and on the extreme western golf course (GC11), but was found on GC17 (Table 2.2).

Linear regression model comparing *A. spretulus* and *A. granarius* densities as a function of spatial coordinates revealed a significant variation along a north-south axis (latitude: $F = 18.27$; $df = 1,54$; $P < 0.0001$) for *A. spretulus* and along a east-west axis (longitude: $F = 4.34$; $df = 1,54$; $P < 0.0421$) for *A. granarius* (Figure 2.2). *A. spretulus* and *A. granarius* were significantly more abundant in southern and western Québec, respectively.

Significant differences in the abundance, expressed as the average number of *A. spretulus* and *A. granarius* larvae/m² collected for each scouting date for the 3-year period, were observed between golf courses (*A. spretulus*: $F = 5.21$; $df = 18$; $P < 0.0001$; *A. granarius*: $F = 5.53$; $df = 18$; $P < 0.0001$) (Table 2.2). *Ataenius spretulus* populations were highest at GC11 but were not significantly different than GC1, GC2, GC3, GC4, GC5, GC7, GC8, GC9, and G12. *Aphodius granarius* was more abundant on GC3, GC2, GC7, GC8, and GC12. During the project, we have collected 1136 (61.3%)/710 (38.7%) *A. spretulus*/*A. granarius* larvae, and 757 (51.1%)/725 (48.9%) adults, respectively. Statistical analysis revealed that there is no significant difference in the abundance of both species over the years (*A. spretulus*: $F = 1.62$; $df = 2$; $P > 0.2121$; *A. granarius*: $F = 0.50$; $df = 2$; $P > 0.6121$). Considering that insecticide applications were made on certain golf greens, abundance analysis was not performed for the adults of both scarab species. In addition, statistical analysis was not done on pupae abundance because pupae from both species could not be discriminated.

Figure 2.3 presents the seasonal development of *A. spretulus* and *A. granarius* on six golf courses. These were selected based on the number of captures and their geographic

location. In southwestern Québec, both species completed one generation per year, except for *A. spretulus* which occasionally initiated a partial second generation (Figure 2.3, GC3 in 2003). We were unable to establish the seasonal development of *A. spretulus* and *A. granarius* in northeastern Québec because very low populations were observed on a limited number of golf courses. *Aphodius granarius* overwintering adults were generally observed first in early May and mid-June, respectively, about 2 weeks before *A. spretulus* (Figure 2.3). Emergence of adults of both species were usually synchronized at the beginning of August. In contrast to *A. granarius*, a second generation of *A. spretulus* larvae was scouted on some sites in late summer.

2.4 Discussion

Ataenius spretulus and *A. granarius* populations were more abundant in southwestern Québec than those in northeastern Québec. Consequently damage is likely to be less severe at higher latitude. In our study, *A. spretulus* and *A. granarius* was not captured north of Québec city area (GC15, 46°15'N and GC17, 46°52'N) indicating the extreme limits of the distribution of the species. Considering that we have found high populations of *A. granarius* in southwestern Québec, particularly on golf courses close to Ontario (GC2 and GC3); that *A. granarius* was originally found on a golf course in Toronto (Sears, 1978); and that Floate and Gill (1998) reported *A. granarius* from several locations in southwestern Québec and in southeastern Ontario on cattle dung, *A. granarius* is probably widely distributed on golf courses located in this area.

Ataenius spretulus completed one generation per year with sometimes a partial second generation in southwestern Québec. Our results are in agreement with those of Sears et al. (1996) in Ontario. *A. granarius* complete one generation per year in southwestern Québec as reported in Ohio, Michigan, New Jersey and Ontario (Potter, 1998; Niemczyk and Shetlar, 2000). *A. granarius* overwintered adults were generally observed first in early May and mid-June, respectively, about two weeks before *A. spretulus*. Smitley et al. (1998) reported comparable results on golf courses in Michigan. Niemczyk and Shetlar (2000) reported that larval damage by *A. granarius* may be earlier than *A. spretulus*. Emergence of adults of both species was usually synchronized at the beginning of August. Population of *A. spretulus* larvae scouted on few golf courses in early September was not high enough to induce turfgrass damage. In addition, cool temperature and sufficient precipitation prevailing during this period were favorable to turfgrass vigor and consequently enhance insect threshold density (Potter, 1998).

Patterns of relative abundance of *A. spretulus* and *A. granarius* larvae in the fairways were different among golf courses. For example, *A. spretulus* larvae were dominant on GC1, GC4, and GC8 while *A. granarius* larvae were more abundant on GC3, GC7 and GC12 (Table 2.2). Different relative abundance of *A. spretulus* and *A. granarius* larvae and adults

were also found on golf courses in Michigan (Smitley et al., 1998). The relative abundance of both species probably can be explained by the fact that specific areas (fairways vs roughs) on a golf course are more favorable to one species over the other. Smitley et al. (1998) observed that although highest densities of *A. granarius* are found in the fairways, this species is more likely to be present in the rough than *A. spretulus*.

Our research provides information on the distribution, relative abundance, and seasonal development of *A. spretulus* and *A. granarius* that should be instrumental in implementing an integrated pest management strategy to control both species on golf courses.

2.5 Acknowledgments

The authors thank Vincent Brousseau, Patricia Désilet, Marie-Eve Gosselin, Guillaume Grégoire, and Élisabeth Taschereau for dedicated technical assistance. We thank all superintendents of golf courses involved in this study. The Québec Turfgrass Research Foundation, the Québec Golf Superintendents Association, the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, the Royal Canadian Golf Association Foundation, and Bayer Environmental Science provided financial support for this project.

Table 2.1 Geographic and average climatic conditions of golf courses (GC) sampled in Québec, Canada.

GC	Spatial coordinates	Location	Daily temperature ¹		Yearly precipitations ¹	
			Min (°C)	Max (°C)	Rain (mm)	Snow (cm)
1	45°24'N, 71°54'W	Sherbrooke	-18.0	24.7	873.9	294.3
2	45°27'N, 74°09'W	Hudson	-16.0	26.7	827.9	156.5
3	45°31'N, 73°39'W	Ile Bizard	-14.9	26.3	760.1	214.2
4	45°32'N, 73°31'W	Longueuil	-15.2	26.4	819.7	220.5
5	45°32'N, 73°31'W	St-Lambert	-15.2	26.4	819.7	220.5
6	45°35'N, 73°45'W	Laval	-14.1	27.1	848.2	208.1
7	45°37'N, 72°57'W	St-Hyacinthe	-15.4	26.5	856.1	202.0
8	45°37'N, 72°57'W	St-Hyacinthe	-15.4	26.5	856.1	202.0
9	45°39'N, 74°05'W	Mirabel	-16.9	26.3	737.8	203.7
10	45°39'N, 74°05'W	St-Janvier	-16.9	26.3	737.8	203.7
11	45°39'N, 74°56'W	Montebello	-16.5	25.4	812.7	250.1
12	45°54'N, 74°08'W	Piedmont	-18.7	25.3	780.6	216.8
13	46°00'N, 73°34'W	St-Liguori	-16.8	26.5	782.3	226.1
14	46°15'N, 72°57'W	Louiseville	-18.0	25.5	801.4	192.5
15	46°48'N, 71°11'W	Lévis	-16.3	24.5	894.9	274.9
16	46°51'N, 71°16'W	Charlesbourg	-16.5	25.1	991.3	316.9
17	46°52'N, 70°55'W	St-Michel	-17.6	24.8	897.7	285.6
18	48°22'N, 68°42'W	Bic	-15.7	23.2	642.0	271.7
19	48°25'N, 71°04'W	Chicoutimi	-21.7	24.2	661.4	341.6

¹ Average daily temperature and yearly precipitations; Canadian Climate Normals 1971-2000; Data source: Environment Canada

www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca

Table 2.2 Abundance (N/m²; $\bar{x} \pm \text{SE}$)/m² of the black turfgrass atanius (*Ataenius spretulus*) and *Aphodius granarius* larvae and adults from 19 golf courses (GC) in Québec in 2001, 2002, 2003.

GC	Larva						Adult ¹					
	<i>A. spretulus</i>			<i>A. granarius</i>			<i>A. spretulus</i>			<i>A. granarius</i>		
1	8.7189	± 2.2283	a ²	0	± 0	f	0.0621	± 0.0081	0.0063	± 0.0050		
2	9.9296	± 3.1742	a	12.2420	± 8.3925	ab	0.0900	± 0.0240	0.0768	± 0.0405		
3	5.7332	± 4.8462	abcd	14.2243	± 9.6067	a	0.0590	± 0.0255	0.7160	± 0.5152		
4	7.3769	± 3.8887	abc	0.5831	± 0.5831	def	0.0780	± 0.0246	0.0697	± 0.0165		
5	8.0674	± 3.6373	ab	3.5115	± 1.5583	bcde	0.0710	± 0.0596	0.1553	± 0.1312		
6	1.9714	± 0.8185	bcdef	0.4152	± 0.2656	def	0.1708	± 0.1153	0.1008	± 0.0511		
7	4.5070	± 1.0597	abc	7.8328	± 3.1975	abc	0.0670	± 0.0303	0.0911	± 0.0483		
8	9.2844	± 3.1494	a	3.3005	± 0.5617	abcd	0.1068	± 0.0911	0.1611	± 0.1231		
9	3.1359	± 0.8177	abcde	2.5693	± 1.1255	cdef	0.1139	± 0.0371	0.1747	± 0.0505		
10	1.3303	± 0.9941	cdef	0	± 0	f	0.1094	± 0.0573	0.0044	± 0.0031		
11	9.8103	± 2.3163	a	0	± 0	f	0.0879	± 0.0472	0	± 0		
12	3.3434	± 1.1262	abcd	10.5733	± 5.3147	abc	0.0836	± 0.0586	0.0455	± 0.0280		
13	0.1070	± 0.1070	ef	0.0662	± 0.0662	ef	0.0040	± 0.0005	0.0022	± 0.0022		
14	0	± 0	f	0	± 0	f	0.1278	± 0.0596	0.0051	± 0.0026		
15	0.4523	± 0.4523	def	0	± 0	f	0	± 0	0	± 0		
16	0	± 0	f	0	± 0	f	0	± 0	0	± 0		
17	0	± 0	f	0.0449	± 0.0449	f	0	± 0	0.0009	± 0.0009		
18	0	± 0	f	0	± 0	f	0	± 0	0	± 0		
19	0	± 0	f	0	± 0	f	0	± 0	0	± 0		

¹Insecticide applications on some sampled sites prevented statistical analysis for the adults.

²Values in the same column followed by the same letter are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

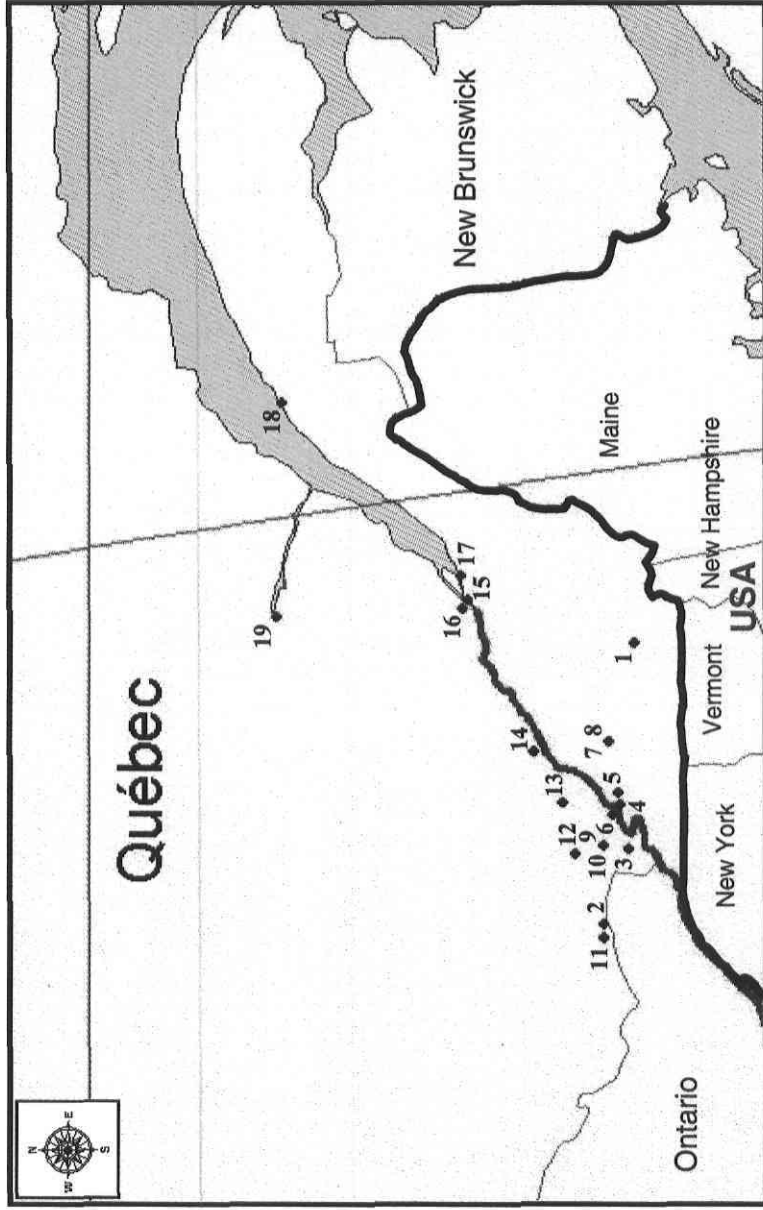


Figure 2.1 Location of golf courses (numbered from 1 to 19) sampled for black turfgrass ateniid (*Ataenius spretulus*) and *Aphodius granarius* in Québec, Canada in 2001, 2002 and 2003.

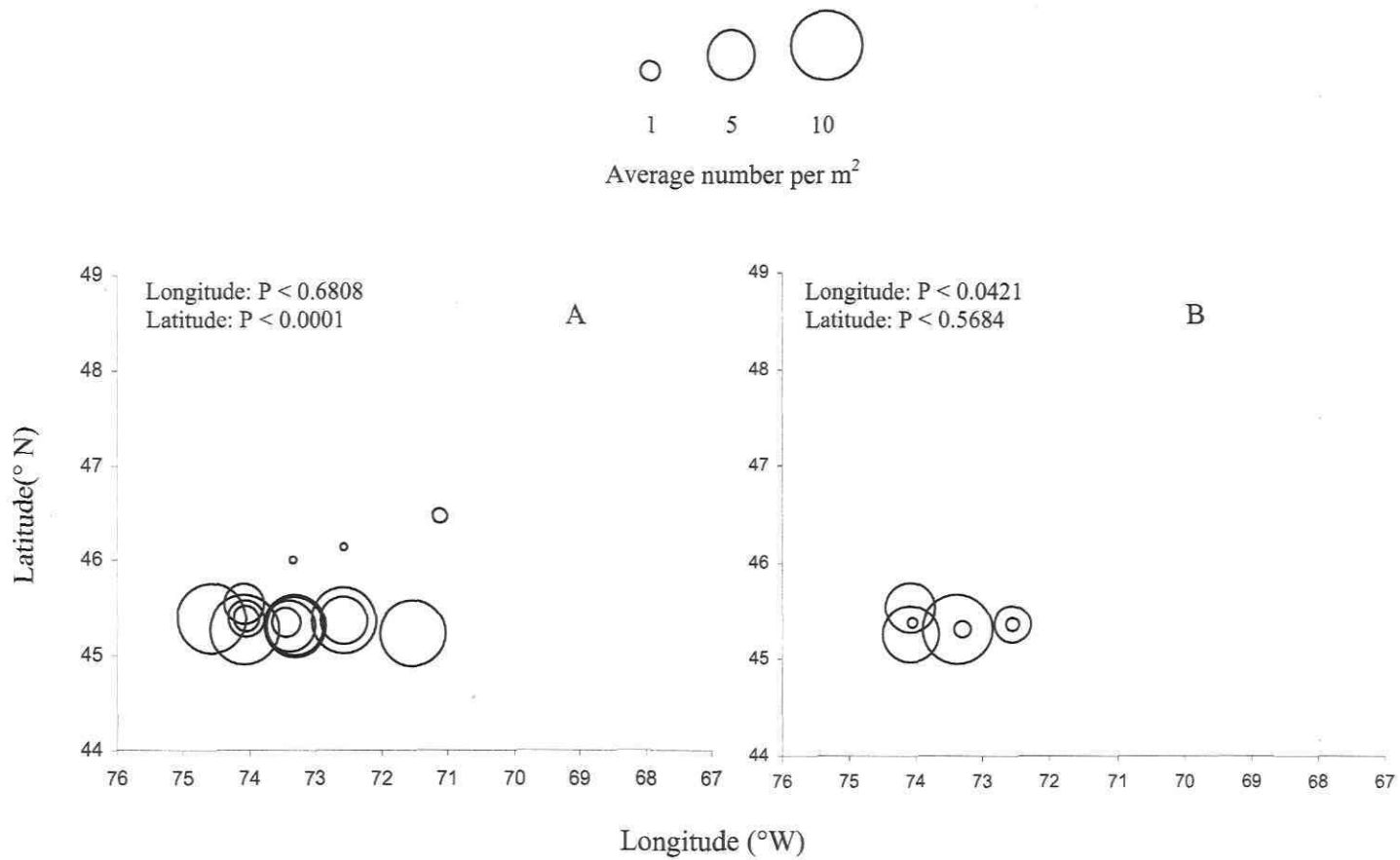
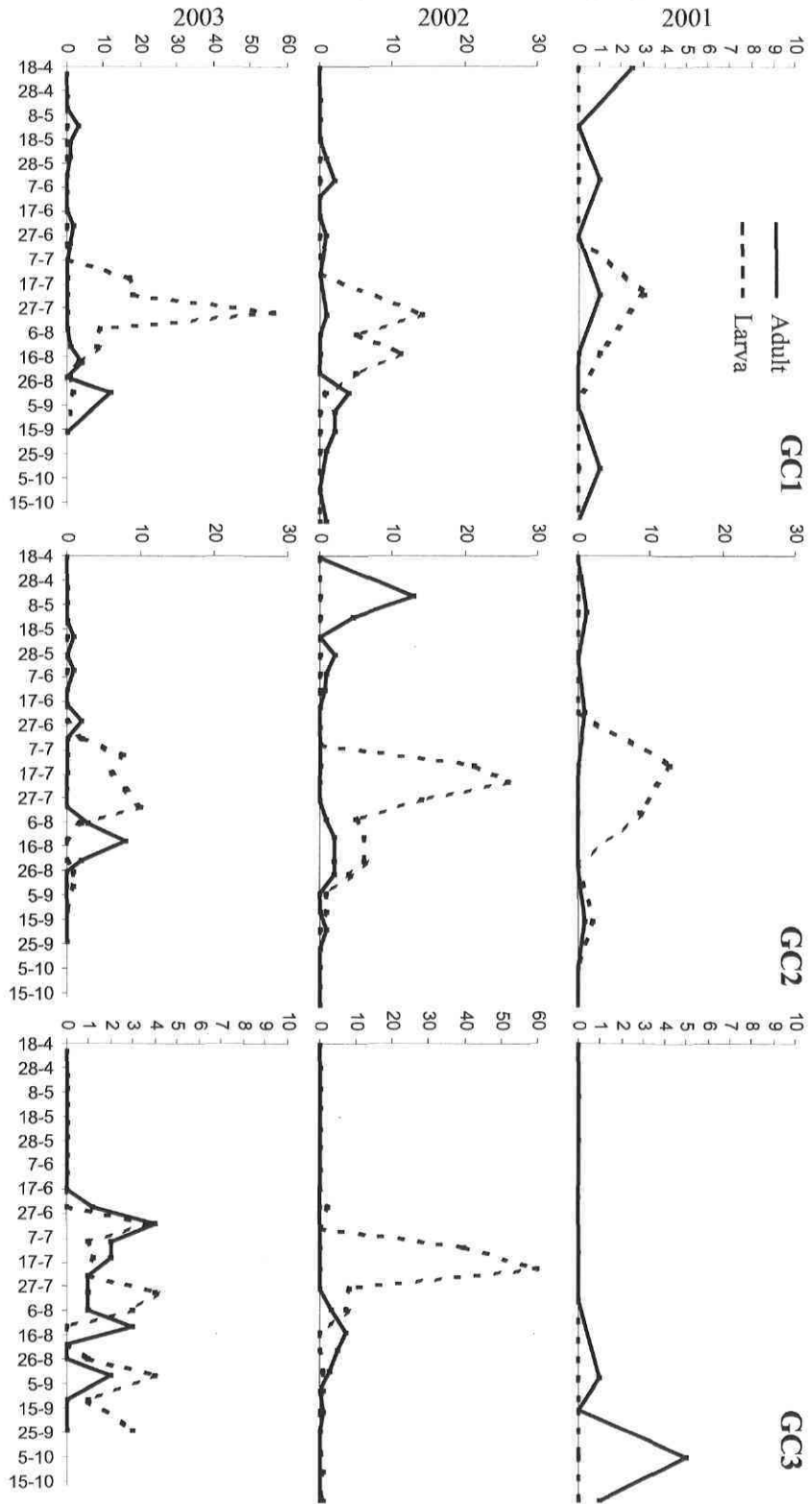
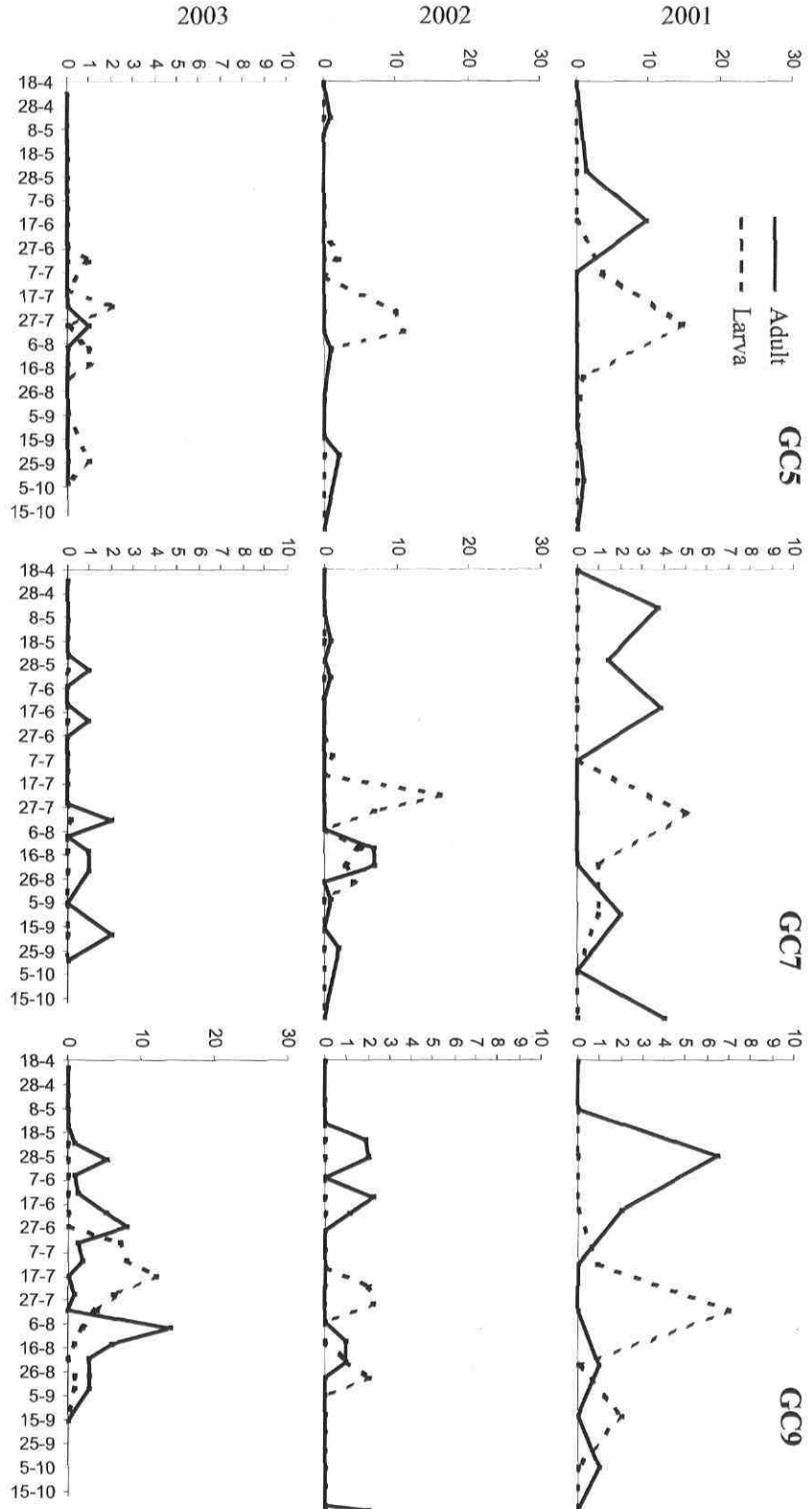


Figure 2.2 Relationship between the density of black turfgrass ataenius (*Ataenius spretulus*) (A) and *Aphodius granarius* (B) and spatial coordinates (latitude, longitude) of golf courses in Québec. Size of circles indicates the relative insect abundance (adult and larva). Locations with no scarab beetles are not depicted.

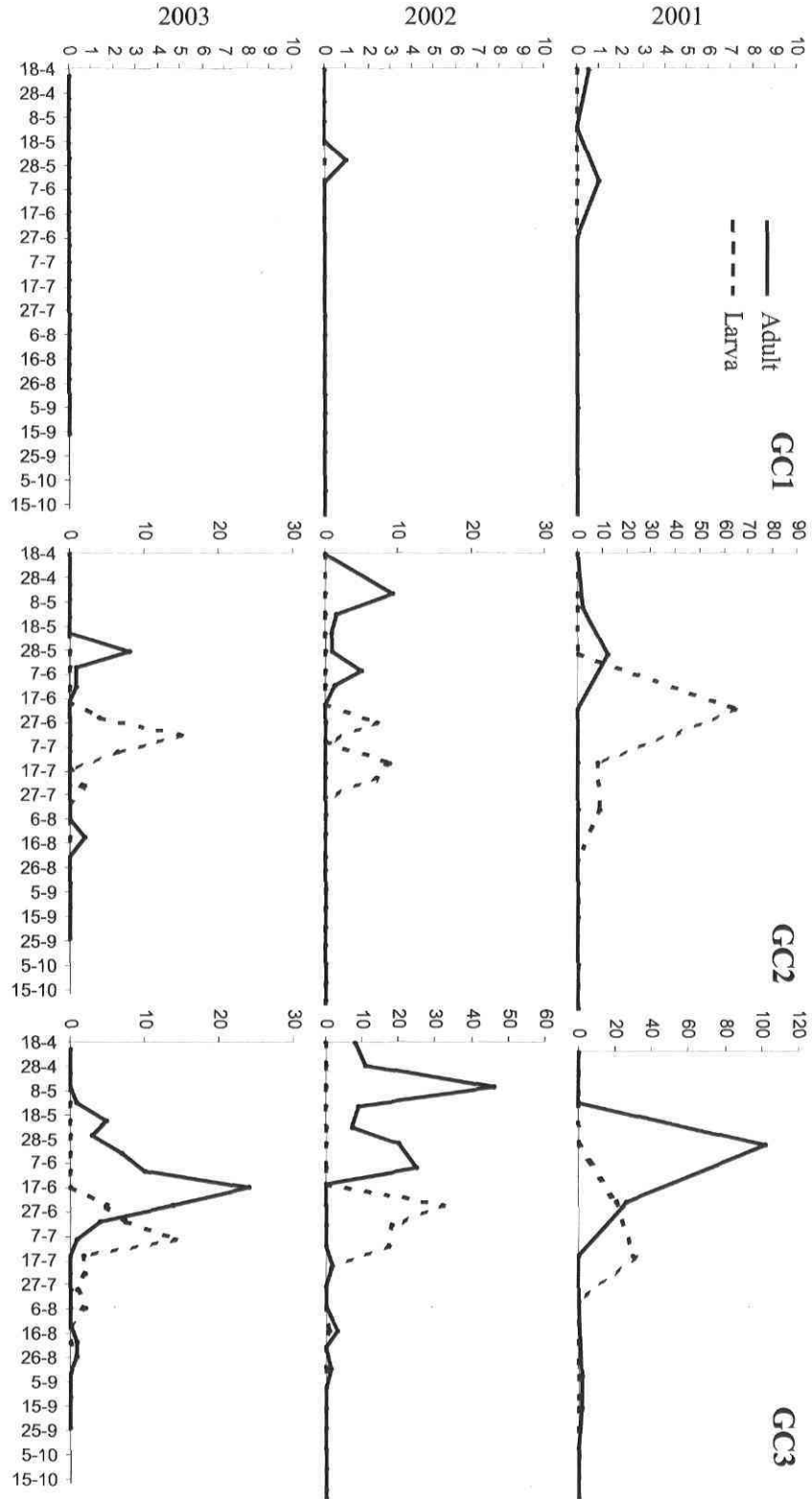
Total number of *A. spretulus* (adult/larva) per golf course



Total number of *A. spretulus* (adult/larva) per golf course



Total number of *A. granarius* (adult/larva) per golf course



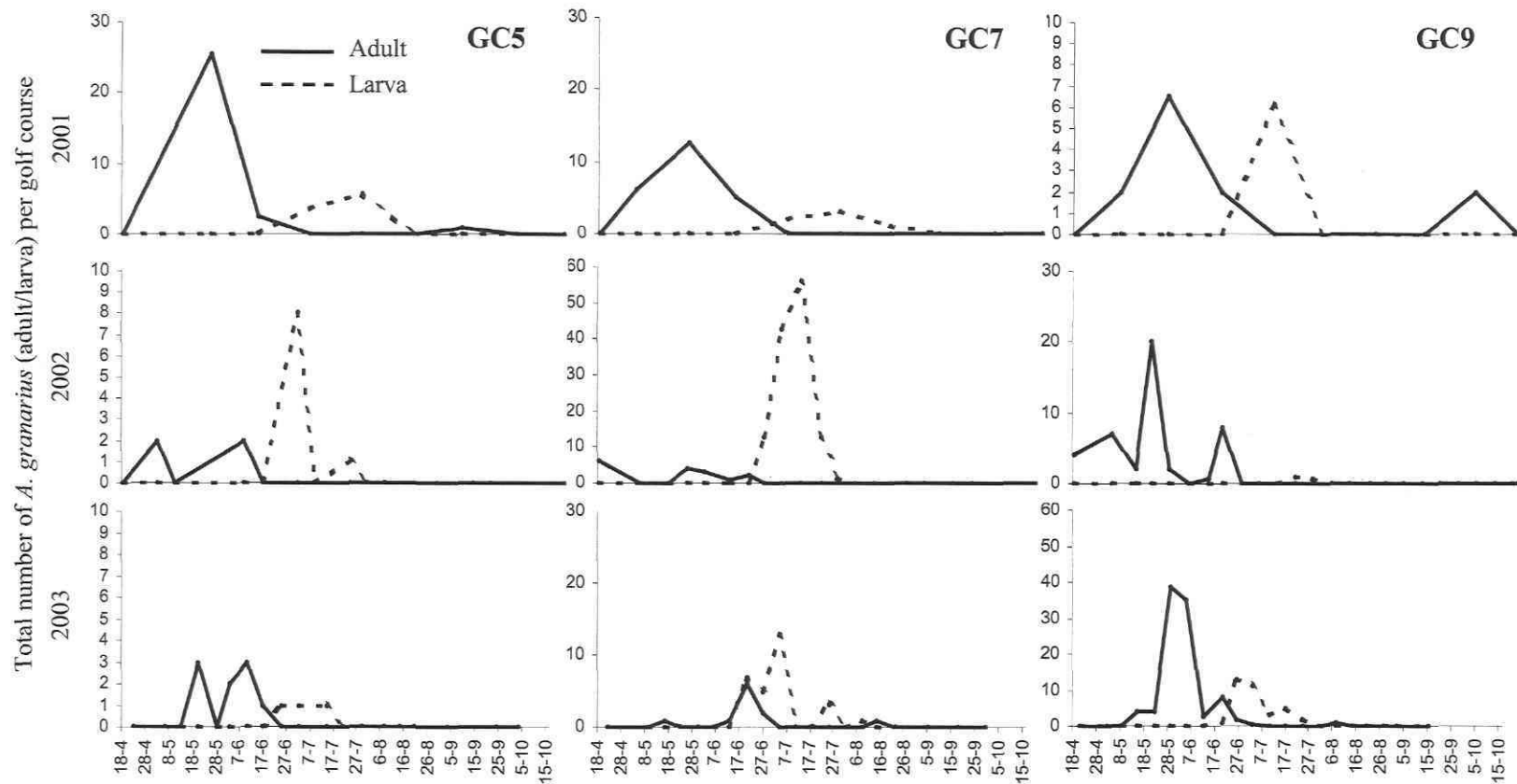


Figure 2.3 Seasonal development of black turfgrass atenius (*Ataenius spretulus*) and *Aphodius granarius* on six golf courses in Québec, Canada in 2001, 2002, and 2003.

The number indicate the golf course as presented in Table 2.1.

Chapitre 3. Distribution, abondance, et écologie saisonnière du charançon du pâturin annuel (Coleoptera: Curculionidae) sur les terrains de golf du Québec, Canada.

Le charançon du pâturin annuel (*Listronotus maculicollis* Dietz) (CPA) est un ravageur important du pâturin annuel (*Poa annua* L.) cultivé sur les terrains de golf du nord-est de l'Amérique. Afin de caractériser sa distribution, son abondance et son écologie saisonnière au Québec, dix-neuf terrains de golf (GC1-GC19) situés dans différentes régions ont été dépistés en 2001, 2002 et 2003. Le CPA a été retrouvé sur tous les terrains de golf à l'exception de GC19, situé dans le nord est du Québec (Chicoutimi). Le CPA complète deux générations par année sur l'ensemble des sites échantillonnés, sauf GC18 localisé dans l'est du Québec (Rimouski) où une seule génération a été observée. L'analyse spatiale a révélé que les populations de l'insecte sont les plus importantes dans l'ouest de la province. La présence du CPA a été corrélée positivement avec le sable fin (larves) et le pH du sol (pupes) et négativement avec le gravier (larves et pupes). La taille des CPA différait significativement entre les sites et ils présentaient généralement une plus grande dimension sur le terrain de golf où une seule génération a été observée.

Distribution, Abundance, and Seasonal Ecology of the Annual Bluegrass Weevil (Coleoptera:Curculionidae) on Golf Courses in Québec, Canada

Louis Simard^{1,2}, Jacques Brodeur^{1,3} and Julie Dionne^{1,4}

1. Centre de Recherche en Horticulture, Département de phytologie, Université Laval, Québec, Québec, G1K 7P4, Canada.
2. Current address: Horticulture Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, St-Jean-sur-Richelieu, Québec, J3B 3E6, Canada.
3. Current address: Institut de recherche en biologie végétale, Département des sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal, Québec, H1X 2B2, Canada.
4. Current address: Royal Canadian Golf Association, Oakville, Ontario, L6M 4X7, Canada.

Annual bluegrass weevil (*Listronotus maculicollis* Dietz) (ABW) is a major pest of annual bluegrass (*Poa annua* L.) on golf courses in north eastern North America. To determine the distribution, abundance, and seasonal ecology of the ABW on golf courses in Québec, Canada, we sampled nineteen golf courses (GC1-GC19) from different geographic and climatic conditions during 2001, 2002 and 2003. The ABW was found on all golf courses sampled during this study, except GC19 located in northeastern Québec (Chicoutimi). ABW complete two generations per year on all scouted sites, except GC18 located in northeastern Québec (Rimouski) where only one generation was observed. Linear regression model comparing ABW larval densities as a function of spatial coordinates revealed that ABW are more abundant in western Québec than in eastern Québec. Pearson correlations on the probability of both ABW larvae and pupae presence with soil parameters indicated significant positive correlations for the fine sand (larvae) and the soil pH (pupae) while negative correlations was obtained for the gravel. ABW sizes differed between locations and they were generally bigger on golf course where one generation per year was observed.

3.1 Introduction

Golf courses provide a suitable habitat for insects feeding on leaves, stems, crowns, or roots of turfgrasses. The annual bluegrass weevil (ABW), *Listronotus maculicollis* Dietz, formerly ‘*Hyperodes* weevil’ is a native pest of close-cut annual bluegrass (*Poa annua* L.) on golf courses in north eastern North America (Vittum et al., 1999). The ABW was originally restricted to the metropolitan New York City area but extended throughout much of New York State, most of southern New England, New Jersey and southeastern Pennsylvania in early 1980s (Vittum, 2005a). Recently, the ABW has spread to central and western Pennsylvania, northern New England, Delaware, Maryland, eastern Ohio, West Virginia and southern Ontario (Canada) (Niemczyk and Shetlar, 2000; Vittum, 2005a). In Québec (Canada), ABW damages have been occasionally observed by golf course superintendents in the Montreal area but its distribution and abundance remain unknown in this province.

ABW damage is observed on golf course fairways, tees and greens. It generally first occurs and is more severe around the collar and at the periphery of the greens. ABW can also feed on creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.) but damage is usually most severe on annual bluegrass (Rothwell, 2003). Young larvae feed inside turfgrass stems while last instars feed externally on turfgrass crowns (Potter, 1998). A single larva can kill as many as a dozen plants during its development and locally trigger turfgrass yellowing (Vittum et al., 1999). ABW adults cause little or no significant damage by partially chewing leaf blades.

No information is currently available on the seasonal development of the ABW on golf courses in Québec. Vittum and Tashiro (1987) reported two generations per year and occasionally a third during warm summer on golf courses in New York and Connecticut. Damage is observed in late May to early June and early July to mid-July. Typically damage from the first generation is located mainly along the edges of the greens, tees and fairways while damage from the second generation is found anywhere in these areas but often is less severe (Vittum, 2005a). Sears et al. (1996) reported two ABW generations in

Ontario (Canada). However, Potter (1998) suggested that only one generation per year is likely to occur in more northern latitudes. Understanding the ABW's seasonal ecology is a major key to its management.

The specific objectives of our study were to determine: i-) the distribution and abundance of the ABW on golf courses in Québec ii-) the effect of different soil components and turfgrass species on the abundance of the insect iii-) the seasonal development of the ABW on golf courses in different locations in Québec.

3.2 Materials and Methods

This study was conducted on nineteen golf courses (GC) in Quebec (Canada) during 2001, 2002 and 2003 (Figure 3.1). The experimental sites were selected because of their contrasting geographic and climatic conditions (Table 3.1).

3.2.1 ABW sampling

From the end of April to mid-October, every two weeks in 2001 and weekly in 2002 and 2003, ABW was scouted on three golf holes (greens and fairways) for each experimental site, except for the followings: four golf holes were scouted on GC3, two golf holes on GC4 and GC15, and five greens on GC14. In addition, GC 19 was sampled only during 2001 and 2002 and GC13 during 2002 and 2003.

ABW larvae were sampled exclusively in fairways because destructive sampling was not possible on the greens while adults were scouted only on greens where they are easily observable. Adults were counted using a 0.25m² grid. A total of 10 grids/green in 2001 and 25 grids/green in 2002 and 2003 were randomly sampled at each visit. In the fairways, a golf course hole cutter (10.8 cm in diameter) was used for sampling ABW larvae and pupae in thatch and soil to a depth of 7.7 cm. Once removed, samples were broken up and insects were counted. A total of 10 samples/fairway in 2001 and 25 samples/fairway in 2002 and 2003 were randomly sampled at each visit. In summer 2002 (July 28th–August 24th), the number of samples in the fairways was reduced to 10 on two golf courses (GC3, GC8) because of the dry and hot conditions limiting the golf course hole cutter plug recovery.

All captures were brought back to the laboratory for identification and preserved in a solution of ethyl alcohol, glycerin, acetic acid and distilled water (8/1/1/5, v/v/v/v). Adult length, from the apex of the beak to the end of the front pairs of wings, and width, at metathorax level (hind legs), were measured using a dissecting microscope at 4x

magnification equipped with the software Motic Images 2000 1.3[®] (Motic Instruments Inc., Richmond, BC, Canada).

3.2.2 Experimental site characterization

For all experimental sites, one soil sample from both the green and the fairway were collected at the end of the growing season in 2002 using soil probe (2.2 cm in diameter) to a depth of 15 cm. Each soil sample was made of 40 soil probe plugs. Soil analyses were performed by the Laboratory Services at the University of Guelph (Guelph, Ontario, Canada), except for the particle size distribution that was done at the Horticultural Research and Development Center (Agriculture and Agri-Food Canada at St-Jean-sur-Richelieu, Quebec, Canada). Available Ca, Fe, K, Na, P, Zn were determined by mass spectrometry and total N was analyzed with an elemental analyzer (Model LECO, Leco Corp., St-Joseph, MI). Soil pH, organic matter content and particle size distribution (except one fairway on GC10) were also determined. The uncompressed thatch thickness was determined on each green and fairway (except GC5) by taking ten samples using a soil probe and than measuring thatch with a ruler.

Plant species composition for each green (except GC5) and fairway was determined in fall 2002 as the percentage of annual bluegrass (*Poa annua* L.) and creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds.). Ten grids (0.25 m²) per green were sampled and the percentages were obtained by visual rating.

For each experimental site, climatic data including minimum and maximum average daily temperature and average yearly precipitation (rain and snow) were obtained from the nearest Environment Canada weather station.

Golf courses superintendents provided their turfgrass management practice records detailing information on fertilizer and pesticide applications, and cultural management practices including mowing, aeration, irrigation, and top dressing.

3.2.3 Statistical analysis

ABW abundance, adult measurements, percentage of turf species, and uncompressed thatch thickness were analyzed by an analysis of variance (PROC GLM, SAS Institute, 1999) followed by protected LSD to compare means. Pearson correlations (PROC CORR, SAS Institute, 1999) were used to determine whether soil components, turf species and uncompressed thatch thickness influenced the probability of presence of ABW. This analysis was performed on the probability of presence of ABW and a square-root transformation was used to meet the assumptions of normality (PROC UNIVARIATE, SAS Institute, 1999) and homogeneity (residual plot). Linear regressions were used to analyze ABW densities as a function of spatial coordinate (PROC REG, SAS Institute, 1999). Type I error rate was set at $P = 0.05$ for these analyses. The effects of turf species on the length and the width of ABW adults were analyzed with a linear regression (PROC REG, SAS Institute, 1999). In this case, type I error rate was set at $P = 0.10$.

3.3 Results

The annual bluegrass weevil was found on all golf courses sampled during this study, except GC19 (Table 3.2). Significant differences in the abundance, expressed as the average number of ABW/m² collected for each scouting dates for the three year period, were observed between golf courses (larvae: $F = 8.34$; $df = 18$; $P < 0.0001$; pupae: $F = 7.96$; $df = 18$; $P < 0.0001$) (Table 3.2). The insect was most abundant on GC5, GC6 and GC11. The abundance of both larvae and pupae was similar over the years (larvae: $F = 1.51$; $df = 2$; $P < 0.2209$; pupae: $F = 2.62$; $df = 2$; $P < 0.0731$). Considering that insecticide applications were made on some golf greens, data were not analyzed for adults.

Linear regression model comparing ABW larval densities as a function of spatial coordinates revealed a significant variation along a east-west axis (longitude: $F = 4.22$; $df = 1, 54$; $P < 0.0449$) but not along a north-south axis (latitude: $F = 0.00$; $df = 1, 54$; $P < 0.9863$). Larvae were more abundant in western Québec than in eastern Québec.

Significant differences between sites and years were observed in ABW adult length (year: $F = 79.10$; $df = 2$; $P < 0.0001$; location: $F = 3.69$; $df = 11$; $P < 0.0055$) and width (year: $F = 6.15$; $df = 2$; $P < 0.0083$; location: $F = 4.20$; $df = 11$; $P < 0.0027$) (Table 3.3). In 2001, adults from GC18 were significantly longer than those from all other locations, except GC2 ($F = 4.18$; $df = 11$; $P < 0.0001$). In 2002, specimens from GC13 were longer than those from all other locations while insects from GC18 had the widest adults (length: $F = 10.83$; $df = 11$; $P < 0.0001$; width: $F = 16.43$; $df = 11$; $P < 0.0001$). In 2003, the largest adults were found on GC18 (except for GC12) (length: $F = 7.24$; $df = 11$; $P < 0.0001$; width: $F = 16.05$; $df = 11$; $P < 0.0001$). Over the years, the smallest ABW adults were generally observed on GC3, GC4, GC5 and G11. A positive trend (significant at $P = 0.10$) was found between the percentage of annual bluegrass on golf greens and the ABW length ($R^2 = 0.10$; $df = 1,29$; $P < 0.085$; $y = 0.0018x + 4.3993$) and width ($R^2 = 0.12$; $df = 1,29$; $P < 0.058$; $y = 0.0004x + 1.7321$) (Figure 3.2).

The proportions of turfgrass species varied on greens among golf courses (annual bluegrass: $F = 14.76$; $df = 18$; $P < 0.0001$; creeping bentgrass: $F = 14.97$; $df = 18$; $P < 0.0001$) (Table 3.4). Annual bluegrass ranged from 2.5 to 89.6% with GC1 and GC13 having higher percentages of annual bluegrass than all other golf courses, except GC18 and GC19. GC3 and GC4 golf greens had significantly higher percentage of creeping bentgrass than all other golf courses, except GC16. GC3 and GC4 were the only golf courses where creeping bentgrass was the dominant species in the fairways. Thatch thickness also differed significantly among golf courses (green: $F = 8.63$; $df = 18$; $P < 0.0001$; fairway: $F = 10.40$; $df = 17$; $P < 0.0001$). Thatch was more abundant on greens and fairways of GC3 than all other golf courses, except for GC4.

Pearson correlations on the probability of both ABW larvae and pupae presence with soil and turf parameters indicated significant positive correlations for the fine sand (larvae) and the soil pH (pupae) while negative correlations was obtained for the gravel (Table 3.5). The presence of ABW adults was negatively correlated with gravel, iron, and zinc but positively correlated with soil pH.

Figure 3.3 presents the seasonal abundance of ABW larvae, pupae and adults on twelve golf courses for 2001, 2002, and 2003. ABW completed two generations per year on all scouted sites, except GC18 where only one generation was observed. Overwintered adults appeared on golf greens from the end of April to the first week of May. The first generation of adults was generally observed on golf greens from the end of June to the first week of July and they were generally less abundant than the overwintered adults. Second generation of adults was observed from mid-August to the end of the season, until their movement to overwintering sites. Larvae were observed on golf courses in mid-June (first generation) and in early August (second generation). For GC18, the ABW development was delayed by 2 to 3 weeks compared with other golf courses.

3.4 Discussion

ABW is a widespread turfgrass insect pest in Québec. This species was found on all golf courses except GC19, located in northeastern Québec. The natural physical barrier created by a vast mixed deciduous and coniferous forest, 'La Réserve faunique des Laurentides' may have limited the distribution of the ABW in this area; a pattern reported for other insects in Québec such as the cabbage seedpod weevil (*Ceutorynchus obstrictus* Paykull) (Brodeur et al., 2001).

ABW completes two generations per year in Québec, except for populations from the northeastern part of the province where one generation was observed. The seasonal ecology of the ABW in Québec, except for the population located in GC18, is similar to what has been suggested in Ontario by Sears et al. (1996). Our results concur with Vittum and Tashiro (1987) who reported two generations per year and occasionally a third during warm summer on golf courses in New York and Connecticut, two southern states. Potter (1998) suggested that ABW would probably have one generation per year in more northern extremes of its range. Our results indicate that ABW has only one generation per year on golf courses located northern to the 48° parallel.

Many factors could explain ABW abundance on golf courses, including climatic conditions, geographic isolation, as for GC19, soil and plant characteristics, landscape, cultural practices, and insecticide use. Our results showed that ABW larvae were more often found in fine sand and tend to avoid gravel. Fine sand is probably more suitable for older larvae migrating in the first cm of soil. ABW collected on GC18 were found on the only green surrounded by conifers such as spruce, providing adequate overwintering sites for ABW (Vittum, 2005b). Although no controlled studies have documented the effectiveness of this strategy, reducing the number of potential overwintering sites for ABW by removing pine litter in late fall or early spring seems to have an influence on abundance of the insect (Vittum, 2005b). Insecticide use to control ABW and other turfgrass pests differed among golf courses studied with regards to frequency, from zero to

three applications per year, and distribution, from a single green to all fairways (except scouted fairways) and greens.

Despite the fact that ABW feed primarily on annual bluegrass (Rothwell, 2003), the presence of ABW on golf courses was not positively correlated with annual bluegrass (Table 3.5). These results are in agreement with Rothwell (2003) who reported that ABW larvae were uniformly located in creeping bentgrass and annual bluegrass commonly mowed to fairway height. However, although not significant, our results showed that ABW adults found on golf courses with predominantly annual bluegrass tend to be bigger than ABW adults on creeping bentgrass golf courses. This suggests that annual bluegrass is converted more efficiently than creeping bentgrass by ABW resulting in high-weight herbivores (Meade and Hare, 1991). Similarly, Rothwell (2003) reported highest larval weight for the ABW feeding on annual bluegrass. Other studies on black cutworm feeding on turfgrass showed the influence of turf species/cultivars/ecotypes on the developmental rate and weight of different stages (Williamson and Potter, 2001; Tanvez, 2003).

Our results also indicate that ABW sizes differ between sites. Vittum (1979) observed variability in body size within ABW from diverse locations in New York State suggesting that geographical variants may be attributed to climatic conditions. The life-history theory supports that development time and body size should increase with season length along a latitudinal north to south axis (Nylin and Gotthard, 1998). Our results are contradictory because ABW adults in northeastern Québec, such as GC18, are generally bigger than population in southwestern Québec. However, the life-history theory predicts that when there is a shift in voltinism, optimal body size decreases before increasing anew in areas further to the south (Nylin and Gotthard, 1998). Southwestern Québec appears to be the geographical limit for ABW to complete two generations per year, and consequently showing smaller adults.

3.5 Acknowledgments

The authors thank Vincent Brousseau, Patricia Désilet, Marie-Eve Gosselin, Guillaume Grégoire, and Élisabeth Taschereau for dedicated technical assistance; all superintendents of golf courses involved in this study; and Dr. Patricia Vittum for critical review of the manuscript. The Québec Turfgrass Research Foundation (QTRF), the Québec Golf Superintendents Association (QGSA), the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), the Royal Canadian Golf Association Foundation, and Bayer Environmental Science provided financial support for this project.

Table 3.1 Geographic location and average climatic conditions of golf courses (GC) sampled in Québec, Canada.

GC	Spatial coordinates	Location	Av. daily temperature ¹		Av. Yr. precipitations ¹	
			Min (°C)	Max (°C)	Rain (mm)	Snow (cm)
1	45°24'N, 71°54'W	Sherbrooke	-18,0	24.7	873.9	294.3
2	45°27'N, 74°09'W	Hudson	-16,0	26.7	827.9	156.5
3	45°31'N, 73°39'W	Ile Bizard	-14.9	26.3	760.1	214.2
4	45°32'N, 73°31'W	Longueuil	-15.2	26.4	819.7	220.5
5	45°32'N, 73°31'W	St-Lambert	-15.2	26.4	819.7	220.5
6	45°35'N, 73°45'W	Laval	-14.1	27.1	848.2	208.1
7	45°37'N, 72°57'W	St-Hyacinthe	-15.4	26.5	856.1	202,0
8	45°37'N, 72°57'W	St-Hyacinthe	-15.4	26.5	856.1	202,0
9	45°39'N, 74°05'W	Mirabel	-16.9	26.3	737.8	203.7
10	45°39'N, 74°05'W	St-Janvier	-16.9	26.3	737.8	203.7
11	45°39'N, 74°56'W	Montebello	-16.5	25.4	812.7	250.1
12	45°54'N, 74°08'W	Piedmont	-18.7	25.3	780.6	216.8
13	46°00'N, 73°34'W	St-Liguori	-16.8	26.5	782.3	226.1
14	46°15'N, 72°57'W	Louiseville	-18,0	25.5	801.4	192.5
15	46°48'N, 71°11'W	Lévis	-16.3	24.5	894.9	274.9
16	46°51'N, 71°16'W	Charlesbourg	-16.5	25.1	991.3	316.9
17	46°52'N, 70°55'W	St-Michel	-17.6	24.8	897.7	285.6
18	48°22'N, 68°42'W	Bic	-15.7	23.2	642,0	271.7
19	48°25'N, 71°04'W	Chicoutimi	-21.7	24.2	661.4	341.6

¹ Average daily temperature and yearly precipitations are from Canadian Climate Normals 1971-2000; Data source: Environment

Canada www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca

Table 3.2 Abundance ($X \pm SE$)/m² of annual bluegrass weevil (*Listronotus maculicollis*) from golf courses (GC) sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.

GC	Larva±SE			Pupa±SE			Adult ±SE ¹	
1	1.883	± 0.748	bc ²	3.833	± 1.683	bcd	0.993	± 0.161
2	2.226	± 0.529	bc	3.767	± 1.060	bcd	0.904	± 0.181
3	2.161	± 0.605	bc	2.736	± 0.640	cde	1.435	± 0.294
4	1.372	± 0.578	c	3.328	± 1.061	cde	0.461	± 0.067
5	6.223	± 2.026	ab	6.938	± 3.312	ab	0.522	± 0.087
6	10.218	± 2.859	a	9.946	± 2.608	a	0.856	± 0.252
7	0.000	± 0.000	c	0.029	± 0.029	e	0.015	± 0.007
8	1.485	± 0.581	bc	2.258	± 0.860	cde	0.088	± 0.025
9	1.984	± 0.421	bc	1.698	± 0.430	cde	0.224	± 0.043
10	0.699	± 0.333	c	0.738	± 0.236	de	0.249	± 0.040
11	8.859	± 5.043	a	4.562	± 1.190	bc	1.986	± 0.326
12	0.932	± 0.294	c	0.704	± 0.276	de	0.528	± 0.105
13	2.891	± 1.461	bc	4.246	± 1.382	bcd	0.499	± 0.103
14	0.000	± 0.000	c	0.000	± 0.000	e	0.090	± 0.017
15	0.000	± 0.000	c	0.000	± 0.000	e	0.003	± 0.002
16	0.033	± 0.033	c	0.000	± 0.000	e	0.008	± 0.004
17	0.000	± 0.000	c	0.000	± 0.000	e	0.001	± 0.001
18	1.456	± 0.592	bc	3.702	± 1.063	bcd	0.186	± 0.048
19	0.000	± 0.000	c	0.000	± 0.000	e	0.000	± 0.000

¹Statistical analyses for the adults were not performed because insecticides were applied on some sampled sites.

²Values in the same column followed by the same letter are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

Table 3.3 Size (mm; $\bar{X} \pm \text{SD}$) of annual bluegrass weevil (*Listronotus maculicollis*) sampled from golf courses (GC) in Québec, Canada in 2001, 2002, and 2003.

GC	2001			2002			2003		
	n	Length	Width	n	Length	Width	n	Length	Width
1	84	4.34 ± 0.26 b ¹	1.77 ± 0.13 abcd	378	4.45 ± 0.31 b	1.75 ± 0.12 bc	362	4.71 ± 0.30 b	1.76 ± 0.11 cd
2	26	4.44 ± 0.26 ab	1.79 ± 0.12 abc	336	4.44 ± 0.32 b	1.76 ± 0.10 b	537	4.69 ± 0.31 bc	1.78 ± 0.10 bc
3	184	4.28 ± 0.43 b	1.72 ± 0.10 cd	879	4.35 ± 0.30 c	1.70 ± 0.11 ef	243	4.57 ± 0.31 e	1.71 ± 0.10 f
4	18	4.28 ± 0.46 b	1.82 ± 0.18 ab	105	4.39 ± 0.27 bc	1.72 ± 0.11 def	145	4.63 ± 0.32 cde	1.74 ± 0.12 ef
5	31	4.26 ± 0.23 b	1.75 ± 0.13 bcd	96	4.41 ± 0.32 bc	1.74 ± 0.09 bcd	224	4.61 ± 0.34 de	1.74 ± 0.11 ed
6	4	4.23 ± 0.13 b	1.78 ± 0.05 abcd	320	4.43 ± 0.36 b	1.75 ± 0.11 bc	233	4.60 ± 0.33 e	1.72 ± 0.13 f
9	17	4.37 ± 0.22 b	1.81 ± 0.06 ab	65	4.39 ± 0.31 bc	1.73 ± 0.09 cde	115	4.71 ± 0.28 b	1.74 ± 0.10 ed
10	10	4.21 ± 0.23 b	1.70 ± 0.13 d	74	4.39 ± 0.26 bc	1.71 ± 0.10 ef	114	4.68 ± 0.32 bc	1.76 ± 0.10 cd
11	167	4.27 ± 0.24 b	1.75 ± 0.10 bcd	886	4.41 ± 0.30 bc	1.72 ± 0.10 def	651	4.67 ± 0.31 bcd	1.72 ± 0.11 ef
12	NA	NA ²	NA	213	4.44 ± 0.32 b	1.74 ± 0.13 cde	187	4.67 ± 0.39 bcd	1.79 ± 0.13 ab
13	NA	NA	NA	136	4.63 ± 0.30 a	1.76 ± 0.09 b	199	4.71 ± 0.35 b	1.76 ± 0.10 cd
18	26	4.65 ± 0.41 a	1.85 ± 0.16 a	59	4.44 ± 0.30 b	1.79 ± 0.10 a	71	4.85 ± 0.32 a	1.80 ± 0.11 a

¹Values in the same column followed by the same letter are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

²Not available

Table 3.4 Turf species and uncompressed thatch thickness on greens and fairways (cm; X + SD) of golf courses (GC) sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.

GC	Green				Fairway			
	Turf species (%)			Thatch±SD ¹ (cm)	Dominant turf species	Thatch±SD ¹ (cm)		
	A. bluegrass±SD ¹	C. bentgrass±SD ¹						
1	89.6 ± 6.0	10.4 ± 6.0	a ²	2.2 ± 0.5	def	A. bluegrass	2.4 ± 0.4	bcde
2	52.7 ± 17.2	47.3 ± 17.2	de	3.8 ± 1.6	bc	A. bluegrass	2.6 ± 0.2	bc
3	2.5 ± 0.6	97.5 ± 0.6	g	5.5 ± 1.2	a	C. bentgrass	3.8 ± 0.7	a
4	3.7 ± 4.3	96.4 ± 4.3	g	2.7 ± 0.0	de	C. bentgrass	3.9 ± 1.0	a
5	NA ³	NA		NA		A. bluegrass	NA	
6	64.5 ± 9.1	35.5 ± 9.1	bcd	2.3 ± 0.2	def	A. bluegrass	2.0 ± 0.4	cdefg
7	55.9 ± 21.7	44.1 ± 21.7	d	1.6 ± 0.1	f	A. bluegrass	1.4 ± 0.3	gh
8	62.7 ± 9.9	37.3 ± 9.9	cd	1.7 ± 0.2	ef	A. bluegrass	1.2 ± 0.1	h
9	32.9 ± 25.1	67.1 ± 25.1	ef	2.2 ± 0.3	def	A. bluegrass	2.1 ± 0.1	cdef
10	64.7 ± 10.6	35.3 ± 10.6	bcd	2.7 ± 0.4	de	A. bluegrass	2.2 ± 0.5	cdef
11	46.3 ± 3.1	53.7 ± 3.1	de	2.6 ± 0.2	def	A. bluegrass	2.5 ± 0.4	bcd
12	65.9 ± 16.5	34.1 ± 16.5	bcd	2.9 ± 0.7	cd	A. bluegrass	1.7 ± 0.2	fgh
13	88.1 ± 12.7	11.9 ± 12.7	a	2.5 ± 0.3	def	A. bluegrass	1.7 ± 0.4	efgh
14	59.9 ± 14.5	40.1 ± 14.5	d	2.6 ± 0.5	def	A. bluegrass	NA	
15	61.0 ± 4.2	39.0 ± 4.2	cd	2.0 ± 0.1	def	A. bluegrass	2.0 ± 0.0	cdefg
16	14.1 ± 12.2	85.9 ± 12.2	gf	2.7 ± 0.5	de	A. bluegrass	2.2 ± 0.3	cdefg
17	44.7 ± 8.6	55.3 ± 8.6	de	4.4 ± 0.6	b	A. bluegrass	3.0 ± 0.1	b
18	81.9 ± 9.3	18.1 ± 9.3	abc	2.0 ± 0.3	def	A. bluegrass	1.9 ± 0.2	defgh
19	85.0 ± 9.9	15.0 ± 9.9	ab	2.2 ± 0.2	def	A. bluegrass	2.2 ± 0.1	cdef

¹Annual bluegrass and creeping bentgrass ± standard deviations.

²Values in the same column followed by the same letter are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

³Not available

Table 3.5 Pearson correlation coefficients between the annual bluegrass weevil (*Listronotus maculicollis*) probability of presence to soil components, turfgrass species, and thatch.

Parameters	Larva		Pupa		Adult	
	Correlation coefficient	P value ¹	Correlation coefficient	P value	Correlation coefficient	P value
Gravel (>2.0mm)	-0.441	0.002 *	-0.468	0.001 *	-0.250	0.065 †
Very coarse sand (1.0-2.0mm)	-0.174	0.232	-0.121	0.409	-0.117	0.393
Coarse sand (0.5-1.0mm)	-0.097	0.507	-0.039	0.791	-0.116	0.400
Medium sand (0.25-0.50mm)	-0.053	0.716	-0.002	0.985	0.131	0.339
Fine sand (0.125-0.250mm)	0.281	0.051 *	0.226	0.119	0.014	0.915
Very fine sand (0.050-0.125mm)	0.017	0.909	0.041	0.779	0.101	0.465
Sand	0.129	0.377	0.149	0.307	0.030	0.826
Silt	-0.142	0.330	-0.181	0.212	-0.003	0.980
Clay	-0.068	0.643	-0.053	0.718	-0.062	0.654
Ca	0.109	0.450	0.185	0.199	-0.026	0.851
Fe	-0.080	0.580	-0.054	0.710	-0.263	0.053 *
K	-0.004	0.981	0.008	0.957	-0.130	0.344
Na	0.057	0.693	0.080	0.579	-0.034	0.808
P	-0.011	0.941	-0.061	0.676	-0.100	0.470
Zn	0.189	0.188	0.145	0.316	-0.344	0.010 *
Organic matter	0.136	0.346	0.184	0.200	-0.195	0.153
N	0.179	0.214	0.221	0.122	-0.098	0.478
pH	0.178	0.216	0.256	0.073 †	0.330	0.014 *
Thatch	0.117	0.434	0.106	0.478	0.160	0.258
Annual bluegrass	NA ²	NA	NA	NA	0.011	0.940
Creeping bentgrass	NA	NA	NA	NA	-0.011	0.940

¹ Probability that r does not represent a significant correlation determined by a *t*-test where $t = r/s_r$, and s_r is the standard error of *r*;

* significant level 0.05, † significant level 0.10.

² Not available, grass species composition was not available for greens.

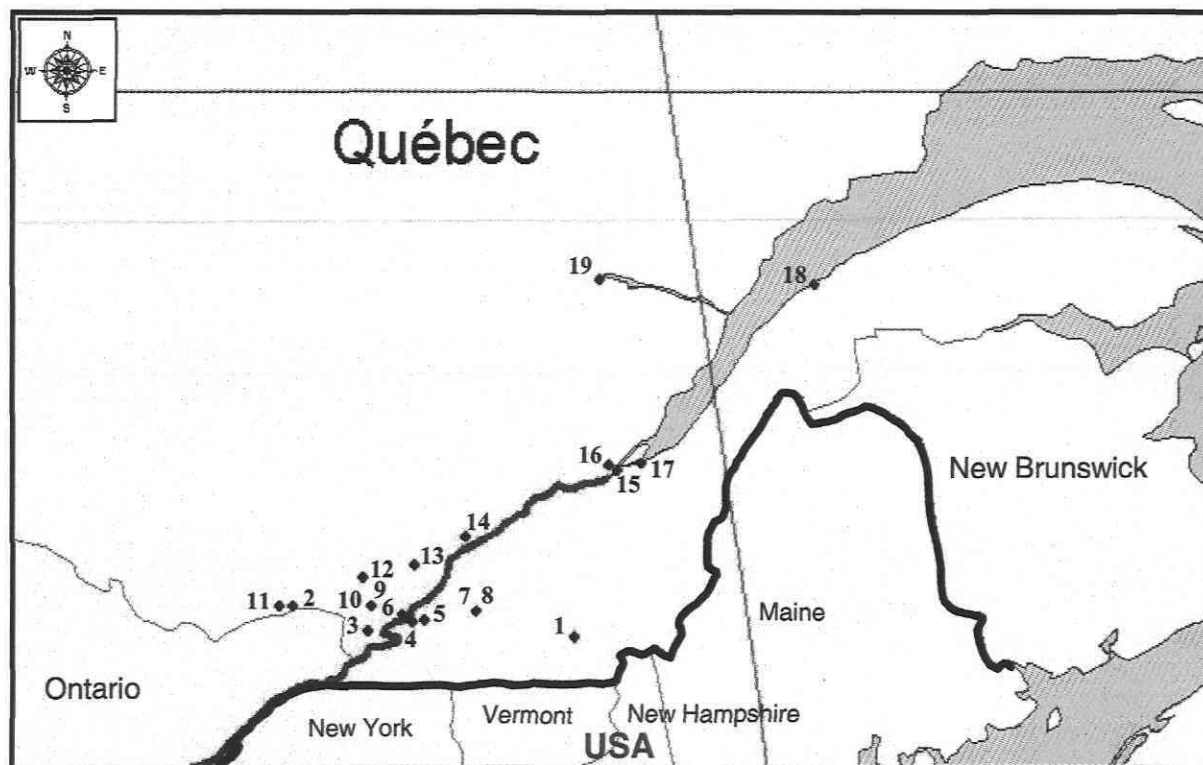


Figure 3.1 Location of golf courses (numbered from 1 to 19) sampled for the annual bluegrass weevil (*Listronotus maculicollis*) in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.

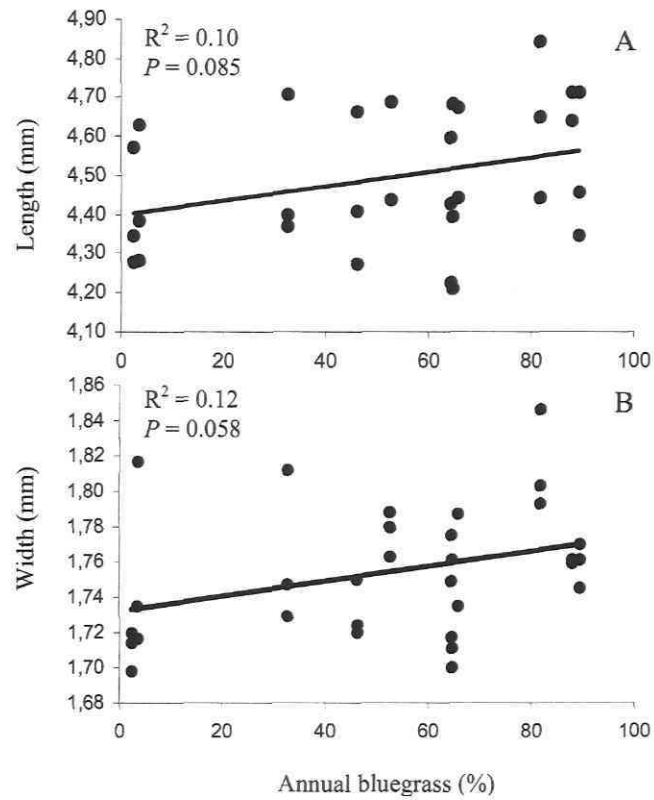
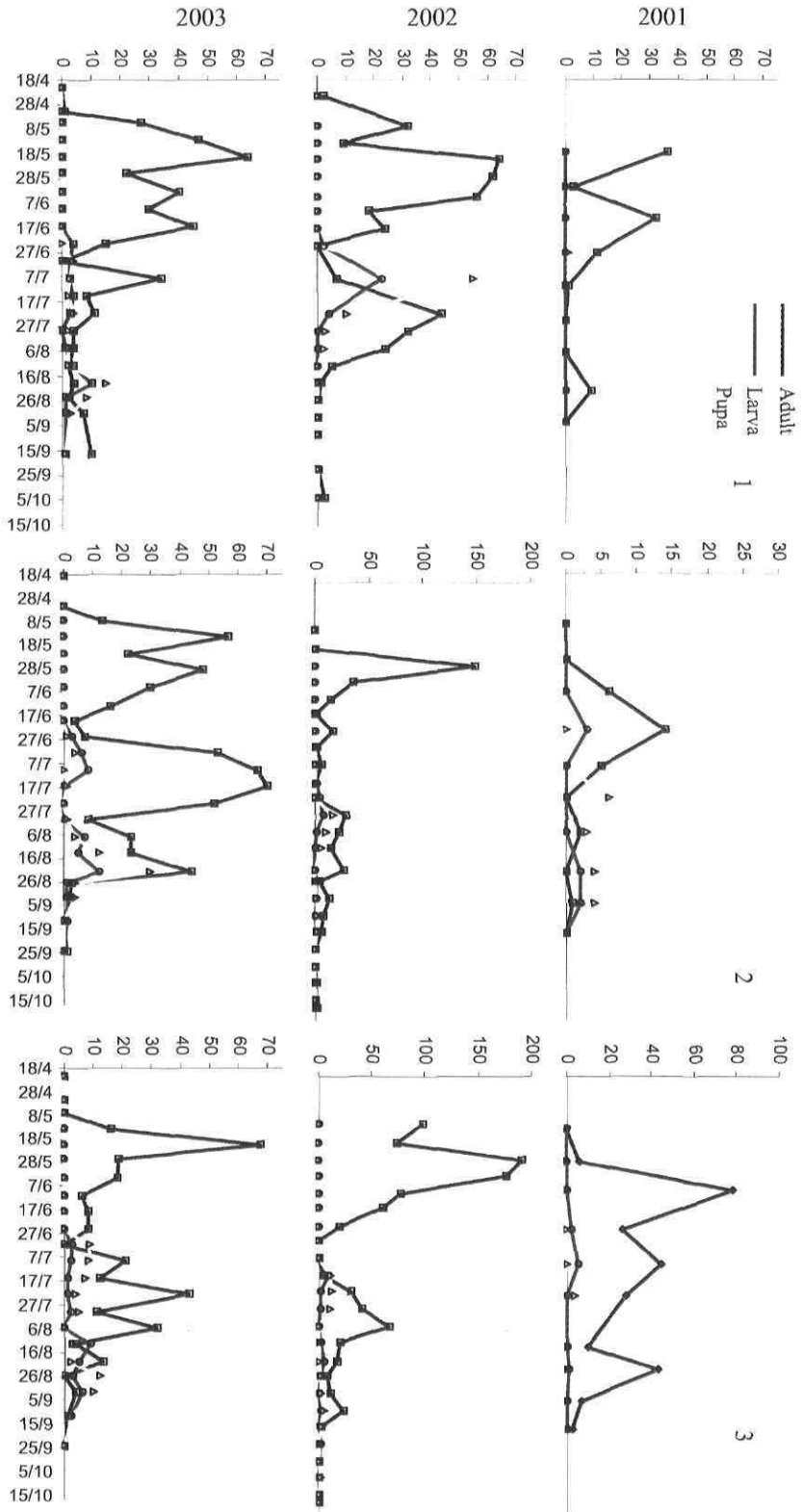


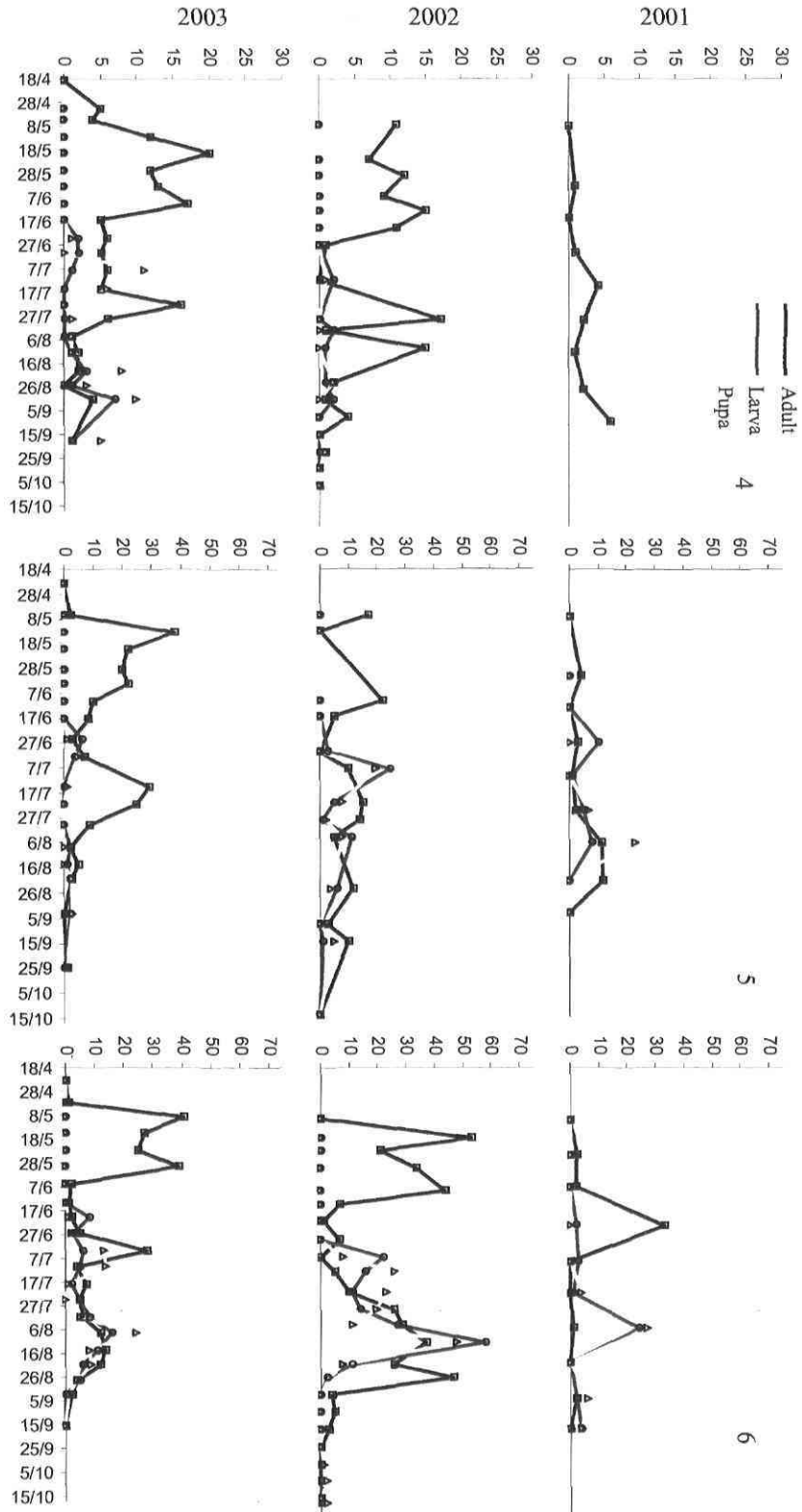
Figure 3.2 Relationship between the percentage of annual bluegrass on golf greens and the annual bluegrass weevil (*Listronotus maculicollis*) dimensions.

Length (A) (regression equation $y = 0.0018x + 4.3993$) and width (B) (regression equation $y = 0.0004x + 1.7321$).

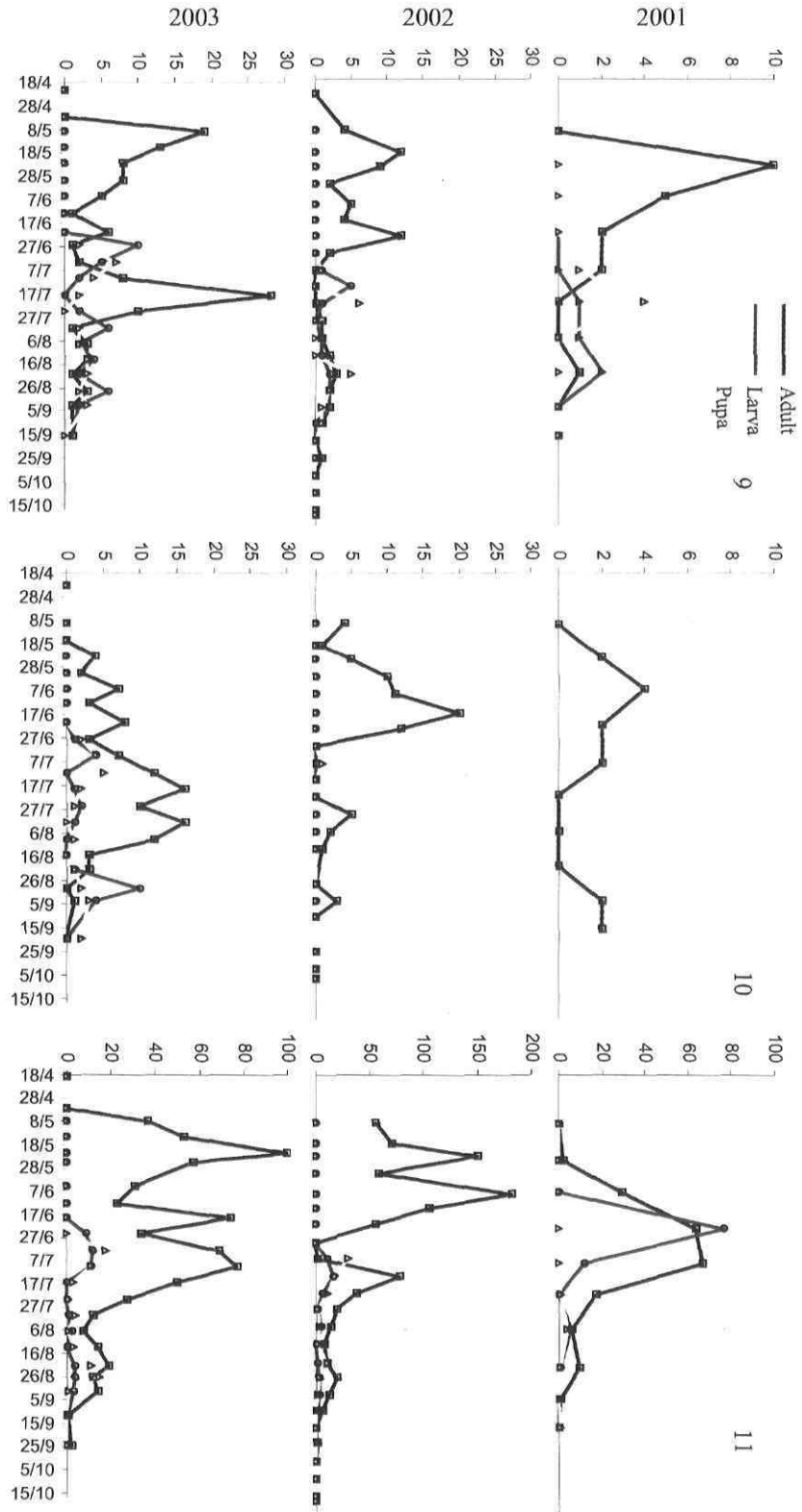
Number of annual bluegrass weevil (adult/larva/pupa) per golf course



Number of annual bluegrass weevil (adult/larva/pupa) per golf course



Number of annual bluegrass weevil (adult/larva/pupa) per golf course



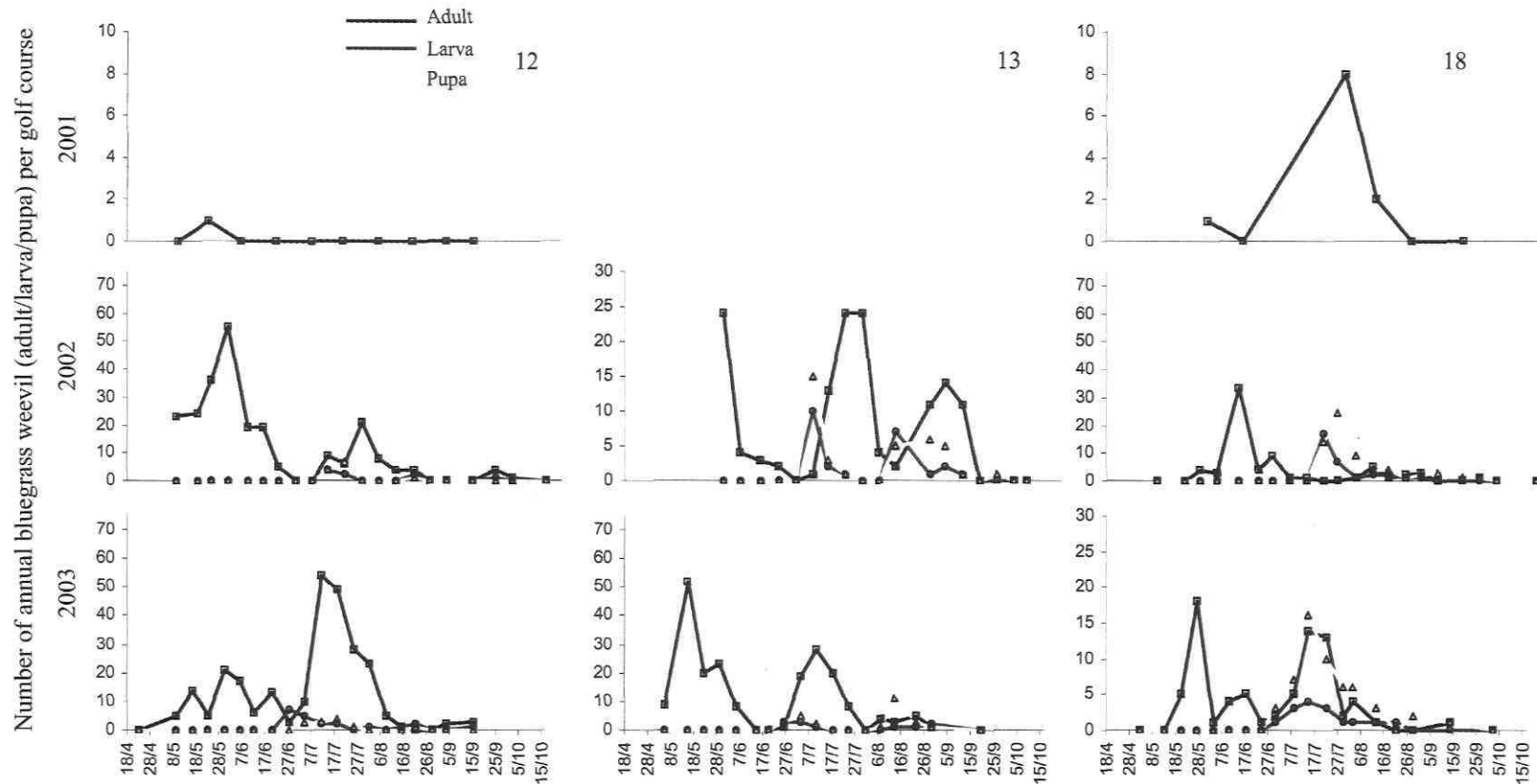


Figure 3.3 Seasonal development of the annual bluegrass weevil (*Listronotus maculicollis*) on twelve golf courses sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003. The number indicate the golf course as presented in Table 3.1.

Chapitre 4. Écologie saisonnière du ver gris (Lepidoptera: Noctuidae) sur les terrains de golf du Québec, Canada

Les larves du ver gris (*Agrotis ipsilon* Hufnagel) (VG) sont polyphages et sont des insectes ravageurs importants des graminées à gazon, particulièrement sur les verts de golf et les départs. Afin de caractériser sa distribution, son abondance et son écologie saisonnière au Québec, dix-neuf terrains de golf (GC1-GC19) situés dans différentes régions ont été dépistés en 2001, 2002 et 2003. Le VG a été retrouvé sur tous les terrains de golf à l'exception de GC19 situé au Saguenay-Lac-St-Jean, le site le plus nordique dépisté durant ce projet de recherche. Le VG complète deux générations par année sur les terrains de golf visités et une troisième génération partielle a été parfois observée à la fin septembre et au début d'octobre sur les terrains de golf situés dans le sud ouest du Québec. Les adultes du ver gris arrivaient ordinairement sur les terrains de golf au début mai. La première période de dommages causés par le ver gris a été généralement observée à la fin de juin et au début de juillet alors que la seconde période de dommages se produit à la fin d'août.

Seasonal ecology of the black cutworm (*Lepidoptera: Noctuidae*) on golf courses in Québec, Canada

Louis Simard^{1,2}, Jacques Brodeur^{1,3}, and Julie Dionne^{1,4}

1. Centre de Recherche en Horticulture, Département de phytologie, Université Laval, Québec, Québec, G1K 7P4, Canada.
2. Current address: Horticulture Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, St-Jean-sur-Richelieu, Québec, J3B 3E6, Canada.
3. Current address: Institut de recherche en biologie végétale, Département des sciences biologiques, Université de Montréal, Montréal, Québec, H1X 2B2, Canada.
4. Current address: Royal Canadian Golf Association, Oakville, Ontario, L6M 4X7, Canada.

Larvae of the black cutworm (*Agrotis ipsilon* Hufnagel) (BC) are polyphagous and are important insect pest of turfgrasses particularly on golf greens and tees. To determine the distribution, abundance, and seasonal ecology of the BC on golf courses in Québec, Canada, we sampled nineteen golf courses (GC1-GC19) from different geographic and climatic conditions during 2001, 2002 and 2003. The BC was found on all golf courses sampled during this study, except GC19 located in Saguenay-Lac-St-Jean, the most northerly site scouted during the research project. BC complete two generations per year on golf courses scouted and a third partial generation was occasionally observed at the end of September and the beginning of October on golf courses in southwestern Québec. Black cutworm adults usually arrived on golf courses in early May. First black cutworm damage peak period is generally observed at the end of June and early July while second damage peak period occurred in late August.

4.1 Introduction

Consistency, smoothness, speed, firmness, resiliency, and absence of turf grain influence the quality of turfgrass on golf greens, and thereby determine both the grade of the golf course and satisfaction of golfers (Beard, 2002). Turfgrass playing surfaces are susceptible damage by several insect species such as the black cutworm, *Agrotis ipsilon* Hufnagel (Lepidoptera: Noctuidae). Larvae of the black cutworm can feed on a wide range of plant families (Busching and Turpin, 1977; Rockburne and Lafontaine, 1976; Richard and Boivin, 1994; Kullik et al., 2005) and are recognized as the most damaging species among all cutworms attacking turfgrasses particularly on golf greens and tees (Potter, 1998; Niemczyk and Shetlar, 2000). Black cutworm larvae prefer creeping bentgrass (*Agrostis palustris* Huds) and annual bluegrass (*Poa annua* L.) on golf greens over Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) (Williamson and Potter, 1997b), the latter being found mainly in fairways and roughs. On golf greens, larvae dig a burrow in the thatch or soil, occupying holes or other cavities, and emerge at night to chew turfgrass leaves and stems reducing the smoothness and the uniformity of the playing surface. Damage typically looks like small dead patches that resemble ball marks on golf greens. In addition, predators like birds regularly pull up tufts of grass increasing damage on the surface (Potter, 1998).

First reported in Great Britain in 1931, the black cutworm is now present throughout North America, Europe, Asia, and Africa (Showers, 1997; Potter, 1998). In Canada, the insect is widespread in Ontario and Québec (Rockburne and Lafontaine, 1976). Black cutworms normally do not overwinter northern of 38°50'N latitude, and re-colonization by migrant moths occurs annually through strong southerly weather systems (Showers, 1997). The seasonal ecology of the black cutworm on golf course is currently not documented in Québec. However, its biology has been studied in other agroecosystems in Québec such as corn and forest tree nursery (Hudon et al., 1985; Bonneau et al., 1997). Few cutworm species cause corn damage, although the black cutworm is the most common and harmful (Hudon et al., 1985). In forest tree nurseries, damage appears in June and larvae can be observed until late fall (Bonneau et al., 1997). In Ontario, Sears et al. (1996) observed two generations per year on golf courses with two distinct larval periods from late May to the

end of June and from the end of July to the end of August. Kullik et al. (2005) reported captures of black cutworm moths in early April with significant influxes between mid- to late April in no-till fields in Ontario. In United States, the seasonal ecology of the black cutworm varied latitudinally from five to six generations in Louisiana per year to two generations yearly in New York State (Potter, 1998; Vittum et al., 1999).

In Canada, black cutworm damage on golf courses is mostly observed in eastern Canada, rarely in British Columbia (Sears et al., 1996; MacDonald, 2002). Currently, only little information is available on the status of the black cutworm as a pest on golf courses in Québec. Nevertheless, one or two insecticide treatments are typically applied yearly on golf greens (Coalition for Responsible Golf, 2006). Our objective was to characterize the distribution, abundance and seasonal development of the black cutworm on golf courses in Québec.

4.2 Materials and Methods

4.2.1 Experimental sites

This study was conducted on nineteen golf courses (GC) in Québec (Canada) during 2001, 2002 and 2003. These golf courses are located along the St-Lawrence River from Montebello (45°39'N, 74°56'W) to Bic (48°22'N, 68°42'W) and were selected because of their contrasting geographic and climatic conditions (see chapters 2 and 3 for location of sampling sites).

4.2.2 Black cutworm scouting

From the end of April to mid-October, every two weeks in 2001 and weekly in 2002 and 2003, black cutworm was scouted on three golf greens at each experimental site, except for the followings: four golf greens were scouted on GC3, two golf greens on GC4 and GC15, and five golf greens on GC14. In addition, GC19 was sampled only during 2001 and 2002 and GC13 during 2002 and 2003. Black cutworm moths were trapped in 2002 and 2003 on the following nine golf courses: GC2, GC3, GC7, GC8, GC9, GC11, GC12, GC14, and GC17 (Table 4.1).

Black cutworm adults were scouted using five pheromone traps (Delta II trap, Cooper Mill LTD, Madoc, Ontario, Canada) hung on trees or shrubs at the periphery of each green (10-20 m from the green) at about 2 m above the ground (Figure 4.1). Traps were installed during the first visit of the season from mid-April to mid-May according to the schedule on Table 4.1. Commercially prepared lures (Cooper Mill LTD, Madoc, Ontario, Canada) with a synthetic pheromone for black cutworm were used and replaced monthly from April to September in 2002 and 2003. Adult males captured were counted and removed from the trap each week throughout the monitoring period.

Black cutworm damage was evaluated on each golf green using three transverse lines (26 m in length and 1m in width) set up at the beginning of the season and sampled at each visit (Figure 4.1). The number of patches showing black cutworm damage was recorded. For

each patch, a soil probe (2.2 cm in diameter) was used to verify the presence and count black cutworm larvae.

All captures were placed in a solution of ethyl alcohol, glycerin, acetic acid and distilled water (8/1/1/5, v/v/v/v) and brought back to the laboratory for identification.

4.2.3 Statistical analysis

Two-way ANOVA was used to assess the effects of year, golf course, and their interaction on the black cutworm adult abundance, expressed as the average number of adult per pheromone trap per sampling date on golf course followed by protected LSD to compare means (PROC GLM, SAS Institute 1999). Time of first black cutworm adult capture, and damage peak period, corresponding to the maximum number of damaged spots observed, were analyzed using one-way ANOVAs followed by protected LSD to compare means (PROC GLM, SAS Institute 1999). Type I error rate was set at $P = 0.05$ for these analysis.

4.3 Results

The black cutworm was found on all golf courses except GC19, the more northerly location. No significant interaction was observed between year and golf course for the abundance of black cutworm adults ($F = 0.52$; $df = 1, 8$; $P = 0.7934$). Black cutworm adults were more abundant in 2002 than in 2003 with an average of 0.88 and 0.30 adult per pheromone trap per sampling date, respectively ($F = 18.27$; $df = 1, 8$; $P < 0.0001$). Significant differences were observed among golf courses ($F = 2.26$; $df = 1, 8$; $P = 0.0230$). GC3, GC7, and GC17 showed highest captures with an average of more than 0.80 adult per pheromone trap per sampling date while GC12 had the lowest captures with less than 0.10. Considering that insecticide applications were made on certain golf greens, data were not analyzed for larvae and damage patches.

Black cutworm adults arrived earlier in 2003 than in 2002 ($F = 25.04$; $df = 1$; $P = 0.0002$) but no difference was observed among golf courses ($F = 0.21$; $df = 8$; $P = 0.9787$) (Table

4.1). Similarly, the first damage peak period appeared earlier in 2003 than in 2002 ($F = 6.12$; $df = 2$; $P = 0.0058$) while no difference was observed between golf courses ($F = 1.06$; $df = 11$; $P = 0.4323$). The first period of damage occurred at the end of June and early July. In 2003, the first peak of damage was observed about 10 days later than in 2001 and 2002. In contrast, no significant difference was observed for the second damage peak period between years ($F = 0.19$; $df = 2$; $P = 0.8264$) and golf courses ($F = 1.06$; $df = 11$; $P = 0.4322$). The second period of damage was recorded from mid- to late August to the end of August.

Figures 4.2 and 4.3 show the seasonal development of the black cutworm on 12 golf courses. Very low black cutworm populations were observed on the remaining seven golf courses and results cannot be analyzed meaningfully. Black cutworm completed two generations per year on all golf courses. In 2002, a third partial generation was observed at the end of September and the beginning of October on five golf courses (GC3, GC7, GC8, GC9 and GC10) located in south western Québec (Figure 4.3).

4.4 Discussion

Larvae of black cutworm were found on all golf courses except GC19 located in Saguenay-Lac-St-Jean, the more northerly site scouted during this study. To our knowledge, black cutworm has never been reported on other crops in this area. However, the true armyworm (*Pseudaletia unipuncta* Haworth), another migrant noctuid which does not overwinter in Québec, has been reported in this area (Fields and McNeil, 1984; MAPAQ Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean – Côte-Nord, 2005). Recent observations confirmed the presence of black cutworm on a golf course located at Sept-Îles, 50°22'N and 66°40'W (Coalition for Responsible Golf, 2006).

This 3-year survey indicates that black cutworm populations are bivoltine on golf courses in Québec. These results are in accordance with Sears et al. (1996) who reported two generations per year on golf courses in Ontario. Occasionally, a third partial generation of black cutworm larvae was observed at the end of September and the beginning of October on golf courses in south western Québec. These individuals are likely to die as they cannot complete their development to the adult stage and migrate. Furthermore, they cannot reach the diapausing stage (egg) and overwinter in Québec. The black cutworm is expected to have a low tolerance to cold temperatures as two closely related species, the true armyworm and the variegated cutworm (*Peridroma saucia* Hübner), do not have the capacity to survive over 8 weeks at 0°C nor 4 weeks at -2°C (Ayre, 1985).

Black cutworm adults usually arrived in early May, the migration being synchronized within a period of less than 2 weeks for all golf courses regardless of their distribution in the province of Québec. A similar pattern was observed for the true armyworm in Québec (Fields and McNeil, 1984). In southern Ontario, captures of black cutworm adults were first reported in mid- to late April (Kullik et al., 2005). These observations concur with the black cutworm adult northward migration described by Showers (1997). Adults captured with pheromone traps were much more abundant in spring than in summer on golf courses. It is not clear if these numbers perfectly matched seasonal patterns of adult abundance as

pheromone traps are more effective to attract migrant black cutworm adults at the beginning of the season (Willson et al., 1981; Gemeno and Haynes, 1998).

The first period of black cutworm damage was observed at the end of June and early July while the second period of damage occurred in late August on golf courses in Québec. This is similar with Ontario where larval periods are observed from late May to the end of June and from late July to the end of August (Sears et al., 1996).

This study allows us to establish that black cutworm is a widespread insect pest causing recurrent turfgrass damage on golf courses in Québec. The current information on the seasonal development of this species would be instrumental to Québec golf course superintendents to optimize the management of the black cutworm and consequently reduce the use of pesticide.

4.5 Acknowledgments

The authors thank Vincent Brousseau, Patricia Désilet, Marie-Eve Gosselin, Guillaume Grégoire, and Élisabeth Taschereau for dedicated technical assistance. We thank all superintendents and golf courses involved in this study. The Québec Turfgrass Research Foundation (QTRF), the Québec Golf Superintendents Association (QGSA), the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), the Royal Canadian Golf Association Foundation, and Bayer Environmental Science provided financial support for this project.

Table 4.1 Dates of pheromone trap setup and initial capture of black cutworm (*Agrotis ipsilon*) adults on golf courses (GC) in Québec, Canada in 2002, and 2003.

GC	2002		2003	
	Trap setup	Initial capture	Trap setup	Initial capture
2	22-04	15-05	18-04	01-05
3	22-04	15-05	21-04	01-05
7	24-04	10-05	22-04	09-05
8	NA ¹	NA	22-04	09-05
9	23-04	17-05	21-04	02-05
11	23-04	16-05	18-04	07-05
12	NA	NA	23-04	09-05
14	10-05	21-05	22-04	05-05
17	13-05	20-05	2-05	13-05

¹data not available.

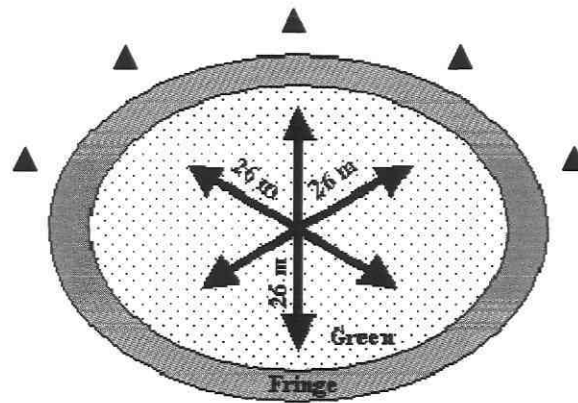
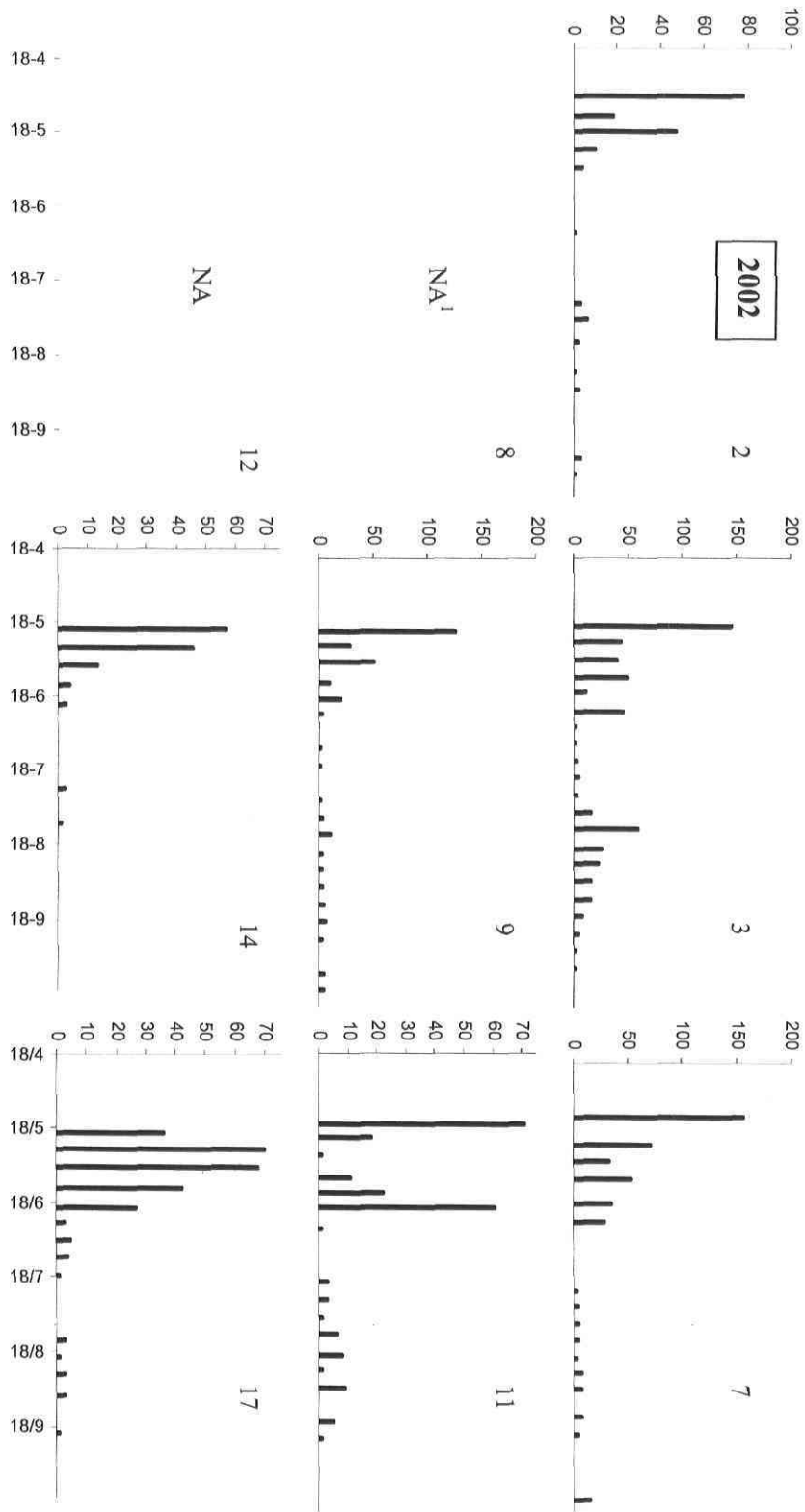


Figure 4.1 Pattern of sampling for the black cutworm (*Agrotis ipsilon*) on golf greens.

Arrows represent transversal lines scouted and triangles indicate pheromone trap location.

Total number of black cutworm adults captured



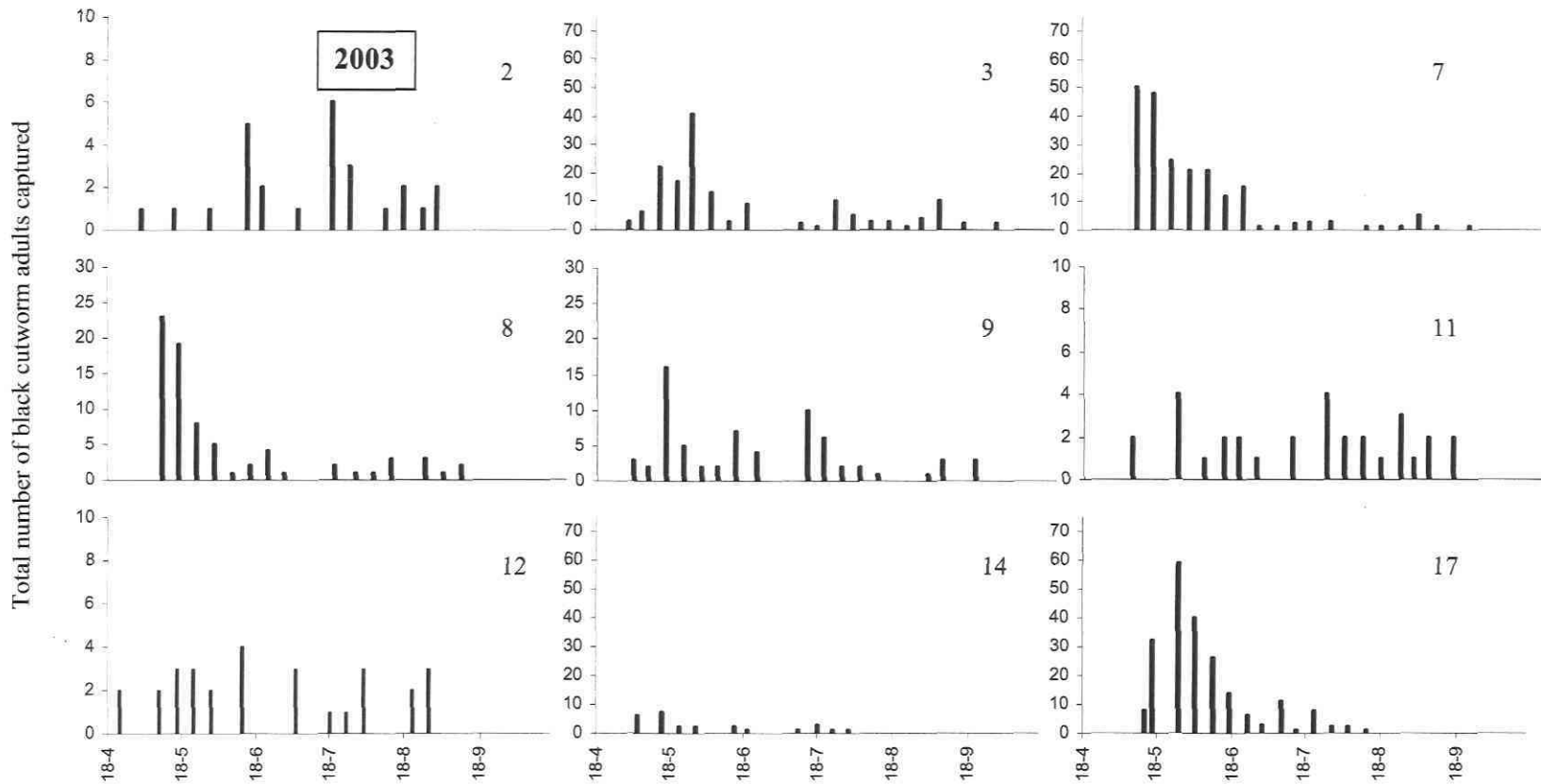
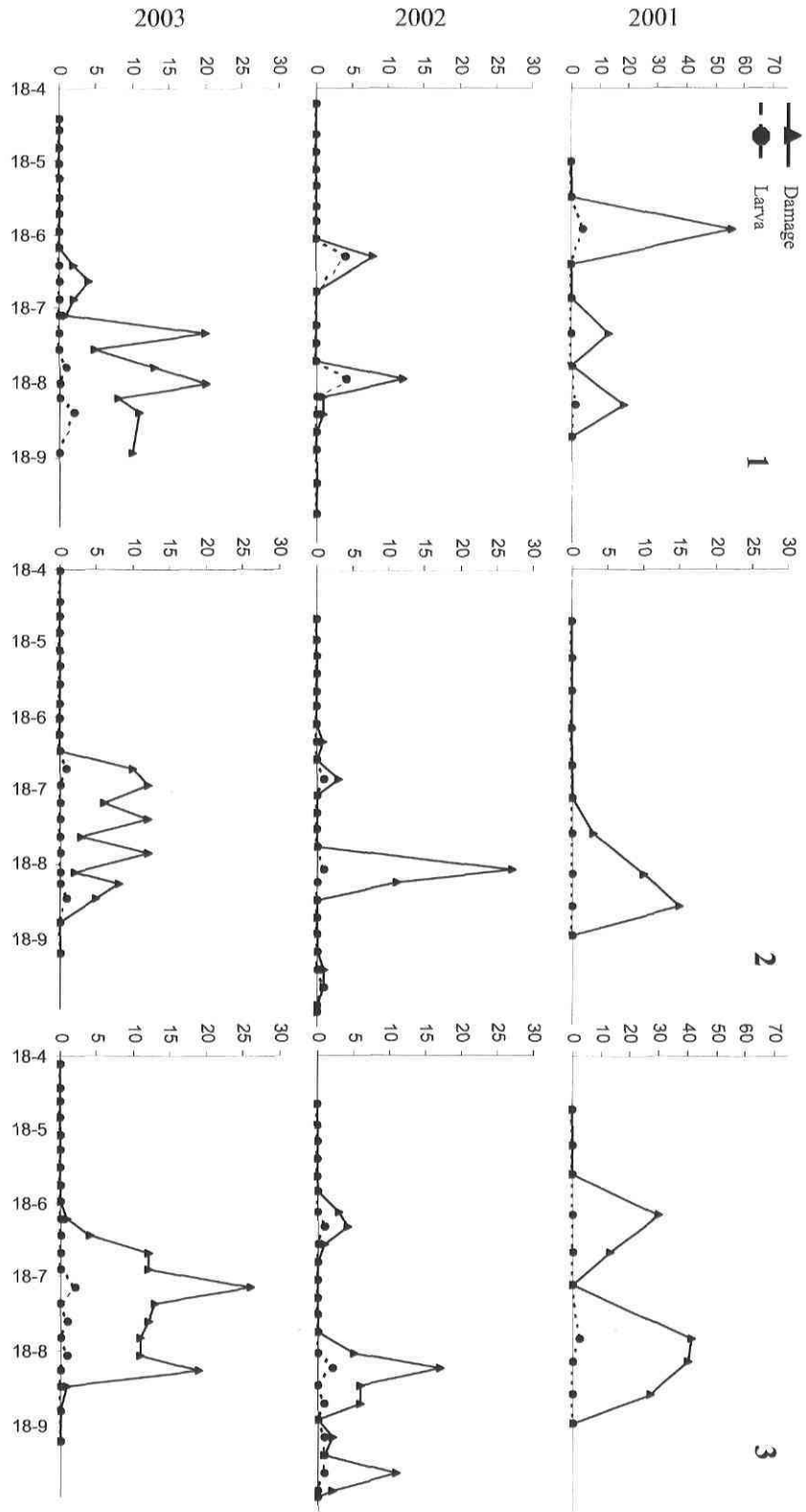


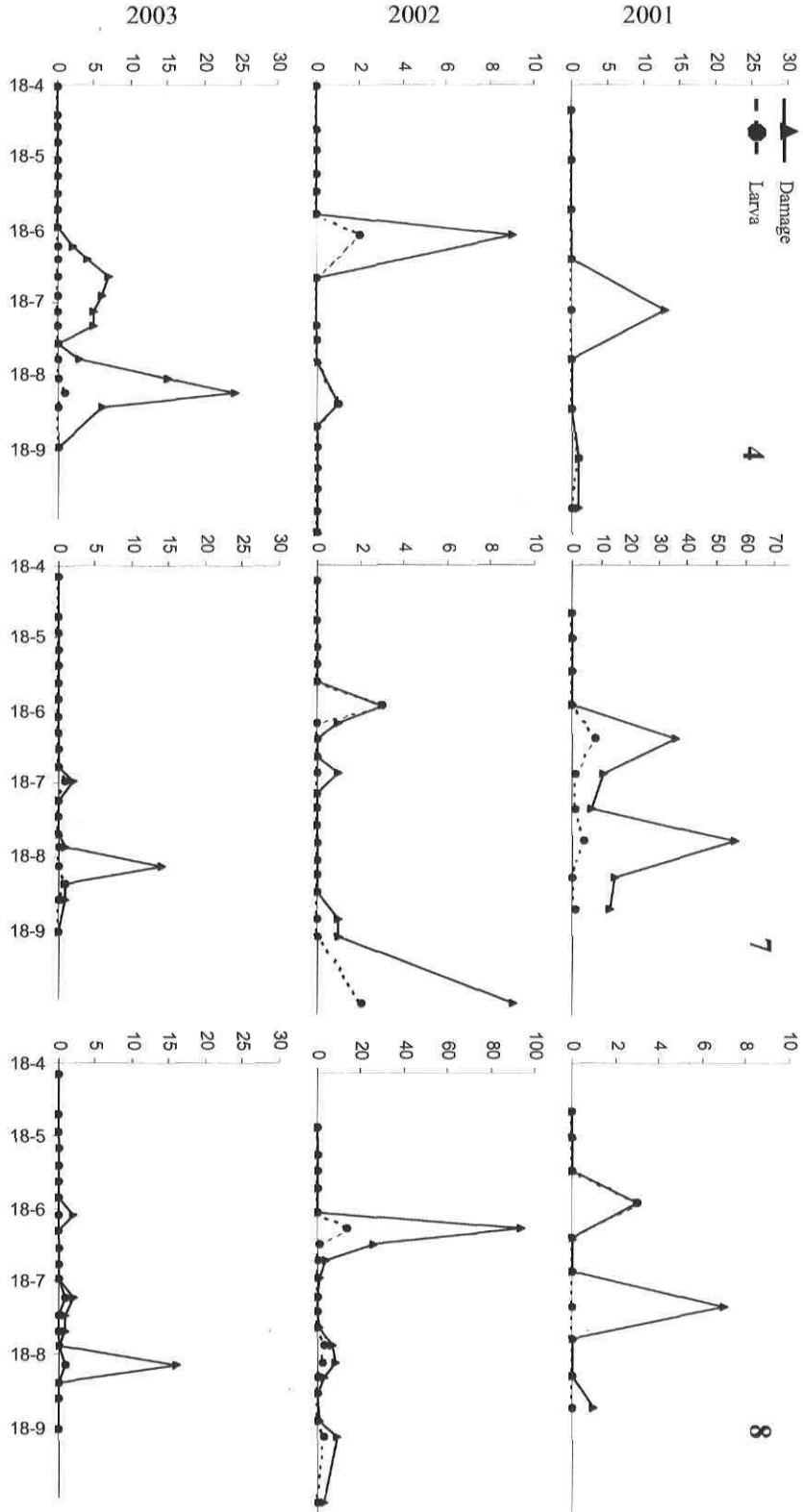
Figure 4.2 Total number of black cutworm (*Agrotis ipsilon*) adults captured in 2002 and 2003 on nine golf courses in Québec, Canada.

The number indicate the golf course as presented in Table 3.1. ¹ Not available

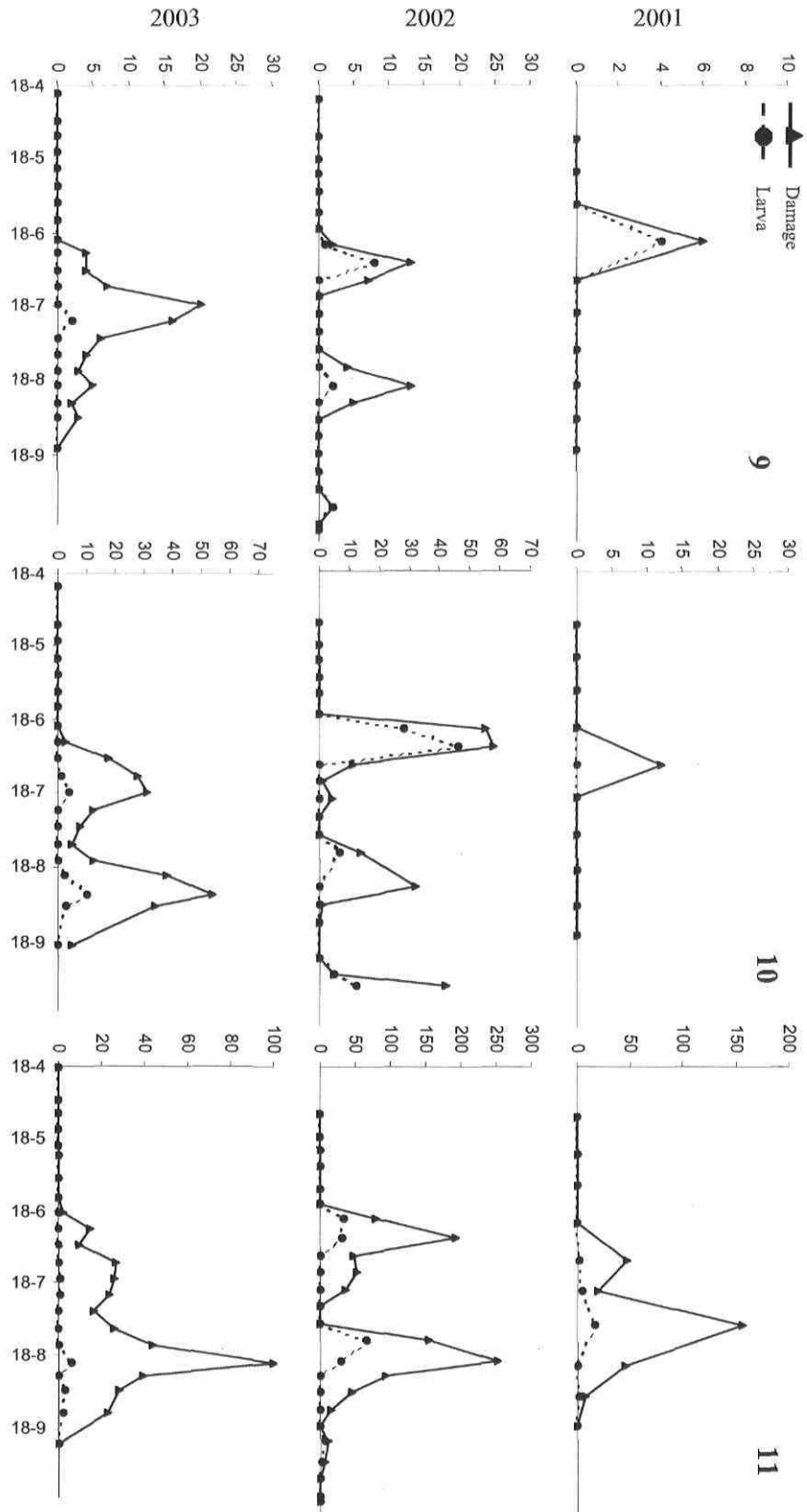
Total number of black cutworm (larva/damage) per golf course



Total number of black cutworm (larva/damage) per golf course



Total number of black cutworm (larva/damage) per golf course



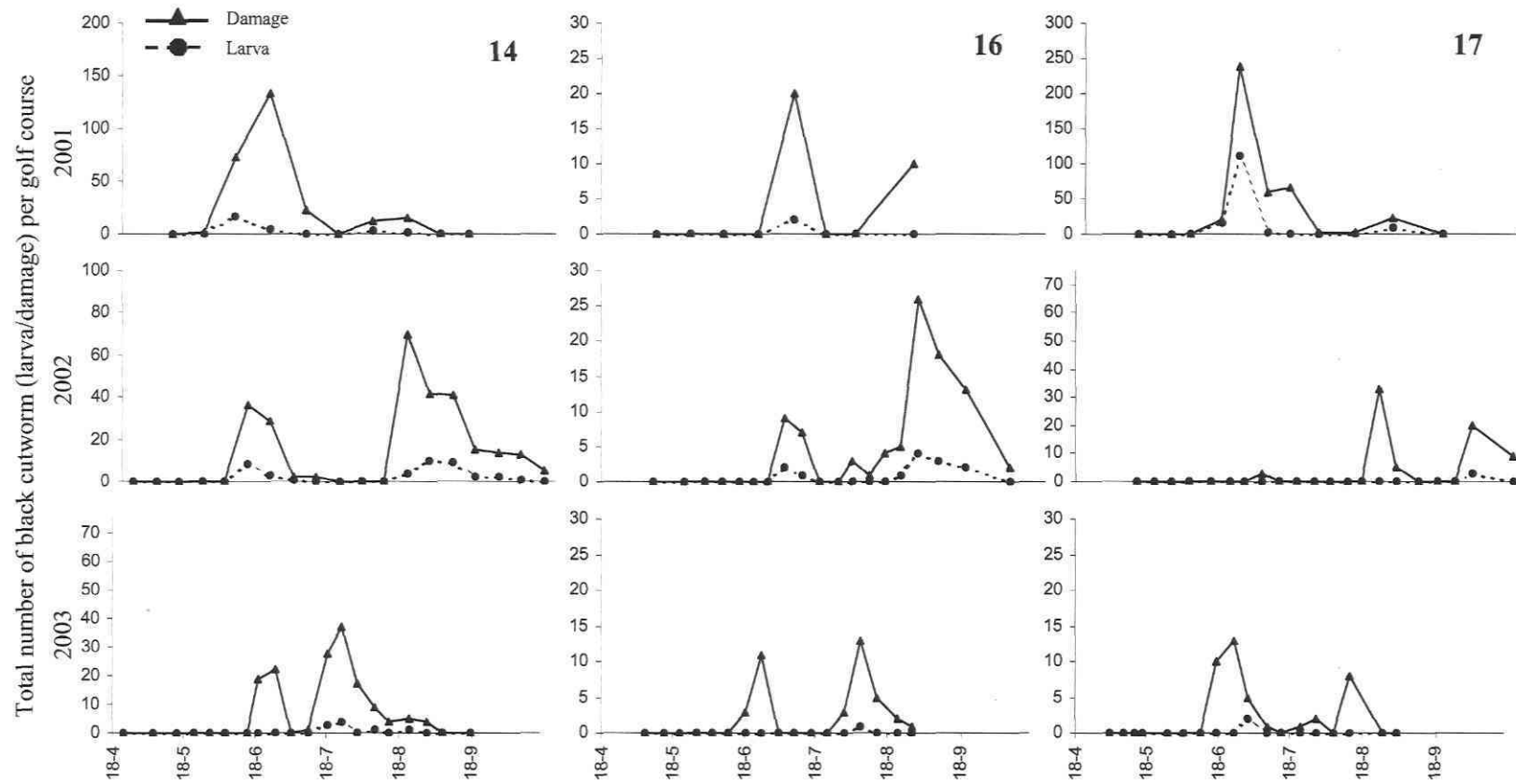


Figure 4.3 Seasonal development of the black cutworm (*Agrotis ipsilon*) on 12 golf courses sampled in Québec, Canada during 2001, 2002, and 2003.

The number indicate the golf course as presented in Table 3.1.

Chapitre 5. Émergence d'un nouveau insecte ravageur du gazon sur les terrains de golf du Québec, la tipule européenne [Diptera: Tipulidae]

Une étude sur l'occurrence de la tipule européenne (*Tipula paludosa*) a été réalisée en 2002 sur 18 terrains de golf de différentes régions climatiques du Québec, Canada. Sur chacun des terrains de golf, le dépistage a été fait hebdomadairement du début mai à la mi-octobre sur trois verts et trois allées à l'aide respectivement d'un quadrat et d'un perce-trou de golf. La tipule européenne, un important insecte ravageur du gazon, a été identifiée sur deux terrains de golf de la région de Québec. Il s'agit d'une première mention de cet insecte au Québec. Les larves de la tipule européenne ont été observées de la mi-mai à la fin d'août et les adultes ont été détectés de la fin août à la mi-septembre. La tipule européenne s'est avérée être nuisible sur les deux terrains de golf et des applications d'insecticides ont été faites afin de contrôler les populations importantes de cet insecte.

Emergence of a new turfgrass insect pest on golf courses in Québec, the European crane fly [Diptera: Tipulidae]

Louis Simard¹, Jacques Brodeur¹, Jon Gelhaus², Élisabeth Taschereau¹, and Julie Dionne^{1,3}

¹Centre de Recherche en Horticulture, Université Laval, Pavillon de l'Environnement, Québec, Québec, Canada, G1K 7P4; corresponding author e-mail: simardl@agr.gc.ca

²Department of Entomology, Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, USA 19103-1195

³Royal Canadian Golf Association, Golf House, 1333 Dorval Drive, Oakville, Ontario, Canada, L6M 4X7

A survey of European crane fly (*Tipula paludosa*) occurrence was performed in 2002 on 18 golf courses from different climatic regions of Québec, Canada. At each golf course, the scouting was done weekly from early May to mid-October on three greens and three fairways using a grid and a golf course hole cutter, respectively. The European crane fly, a major turfgrass insect pest, was identified on two golf courses in the Québec City area. This is the first record of this species in Québec. These European crane fly larvae were observed from mid-May to the end of August and adults were detected from late August to mid-September. The European crane fly was found to be a pest on the two golf courses and insecticide applications were used to control the large populations of this insect.

5.1 Introduction

The European crane fly (ECF), *Tipula paludosa* Meigen (Diptera: Tipulidae) is native to northwestern Europe (Blackshaw and Coll, 1999). In North America, the ECF was first detected in 1952 in Newfoundland, Canada (Beirne, 1971; Jackson and Campbell, 1975). This insect was probably introduced from soil dumped after being used as ship ballast (Beirne, 1971; Fox, 1957). The ECF was later found in other areas: Nova Scotia, 1955 (Fox, 1957); British Columbia, 1965 (Wilkinson and MacCarthy, 1967); Washington State, 1966; Oregon, 1984 (Vittum et al., 1999); and Ontario, 1996 (Charbonneau, 2003). In Québec, more than 300 species of crane flies have been reported (Harper and Lauzon, 1985), but to our knowledge, there is no mention of the occurrence of the ECF.

Larvae of crane flies including ECF larvae are commonly called leatherjackets. They are polyphagous and have been recognized as major pests of grassland and spring cereals (Blackshaw and Coll, 1999). They feed during night and cloudy days on leaves, crowns, and roots of cool-season turfgrasses and may cause economic losses on residential lawns and golf courses (Vittum et al., 1999). High populations of leatherjackets observed on golf greens and tees early in the morning may interfere with the playability of the surfaces.

The ECF is univoltine in North America with four larval instars (Vittum et al., 1999). In Washington State, 95% of adult emergence takes place from late August to early September (Jackson and Campbell, 1975). Oviposition occurs predominantly on the first night of adult life (Vittum et al., 1999). Larvae usually complete the first two instars in less than two months and they enter diapause as third instars. In early spring, larvae feed intensively until moulting to fourth instars in late April and pupate in early August (Jackson and Campbell, 1975). The most severe turf damage occurs in spring when larvae are feeding actively (Vittum et al., 1999). In Ontario, leatherjackets reach the fourth instar by May and turf damage is generally observed at this time (Charbonneau, 2003).

5.2 Materials and methods

A survey of ECF occurrence was performed in 2002 on 18 golf courses from different climatic regions of Québec (Table 5.1). The ECF was scouted weekly from early May to mid-October on three greens and three fairways at each golf course. Only two greens and two fairways were available for scouting at *Club de golf Lévis*. Adults on the green were counted early in the morning before mowing using a 0.25m² grid. On the fairway, a golf course hole cutter (10.8 cm in diameter) was used for sampling ECF larvae in thatch and soil to a depth of 8 cm. Once removed, samples were broken up and insects were counted. A total of 25 grids per green and 25 golf course hole cutter samples per fairway were randomly taken each week on each golf course. A reduced number of samples was collected on June 3 and 20, July 31 and in September and October: June 3rd, no scouting on the greens at St-Michel; June 20th, 5 hole cutter samples/fairway at Lévis and St-Michel; July 31st, 15 hole cutter samples/fairway at St-Michel; September, 10 hole cutter samples/fairway at St-Michel; and October, 10 hole cutter samples/fairway and 10 grids/green at St-Michel and Lévis. All captures were brought back to the laboratory for identification (Alexander and Byers, 1981; Gelhaus, 1986).

5.3 Results and discussion

The survey revealed the presence of the ECF on two golf courses in the Québec City area (Lévis and St-Michel) (Figure 5.1). Total numbers of ECF are presented in the figure because we observed a significant variability between golf course hole cutter and grid counts, which we attribute to the contagious distribution of this insect pest (Jackson and Campbell, 1975). This is the first record of this species in Québec. At these two golf courses, leatherjackets were observed from mid-May to the end of August and adults were detected from late August to mid-September.

A lower population of leatherjackets was observed at *Club de golf St-Michel* because insecticide were applied in fall 2001 and spring 2002. Even though we cannot precisely describe the seasonal pattern of abundance of ECF because cultural practices differed between

golf courses and pesticides were applied, our observations suggest that the ECF completes one generation per year in Québec and its seasonal life cycle is similar to the one described by Jackson and Campbell (1975) for Washington State. Voucher specimens are housed at the Collection d'Insectes du Québec of the Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs (Québec).

The ECF was not detected on the other golf courses we surveyed from other climatic and geographic regions of Québec (Table 5.1). Considering that ECF has been found in northerly latitudes in Europe (Commonwealth Institute of Entomology, 1977), the distribution of this pest is likely to expand in North America. This insect is common in British Columbia (MacDonald, 2002) and has shown a rapid spread in Ontario since 1996 (Charbonneau, 2003).

5.4 Acknowledgements

The Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), the Québec Turfgrass Research Foundation (QTRF), the Québec Golf Superintendents Association (QGSA), and Royal Canadian Golf Association Foundation provided financial support for this project.

Table 5.1 Golf courses in Québec, Canada sampled for European crane fly (ECF), *Tipula paludosa*, in 2002.

Golf course		Location	ECF Presence
1 Club de golf Sherbrooke	Sherbrooke	45°24'N, 71°54'W	No
2 Whitlock golf and Country Club	Hudson	45°27'N, 74°09'W	No
3 Club de golf Saint-Raphaël	Île Bizard	45°31'N, 73°39'W	No
4 Le Parcours du Cerf	Longueuil	45°32'N, 73°31'W	No
5 Country Club of Montréal	Saint-Lambert	45°32'N, 73°31'W	No
6 Club de golf Islesmere	Laval	45°35'N, 73°45'W	No
7 Club de golf La Providence	Saint-Hyacinthe	45°37'N, 72°57'W	No
8 Club de golf Saint-Hyacinthe	Saint-Hyacinthe	45°37'N, 72°57'W	No
9 Hillsdale Golf and Country Club	Mirabel	45°39'N, 74°05'W	No
10 Club de golf Saint-Janvier	Saint-Janvier	45°39'N, 74°05'W	No
11 Fairmont Le Château Montebello	Montebello	45°39'N, 74°56'W	No
12 Club de golf Piedmont	Piedmont	45°54'N, 74°08'W	No
13 Club de golf Montcalm	Saint-Liguori	46°00'N, 73°34'W	No
14 Club de golf de Lévis	Levis	46°48'N, 71°11'W	Yes
15 Club de golf Royal Charbourg	Charlesbourg	46°51'N, 71°16'W	No
16 Club de golf Saint-Michel	St-Michel-de-Bellechasse	46°52'N, 70°55'W	Yes
17 Club de golf du Bic	Bic	48°22'N, 68°42'W	No
18 Club de golf de Chicoutimi	Chicoutimi	48°25'N, 71°04'W	No

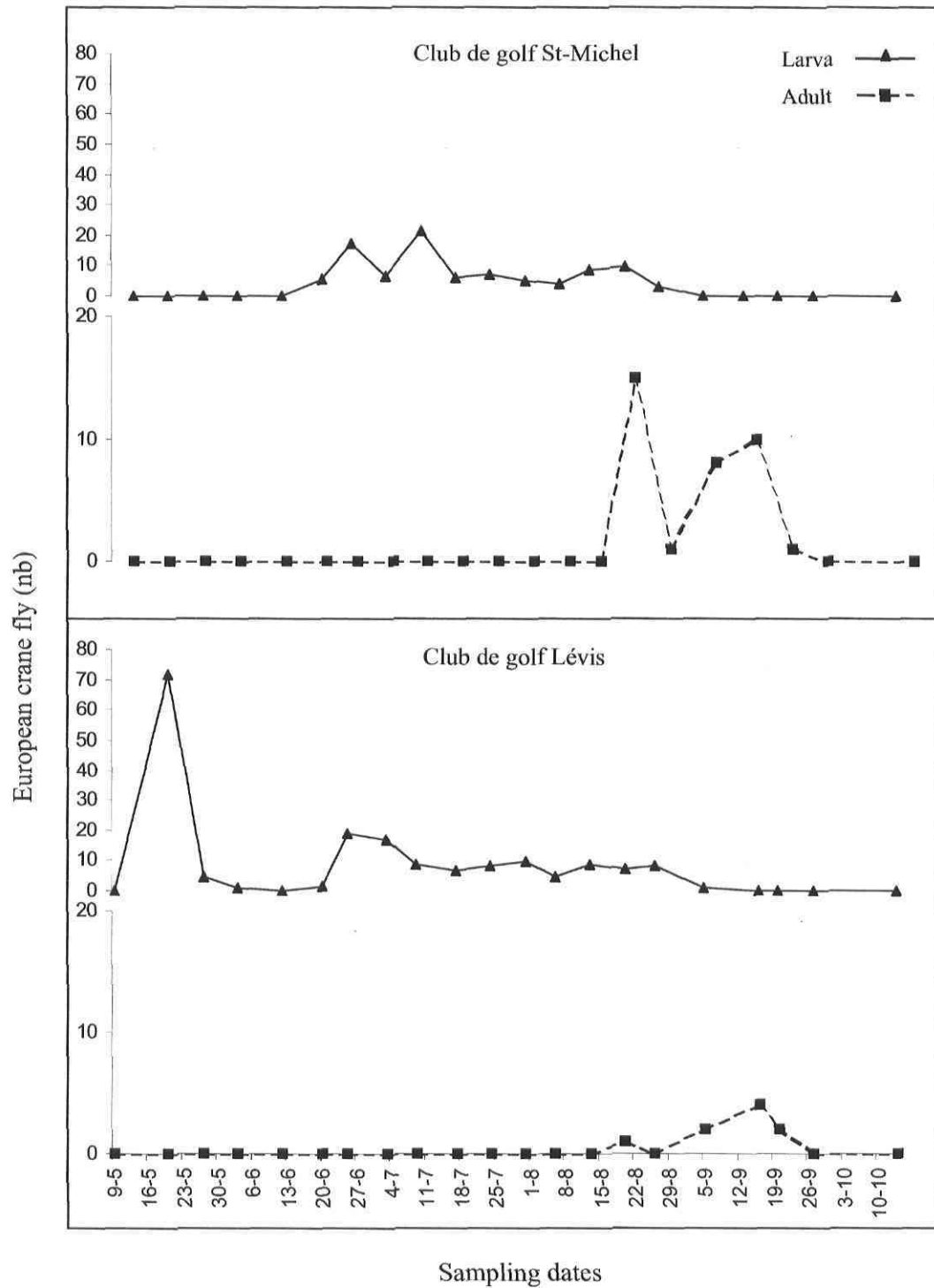


Figure 5.1 Seasonal abundance of the European crane fly, *Tipula paludosa*, on two golf courses in the Québec City area during 2002.

Chapitre 6. Occurrence naturelle des nématodes entomopathogènes (Rhabditida: Steinernematidae) sur les terrains de golf de l'est du Canada.

Un échantillonnage de nématodes entomopathogènes (NE) sur 38 terrains de golf a été conduit dans différentes régions climatiques de l'Ontario et du Québec, deux provinces canadiennes. Durant l'automne 2002 et 2003, des échantillons de sol ont été collectés sur des verts, des allées et l'herbe longue de terrains de golf. NE ont été isolés à partir du sol en utilisant des larves de la fausse-teigne (*Galleria mellonella*) et du charançon de la carotte (*Listronotus oregonensis*) comme appât. Des 436 échantillons (218 sites), 11 contenaient NE avec une prévalence de 2,5% pour cette étude. Toutes les souches de NE (*Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae* and *S. kraussei*) ont été isolées à partir de l'herbe longue. Les variations morphologiques de notre isolat de *S. kraussei* (3SK) ont été comparées avec des isolats des États-Unis et de l'Europe et analysées par une analyse multivariable. Nos résultats montrent que 3SK est similaire à l'isolat de Parishville (de New York, USA) lequel a aussi un pore excréteur localisé plus postérieurement que tous les autres isolats examinés. Parmi les isolats nord-américains, l'isolat 3SK est groupé avec l'isolat de Parishville. Ces deux isolats sont plus similaires morphologiquement/morphométriquement l'un et l'autre que tous les autres isolats examinés.

Natural occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae) on golf courses in eastern Canada

Louis Simard¹, Guy Bélair¹, S. Patricia Stock², and Julie Dionne³

¹Horticulture Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, 430, Gouin Blvd., St-Jean-sur-Richelieu, QC J3B 3E6, Canada.

²Department of Entomology, University of Arizona, Tucson, AZ 85721-0036, USA.

³Royal Canadian Golf Association, Golf House, 1333 Dorval Drive, Oakville, ON L6M 4X7, Canada; Department of Plant Agriculture, University of Guelph, Guelph, ON N1G 2W1, Canada.

In the Fall of 2002 and 2003, a survey of entomopathogenic nematodes (EPN) was conducted in different climatic regions of Ontario and Québec provinces, Canada. Soil samples were collected on golf course greens, fairways and roughs. EPN were isolated from soil by using wax moth (*Galleria mellonella*) and carrot weevil (*Listronotus oregonensis*) larvae as baits. Of the 436 samples (218 sites), 11 contained EPN. All EPN-positive samples were isolated from roughs. Total prevalence of EPN for this study was 2.5%. Recovered EPN were identified as *Steinernema carpocapsae*, *S. feltiae* and *S. kraussei* based on classic morphological/morphometric studies and molecular methods. Morphometric traits of *S. kraussei* isolate (3SK) were compared with USA and European isolates and analyzed by multivariate analysis. Our results demonstrated the 3SK strain of *S. kraussei* is similar to the Parishville isolate (from New York, USA) which also has the excretory pore more posteriorly located than all other *S. kraussei* isolates examined. Within the North American isolates, 3SK isolate clustered with the Parishville isolate. These two isolates were more morphologically and morphometrically similar with each other than with any other isolate examined.

6.1 Introduction

Several entomopathogenic nematodes (EPN) species have been isolated in Canada. Among them, *Steinernema carpocapsae* (Weiser, 1955) is the only species reported from eastern Canada (Bélair et al., 1984; Bélair et al., 2001). This nematode was recovered from carrot weevil larvae *Listronotus oregonensis* LeConte (Coleoptera: Curculionidae) and, also isolated from soil samples from vineyards in Québec. Other EPN species such as *S. feltiae* (Filipjev, 1934), *S. kraussei* (Steiner, 1923), *Heterorhabditis megidis* (Poinar, Jackson and Klein, 1987) and *S. affine* (Bovien, 1937) have been isolated from diverse habitats (i.e. coniferous and deciduous forests, grassland, orchards, plantations and vineyards in western Canada (British Columbia, Alberta and Yukon) (Mráček and Webster, 1993; Stock et al., 2000; Mráček et al., 2005).

Turfgrass management in Canada is currently under pressure to reduce the use of chemical pesticides. In this regard, emphasis has been placed on the implementation of biological agents such as EPN (City of Toronto, 2005; City of Vancouver, 2005; Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2005a). Numerous studies have shown the efficacy of EPN for the control of major turfgrass insect pests in golf courses and turfgrass (Grewal et al., 2005). Therefore, isolation of new EPN strains/species that could be better adapted to golf courses or other turfgrass insect pests has been promoted in recent years. Until now, no surveys have been undertaken to isolate EPN in golf courses and/or turfgrass in Canada.

Over the years, geographical and ecological separation of the EPN have led to adaptations and ultimately the formation of new species or strains (Poinar, 1990). The speciation and the evolution of EPN to specific hosts, climate conditions and ecological habitats can be selected for improving the efficacy of biological control. *S. glaseri* (Steiner, 1923) isolated from the Japanese beetle *Popillia japonica* Newman (Coleoptera: Scarabaeidae) in New Jersey, USA was the first effort to use EPN for pest control and was found to be more effective against white grubs species (Glaser, 1932; Glaser and Farrell, 1935; Simard et al., 2001; Grewal et al., 2005). Furthermore, the nematode *S. scapterisci* (Nguyen and Smart,

1990) isolated from the tawny mole cricket *Scapteriscus vicinus* Scudder (Orthoptera: Gryllotalpidae) in Uruguay and Argentina was the first commercial success of EPN for biological control of mole crickets in USA (Nguyen and Smart, 1988; Parkman and Smart, 1996). *S. scapterisci* showed an ability to recycle under golf course management practices (Parkman et al., 1994). Others studies reported differences between EPN isolates in their ability to infect insects at low temperature (Griffin and Downes, 1994; Mráček et al., 1997).

Several studies have demonstrated that golf courses have conservation value with increased abundance, species richness and diversity than the more urban areas surrounding the golf courses (Boag and Yeates, 1998; Porter et al., 2004; Tanner and Gange, 2005; Woolbright et al., 2005). Soil nematode biodiversity in grassland was shown to be higher than in tropical rainforest and temperate coniferous forests (Boag and Yeates, 1998). Thus, it is suggested that golf courses could harbour some EPN adapted to the management practices in this man-made environment.

The objective of this research was to survey golf courses from different climatic areas in eastern Canada for the isolation of EPN.

6.2 Materials and methods

6.2.1 Soil Sampling

A total of 38 golf courses (GC) were surveyed in Québec during fall 2002 with samples taken from fairways and greens. Because no EPN were found in any samples from fairways or greens, samples were taken only from roughs the following year in Ontario (Figure 6.1; Table 6.1). Age of golf courses ranged from 2 to 130 year old.

In each golf course, three sites (i.e. golf holes including greens and fairways) were sampled. At each site, two separate soil samples were collected using a soil probe (2.2 cm diameter), and covering an average of 500 m²/sample. Each soil sample (approximately 1.5 kg) was made out of twenty soil plugs taken randomly from 0 to 15 cm depth. In Québec, number

of sampling sites was variable: GC15 and GC4 with two golf holes, GC3 with four golf holes, GC14 with five greens only, and GC19 with no sample in the roughs. A total of 664 soil samples was collected on 57 greens, fairways, and roughs in Ontario and 58 greens, 53 fairways and 50 roughs in Québec. Soil samples were placed in plastic bags and stored at 4°C until further analysis.

6.2.2 Soil analysis

All soil analyses were performed by the Laboratory Services at the University of Guelph (Guelph, Ontario, Canada) except for the particle size distribution that was done at the chemistry laboratory of the Horticultural Research and Development Center (Agriculture and Agri-Food Canada at St-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada). Soil samples were analyzed for available N, P, K, Ca, Mg by mass spectrometry and total N was analyzed with an elemental analyzer (Model LECO, Leco Corp., St-Joseph, MI). Soil pH, organic matter content and particle size distribution were also determined.

6.2.3 Nematode isolation

EPN were recovered from soil samples using greater wax moth, *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) larvae as bait according to procedures described by Bedding and Akhurst (1975). Bioassays were performed on soil samples collected from greens, fairways, and roughs in Québec and on soil samples collected from roughs only in Ontario (436 samples, 218 sites). Briefly, for each sample, 400 g of soil were placed in 500-ml plastic containers and five *G. mellonella* larvae were added to each sample. Each plastic container was covered with a lid and incubated at room temperature (22°C) in the dark for 5 days. After this period, dead *G. mellonella* larvae were removed and placed in modified White traps at room temperature (22°C) for 10 days in the dark. Presence of nematodes was checked every 2 days in each Petri dish. Emerging nematodes from well preserved, odorless cadavers and with apparent synchronous larval stage were collected and stored at 4°C for 2 weeks on a layer of distilled water at the bottom of a flat-bottomed culture flask.

Nematodes were checked for positive killing of healthy *G. mellonella* larvae in a Petri dish bioassay (250IJs/5 *G. mellonella*, 22°C).

Carrot weevil, *Listronotus oregonensis*, larvae (Coleoptera; Curculionidae) were also considered as alternative insect baits for soil samples collected on greens and fairways from Québec. For each soil sample, five 15-cm³ subsamples were deposited in a 30-cm³ transparent plastic containers (Solo[®]) containing one late instar larva of the carrot weevil. Containers were placed in the dark at 22°C for 5 days. After this period, dead carrot weevil larvae were removed and placed on a moistened filter paper (Whatman No. 2) in a 90-mm Petri-dish at room temperature (22°C) for 10 days in the dark. Presence of nematodes was checked every 2 days in each container. From this bioassay, no nematodes were recovered.

6.2.4 Identification of nematode isolates by satellite DNA probes

Satellite DNAs have been described to be species-specific and their usefulness as markers for a quick identification from several species of Steinernematidae and Heterorhabditae nematodes has been demonstrated earlier (Grenier et al., 1995; Grenier et al., 1996). For each isolate 10 IJs were picked, squashed on a nylon membrane and hybridized with the Digoxigenin labelled satellite DNA (*S. carpocapsae* SK27, *S. glaseri* K72 and *S. feltiae* N). Pre-hybridizations and hybridizations were carried out as described by Grenier et al. (1996). After hybridizations, membranes were incubated (30 min) in Anti-DIG-AP Conjugate (Boehringer Mannheim), washed (2 times, 15 min each) in a detection solution, covered with CDP-Star (5 min) and exposed to X-Ray film (3M).

6.2.5 Identification of *S. kraussei* isolates and morphometric traits

The species *S. kraussei* was identified by the method described by Nguyen et al. (2001). A total of 50 individuals (25 males and 25 infective juveniles) of the *S. kraussei* isolated from Québec, Canada (3SK) were measured using an Olympus inverted scope (ISX-81) with motorized stage and digital image system. Morphometric traits were selected according to criteria suggested by Stock et al. (2000).

6.2.6 Multivariate Statistics

Variation in specified morphometric traits among the 3SK and all other *S. kraussei* populations was examined by principal component analysis following criteria described by Stock et al. (2000). Mahalanonis distances representing between-isolates differences were calculated and phenographs were constructed using unweighted pair-group arithmetic average (UPGMA) cluster analysis following criteria by Stock et al. (2000).

6.3 Results

Of a total of 436 samples (218 sites), eleven EPN isolates were recovered for 2.5% prevalence on golf courses in Ontario and Québec. All golf course roughs yielded indigenous EPN in both Ontario and Québec. No EPN were isolated from greens and fairways when using both a lepidoptera (*G. mellonella*) and a coleoptera (*L. oregonensis*) as baits in Québec samples. Considering these results, soils from greens and fairways from Ontario were not screened for EPN.

From a total of 100 samples representing 50 sites from Québec golf course roughs, four EPN were isolated (4% prevalence). In Ontario, 6% of prevalence was obtained with seven EPN isolates in the roughs from 114 samples/57 sites. The following EPN species were isolated: *S. carpocapsae*, *S. feltiae* and *S. kraussei* (Table 6.2). Contrasting climatic conditions and soil analysis were observed on site with the presence of EPN (Table 6.2). Particle size distribution differed among golf course roughs sampled and EPN were found in different soil types (Figure 6.2).

The 3SK isolate possessed all morphological and morphometric diagnostic traits typical of *S. kraussei* (Table 6.3). These traits include the body size of the third stage infective juveniles (797-1102 μm), the patterns of the lateral field with eight ridges in the midbody region; the location of the excretory pore in the first generation males, the presence of a tail micro and the size and shape of the male spicule and gubernaculum. The 3SK isolate most

resembles the Parishville isolate, which also has the excretory pore more posteriorly located than all other isolates examined.

The multivariate analysis for the males showed that the first principal component (PC1) had the largest eigenvalue (51%) and the first three principal components account for 92% of the total variation (Table 6.4). PC1 was mostly influenced by the maximum body width (MBW). PC2 was most positively weighted by the excretory pore position (EP) and the tail length (T) was the variable that influenced the most in PC3. For infective juveniles, the first three PC accounted 85 % of the total variation (Table 6.4). PC1 was mostly influenced by the width at the anus (WA). PC2 and PC3 were more positively weighted by the distance from the anterior end to the esophagus base (ES) and by the maximum body width (MBW), respectively.

Mahalanobis distances between all studied populations were used to compute UPGMA phenograph (Figure 6.3). As in the study by Stock et al. (2000) both male and IJ phenographs for all western North American isolates were clustered separately from the European ones. Within the North American isolates the 3SK (Québec) isolate clustered with the Parishville isolate (from New York, USA). These two isolates were more morphologically and morphometrically similar with each other than with any other isolate examined.

6.4 Discussion

Our survey recovered *S. carpocapsae*, *S. feltiae* and *S. kraussei* from soil in Ontario and Québec. This is the first mention of *S. carpocapsae* in Ontario, *S. kraussei* in Québec, and *S. feltiae* in both Ontario and Québec. In Canada, Mráček and Webster (1993, 2005) have also isolated *S. feltiae* from different regions of contrasting temperatures in British Columbia, Alberta, and Yukon. Experiments conducted in laboratory against the European crane fly, *Tipula paludosa* Meigen (Diptera: Tipulidae) suggested that our *S. feltiae* isolates demonstrated different optimal temperature activity (Simard et al., 2006a).

Five different *S. carpocapsae* isolates were found on golf courses in Ontario and one isolate in Québec. These two provinces are the only ones in Canada where *S. carpocapsae* has been isolated (Bélaïr et al., 1984; Bélaïr et al., 2001; Mráček et al., 2005). In USA, *S. carpocapsae* has been reported more frequently in eastern States (Hominick, 2002). As observed for *S. feltiae* isolates, *S. carpocapsae* isolates were found on golf course roughs with different soil types including silt loam, silt loamy loam, loam and sandy loam.

Based on earlier surveys, steinernematid or heterorhabditid nematodes are easier to isolate in soil habitats where high populations of susceptible insect hosts occur (Mráček and Webster, 1993; Bélaïr et al., 2001). On golf courses, Woolbright et al. (2005) have shown that lower mowing regimes increased biodiversity of the arthropod community (insects and spiders) in out-of-the-way areas. Grassy areas mowed regularly harboured lower number of arthropods (Woolbright et al., 2005). Based on a study made in the United Kingdom, two indicator taxa (birds, ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and bumblebees (Hymenoptera: Apidae) showed higher species richness and higher abundance on the golf course habitat than in nearby farmland (Tanner and Gange, 2005). In our survey, EPN were found only on golf course roughs but not on greens and fairways, suggesting that the roughs would contain greater species richness as suggested by Woolbright et al. (2005). Now, it is also important to mention that the rough areas have a reduced input in pesticides when compare to the greens and fairways, and have an impact of the biodiversity. A survey of other soil micro-organisms such as fungi, bacteria, free-living and phytoparasitic nematodes on roughs, fairways and greens would be needed to support this hypothesis.

Four different *S. feltiae* isolates were found in Ontario (2) and Québec (2). These *S. feltiae* isolates were found on golf course roughs with different soil types including sand and silt loams, and organic. Sturhan (1999) suggested that soil type is apparently not significant in the habitat specificity of Steinernematidae. Our four *S. feltiae* isolates were collected on golf courses located in different climatic areas with a range of average daily minimum and maximum air temperature of -17.6 and 26.6°C . We demonstrated that a commercial *S. feltiae* is more effective than both BIC14A and RE6A isolates against the European crane fly, *Tipula paludosa* Meigen (Diptera: Tipulidae) larvae at low temperature (5°C) (Simard

et al., 2006a). However, at 15°C, BIC14A was the most virulent at low concentration. Based on the fact that BIC14A isolate was originally found under maritime climate conditions, this suggests that the optimal temperature activity of this nematode is higher than the commercial *S. feltiae*. Experiments performed on the black cutworm, *Agrotis ipsilon* Hufnagel (Lepidoptera: Noctuidae) have shown contrasting virulence of the different isolates of *S. carpocapsae* and *S. feltiae*, collected on golf courses in Ontario and Québec compared to the commercial formulations (L. Simard and G. Bélair, unpublished data).

The isolation of *S. kraussei* from soil in eastern Canada corroborates the holarctic distribution of the species suggested by Stock et al. (1999). The *S. kraussei* isolate was found on a golf course (GC3) that was recently built (1995) on a woodland habitat. *S. kraussei* is known to be mainly a forest species. In addition, high populations of turfgrass insect pests such as black turfgrass ateniid *Ataenius spretulus* Haldeman (Coleoptera: Scarabaeidae), *Aphodius granarius*, L. (Coleoptera: Scarabaeidae) and annual bluegrass weevil *Listronotus maculicollis* Dietz (Coleoptera: Curculionidae) on this golf course year after year could help to maintain nematode population in the soil (see chapters 2 and 3).

For the future use of EPNs in Canada, the isolation of indigenous nematodes is of great interest considering the actual discussion about new regulation on commercialization of biological control agents, which would eventually ban the application of exotic organisms. The Canadian Pest Management Regulatory Agency (PMRA) is not currently recognizing *S. kraussei* as a nematode species occurring in North America (Pest Management Regulatory Agency, 2006). Consequently, an evaluation of the potential for both direct and indirect impacts on health and environment of this species must be done before its importation in Canada. The isolation of *S. kraussei* on golf course in Canada could contribute to the addition of this species on the PMRA list and facilitate the use *S. kraussei* as biological control agent.

6.5 Acknowledgements

The authors thank Vincent Brousseau, Nathalie Dauphinais, Yvon Fournier, Erin Jones for dedicated technical assistance, and Dr. Jacques Brodeur for the critical review of the manuscript. We thank all golf course superintendents participating to this research project for their availability and implication. This research was conducted through a collaborative research agreement between the Ontario Golf Superintendent Association and the Agriculture and Agri-Food Canada, Matching Investment Initiative program.

Table 6.1 Golf courses surveyed for entomopathogenic nematodes in Ontario and Québec, Canada.

Golf course	Location	Longitude/Latitude	Age (years)	Sampling date
Québec				
GC1	Sherbrooke	45°24'N, 71°54'W	78	02-10-05; 03-08-30
GC2	Hudson	45°27'N, 74°09'W	94	02-08-15; 03-09-11
GC3	Ile Bizard	45°31'N, 73°39'W	11	02-08-15; 03-09-11
GC4	Longueuil	45°32'N, 73°31'W	14	02-09-30; 03-09-31
GC5	St-Lambert	45°32'N, 73°31'W	96	02-10-16; 03-09-24
GC6	Laval	45°35'N, 73°45'W	87	02-08-16; 03-09-02
GC7	St-Hyacinthe	45°37'N, 72°57'W	39	02-10-12; 03-09-18
GC8	St-Hyacinthe	45°37'N, 72°57'W	77	02-10-12; 03-09-18
GC9	Mirabel	45°39'N, 74°05'W	53	02-10-12; 03-09-02
GC10	St-Janvier	45°39'N, 74°05'W	45	02-09-30; 03-08-29
GC11	Montebello	45°39'N, 74°56'W	77	02-08-15; 03-09-11
GC12	Piedmont	45°54'N, 74°08'W	43	02-10-01; 03-08-28
GC13	St-Liguori	46°00'N, 73°34'W	29	02-10-02; 03-08-29
GC14	Louiseville	46°15'N, 72°57'W	96	02-10-02; 03-09-17
GC15	Lévis	46°48'N, 71°11'W	83	02-08-20; 03-09-01
GC16	Charlesbourg	46°51'N, 71°16'W	12	02-08-19; 03-08-28
GC17	St-Michel	46°52'N, 70°55'W	14	02-08-20; 03-09-01
GC18	Bic	48°22'N, 68°42'W	74	02-10-14; 03-09-13
GC19	Chicoutimi	48°25'N, 71°04'W	50	02-08-19
Ontario				
GC20	Leamington	42°02'N, 82°35'W	77	03-08-07
GC21	St.Thomas	42°46'N, 81°12'W	107	03-08-07
GC22	Welland	42°58'N, 79°15'W	6	03-08-06
GC23	Niagara-on-the-lake	43°15'N, 79°04'W	131	03-08-06
GC24	Cambridge	43°22'N, 80°19'W	100	03-08-15
GC25	Kitchener	43°27'N, 80°28'W	76	03-08-14
GC26	Mississauga	43°34'N, 79°39'W	110	03-08-14
GC27	Toronto	43°38'N, 79°22'W	110	03-08-13
GC28	Weston	43°43'N, 79°31'W	91	03-08-14
GC29	Richmond Hill	43°52'N, 79°27'W	14	03-08-13
GC30	Picton	44°00'N, 77°07'W	100	03-08-05
GC31	Peterborough	44°17'N, 78°19'W	109	03-08-05
GC32	Innisfil	44°17'N, 79°39'W	82	03-08-08
GC33	Jackson's Point	44°19'N, 79°22'W	85	03-08-08
GC34	Collingwood	44°28'N, 80°13'W	41	03-08-08
GC35	Gravenhurst	44°55'N, 79°22'W	3	03-08-12
GC36	Port Carling	45°07'N, 79°34'W	14	03-08-12
GC37	Renfrew	45°28'N, 76°40'W	77	03-08-19
GC38	Redbridge	46°22'N, 79°16'W	4	03-08-20

Table 6.2 Entomopathogenic nematode species (EPN) isolated from soil on golf courses in Ontario and Québec and the climatic and soil characteristics at these sites.

Golf course	Climate ¹				Soil								EPN Species
	Av. daily temperature		Av. Yr. precipitations		Nutrients								
	Min (°C)	Max (°C)	Rain (mm)	Snow (cm)	N ²	K ³	P ³	Ca ³	Mg ³	OM ²	pH	Type	
<u>Quebec</u>													
3	-14.9	26.3	760.1	214.2	0.14	120	29	1477	150	2.5	6.8	Sandy loam	<i>Steinernema kraussei</i>
8	-15.4	26.5	856.1	202.0	0.51	282	39	3488	334	9.5	6.4	Silt loam	<i>Steinernema carpocapsae</i>
13	-16.8	26.5	782.3	226.1	0.28	94	29	1595	151	6.5	6.4	Sandy loam	<i>Steinernema feltiae</i>
18	-15.7	23.2	642.0	271.7	0.48	91	35	4783	174	14.4	6	Organic	<i>Steinernema feltiae</i>
<u>Ontario</u>													
27	-7.3	26.4	709.8	133.1	0.30	64	20	3689	169	5.2	7.5	Sandy loam	<i>Steinernema carpocapsae</i> , <i>S. feltiae</i>
28	-11.1	26.9	693.1	104.9	0.33	145	23	2533	284	5.5	6.4	Silt loam	<i>Steinernema carpocapsae</i>
30	-11.2	25.4	759.0	205.6	0.23	112	6	5982	257	4.1	7.5	Silt loamy loam	<i>Steinernema carpocapsae</i>
34	-10.2	24.7	707.1	259.1	0.25	81	6	4333	182	4.5	7.5	Loam	<i>Steinernema carpocapsae</i>
					0.21	71	11	3665	83	3.6	7.6	Sandy loam	<i>Steinernema carpocapsae</i>
37	-17.6	26.6	616.0	195.5	0.18	91	23	612	81	3.4	5.3	Sandy loam	<i>Steinernema feltiae</i>

¹ Canadian Climate Normals 1971-2000; Data source: Environment Canada www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca

² mg/kg dry

³ %dry

Table 6.3 Diagnostic morphometric traits of males and IJ of *Steinernema kraussei*.

(all measurements are in μm)

n=20	Isolates											
	3SK*		SW**		Sierra Nevada**		Parishville**		Westphalia**		Nash**	
	Male	IJ	Male	IJ	Male	IJ	Male	IJ	Male	IJ	Male	IJ
TBL	1330 ± 32 (1298-1670)	1100 ± 33 (880-1200)	1398 ± 58 (1092-1696)	964 ± 69 (816-1100)	1413 ± 38 (1192-1796)	934 ± 29 (875-1002)	1375 ± 11 (1273-1775)	1009 ± 41 (896-1225)	1532 ± 88 (1138-1654)	950 ± 22 (797-1102)	1412 ± 19 (1209-1604)	945 ± 19 (792-1070)
MBW	150 ± 15 (118-165)	35 ± 5.0 (30-40)	125 ± 6.2 (119-135)	31 ± 2.7 (26-37)	135 ± 11.4 (124-156)	28 ± 2.3 (27-31)	143 ± 11 (109-202)	50 ± 12 (39-66)	130 ± 15 (110-145)	33 ± 2 (30-36)	129 ± 10.5 (107-138)	29 ± 4.2 (27-35)
EP	100 ± 9.0 (89-115)	65 ± 5.0 (60-75)	91 ± 9.8 (83-102)	64 ± 3.2 (59-67)	87 ± 2.5 (73-102)	60 ± 1.4 (57-67)	104 ± 5.5 (92-117)	70 ± 12.5 (52-89)	81 ± 9.7 (75-99)	63 ± 3.2 (56-66)	87 ± 1.5 (72-99)	61 ± 5.8 (55-67)
ES	148 ± 12 (135-155)	135 ± 3.5 (130-140)	168 ± 12.5 (141-189)	132 ± 9.5 (129-139)	165 ± 8.7 (154-177)	135 ± 3.2 (130-140)	152 ± 4.5 (112-177)	142 ± 2.5 (132-159)	155 ± 53 (131-180)	134 ± 15 (119-142)	152 ± 11 (148-178)	135 ± 8.9 (129-151)
T	33 ± 2.0 (25-38)	95 ± 7.5 (85-100)	36 ± 8.7 (31-41)	81 ± 3.6 (75-88)	32 ± 3.0 (25-39)	82 ± 1.5 (78-88)	33 ± 2.0 (23-39)	98 ± 9.5 (86-110)	40 ± 2.5 (36-44)	79 ± 8.5 (69-86)	35 ± 3.2 (28-43)	87 ± 6.5 (76-95)
Mu	3.5 ± 0.5 (1.5-4.0)	--	2.0 ± 0.1 (1-4)	--	1.5 ± 0.5 (1-3)	--	4.0 ± 1.6 (2.5-5.5)	--	2.0 ± 1.9 (1.0-5.5)	--	1.0 ± 0.5 (0.5-3.0)	--
WA	19 ± 1.5 (17-23)	25 ± 1.5 (20-28)	22 ± 2.2 (18-25)	17 ± 0.5 (16-18)	20 ± 2.9 (17-26)	17.5 ± 0.5 (17-18)	18 ± 2.0 (17-22)	29 ± 1.0 (20-37)	23 ± 2.5 (21-27)	20 ± 0.3 (19-22)	23 ± 4.1 (19-28)	17 ± 0.9 (16-20)
SpL	63 ± 3.5 (55-65)	--	62 ± 4.5 (59-71)	--	61 ± 3.5 (55-64)	--	64 ± 4.6 (58-72)	--	60 ± 6.5 (52-71)	--	61 ± 5.8 (48-65)	--
GuL	38 ± 1.5 (35-40)	--	35 ± 3.3 (33-41)	--	35 ± 3.5 (30-42)	--	40 ± 1.4 (31-49)	--	33 ± 1.9 (29-37)	--	33 ± 2.4 (29-38)	--

Table 6.3 Diagnostic morphometric traits of males and IJ of *Steinernema kraussei*.

(all measurements are in μm)(Cont.)

n=20	Isolates							
	D**		76**		99**		102**	
	Male	IJ	Male	IJ	Male	IJ	Male	IJ
TBL	1488 \pm 20 (1191-1595)	994 \pm 9.0 (909-1050)	1391 \pm 11 (1192-1658)	949 \pm 10 (909-1010)	1357 \pm 28 (1272-2000)	849 \pm 45 (828-969)	1500 \pm 54 (1392-1797)	985 \pm 16 (929-1070)
MBW	125 \pm 11 (108-159)	32 \pm 0.8 (30-35)	127 \pm 9 (106-127)	310 \pm 1.9 (30-33)	139 \pm 14 (103-166)	31 \pm 3.0 (27-35)	147 \pm 18 (108-203)	32 \pm 7 (28-35)
EP	90.5 \pm 1.5 (85-105)	62 \pm 3.5 (57-68)	92 \pm 6 (155-186)	65 \pm 5.0 (58-67)	89 \pm 8.0 (79-100)	59 \pm 8.5 (54-62)	83 \pm 8 (79-94)	60 \pm 1.3 (55-67)
ES	164 \pm 15 (149-176)	152 \pm 14.6 (139-159)	169 \pm 9.0 (155-186)	143 \pm 11 (135-151)	168 \pm 12 (160-189)	139 \pm 5.5 (54-62)	158 \pm 5.2 (151-164)	140 \pm 6.3 (128-151)
T	37 \pm 1.5 (30-44)	94 \pm 4.5 (87-102)	29 \pm 1.3 (24-36)	80 \pm 0.5 (76-83)	36 \pm 0.8 (32-43)	81 \pm 2.3 (78-84)	34 \pm 1.5 (24-40)	85 \pm 1.8 (76-95)
Mu	0.7 \pm 0.6 (0.5-2)	--	2.0 \pm 1.0 (0.5-4.0)	--	2.4 \pm 1.3 (0.5-4.0)	--	1.4 \pm 1.3 (0-5.0)	--
WA	30 \pm 2.7 (26-35)	19 \pm 0.5 (17.5-21.0)	3.1 (26-35)	18 \pm 0.5 (17-19)	31 \pm 2.6 (25-35)	17 \pm 0.2 (16-19)	29 \pm 2.3 (25-32)	18 \pm 1.6 (15-21)
SpL	63 \pm 3.5 (54-79)	--	59 \pm 3.3 (48-66)	--	59 \pm 3.4 (57-63)	--	62 \pm 3.8 (59-65)	--
GuL	36 \pm 1.6 (32-43)	--	32 \pm 1.8 (30-46)	--	34 \pm 0.7 (32-36)	--	39 \pm 1.1 (35-44)	--

References: TBL= total body length, MBW= maximum body width, EP= distance from anterior end to excretory pore, ES= distance from anterior end to base of esophagus, T= tail length, WA= width at anus/cloaca, Mu= mucro length, SpL= spicule length, GuL= gubernaculum length, *= this study; ** = data from Stock et al., 2000.

Table 6.4 Correlation matrix of morphometric variables of males and IJ of *Steinernema kraussei* populations.

	Males			IJ		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
1. TBL	0.354	-0.071	0.191	0.297	0.198	-0.198
2. MBW	0.510*	-2.041	0.005	0.299	-0.310	0.807
3. EP	0.220	0.650	0.073	0.490	-0.291	-0.220
4. ES	0.134	0.447	0.151	0.301	0.686	0.356
5. T	0.010	-1.901	0.850	0.410	0.350	-0.143
6. Mu	0.490	-0.090	-0.019	--	--	--
7. WA	--	--	--	0.500	-0.417	-0.157
8. SpL	0.310	-0.331	-0.114	--	--	--
9. GuL	0.380	0.133	-0.129	--	--	--
% variance	56	25	11	51	26	10
Cumulative	56	81	92	51	75	85

References: TBL= total body length, MBW= maximum body width, EP= distance from anterior end to excretory pore, ES= distance from anterior end to base of esophagus, T= tail length, WA= width at anus/cloaca, Mu= mucro length, SpL= spicule length, GuL= gubernaculum length. * Numbers in bold indicate positive values of the morphometric traits that has the most influence in a given PC.

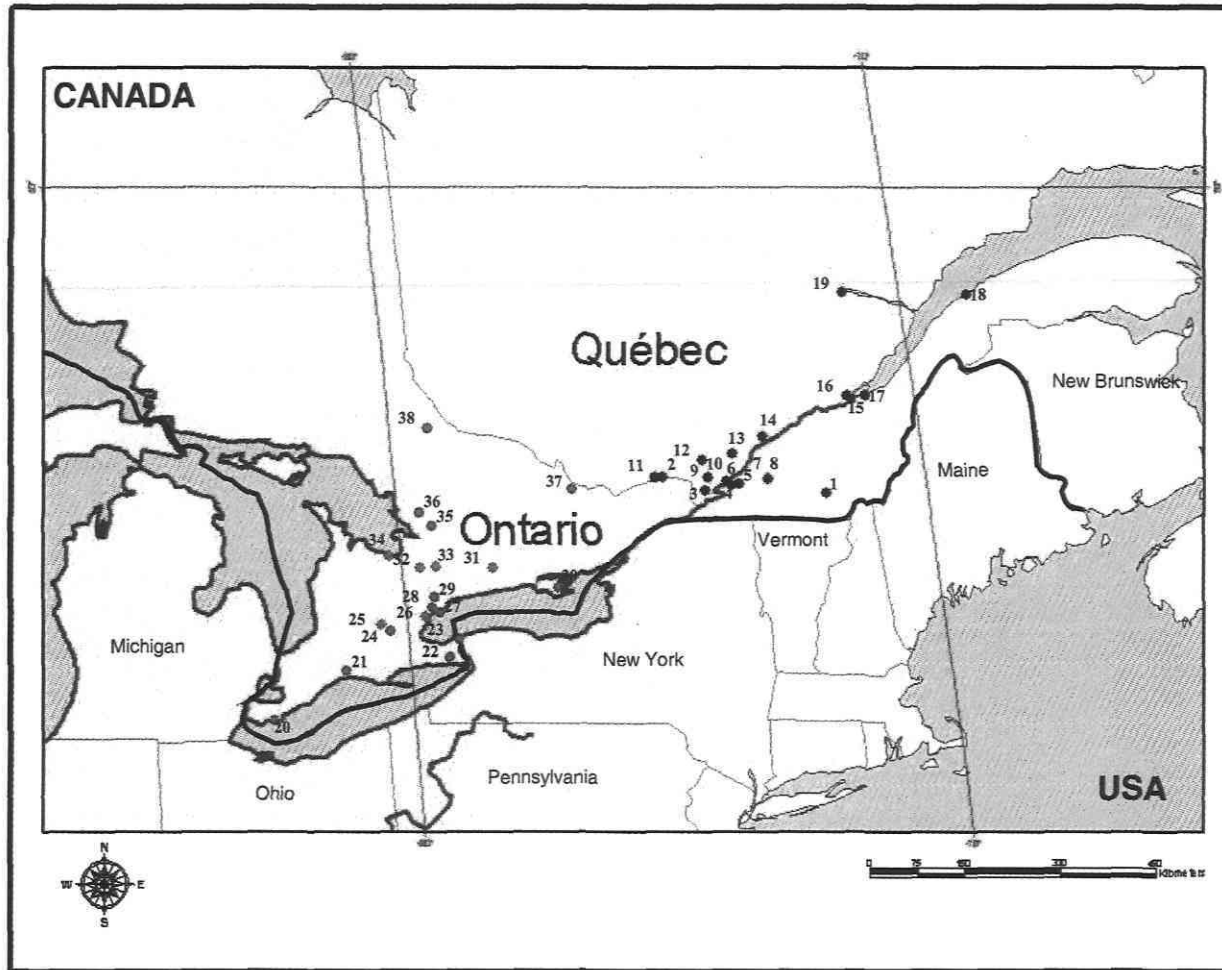


Figure 6.1 Golf courses surveyed for entomopathogenic nematodes in Fall 2002, 2003 (Québec) and Fall 2003 (Ontario).

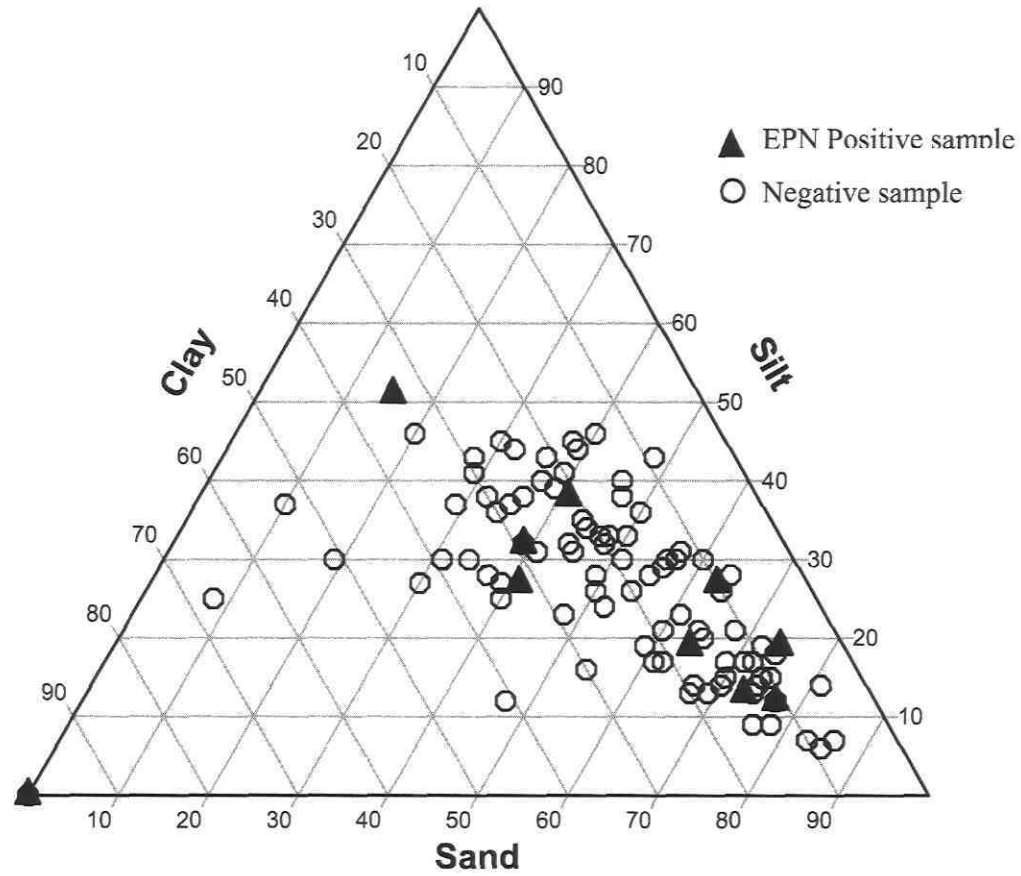
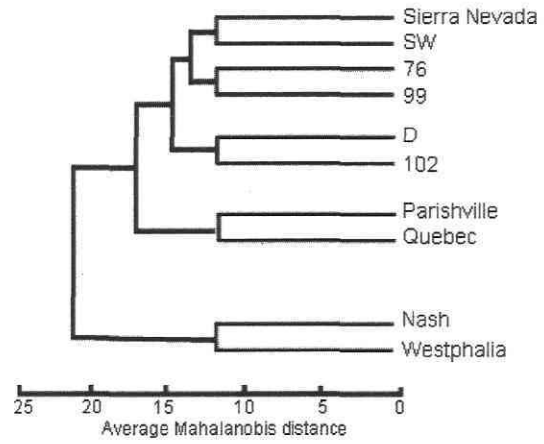


Figure 6.2 Soil composition and occurrence of entomopathogenic nematodes in soil samples collected on golf course roughs in Ontario and Québec.

A



B

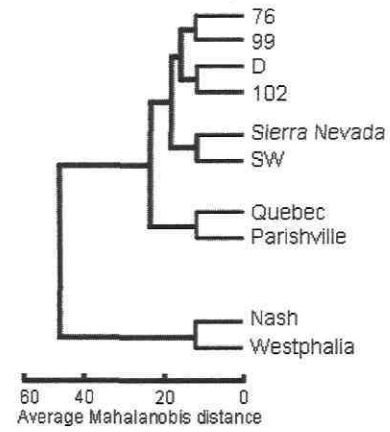


Figure 6.3 UPGMA phenograph of *Steinerinema kraussei* populations based on Mahalanobis difference distances.

A. males, B. IJ

Chapitre 7. Virulence des nématodes entomopathogènes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) contre *Tipula paludosa* (Diptera: Tipulidae), un ravageur du gazon sur les terrains de golf.

La tipule européenne (TE), *Tipula paludosa* Meigen se nourrit des feuilles, couronnes et racines des graminées à gazon des zones tempérées causant des dommages aux terrains résidentiels et terrains de golf. Une étude en laboratoire a été conduite afin de déterminer la susceptibilité des larves de TE à quatre espèces commerciales de nématodes entomopathogènes (NE) (*Heterorhabditis marelatus*, *H. megidis*, *Steinernema carpocapsae* et *S. feltiae*). La virulence de quatre isolats de *S. feltiae* de terrains de golf du Québec et de l'Ontario a aussi été comparée à une formulation commerciale. Les valeurs de CL50 des NE contre des larves de TE de dernier stade étaient 152, 562, 763, et 3484 pour *S. feltiae*, *H. megidis*, *H. marelatus* and *S. carpocapsae*, respectivement. En absence de nutrition (sans plantule de gazon), les mortalités des larves de TE ont diminué pour toutes les espèces de nématodes et les concentrations testées. À 25°C, les valeurs CL50 pour les deux plus virulents *S. feltiae* indigènes étaient 129 et 187 nématodes/larve, non différent de la souche commercial. À 5°C, le *S. feltiae* commercial était plus efficace que les deux isolats BIC14A et RE6A contre les larves de TE. Cependant, à 15°C, BIC14A était le plus virulent à la concentration faible de 200 larves infectieuses/larve.

Virulence of Entomopathogenic Nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) Against *Tipula paludosa* (Diptera: Tipulidae), a Turfgrass Pest on Golf Courses

Louis Simard,¹ Guy Bélair,¹ Marie-Eve Gosselin,¹ and Julie Dionne²

¹Horticulture Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, 430 Gouin Blvd., St-Jean-sur-Richelieu, Quebec, J3B 3E6, Canada.

²Royal Canadian Golf Association, Golf House, 1333 Dorval Drive, Oakville, Ontario, L6M 4X7, Canada; Department of Plant Agriculture, University of Guelph, Guelph, Ontario, N1G 2W1, Canada.

The European crane fly (ECF), *Tipula paludosa* Meigen feeds on leaves, crowns, and roots of cool-season turfgrasses causing damages on residential lawns and golf courses. A laboratory study was conducted to determine the susceptibility of ECF larvae to four commercial entomopathogenic nematode (EPN) species (*Heterorhabditis marelatus*, *H. megidis*, *Steinernema carpocapsae* and *S. feltiae*). The virulence of four *S. feltiae* isolates recovered from golf courses in Quebec and Ontario was also compared to a commercial strain. LC₅₀ values of EPN against late instar ECF larvae were 152, 562, 763, and 3584 for *S. feltiae*, *H. megidis*, *H. marelatus* and *S. carpocapsae*, respectively. When non-feeding (without grass seedling), ECF larval mortalities decreased for all nematode species and concentrations tested. At 25°C, LC₅₀ values for the two most virulent indigenous *S. feltiae* were 129 and 187 nematodes/larva, not different from the commercial strain. At 5°C, the commercial *S. feltiae* was more effective than both BIC14A and RE6A isolates against ECF larvae. However, at 15°C, BIC14A was the most virulent at low concentration of 200 IJs/larva.

7.1 Introduction

The European crane fly (ECF), *Tipula paludosa* Meigen (Diptera: Tipulidae) is native to northwestern Europe (Blackshaw and Coll, 1999) and was first detected in North America in 1952 in Newfoundland, Canada (Beirne, 1971). The insect was later found in other areas: Nova Scotia, 1955 (Fox, 1957); British Columbia, 1965 (Wilkinson and MacCarthy, 1967); Washington State, 1966; Oregon, 1984 (Tashiro, 1987); Ontario, 1996 (Charbonneau, 2003); Quebec, 2002 (Simard et al., 2006b).

The larvae, commonly called leatherjackets, are polyphagous and major pests of grassland and spring cereals (Pritchard, 1983; Blackshaw and Coll, 1999). They feed in the thatch on leaves, crowns, and roots of cool-season turfgrasses during night and cloudy days. Under severe infestation, they cause damage on residential lawns and golf courses (Vittum et al., 1999). High populations of leatherjackets on golf greens and tees early in the morning may interfere with the playability of the surfaces. The ECF is univoltine in North America with four larval instars (Vittum et al., 1999). In Washington State, 95% of adult emergence takes place from late August to early September (Jackson and Campbell, 1975). Oviposition occurs predominantly on the first night of adult life. Young larvae usually complete the first two instars in less than 2 months and they enter diapause as third instars. In early spring, larvae feed intensively until moulting to the fourth-instars and then they remain active until pupating in early August (Jackson and Campbell, 1975). The most severe turf damage occurs in spring when larvae are feeding actively (Vittum et al., 1999). In Ontario, Canada, leatherjackets reach the fourth-instars by mid-June and turf damage is generally observed at this time (Charbonneau, 2003). In Quebec, Canada, the leatherjackets are observed from mid-May to the end of August and adults are detected from late August to mid-September (Simard et al., 2006b). Based on the life cycle of *T. paludosa* in Quebec, there would be potentially two periods for targeting applications against leatherjackets; mid-May and mid-October. For the first period, larvae are actively feeding and for the second period, feeding could be reduced and even stopped as *T. oleracea* does not feed at 3°C (Pritchard, 1983)

Entomopathogenic nematodes have shown potential as biological control agents of many turfgrass insect pests over the past years (Simard et al., 2001; Simard et al., 2002; Grewal et al., 2005). Only a few studies have explored the interaction between nematodes and the ECF. Lam and Webster (1972) showed that *Steinernema carpocapsae* killed ca. 35% of the ECF in the laboratory at a concentration equivalent to 5000 infective juveniles (IJs)/larva after 13 d exposure time. Finney and Gordon (1984) obtained better control of ECF with *Heterorhabditis heliothidis* (= *bacteriophora*) with 95.9% of mortality after a 6 d exposure time in laboratory at 450 IJs/larva. Peters and Ehlers (1994) demonstrated the potential of the nematode *S. feltiae* against ECF and *Tipula oleracea* L. with LC₅₀ values of 54 and 56, respectively.

With the increasing concern about pesticides, deregistration of some chemistries and new legislation on pesticide use on lawns and golf courses, the development and the implementation of new alternative methods to control turfgrass insect pests have become critical. With this new reality for turfgrass managers, biological control agents such as entomopathogenic nematodes provide a potential alternative for reducing some insect pests.

Our objective was to evaluate the virulence of entomopathogenic nematodes against leatherjackets from golf courses in Quebec. The specific objectives were to: i-) determine the virulence of four commercial nematode species (*Heterorhabditis marelatus*, *H. megidis*, *Steinernema carpocapsae* and *S. feltiae*); ii-) evaluate the virulence of entomopathogenic nematodes on non-feeding larvae; and iii-) compare the virulence of four *S. feltiae* isolates (collected on Quebec and Ontario golf courses) at 5, 10, 15, and 25°C.

7.2 Materials and methods

7.2.1 European Crane Fly Larvae

Leatherjackets were collected from golf course fairways in the Quebec City area, Canada (Levis Golf Club, 46°48'N; 71°11'O, and Cap-Rouge Golf Club, 48°22'N; 70°32'O). Larvae were kept by cohorts of 100 on Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) grown in peat moss growing medium (Pro-mix BX, Premier Peat Moss, Rivière-du-Loup, Canada) in plastic containers for two weeks. Healthy looking larvae were used for the tests.

7.2.2 Nematode Species and Their Production

Entomopathogenic nematodes were obtained: *H. megidis* from Koppert Canada Ltd (Scarborough, Ontario), *S. feltiae* from Microkill Inc. (Laval, Quebec) and *H. marelatus* and *S. carpocapsae* from Nic Inc. (Stevensville, Ontario). Four indigenous isolates of *S. feltiae* were recovered from golf courses, two in Quebec (BIC14A and LIG7A) and two in Ontario (RE6A and RO12B).

All nematodes were reared on larvae of the greater wax moth (*Galleria mellonella* L.), using the *in vivo* method described in Dutky et al. (1964). Nematodes emerging from the larvae were harvested twice a week and refrigerated at 6°C for a minimum of 2 weeks before use. For all experiments, the virulence of each nematode species was checked by inoculating wax moth larvae. In all cases, the mortalities with the wax moth larvae were between 90 and 100% at a concentration of 25 IJs/larva/container.

7.2.3 Nematode Inoculation

Twenty-four hours before inoculation with the nematodes, 30-cm³ transparent plastic containers (Solo[®]) were prepared, unless otherwise stated, by adding, in order, one larva, 15 cm³ of sandy soil (moisture 10%) containing Kentucky bluegrass seedlings (average of

12 seedlings\plastic container) to assure that larvae are actively feeding. The containers were then closed and placed in the dark at 25°C.

The containers were then placed in the dark in an environmental test chamber (Sanyo® MLR-350H, Sanyo Electric Biomedical Co., Ltd, Moriguchi City, Japan) at 25°C. After 5 d exposure time, leatherjackets were removed, and transferred to a soil-free plastic container for another 5 d at 25°C. A moistened cotton swab was added in each cup to avoid dehydration. Larval mortality was recorded at 5 d and 10 d after nematode inoculation. All dead larvae were held in the dark at 25°C for another 10 d, after which they were observed for the presence of nematodes.

7.2.4 Virulence of Nematode Species

Virulence of four nematode species (*H. marelatus*, *H. megidis*, *S. carpocapsae* and *S. feltiae*) was first assessed using concentrations of 0, 200, 700, 1200 and 7000 IJs per container (=IJs per insect) on fourth-instar larvae of ECF. Each treatment was tested using 10 ECF larvae and the experiment was conducted three times.

In a separate set of experiments, virulence of three nematode species (*H. megidis*, *S. carpocapsae* and *S. feltiae*) was determined for the second instar ECF larvae using concentrations of 0, 200, 700, and 1200 IJs per container (=IJs per insect). Each treatment was tested using between 6 and 10 second instar ECF larvae and the experiment was conducted three times. A third observation time was performed at 16 d where ECF larvae were dissected to confirm presence of nematodes.

7.2.5 Virulence of Entomopathogenic Nematodes on Non-Feeding Larvae

Virulence of three nematode species against fourth-instar ECF larvae was evaluated in a non-feeding situation (without grass seedling). Nematode species used were *H. megidis*, *S. carpocapsae* and *S. feltiae* at the concentrations of 0, 200, 700 and 1200 IJs per container

(=IJs per insect). Each treatment was tested using 10 fourth-instar ECF larvae and the experiment was conducted three times.

7.2.6 Virulence of Four Indigenous *S. feltiae* Isolates

Virulence of *S. feltiae* isolates (BIC14A , LIG7A, RE6A, and RO12B) from golf courses in Quebec and Ontario against fourth-instar ECF larvae was compared to a commercial formulation of *S. feltiae* using concentrations of 0, 200, 700, 1200 and 7000 IJs per container (=IJs per insect) at 25°C. Each treatment was tested using 10 fourth-instar ECF larvae and the experiment was conducted three times. In a separate experiment, these *S. feltiae* isolates were tested at 5°C using concentrations 0, 200, 1200 IJs per container (=IJs per insect). Each treatment was tested using 10 fourth-instar ECF larvae and the experiment was conducted three times. At 5°C, a third observation time was performed at 16 d where ECF larvae were allowed to settle 6 additional days at 25°C before making final recording.

7.2.7 Virulence of *S. feltiae* Isolates at Contrasting Temperatures

Virulence of two *S. feltiae* isolates (BIC14A , RE6A) from golf courses in Quebec and Ontario against fourth-instar ECF larvae was compared to a commercial formulation of *S. feltiae* using concentrations of 0, 200, and 1200 IJs per container (=IJs per insect). Larvae were exposed to nematode during 5 d and 10 d at 5, 15, and 25°C and 5, 10, 15, and 25°C, respectively. Each treatment was tested using 10 fourth-instar ECF larvae and the experiment was conducted three times.

7.2.8 Statistical Analysis

For each experiment, an overall one-way ANOVA was done to analyze the studied various variables including observation time, nematode species, nematode concentration, temperature, and exposure time. One-way ANOVAs were performed by species and concentration and were followed by protected LSD to compare insect mortality caused by

nematode species and *S. feltiae* isolates. Type I error rate was set at $P = 0.05$ for all statistical tests. LC_{50} values were determined using the Probit procedure (SAS Institute, 1999). Significant differences between LC_{50} values were identified using their 95% confidence intervals (Tabashnick and Cushing, 1987). Normality and homogeneity were checked respectively by the Univariate procedure and Residual plot (SAS Institute, 1999).

7.3 Results

In all experiments, significant differences were observed in ECF mortality between observation times, nematode species, nematode concentrations and temperatures.

7.3.1 Virulence of Nematode Species

Of the four commercial species tested, *S. feltiae* was the most virulent species at the lowest concentration (200 IJs/larva) after 5-d ($F = 37.58$; $df = 11$; $P < 0.0001$) and 10-d ($F = 36.67$; $df = 11$; $P < 0.0001$) following inoculation in an actively feeding situation (with grass seedling) (Table 7.1). However, no significant difference was observed between *S. feltiae* and *H. megidis* at the 700 IJs/larva concentration or more at both 5 and 10-d following inoculation (Table 7.1). *H. marelatus* was not significantly different from *S. feltiae* and *H. megidis* at 1200 and 7000 IJs/larva (except 5-d, 1200 IJs/larva). At the highest concentration (7000 IJs/larva), *S. carpocapsae* had the lowest virulence after 5-d ($F = 8.17$; $df = 11$; $P < 0.0081$) and 10-d ($F = 9.31$; $df = 11$; $P < 0.0055$) following the inoculation. At the 10-d observation time, a significant increase in ECF mortality was observed for *S. feltiae* and *H. megidis* at 200 IJs/larva, for *H. marelatus* at 700 IJs/larva and for *S. carpocapsae* at 1200 IJs/larva. (Table 7.1).

S. feltiae had the lowest LC_{50} value with 152 nematodes per larva with a confidence interval ($\alpha = 0.05$) of 22 to 307 (Table 7.2). LC_{50} for *H. marelatus*, *H. megidis* and *S. carpocapsae* were 562 (377-790), 763 (566-1039) and 3584 (2227-7715), respectively (Table 7.2).

All nematode species caused higher mortality of second instar than fourth instar ECF larvae (Figure 7.1). As observed on fourth-instar larvae, *S. feltiae* provided the highest mortality at the concentration of 1200 IJs/larva. However, no significant difference in the mortality of the second instar ECF larvae was observed between species. At the 10-d observation time, a significant increase in ECF mortality was observed for all species at 200 IJs/larva (Figure 7.1).

7.3.2 Virulence of Entomopathogenic Nematodes on Non-Feeding Larvae

When non-feeding (without grass seedling), ECF larvae mortalities decreased markedly for all nematode species and concentrations tested compare to previous experiment conducted with grass seedling (Table 7.3). Again, when non-feeding, leatherjacket mortalities were not significantly different between all species and at all concentrations except *S. feltiae* at 1200 IJs/larva concentration ($F = 6.00$; $df = 8$; $P < 0.0370$) based on the 5-d observation (Table 7.3).

7.3.3 Virulence of Four Indigenous *S. feltiae* Isolates

Two indigenous isolates of *S. feltiae* out of four performed similarly to the commercial nematode (Table 7.4). At low concentration (200 IJs/larva), BIC14A and RE6A were not significantly different than the commercial formulation of *S. feltiae* after 5 and 10-d after inoculation at 25°C (Table 7.4). However at 1200 IJs concentration, BIC14A and RE6A were significantly more virulent than commercial formulation of *S. feltiae* after 5-d ($F = 76.38$; $df = 14$; $P < 0.0001$) and 10-d ($F = 53.03$; $df = 14$; $P < 0.0001$) after inoculation. With LIG7A and RO12B, mortalities of ECF larvae were always significantly lower than the commercial formulation of *S. feltiae*. At the 10-d observation time, a significant increase in ECF mortality was observed for *S. feltiae* commercial, BIC14A, RE6A at 200 IJs/larva, for LIG7A at 700 IJs/larva and for RO12B at 7000 IJs/larva. (Table 7.4).

At 5°C, ECF larval mortalities decrease considerably for all *S. feltiae* isolates compared to 25°C ($F = 1633.19$; $df = 1$; $P < 0.0001$). Commercial formulation of *S. feltiae* caused the

highest mortality with 30% at the concentration of 1200 IJs/larva after 16-d following inoculation (Table 7.4).

Commercial formulation of *S. feltiae* obtained the lowest LC₅₀ value with 129 IJs per larva with a confidence interval ($\alpha = 0.05$) of 13 to 282 (Table 7.5). This LC₅₀ value was not significantly different from 187 (83-277) and 212 (147-271) recorded with BIC14A and RE6A isolates respectively (Table 7.5). Considering low mortality of ECF observed with RO12 isolate, it was not possible to determine a LC₅₀ value.

7.3.4 Virulence of *S. feltiae* Isolates at Contrasting Temperatures

After 5-d of exposure at 5°C, the commercial formulation of *S. feltiae* caused the highest mortality with 50% at the concentration of 1200 IJs/larva after 10-d following inoculation (Table 7.6). For the same exposure time at both 15 and 25 °C, the isolate BIC14A was significantly better than other *S. feltiae* studied at the concentration of 200 IJs/larva after 5 and 10-d following inoculation. At the highest concentration (1200 IJs/larva) 10-d after inoculation at 15°C, only RE6A provided lower mortality (Table 7.6). After 10-d of exposure, the only significant difference among species was observed with the commercial formulation. This treatment induced the highest mortality with more than 86% at the concentration of 1200 IJs/larva after 10 d following inoculation (Table 7.7).

7.4 Discussion

S. feltiae was the most virulent commercial species against the ECF larvae. At low concentration (200 IJs/larva), the susceptibility of the ECF larvae to *S. feltiae* was almost three times greater than *H. megidis* and fourteen times greater than *H. marelatus* and *S. carpocapsae*. LC₅₀ values corroborate the higher virulence of *S. feltiae* against the ECF larvae from golf courses in Quebec. Our LC₅₀ value for *S. feltiae* against ECF larvae was similar to the one reported by Peters and Ehlers (1994) in Germany. *S. feltiae* is recognized to have a good potential against Dipteran hosts (Bracken, 1990; Ehlers and Gerwien, 1993; Royer et al., 1996). Among the species tested, *S. feltiae* is the only one originally isolated

from Diptera (Bovien, 1937; Poinar and Lindhart, 1971). Ecological studies have demonstrated the importance of speciation and coevolution of organisms in relation to the potential of host infection (Gaugler and Kaya, 1990).

Our results obtained from two distinct experiments suggest that actively feeding ECF larvae are more susceptible to nematodes than non-feeding larvae. At low concentration (200 IJs/larva), larval mortality was 60% in an actively feeding situation (with grass seedling) compare to 3% in a non-feeding situation (without grass seedling). Similar results were obtained with the European chafer (*Rhizotrogus majalis* Razoumowsky), another turfgrass insect pest (Simard et al., 2001). The repeatedly ingestions by the insect may increase the nematode penetration through the mouth. Work done by Peters and Ehlers (1994) with non-feeding ECF larvae demonstrated that EPNs penetrate their host directly through the integument. Thus, it is suggested that actively feeding larvae are also more likely to display host cues such as increased CO₂ production and host fecal components (Ishibashi and Kondo, 1990).

Based on our results, two *S. feltiae* isolates (BIC14A and RE6A) showed a similar virulence to the commercial formulation. Originally, we thought that our indigenous species from northeastern Canada, could be more adapted to the cooler conditions prevailing during spring and fall on golf courses. In fact, it was demonstrated that the commercial *S. feltiae* is more effective than both BIC14A and RE6A isolates against ECF larvae at low temperature (5°C). However, at 15°C, BIC14A was the most virulent at low concentration. When time exposure and concentration were increased, the other isolates were able to reach similar ECF mortality rates. The fact that BIC14A isolate was originally found under a maritime climate conditions, suggests that the optimal temperature activity of this nematode is higher than the commercial *S. feltiae*.

When considering the ECF seasonal development on golf courses in Quebec (Simard et al., 2006b), there are two major periods of larval activity, the first from mid-May to the end of August (overwintered larvae) and the second from early October to mid-November (early instar). In Quebec, soil temperatures during the fall range from 0 to 10°C. Nematode

application at that period targeting the early-instar ECF larvae would not be recommended. Entomopathogenic nematodes should have a better potential to control ECF larvae when the soil temperatures get higher in May, just before turf damage occurs. From our results, it could also be interesting to apply more than one nematode strain in order to increase the level of control in a wider range of temperature. For the future use of EPNs in Canada, the isolation of two indigenous *S. feltiae* is of great interest considering the actual discussion about new regulation on commercialization of biological control agents, which would ban the application of exotic organisms.

Use of alternative methods like EPNs are generally known to be more expensive and provide less consistent control of insect pests than traditional pesticides (Gaugler, 2002). However, the new reality where turfgrass managers are now strained to reduce their use of pesticide will stimulate the need for more research and potentially the implementation and greater use of biological agents such as EPNs in their management practices (Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2005a).

7.5 Acknowledgements

The authors thank Nathalie Dauphinais, Yvon Fournier, and Élisabeth Taschereau for dedicated technical assistance, and Dr. Jacques Brodeur for critical review of the manuscript. This research was conducted through a collaborative research agreement between the Ontario Golf Superintendent's Association and Agriculture and Agri-Food Canada, Matching Investment Initiative program. This contribution No. 335/2006.05.02R of the Horticulture Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, St-Jean-sur-Richelieu, Quebec, Canada J3B 3E6.

Table 7.1 Mortality (%) of the European crane fly (*Tipula paludosa*) exposed to four entomopathogenic nematode species when fourth-instar larvae are actively feeding (with grass seedling) at 25°C after 5-d exposure time.

Observation time	Concentration (IJs/larva)				
	0	200	700	1200	7000
5-d					
<i>Heterorhadtis marelatus</i>	3.3±1.1 ^{aC} ^b	3.3±1.1cC	3.3±1.1bC	20.0±1.8bB	93.3±1.1aA
<i>Heterorhadtis megidis</i>	0.0±0.0D	16.7±1.1bC	50.0±1.8aB	53.3±2.8aB	100.0±0.0aA
<i>Steinernema carpocapsae</i>	0.0±0.0 B	3.3±1.1cB	16.7±2.1bB	20.0±1.8bB	53.3±4.6bA
<i>Steinernema feltiae</i>	0.0±0.0C	46.7±1.1aB	60.0±5.5aB	70.0±0.0aB	96.7±1.1aA
10-d					
<i>Heterorhadtis marelatus</i>	3.3±1.1D	13.3±1.1bcD	40.0±1.8bcC	66.7±3.8aB	100.0±0.0aA
<i>Heterorhadtis megidis</i>	0.0±0.0D	23.3±1.1bC	60.0±1.8abB	63.3±1.1aB	100.0±0.0aA
<i>Steinernema carpocapsae</i>	0.0±0.0C	3.3±1.1cC	16.7±2.1cCB	30.0±3.2bB	63.3±3.8bA
<i>Steinernema feltiae</i>	0.0±0.0C	60.0±1.8aB	76.7±4.6aB	73.3±1.1aB	100.0±0.0aA

^aMortality (%)±SE, standard error

^b Values in the same row followed by the same upper case letter and in the same column followed by the same lower case are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

Table 7.2 LC₅₀ values for four entomopathogenic nematode species against actively feeding fourth-instar larvae of the European crane fly (*Tipula paludosa*) at 25°C (10-d observation data).

Nematode species	LC ₅₀ (95% fiducial limits)	Intercept ± SE ^a	Slope ± SE	X ^{2b}	P
<i>Heterorhaditis marelatus</i>	763 (566-1039) ^b ^c	-6.44±1.11	2.23±0.38	33.73	<.0001
<i>Heterorhabditis megidis</i>	562 (377-790) ^b	-4.96±0.95	1.80±0.33	29.29	<.0001
<i>Steinernema carpocapsae</i>	3584 (2227-7715) ^c	-4.78±0.85	1.34±0.26	26.08	<.0001
<i>Steinernema feltiae</i>	152 (22-307) ^a	-2.34±0.85	1.07±0.30	12.74	<.0004

^aSE, standard error.

^bPearson chi-square of the slope.

^cLC₅₀ followed by a same letter are not significantly different based on their 95% confidence intervals.

Table 7.3 Mortality (%) of the European crane fly (*Tipula paludosa*) exposed to four entomopathogenic nematode species when fourth-instar larvae are not actively feeding (without grass seedling) at 25°C after 5-d exposure time.

Observation	Concentration (IJs/larva)			
5-d				
Nematode species	0	200	700	1200
<i>Heterorhabditis megidis</i>	0.0±0.0 ^a	3.3±1.1	6.7±1.1	3.3±1.1b ^b
<i>Steinernema carpocapsae</i>	0.0±0.0	3.3±1.1	3.3±1.1	3.3±1.1b
<i>Steinernema feltiae</i>	3.3±1.1	3.3±1.1	20.0±3.2	23.3±2.1a
10-d				
<i>Heterorhabditis megidis</i>	0.0±0.0	3.3±1.1	16.7±1.1	23.3±3.8
<i>Steinernema carpocapsae</i>	0.0±0.0	6.7±1.1	6.7±1.1	3.3±1.1
<i>Steinernema feltiae</i>	6.7±1.1BC	3.3±1.1 C	30.0±3.7A	26.7±1.1AB

^aMortality (%)±SE, standard error

^bValues in the same row followed by the same upper case letter and in the same column followed by the same lower case are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

Table 7.4 Mortality (%) of fourth-instar larvae of the European crane fly (*Tipula paludosa*) obtained at 5°C and 25°C with four indigenous *Steinernema feltiae* isolates after a 5-d exposure time.

Observation time	Concentration (IJs/larva)							
	25°C					5°C		
5-d	0	200	700	1200	7000	0	200	1200
<i>S. feltiae</i> commercial	0.0±0.0 ^a ^b	46.6±4.6aB	70.0±3.2aAB	76.6±2.8bA	96.6±1.1aA	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
BIC14A	0.0±0.0D	46.6±1.1aC	83.3±2.1aB	96.6±1.1aA	100.0±0.0aA	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
LIG7A	0.0±0.0C	3.3±1.1bcBC	16.7±2.1bBC	20.0±1.8cB	66.6±2.8bA	--	0.0±0.0	0.0±0.0
RE6A	3.3±1.1D	26.6±2.1abC	76.7±2.1aB	96.6±1.1aA	100.0±0.0aA	--	3.3±1.1	0.0±0.0
RO12B	0.0±0.0	0.0±0.0c	3.3±1.1b	0.0±0.0d	6.6±1.1c	--	0.0±0.0	0.0±0.0
10-d**								
<i>S. feltiae</i> commercial	0.0±0.0C	56.7±3.8aB	83.3±2.1bA	76.6±2.8bAB	96.6±1.1aA	0.0±0.0B	10.0±1.8B	30.0±1.8aA
BIC14A	0.0±0.0D	53.3±1.1aC	86.6±1.1abB	96.6±1.1aA	100.0±0.0aA	0.0±0.0B	6.7±1.1B	16.7±1.1abA
LIG7A	0.0±0.0D	10.0±1.8bCD	33.3±1.1cB	26.6±2.8cBC	66.6±2.8bA	--	0.0±0.0	3.3±1.1b
RE6A	3.3±1.1C	46.7±4.6aB	96.6±1.1aA	100.0±0.0aA	100.0±0.0aA	--	10.0±0.0	26.7±3.8a
RO12B	0.0±0.0B	3.3±1.1bB	3.3±1.1dB	3.3±1.1dB	16.6±1.1cA	--	3.3±1.1	0.0±0.0b

^aMortality (%)±SE, standard error

^bValues in the same row followed by the same upper case letter and in the same column followed by the same lower case are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

** ECF larvae exposed at 5°C were allowed to settle 6 more d at 25°C before making final recording.

Table 7.5 LC₅₀ values for four *Steinernema feltiae* isolates collected from golf courses in Quebec and Ontario used against actively feeding fourth-instar larvae of the European crane fly (*Tipula paludosa*) at 25°C (10-d observation data).

Isolates	LC ₅₀ (95% fiducial limits)	Intercept ±SE ^a	Slope ± SE	X ^{2b}	P
<i>S. feltiae</i> commercial	129 (13-282) ^a ^c	-2.10±0.82	0.99±0.29	12.03	0.005
BIC14A	187 (83-277) ^a	-4.79±1.31	2.11±0.50	17.82	<.0001
LIG7A	2909 (1672-7560) ^b	-3.64±0.74	1.05±0.24	19.79	<.0001
RE6A	212 (147-271) ^a	-8.54±2.04	3.67±0.84	19.26	<.0001

^aSE, standard error.

^bPearson chi-square of the slope.

^cLC₅₀ followed by a same letter are not significantly different based on their 95% confidence intervals.

Table 7.6 Mortality (%) of fourth-instar larvae of the European crane fly (*Tipula paludosa*) obtained at 5°C, 15°C and 25°C with three indigenous *Steinernema feltiae* isolates after a 5-d exposure time.

Observation time	Concentration (IJs/larva)								
	5°C			15°C			25°C		
5-d	0	200	1200	0	200	1200	0	200	1200
S. feltiae Isolates	0	200	1200	0	200	1200	0	200	1200
Commercial	0.0±0.0 ^a	0.0±0.0	0.0±0.0	3.3±1.1B ^b	3.3±1.1bB	90.0±0.0aA	0.0±0.0B	3.3±1.1bB	53.3±1.1bA
BIC14A	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	3.3±1.1C	43.3±1.1aB	83.3±3.8aA	0.0±0.0C	33.3±2.1aB	70.0±1.8abA
RE6A	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	3.3±1.1B	0.0±0.0bB	30.0±1.8bA	0.0±0.0B	6.7±1.1bB	80.0±1.8aA
10-d									
Commercial	0.0±0.0B	3.3±1.1B	50.0±4.8aA	3.3±1.1C	20.0±1.8bB	93.3±1.1aA	0.0±0.0B	6.7±1.1bB	63.3±2.1A
BIC14A	0.0±0.0	3.3±1.1	13.3±2.1b	3.3±1.1B	83.3±1.1aA	93.3±2.1aA	0.0±0.0C	43.3±2.1aB	73.3±2.1A
RE6A	0.0±0.0	6.7±1.1	6.7±1.1b	3.3±1.1C	33.3±1.1bB	66.7±1.1bA	0.0±0.0B	6.7±1.1bB	83.3±2.1A

^aMortality (%)±SE, standard error

^bValues in the same row followed by the same upper case letter and in the same column followed by the same lower case are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

Table 7.7 Mortality (%) of fourth-instar larvae of the European crane fly (*Tipula paludosa*) obtained at 5°C, 10°C, 15°C and 25°C with two indigenous *Steinernema feltiae* isolates after a 10-d exposure time.

Observation time	Concentration (IJs/larva)											
	5°C			10°C			15°C			25°C		
5-d	0	200	1200	0	200	1200	0	200	1200	0	200	1200
<i>S. feltiae</i> Isolates	0	200	1200	0	200	1200	0	200	1200	0	200	1200
Commercial	0.0±0.0 ^a	0.0±0.0	3.3±1.1	0.0±0.0B ^b	13.3±2.1B	60.0±3.7A	0.0±0.0B	3.3±1.1B	93.1±1.8A	6.7±2.1B	0.0±0.0B	66.7±2.1A
BIC14A	0.0±0.0	3.3±1.1	0.0±0.0	0.0±0.0B	6.7±1.1B	46.7±2.1A	0.0±0.0B	36.7±7.4B	100.0±0.0A	6.7±2.1B	33.3±4.2AB	56.7±2.1A
RE6A	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0B	0.0±0.0B	36.7±2.8A	0.0±0.0B	33.3±4.6B	73.3±3.8A	6.7±2.1B	16.7±3.8B	75.9±1.8A
10-d												
Commercial	3.3±1.1B	10.0±1.8B	86.7±1.1aA	3.3±1.1B	23.3±3.8B	83.3±3.8A	0.0±0.0B	10.0±1.8B	96.6±2.1A	10.0±1.8B	0.0±0.0B	73.3±2.8A
BIC14A	3.3±1.1B	10.0±0.0B	36.7±2.1bA	3.3±1.1C	23.3±1.1B	63.3±2.8A	0.0±0.0C	50.0±7.3B	100.0±0.0A	10.01±.8B	36.7±5.3AB	60.0±1.8A
RE6A	3.3±1.1	0.0±0.0	6.7±1.1c	3.3±1.1B	10.0±1.8B	46.7±1.1A	0.0±0.0B	53.3±4.6A	86.7±4.2A	10.0±1.8B	23.3±2.8B	70.0±1.8A

^aMortality (%)±SE, standard error

^bValues in the same row followed by the same upper case letter and in the same column followed by the same lower case are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

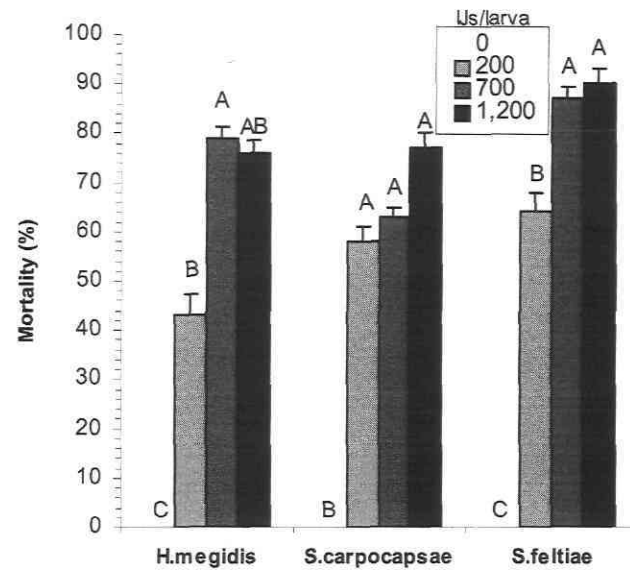


Figure 7.1 Mortality of second instar larvae of the European crane fly (*Tipula paludosa*) caused by three species of nematode *Heterorhabditis megidis*, *Steinernema carpocapsae* and *S. feltiae* at 25°C after 16 d.

The visible portion of the error bar is equal to the standard error of the mean. Within the same species, nematode concentrations with the same letter are not significantly different (ANOVA followed by LSD test; $\alpha = 0.05$).

Conclusion générale

Les travaux de recherche présentés dans cette thèse contribuent au développement des connaissances sur les insectes ravageurs et les nématodes entomopathogènes sur les terrains de golf du Québec, dans le but de permettre la mise en œuvre d'un programme de lutte intégrée. Cette thèse se divise en deux principaux volets soit 1-) la distribution, l'abondance et l'écologie saisonnière des principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Québec, et 2-) l'évaluation du potentiel de nématodes entomopathogènes isolés sur les terrains de golf du Québec pour le contrôle des insectes ravageurs du gazon.

Malgré la récurrence des dommages d'insectes s'attaquant aux gazons des terrains de golf du Québec, il n'existait pas d'information relative à la biologie de ces insectes et à leur importance pour notre province. Les chapitres 2, 3, 4 et 5 ont permis d'établir la distribution, l'abondance et l'écologie saisonnière du scarabée noir du gazon (*Ataenius spretulus*), d'aphodius (*Aphodius granarius*), du charançon du pâturin annuel (*Listronotus maculicollis*), du ver gris (*Agrotis ipsilon*) et de la tipule européenne (*Tipula paludosa*) sur 19 terrains de golf situés dans différentes régions climatiques et géographiques du Québec.

Les travaux réalisés sur les deux espèces de scarabées *A. spretulus* et *A. granarius* ont permis de constater que leur abondance relative variait selon les terrains de golf du Québec. De façon générale, nos résultats indiquent que les deux espèces se retrouvent dans des proportions similaires sur les terrains de golf du Québec et que les populations les plus importantes de scarabées se retrouvent dans le sud-ouest du Québec (Figure 8.1). Le charançon du pâturin annuel est également plus abondant dans cette partie du Québec bien que l'espèce fut observée dans la région de Rimouski. Pour sa part, le ver gris est distribué dans l'ensemble de la province puisque sa présence a été notée sur tous les sites échantillonnés. Dans le cadre de cette étude, nous avons observé pour la première fois la présence de la tipule européenne qui se retrouve principalement dans la région de Québec.

La connaissance des cycles saisonniers des principaux insectes ravageurs du gazon sur les terrains de golf du Québec contribue à améliorer leur gestion. Notamment, la détermination du moment optimal d'application des produits phytosanitaires favorise une meilleure efficacité des traitements, entraîne une réduction de la quantité totale et du nombre d'application des pesticides et aide à l'introduction de méthodes alternatives de contrôle. Notre étude a révélé les cycles saisonniers suivants: une génération par année pour aphodius, la tipule européenne et le scarabée noir du gazon avec parfois une deuxième génération partielle pour ce dernier, deux générations par année pour le charançon du pâturin annuel et le ver gris avec parfois une troisième génération partielle pour ce dernier (Figure 8.2).

L'analyse des cycles saisonniers des insectes ravageurs étudiés permet de s'interroger sur les interventions phytosanitaires actuelles effectuées sur les terrains de golf du Québec. Comme plusieurs terrains de golf abritaient plus d'une espèce d'insectes ravageurs, les applications ciblant plusieurs d'entre elles sont envisageables (Figure 8.1). Par exemple, un surintendant pourrait appliquer à la mi-mai un produit homologué pour contrôler les adultes de charançon du pâturin annuel et les larves de tipule européenne qui se retrouvent autour et sur les verts de golf. De plus, une intervention à la mi-juin ciblant simultanément les larves de charançon du pâturin annuel et de ver gris pourrait être réalisée autour des verts de golf. Ces stratégies d'intervention contre les insectes ravageurs peuvent réduire de façon concrète l'utilisation des pesticides. Afin de rendre cette approche réalisable, il faudra s'assurer d'une diversité de produits phytosanitaires disponibles au Canada.

Notre étude rapporte globalement des abondances d'insectes ravageurs relativement faibles sur les terrains de golf en 2001, 2002 et 2003. Les infestations étaient souvent ponctuelles et localisées à une section du terrain de golf et à l'exception de quelques cas peu de dommages ont été observés. Toutefois, nous avons noté sur certains terrains de golf une progression de l'abondance des insectes ravageurs. Par exemple, les populations de charançon du pâturin annuel ont augmenté entre 2001 et 2003 au Parcours du Cerf (GC4), Longueuil. En 2006, le charançon du pâturin annuel constitue un ravageur important pour ce terrain de golf et des applications de pesticides sont nécessaires afin de maintenir une

qualité de jeu acceptable (Coalition pour un Golf Responsable, 2006). Pour sa part, la tipule européenne continue son expansion au Québec. Ce ravageur a été dépisté dans le Bas-St-Laurent (Rimouski) et la Montérégie (St-Jean-sur-Richelieu) (Coalition pour un Golf Responsable, 2006).

Les nématodes entomopathogènes démontrent un potentiel comme agents de lutte biologique aux insectes ravageurs présents sur les terrains de golf. Ce travail rapporte la virulence en laboratoire de plusieurs espèces et souches de nématodes entomopathogènes indigènes du Québec et de l'Ontario contre des larves de tipule européenne. Nous avons isolé pour la première fois au Québec *Steinernema feltiae* et *S. kraussei* et en Ontario *S. feltiae* et *S. carpocapsae*. *Steinernema feltiae* s'avère l'espèce la plus virulente contre la tipule européenne. Nos résultats indiquent une perte importante de virulence à des températures inférieures à 10°C. Afin d'optimiser l'efficacité des traitements, *S. feltiae* devrait donc être appliqué sur les terrains de golf du Québec lorsque les températures sont supérieures à ce seuil. Lorsque l'on considère l'information générée par nos travaux sur l'écologie saisonnière de la tipule européenne, on réalise que l'application de nématodes entomopathogènes contre ce ravageur n'est pas souhaitable après la fin septembre en raison de la diminution des températures de sol (Figure 8.2). À l'opposé, des applications de nématodes pourraient potentiellement être faites à partir de la fin mai contre les larves de tipules européenne. Les souches de *S. feltiae* isolées lors de nos travaux n'ont pas démontré une activité supérieure à la souche commerciale à des températures froides. La température du sol n'est pas un facteur limitant à l'utilisation des nématodes entomopathogènes contre les autres insectes ravageurs étudiés dans notre étude. Ces derniers se retrouvent à l'état larvaire sur les terrains de golf du Québec lorsque les températures sont favorables aux nématodes entomopathogènes.

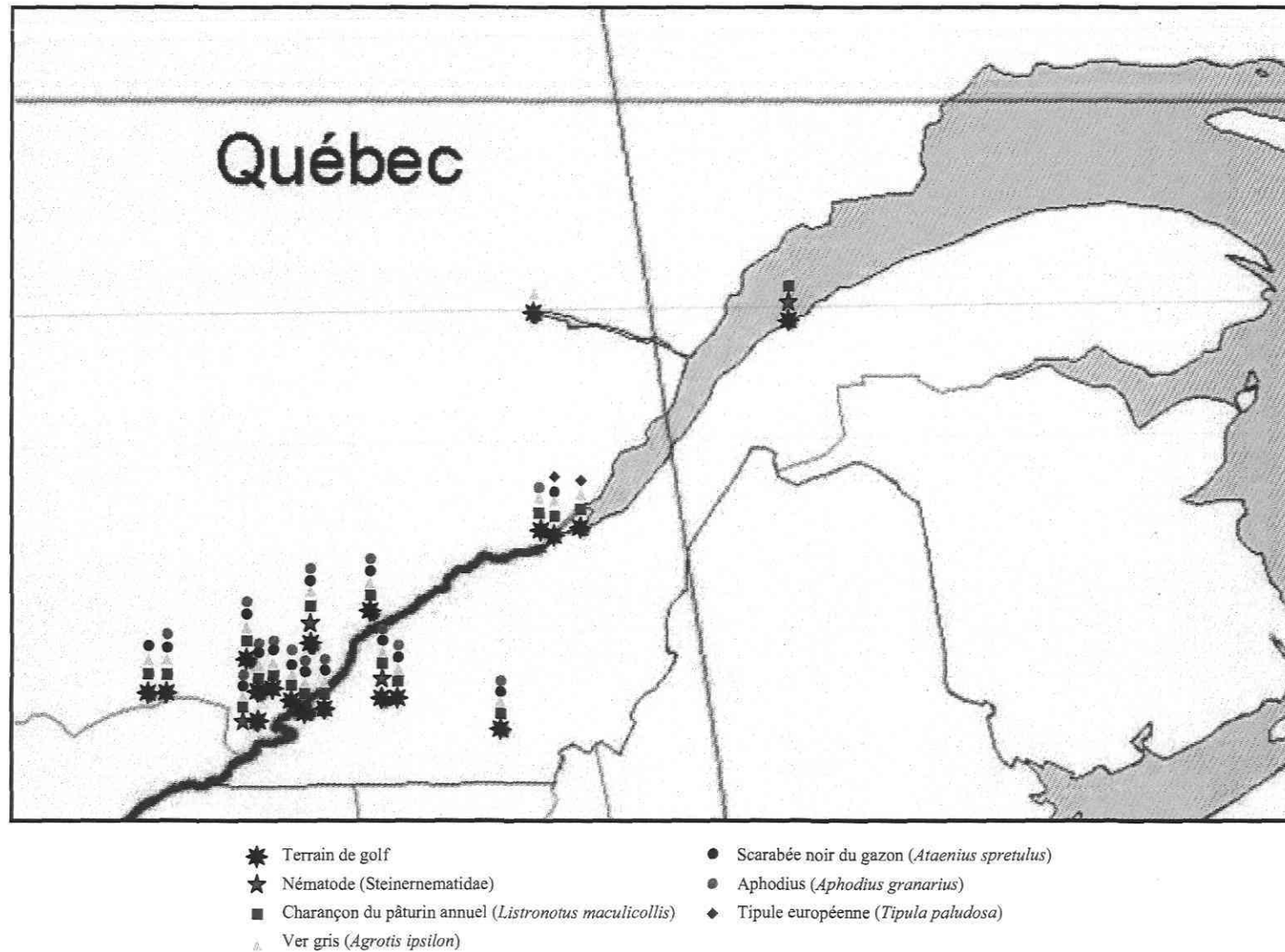


Figure 8.1 Distribution des insectes ravageurs et des nématodes entomopathogènes étudiés sur 19 terrains de golf au Québec, Canada en 2001, 2002 et 2003.

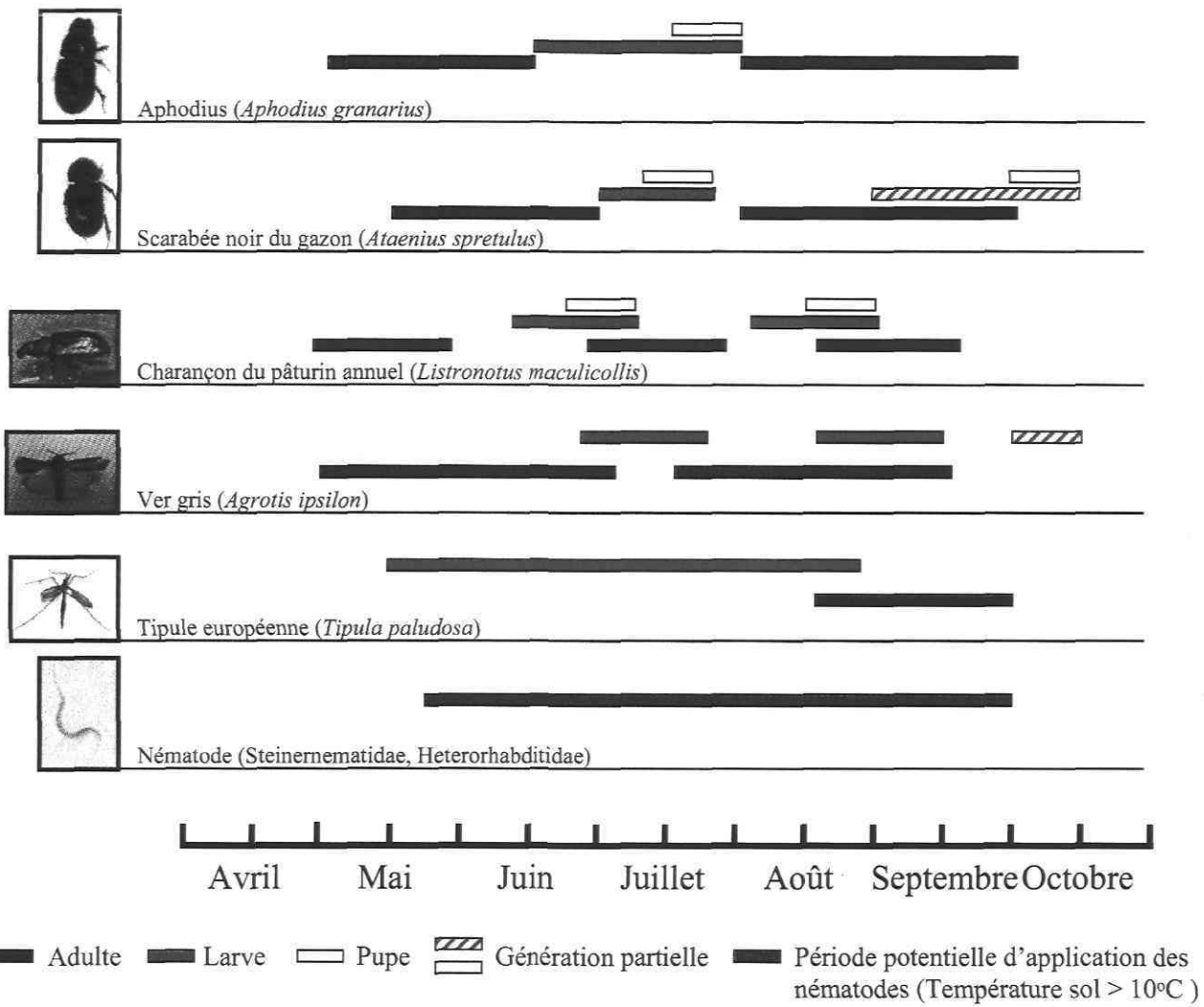


Figure 8.2 Écologie saisonnière des insectes ravageurs étudiés sur 19 terrains de golf au Québec, Canada en 2001, 2002 et 2003 et période potentielle d'application des nématodes entomopathogènes.

Ce travail s'avère une première étape à l'implantation d'une réelle stratégie de lutte intégrée sur les terrains de golf du Québec. Ces connaissances sont d'autant plus importantes considérant les législations actuelles contraignant les terrains de golf à la réduction de l'utilisation des pesticides de synthèse et à l'intégration de méthodes alternatives de lutte. Les pressions populaires quant à la réduction de l'utilisation des pesticides sur les terrains de golf continuent de progresser. Aujourd'hui, en plus de la législation provinciale du Québec, on dénombre 118 villes canadiennes ayant adopté des règlements concernant l'utilisation des pesticides sur leur territoire (Christie, 2006). Cette situation oblige les terrains de golf à modifier leur gestion des problèmes phytosanitaires. Les responsables des terrains de golf devront notamment mettre en place une stratégie de dépistage adéquate des insectes ravageurs afin d'atteindre les objectifs de réduction de pesticides. Le dépistage efficace des insectes ravageurs implique la connaissance de leur biologie et des endroits propices à leur apparition. Suite aux nombreuses discussions avec les surintendants durant cette étude, nous avons constaté qu'ils possédaient généralement une bonne connaissance de la distribution des insectes ravageurs sur leur terrains de golf. Les résultats générés par notre étude améliorent notre connaissance des insectes ravageurs et permettent d'optimiser nos techniques de dépistage. Par exemple, un vert de golf entouré de conifères tel le pin blanc devra faire l'objet d'un dépistage plus intensif du charançon du pâturin annuel pendant une période précise durant la saison selon la décision d'intervenir sur les adultes ou les larves. Les méthodes de dépistage utilisées dans cette étude peuvent être intégrées par les surintendants dans leur programme de lutte aux insectes ravageurs puisqu'elles sont efficaces, rapides et interfèrent peu avec les golfeurs. Par exemple, marcher trois lignes transversales sur le vert de golf permet de suivre facilement l'évolution des dommages de ver gris avec un impact minimal sur le jeu.

Suite à cette étude, un nouveau projet de recherche visant le développement et la mise en œuvre d'un réseau de lutte intégrée sur les terrains de golf du Québec impliquant directement des partenaires de l'industrie du golf (Coalition pour un Golf Responsable et la Fondation canadienne de recherche en gazon) et Agriculture et Agroalimentaire Canada nous porte à croire à l'implantation réelle d'une stratégie de lutte intégrée durable sur les terrains de golf du Québec et de l'Ontario dans les prochaines années (Coalition pour un

Golf Responsable, 2006). En plus des ravageurs étudiés dans la présente thèse, les chercheurs impliqués dans ce projet de recherche s'intéressent à d'autres insectes ravageurs représentant une problématique grandissante sur les terrains de golf comme le hanneton européen et le scarabée japonais.

Bibliographie

- 114957 Canada Ltée (Spraytech, Société d'arrosage) v. Hudson (Town), [2001] 2 S.C.R. 241, 2001 SCC 40.
- Adams, B. J. et Nguyen, K. B. 2002. Taxonomy and systematics, dans Gaugler, R. (ed), Entomopathogenic nematology. CABI Publishing, Wallingford, pp. 1-33.
- Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2006. Information sur les produits. [en ligne]. http://pr-rp.pmra-arla.gc.ca/portal/page?_pageid=53,1&_dad=portal&_schema=PORTAL (page consultée le 6 juillet 2006).
- Akhurst, R. J. 1993. Bacterial symbionts of entomopathogenic nematodes, the power behind the throne, dans Bedding, R., Akhurst, R. J. et Kaya, H. K. (eds.), Nematodes and the biological control of insect pests. CSIRO Publications, East Melbourne, pp. 127-134.
- Akhurst, R. J. et Boemare, N. E. 1990. Biology and taxonomy of *Xenorhabdus*, dans Gaugler, R. et Kaya, H. K. (eds.), Entomopathogenic nematodes in biological control. CRC Press, Boca Raton. 349p.
- Alberta Golf Industry Association. 2004. Golf course pesticide use educationnal film. [en ligne]. <http://www.golfmax.ca/ngcoa.ca/upload/ngcoa-AGIADVD.pdf> (page consultée le 6 juin 2006).
- Alexander, C. P. et Byers, G. W. 1981. Tipulidae, dans McAlpine, J. F., Peterson, B. V., Shewell, G. E., Teskey, H. J., Vockeroth, J. R., et Wood, D. M. (eds), Manual of Nearctic Diptera. Vol. 1., Research Branch, Agriculture Canada, Monograph 27: 153-190.
- Alm, S. R., Yeh, T., Hanula, J. L. et Georgis, R. 1992. Biological control of japanese, oriental, and black turfgrass ataenius beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae with entomopathogenic nematode (Nematoda: Steinernematidae, Heterorhabditidae). Journal of economic entomology 85: 1660-1665.
- Aly, S. H. 2002. Susceptibility of different stages of the black cutworm *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera, Noctuidae) to the infection with the fungus, *Beauvaria bassiana*. Assiut Journal of Agricultural Science 33: 177-186.
- Arnett, R. H., Thomas, M. C., Skelley, P. E. et Frank, J. H. 2002. American Beetles, Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. CRC Press, Boca Raton, 861p.

- Association Royale de Golf du Canada. 2003. Golf course operation survey, Survey report: 2003 edition. Association Royale de Golf du Canada, Oakville, ON, Canada. 35p.
- Association Royale de Golf du Canada. 2006. Golf participation in Canada, Survey report: 2006 edition. Association Royale de Golf du Canada, Oakville, ON, Canada.
- Barbercheck, M. E. et Kaya, H. K. 1990. Interactions between *Beauvaria bassiana* and the entomogenous nematodes, *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. *Journal of Invertebrate Pathology* 55: 225-234.
- Barbercheck, M. E. et Kaya, H. K. 1991. Competitive interactions between entomopathogenic nematodes and *Beauvaria bassiana* (Deuteromycotina : Hyphomycetes) in soilborne larvae of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera : Noctuidae). *Environmental Entomology* 20: 707-712.
- Barclay, J. A. 1992. *Golf in Canada: A History*. First edition. McClelland and Stewart, Toronto, 626p.
- Baur, M. E., Kaya, H. K. et Tabashnik, B. E. 1997. Efficacy of a dehydrated steinernematid nematode against black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) and diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology* 90: 1200-1206.
- Beard, J. B. 2002. *Turf management for golf courses*. Second Edition. Ann Arbor Press, Chelsea, 793p.
- Bedding, R. A. 1981. Low cost in-vitro mass production of *Neoaplectana* and *Heterorhabditis* species (Nematoda) for field control of insect pests. *Nematologica* 27: 109-114.
- Bedding, R. A. 1984. Large scale production, storage and transport of the insect-parasitic nematodes *Neoaplectana* spp. and *Heterorhabditis* spp. *Annals of Applied Biology* 104: 117-120.
- Bedding, R. A. et Akhurst, R. J. 1975. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditid nematodes in soil. *Nematologica* 21: 109-110.
- Beirne, B. P. 1971. Pest insects of annual crop plants in Canada: I. Lepidoptera II. Diptera III. Coleoptera. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 78: 67-68.
- Bélaïr, G. 1992. La lutte biologique: Les nématodes entomophages comme agents de lutte biologique, dans Vincent, C. et Coderre, D. (eds.), *La lutte biologique*. Gaëtan Morin Éditeur, Boucherville, pp.235-249.

- Bélaïr, G. , N. Dauphinais, Y. Fournier, O. P. Dangi, et M. F. Clément. 2005. Effect of Forage and Grain Pearl Millet on *Pratylenchus penetrans* and Potato Yields in Quebec. *Journal of Nematology* 37: 78-82.
- Bélaïr, G. et Boivin, G. 1985. Susceptibility of the carrot weevil (Coleoptera: Curculionidae) to *Steinernema feltiae*, *S.bibionis*, and *Heterorhabditis heliothidis*. *Journal of nematology* 17: 363-366.
- Bélaïr, G. et Boivin, G. 1995. Evaluation of *Steinernema carpocapsae* Weiser for control of carrot weevil adults, *Listronotus oregonensis* (Le Conte) (Coleoptera: Curculionidae), in organically grown carrots. *Biocontrol Science and Technology* 5: 225-231.
- Bélaïr, G. et Parent, L. E. 1996. Using crop rotation to control *Meloidogyne hapla* chitwood and improve marketable carrot yield. *HortScience* 31: 106-108.
- Bélaïr, G., Anderson, R. V. et G. Boivin. 1984. Characteristics of *Listronotus* strain of *Steinernema carpocapsae* from a carrot weevil host. *Proceedings of the First International Congress of Nematology*, 9.
- Bélaïr, G., Dauphinais, N., Fournier, Y. et Mauléon, H. 2001. Survey of plant-parasitic and entomopathogenic nematodes in vineyards of Québec. *Phytoprotection* 82: 49-55.
- Bélaïr, G., N. Dauphinais, et Y. Fournier. 2004. Pearl Millet for the Management of *Pratylenchus penetrans* in Fluc-Cured Tobacco in Quebec. *Plant Disease* 88: 989-992.
- Blackshaw, R. P. 1992. Leatherjackets in grassland. *Proceedings of the British Grassland Symposium on Strategies for Weed, Disease and Pest Control in Grassland*, 6.1-6.10.
- Blackshaw, R. P. et Coll, C. 1999. Economically important leatherjackets of grassland and cereals: biology, impact and control. *Integrated Pest Management Reviews* 4: 143-160.
- Boag, B. et Yeates, G. W. 1998. Soil nematode biodiversity in terrestrial ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 7: 617-630.
- Boemare, N. 2002. Biology, taxonomy and systematics of *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*, dans Gaugler, R. (ed.), *Entomopathogenic Nematology*. CABI Publishing, New York, pp. 35-56.
- Boemare, N. E., Bonifassi, E., Laumond, C. et Luciani, J. 1983. Étude expérimentale de l'action pathogène du nématode *Neoalectana carpocapsae* Weiser; recherches gnotobiologiques chez l'insecte *Galleria mellonella*. L. *Agronomie* 3: 407-415.

- Boemare, N. E., Laumond, C. et Luciani, J. 1982. Mise en évidence d'une toxicogénèse provoquée par le nématode axénique entomophage *Neoaplectana carpocapsae* Weiser chez l'insecte axénique *Galleria mellonella*. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris 295: 543-546.
- Bonifassi, E., Fischer-Le Saux, M., Boemare, N. E., Lanois, A., Laumond, C. et Smart, G. 1999. Gnotobiological study of infective juveniles and symbionts of *Steinernema scapterisci*: a model to clarify the concept of the natural occurrence of monoxenic associations in entomopathogenic nematodes. Journal of Invertebrate Pathology 74: 164-172.
- Bousquet, Y. 1991. Checklist of beetles of Canada and Alaska. Research Branch Agriculture Canada Publication 1861/E, 430p.
- Bovien, P. 1937. Some types of associations between nematodes and insects. Videnskabelige Meddeleiser fra Dansk Naturhistorisk Forening 101: 114.
- Bracken, G. K. 1990. Susceptibility of first-instar cabbage maggot, *Delia radicum* (L.) (Anthomyiidae: Diptera), to strains of the entomogenous nematodes *Steinernema feltiae* Filipjev, *S. bibionis* (Bovien), *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, and *H. heliothidis* (Khan, Brooks, and Hirschmann). Canadian Entomologist 122: 633-639.
- Brandenburg, R. L. et Villani, M. G. 1995. Handbook of turfgrass insect pests. ESA Publication Department, Lanham, 140p.
- Brindle, A. 1960. The larvae and pupae of the British Tipulinae (Diptera : Tipulidae). Transactions of the Society for British Entomology 14: 63-114.
- Brodeur, J., Leclerc, L.-A., Fournier, M. et Roy, M. 2001. The cabbage seedpod weevil, *Ceutorhynchus obstrictus* (Coleoptera: Curculionidae): a new pest of canola in northeastern North America. Canadian Entomologist 133: 709-711.
- Burman, M. 1982. *Neoaplectana carpocapsae*: toxin production by axenic parasitic nematodes. Nematologica 28: 62-70.
- Busching, M. K. et Turpin, F. T. 1977. Survival and development of black cutworm (*Agrotis ipsilon*) larvae on various species of crop plants and weeds. Environmental Entomology 6: 63-65.
- Campbell, J. F. et Gaugler, R. 1997. Inter-specific variation in entomopathogenic nematode foraging strategy: dichotomy or variation along a continuum? Fundamental and Applied Nematology 20: 393-398.
- Campbell, J. M., Sarazin, M. J., Lyons, D. B. 1989. Canadian beetles (Coleoptera) injurious to crops, ornamentals, stored products, and buildings. Research Branch Agriculture Canada, Publication 1826, 491p.

- Campbell, J. F., Orza, G., Yoder, F. Lewis, E. et Gaugler, R. 1998. Spatial and temporal distribution of endemic and released entomopathogenic nematode populations in turfgrass. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 86: 1-11.
- Capinera, J. L., Pelissier, D., Menout, G. S. et Epsky, N. D. 1988. Control of black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae), with entomogenous nematodes (Nematoda: Steinernematidae, Heterorhabditidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 52: 427-435.
- Carrow, R. N., Waddington, D. V. et Rieke, P. E. 2001. Turfgrass soil fertility and chemical problems: assessment and management. Ann Arbor Press, Chelsea. 400p.
- Carter, J. B. 1974. *Tipula* iridescent virus infection in the developmental stages of *Tipula oleracea*. *Journal of Invertebrate Pathology* 24: 271-281.
- Charbonneau, P. 2003. Leatherjackets in Ontario - What Gives? [en ligne]. http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops/facts/turf_leather_may2198.htm (page consultée le 20 janvier 2005).
- Charbonneau, P. et Dupuis, J. 1999. Report on *Tipula paludosa* in Ontario, 1999. Guelph Turfgrass Institute Annual Research Report, pp.153-156.
- Christians, N. 1998. Fundamentals of turfgrass management. Ann Arbor Press, Chelsea, 301p.
- Christie, M. 2006. Private Property Pesticide By-laws In Canada. [en ligne]. <http://www.flora.org/healthyottawa/BylawList.pdf> (page consultée le 23 juin 2006).
- City of Toronto. 2005. Pesticide By-Law. [en ligne]. <http://www.toronto.ca/health/pesticides/by-law.htm> (page consultée le 6 juin 2006).
- City of Vancouver. 2005. Pesticide Use Restriction By-law for 2006. [en ligne]. <http://www.city.vancouver.bc.ca/engsvcs/solidwaste/grownatural/pesticideUseBylaw.htm> (page consultée le 6 juin 2006).
- Coalition pour un Golf Responsable. 2006. Système d'alarme en temps réel. [en ligne]. <http://www.golfresponsable.org> (page consultée le 23 juin 2006).
- Coe, R. L., Freeman, P. et Mattingly, P. F. 1950. Diptera: Nematocera handbooks for the identification of British insects, Vol. 9., Part 2. Royal Entomological Society of London, London.
- Commonwealth Institute of Entomology. 1977. Distribution maps of pests, series A (Agricultural) No. 370. Commonwealth Institute of Entomology, London, England.

- Constant, P., Marchay, L., Fischer-Le Saux, M., Briand-Panoma, S. et Mauléon, H. 1998. Natural occurrence of entomopathogenic nematodes (Rhabditida : Steinernematidae and Heterorhabditidae) in Guadeloupe islands. *Fundamental and Applied Nematology* 21: 667-672.
- Coulson, J. C. 1962. The biology of *Tipula subnodicornis* Zetterstedt, with comparative observation on *Tipula paludosa* Meigen. *Journal of Animal Ecology* 31: 1-21.
- Cousineau, C. 2002. Rapport du groupe de réflexion sur l'utilisation des pesticides en milieu urbain. Bibliothèque nationale du Québec. Envirodoq ENV/2002/90. 63 p
- De Maagd, R. A., Weemen-Hendriks, M., Molthoff, J. W. et Naimov, S. 2003. Activity of wild-type and hybrid *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxins against *Agrotis ipsilon*. *Archives of Microbiology* 179: 363-367.
- Donovan, W. P., Donovan, J. C. et Engleman, J. T. 2001. Gene knockout demonstrates that vip3A contributes to the pathogenesis of *Bacillus thuringiensis* toward *Agrotis ipsilon* and *Spodoptera exigua*. *Journal of Invertebrate Pathology* 78: 45-51.
- Dutky, S. R., Thompson, J. V. et Cantwell, G. E. 1964. A technique for the mass propagation of the DD-136 nematode. *Journal of Insect Pathology* 6: 417-422.
- Ehlers, R. U. et Gerwien, A. 1993. Selection of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae, Nematoda) for biological control of cranefly larvae *Tipula paludosa* (Tipulidae, Diptera). *Journal of Plant Disease and Protection* 100: 343-353.
- Estruch, J. J., Warren, G. W., Mullins, M. A., Nye, G. J., Craig, J. A. et Koziel, M. G. 1996. Vip3A, a novel *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein with a wide spectrum of activities against lepidopteran insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 93: 5389-5394.
- Finney, J. R. et Bennett, G. F. 1984. *Heterorhabditis heliothidis*: a potential biocontrol agent of agricultural and forest pests in Newfoundland. *Journal of Agricultural Entomology* 1: 287-295.
- Fisher-Le Saux, M., Mauléon, H., Constant, P., Brunel, B. et Boemare, N. 1998. PCR-Ribotyping of *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* isolates from the Caribbean region in relation to the taxonomy and geographic distribution of their nematode hosts. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 4246-4254.
- Floate, K. D. et Gill, B. D. 1998. Seasonal activity of dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) associated with cattle dung in southern Alberta and their geographic distribution in Canada. *Canadian Entomologist* 130: 131-151.
- Forst, S. et Clarke, D. 2002. Bacteria-Nematode Symbiosis, dans Gaugler, R. (ed.), *Entomopathogenic nematology*. CABI Publishing, New York, pp. 57-77.

- Fox, D. J. S. 1957. Note on occurrence in Cape Breton Island of *Tipula paludosa* Meig. (Diptera: Tipulidae). Canadian Entomologist 89: 288.
- Gaugler, R. 1997. Know your nematodes. Golf Course Management. December: 64-67.
- Gaugler, R. 2002. Entomopathogenic nematology. CABI Publishing, New York, 400p.
- Gaugler, R. et Boush, G. M. 1978. Effects of ultraviolet radiation and sunlight on the entomogenous nematode, *Neoaplectana carpocapsae*. Journal of Invertebrate Pathology 32: 291.
- Gaugler, R. et Boush, G. M. 1979. Non-susceptibility of rats to the entomogenous nematode, *Neoaplectana carpocapsae*. Environmental Entomology 8: 658-660.
- Gaugler, R. et Han, R. 2002. Production Technology, dans Gaugler, R. (ed.), Entomopathogenic nematology. CABI Publishing, New York, pp. 35-56.
- Gaugler, R. et Kaya, H. K. 1990. Entomopathogenic nematodes in biological control. CRC Press, Boca Raton. 365p.
- Gaugler, R., Campbell, J. F., Selvan, S. et Lewis, E. E. 1992. Large-scale inoculative releases of the entomopathogenic nematodes *Steinernema glaseri*: Assessment 50 years later. Biological control 2: 181-187.
- Gelhaus, J. 1986. Larvae of the crane fly genus *Tipula* in North America. University of Kansas Science Bulletin 53: 121-182.
- Gemeno, C. et Haynes, K. F. 1998. Chemical and behavioral evidence for a third pheromone component in a North American population of the black cutworm, *Agrotis ipsilon*. Journal of Chemical Ecology 24: 999-1011.
- Georgis, R. et Poinar, G. O. Jr. 1994. Nematodes as bioinsecticides in turf and ornamentals, dans Leslie, A. R. (ed.), Integrated pest management for turfgrass and ornamentals. Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 477-489.
- Gerritsen, L. J. M. et Smits, P. H. 1997. The influence of *Photorhabdus luminescens* strains and form variants on the reproduction and bacterial retention of *Heterorhabditis megidis*. Fundamental and Applied Nematology 20: 317-322.
- Glaser, R. W. 1931. The cultivation of a nematode parasite of an insect. Science 73: 614-615.
- Glaser, R. W. 1932. A pathogenic nematode of the Japanese beetle. Journal of Parasitology 18: 199.

- Glaser, R. W. et Farrell, C. C. 1935. Field experiments with the Japanese beetle and its nematode parasite. *Journal of the New York Entomological Society* 43: 345-371.
- Gorse, I. 2004. Bilan des ventes de pesticides au Québec pour l'année 2000, Québec, Ministère de l'environnement, Envirodoq ENV/2004/0320, 70p.
- Grenier, E., Bonifassi, E., Abad, P. et Laumond, C. 1996. Use of species-specific satellite DNAs as diagnostic probes in the identification of Steinernematidae and Heterorhabditidae entomopathogenic nematodes. *Parasitology* 113: 483-489.
- Grenier, E., Laumond, C. et Abad, P. 1995. Characterization of a species-specific satellite DNA from the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*. *Molecular and Biochemical Parasitology* 69: 93-100.
- Grewal, P. S. 2002. Formulation and Application Technology, dans Gaugler, R. (ed.), *Entomopathogenic nematology*. CABI Publishing, New York, pp. 265-287.
- Grewal, P. S., Koppenhöfer, A. M. et Choo, H. Y. 2005. Lawn, Turfgrass and Pasture applications, dans Grewal, P. S., Ehlers, R.-U. et Shapiro-Ilan, D. (eds), *Nematodes as Biocontrol Agents*. CABI Publishing, Wallingford, pp 115-146.
- Grewal, P. S., Selvan, S. et Gaugler, R. 1994. Thermal adaptation of entomopathogenic nematodes : niche breadth for infection, establishment, and reproduction. *Journal of Thermal Biology* 19: 245-253.
- Griffin, C. T. et Downes, M. J. 1994. Recognition of low-temperature infective isolates of the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis* spp. (Rhabditida: Heterorhabditidae). *Nematologica* 40: 106-115.
- Harper, P. P. et Lauzon, M. 1985. The crane fly fauna of a Laurentian woodland, with special reference to the aquatic species (Diptera; Tipulidae). *Revue d'Entomologie du Québec* 30: 3-22.
- Harris, C. L. 1992. *Concepts in zoology*. Harper Collins Publishers Inc., New York. 895p.
- Hoffman, C. H. 1935. Biological notes on *Ataenius cognatus* (Lec.), a new pest of golf greens in Minnesota (Scarabaeidae-Coleoptera). *Journal of Economic Entomology* 28: 666-667.
- Hominick, W. M. 2002. Biogeography, dans Gaugler, R. (ed), *Entomopathogenic nematology*. CABI Publishing, Wallingford, pp. 115-143.
- Hsiang, T et Cook, S. 2001. Effect of *Typhula phacorrhiza* on winter injury in field trials across Canada. *International Turfgrass Society Research Journal* 9: 669-673.

- Hu, K. et Webster, J. M. 1998. In vitro and in vivo characterization of a small-colony variant of the primary form of *Photorhabdus luminescens* MD (Enterobacteriaceae). *Applied and Environmental Microbiology* 64: 3214-3219.
- IPM-PHC Council of Ontario. 2005. Ontario IPM Accreditation Program. [en ligne]. <http://www.ontarioipm.com/> (page consultée le 6 juin 2006).
- Ishibashi, N. 1993. Integrated control of insect pest by *Steinernema carpocapsae*, dans Bedding, R., Akhurst, R. et Kaya, H. K. (eds.), *Nematodes and Biological control of insects*. CSIRO, East Melbourne, pp. 105-113.
- Ishibashi, N. et Kondo, E. 1990. Behavior of infective juveniles, dans Gaugler, R. et Kaya, H. K. (eds), *Entomopathogenic nematodes in biological control*. CRC Press, Boca Raton, pp. 139-150.
- Jackson, D. M. et Campbell, R. L. 1975. Biology of the European Crane Fly, *Tipula paludosa* Meigen, in Western Washington (Tipulidae; Diptera). Washington State University College of Agriculture Research Centre Technical Bulletin. 81. 23 p.
- Johnson, N. E. et Cameron, R. S. 1969. Phytophagous ground beetles. *Annals of the entomological society of America* 62: 909-914.
- Kawanishi, C. Y., Splittstoesser, C. M., Tashiro, H. et Steinkraus, K. H. 1974. *Ataenius spretulus*, a potentially important turf pest, and its associated milky disease bacterium. *Environmental Entomology* 3: 177-181.
- Kell G. V. et Blackshaw, R. P. 1988. The influence of the agricultural practices on leatherjacket populations in Northern Ireland. *Proceeding of the 12th General Meeting of the European Grassland Federation*, pp.504-508.
- Kogan, M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology* 43: 243-270.
- Koltai, H., Glazer, I. et Segal, D. 1994. Phenotypic and genetic characterization of two mutants of *Heterorhabditis bacteriophora*. *Journal of Nematology* 26: 32-39.
- Koppenhöfer, A. M. et Fuzy, E. M. 2003. *Steinernema scarabaei* for the control of white grubs. *Biological Control* 28: 47-59.
- Koppenhöfer, A. M. et Kaya, H. K. 1997. Additive and synergistic interaction between entomopathogenic nematodes and *Bacillus thuringiensis* for scarab grub control. *Biological Control* 8: 131-137.
- Koppenhöfer, A. M. et Kaya, H. K. 1998. Synergism of imidacloprid and an entomopathogenic nematode: A novel approach to white grub (Coleoptera: Scarabaeidae) control in turfgrass. *Journal of Economic Entomology* 91: 618-623.

- Koppenhöfer, A. M., Brown, I. M., Gaugler, R., Grewal, P. S., Kaya, H. K. et Klein, M. G. 2000a. Synergism of entomopathogenic nematodes and imidacloprid against white grubs: Greenhouse and field evaluation. *Biological Control* 19: 245-251.
- Koppenhöfer, A. M., Cowles, R. S., Cowles, E. A., Fuzy, E. M. et Baumgartner, L. 2002. Comparison of neonicotinoid insecticides as synergists for entomopathogenic nematodes. *Biological Control* 24: 90-97.
- Koppenhöfer, A. M., Cowles, R. S., Cowles, E. A., Fuzy, E. M. et Kaya, H. K. 2003. Effect of neonicotinoid synergists on entomopathogenic fitness. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 106: 7-18.
- Koppenhöfer, A. M., Parwinder, S. G. et Kaya, H. K. 2000b. Synergism of imidacloprid and entomopathogenic nematodes against white grubs: the mechanism. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94: 283-293.
- Kullik, S. A.; Sears, M. K., McLeod, D.G. R., Gualtieri, L. L. and Schaafsma, A. W. 2005. Phenology and field biology of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Ontario no-till corn. *Journal of Economic Entomology* 98: 1594-1602.
- Lam, A. B. Q. et Webster, J. M. 1972. Effect of the DD-136 nematode and of a β -exotoxin preparation of *Bacillus thuringiensis* on leatherjackets, *Tipula paludosa* larvae. *Journal of Invertebrate Pathology* 20: 141-149.
- Lambert, B., Buysse, L., Decock, C., Jansens, S., Piens, C., Saey, B., Seurinck, J., Van Audenhove, K., Van Rie, J., Vliet, A. V. et Peferoen, M. 1996. A *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal protein with a high activity against members of the family Noctuidae. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 80-86.
- Laughlin, R. 1967. Biology of *Tipula paludosa*: Growth of the larva in the field. *Entomologia Experimentalis & Applicata* 10: 52-68.
- Lewis, E. E., Gaugler, R. et Harrison, R. 1993. Response of cruiser and ambusher entomopathogenic nematodes (Steinernematidae) to host volatile cues. *Canadian Journal of Zoology* 71: 765-769.
- Long, S. J., Richardson, P. N. et Fenlon, J. S. 2000. Influence of temperature on the infectivity of entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.) to larvae and pupae of the vine weevil *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Nematology* 2: 309-317.
- MacDonald, L. 2002. IPM for turfgrass managers: a guide to disease, insect and weed management in B.C. Western Canada Turfgrass Association, Maple Ridge. pp. 16-17.
- Majeau, G., Brodeur, J. et Carrière, Y. 2000a. Sequential sampling plans for the hairy chinch bug (Hemiptera: Lygaeidae). *Journal of Economic Entomology* 93: 834-839.

- Majeau, G., Brodeur, J. et Carrière, Y. 2000b. Lawn Parameters Influencing Abundance and Distribution of the Hairy Chinch Bug (Hemiptera: Lygaeidae) Journal of Economic Entomology 93: 368-373.
- McDade, M. C. et Christians, N. E. 2001. Corn gluten hydrolysate for crabgrass (*Digitaria* spp.) control in turf. International Turfgrass Society Research Journal 9: 1026-1029.
- Meade, T et Hare, J. D. 1991. Differential performance of beet armyworm and cabbage-looper (Lepidoptera, Noctuidae) larvae on selected *Apium-graveolens* cultivars. Environmental Entomology 20: 1636-1644.
- Meats, A. 1967. The relation between soil water tension and the growth rate of the larvae of *Tipula oleracea* and *T. paludosa* (Diptera) in turf. Entomologia Experimentalis & Applicata 10: 312-320.
- Meyer, S. L. F. 1998. Evaluation of *Verticillium lecanii* strains applied in root drenches for suppression of *Meloidogyne incognita* on tomato. Journal of the Helminthological Society of Washington 65: 82-86.
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec. 2005a. Code de gestion des pesticides. [en ligne]. http://www.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/P_9_3/P9_3R0_01.HTM (page consultée le 20 avril 2004).
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec. 2005b. Toxicité relative des principaux ingrédients actifs contenus dans les pesticides d'usages commerciaux utilisés sur les surfaces gazonnées et pavées. [en ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/pesticides/commercial-gazon.pdf> (page consultée le 17 novembre 2005).
- Mohr, C. O. 1943. Cattle droppings as ecological units. Ecological Monographs 13: 275-298.
- Mracek, Z. and J. M. Webster. 1993. Survey of Heterorhabditidae and Steinernematidae (Rhabditida, Nematoda) in Western Canada. Journal of Nematology 25: 710-717.
- Mracek, Z., Becvar, S., Kindlmann, P. et Webster, J. M. 1998. Infectivity and specificity of Canadian and Czech isolates of *Steinernema kraussei* (Steiner, 1923) to some insect pests at low temperatures in the laboratory. Nematologica 44: 437-448.
- Mráček, Z., Becvar, S., Rezac, P., Kindlmann, P. et Webster, J. M. 1997. Canadian steinernematid (Nematoda) isolates and their infectivity, under cold conditions, to greater wax moth (*Galleria mellonella*) larvae. Biological Control 8: 160-164.

- Mráček, Z., Kindlmann, P. et Webster, J. M. 2005. *Steinernema affine* (Nematoda: Steinernematidae), a new record for North America and its distribution relative to other entomopathogenic nematodes in British Columbia. *Nematology* 7: 495-501.
- Nguyen, K. B. et Smart, Jr. G. C. 1988. A new steinernematid nematode from Uruguay. *Journal of Nematology* 20: 651.
- Nguyen, K.B., Maruniak, J. et Adams, B.J. 2001. The diagnostic and phylogenetic utility of the rDNA internal transcribed spacer sequences of *Steinernema*. *Journal of Nematology* 33: 73-82.
- Niemczyk, H. D. et Dunbar, D. M. 1976. Field observations, chemical control, and contact toxicity experiments on *Ataenius spretelus*, a grub pest of turf grass. *Journal of Economic Entomology* 69: 345-348.
- Niemczyk, H. D. et Shetlar, D. J. 2000. Destructive turf insects. 2nd ed. H. D. N. Books, Wooster. 148p.
- Nus, J. L. 2006. 2005 USGA Turfgrass and environmental research summary. USGA Green Section, Far Hills, 50p.
- Nylin, S. et Gotthard, K. 1998. Plasticity in life-history traits. *Annual Review of Entomology* 43: 63-83.
- Oatis, D. A. 2004. Research results in use today: The Bethpage green course project. Green Section Record May/June.
- Obendorf, D. L., Peel, B., Akhurst, R. J. et Miller, L. A. 1983. Non-susceptibility of mammals to the entomopathogenic bacterium *Xenorhabdus nematophilus*. *Environmental Entomology* 12: 368-370.
- Parkman, J. P. et Smart, G. C. Jr. 1996. Entomopathogenic nematodes, a case study: introduction of *Steinernema scapterisci* in Florida. *Biocontrol Science and Technology* 6: 413-419.
- Parkman, J. P., Frank, J. H., Nguyen, K. B. et Smart, G. C. Jr. 1994. Inoculative release of *Steinernema scapterisci* (Rhabditida: Steinernematidae) to suppress pest mole crickets (Orthoptera: Gryllotapidae) on golf courses. *Environmental Entomology* 23: 1331-1337.
- Pesho, G. R., Brauen, S. E. et Goss, R. L. 1981. European Crane Fly: : Larval infestation in grass cultivars. *Journal of Economic Entomology* 74: 230-233.
- Pest Management Regulatory Agency. 2006. Critical regulatory path for biological agents. [en ligne]. http://www.agr.gc.ca/env/pest/pdf/critical_path_sep20_e.pdf [page consultée le 20 janvier 2006].

- Peters, A. et Ehlers, R. U. 1994. Susceptibility of leatherjackets (*Tipula paludosa* et *Tipula oleracea*; Tipulidae; Nematocera) to entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 63: 163-171.
- Peters, A. et Ehlers, R-U. 1997. Encapsulation of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae* in *Tipula oleracea*. *Journal of Invertebrate Pathology* 69: 218-222.
- Peters, A., Gouge, D. H., Ehlers, R-U. et Hague, N. G. M. 1997. Avoidance of encapsulation by *Heterorhabditis* spp. infecting larvae of *Tipula oleracea*. *Journal of Invertebrate Pathology* 70: 161-164.
- Poinar, G. O. et Lindhart, K. 1971. The re-isolation of *Neoplectana bibionis* Bovien (Nematodea) from Danish bibionids and their possible use as biological control agents. *Entomologica Scandinavica* 2: 301-303.
- Poinar, G. O. Jr. 1990. Taxonomy and biology of Steinernematidae and Heterorhabditidae, dans Gaugler, R. et Kaya, H. K. (eds), *Entomopathogenic nematodes in biological control*. CRC Press, Boca Raton, pp. 23-62.
- Poinar, G. O., Thomas, G. M., Presser, S. B., et Hardy, J. L. 1982. Inoculation of entomogenous nematodes, *Neoplectana* and *Heterorhabditis*, and their associated bacteria, *Xenorhabdus* spp., into chicks and mice. *Environmental Entomology* 11: 137-138.
- Porter, E. E., Pennington, D. N., Bulluck, J. et Blair, R. B. 2004. Assessing the conservation value of golf courses for butterflies. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online* 3: 1-13.
- Potter, D. A. 1998. *Destructive turfgrass insects biology, diagnosis, and control*. Ann Arbor Press, Chelsea. 344p.
- Pritchard, G. 1982. The growth of *Tipula* larvae with particular reference to the head capsule (Diptera: Tipulidae). *Canadian Journal of Zoology* 60: 2646-2651.
- Pritchard, G. 1983. Biology of Tipulidae. *Annual Review of Entomology* 28: 1-22.
- Richard, C. and Boivin, G. 1994. *Maladies et ravageurs des cultures légumières au Canada*. La Société canadienne de phytopathologie et la Société d'entomologie du Canada. M.O.M. Printing Ltd., Ottawa. 590p.
- Ricou, G. 1967. L'alimentation des larves de tipules (*Tipula paludosa* Meig.). *Annales de la Nutrition et de l'Alimentation* 21: 199-215.
- Ripper, W. E. 1957. Effect of pesticides on balance of arthropod populations. *Annual Review of Entomology* 1: 403-438.

- Rocheffort, S., Carrière, Y., Brodeur, J. et Desjardins, Y. 1998. Projet-pilote de lutte intégrée dans les pelouses rapport d'étape. Centre de recherche en horticulture, Université Laval, Québec, 59p.
- Rocheffort, S., Carrière, Y., Shetlar, D. J. et Brodeur, J. 2003. Abondance saisonnière des espèces de pyrales des prés (Lepidoptera: Crambidae) associées aux graminées à gazon au Québec. *Phytoprotection* 84: 69-75
- Rothwell, N. L. 2003. Investigation into *Listronotus maculicollis* (Coleoptera: Curculionidae), a pest of highly maintained turfgrass. Thèse de doctorat, University of Massachusetts, Amherst, Massachusetts, États-Unis, 170p.
- Rovesti, L. et Deseö, K. V. 1990. Compability of chemical pesticides with the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae* Weiser and *S. feltiae* Filipjev (Nematoda: Steinernematidae). *Nematologica* 36: 237-245.
- Royer, L., Bélair, G., Boivin, G. et Fournier, Y. 1996. Attractiveness of cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) to entomopathogenic Steinernematid nematodes. *Journal of Economic Entomology* 89: 614-620.
- Rueda, L. M., Osawaru, S. O., Georgi, L. L. et Harrison, R. E. 1993. Natural occurrence of entomogenous nematodes in Tennessee nursery soils. *Journal of Nematology* 25: 181-188.
- SAS Institute. 1999. SAS systems for Windows. v. 8. SAS Institute, Cary.
- Schmiege, D. C. 1963. The feasibility of using a neoaplectanid nematode for control of some forest insect pests. *Journal of Economic Entomology* 56: 427-431.
- Schroeder, W. J. 1994. Comparison of two Steinernematid Species for control of the root weevil *Diaprepes abbreviatus*. *Journal of Nematology* 26: 360-362.
- Schumann, G. L., Vittum, P. J., Elliot, M. L. et Cobb, P. P. 1998. IPM handbook for golf courses. Ann Arbor Press, Chelsea, 264p.
- Sears, M. K. 1978. Damage to golf course fairways by *Aphodius granarius* (L.) (Coleoptera: Scarabaeidae). *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* 109: 48.
- Sears, M. K., Hsiang, T. et Charbonneau, P. 1996. Diseases and insects of turfgrass in Ontario. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Publication 162. 36p.
- Shapiro-Ilan, D. I., Gouge, D. H. et Koppenhöfer, A. M. 2002. Factors affecting commercial success: case studies in cotton, turf and citrus, dans Gaugler, R. (ed.), *Entomopathogenic nematodes*. CABI Publishing, New York, pp. 333-355.

- Shetlar, D. J., Belcher, M., Niemczyk, H. D. et Richmond, D. S. 1996. Black cutworm and sob webworm larval control with biologicals on creeping bentgrass. *Arthropod Management Tests* 22: 351-352.
- Shetlar, D. J., Suleman, P.E. et Georgis, R. 1988. Irrigation and Use of Entomogenous Nematodes, *Neoaplectana* spp. and *Heterorhabditis heliothidis* (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae), for Control of Japanese Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) Grubs in turfgrass. *Journal of Economic Entomology* 81: 1318-1322.
- Showers, W. B. 1997. Migratory ecology of the black cutworm. *Annual Review of Entomology* 42: 393-425.
- Simard, L., Bélair, G. et Brodeur, J. 2001. Susceptibility of the European chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) to entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae). *Supplement to the Journal of Nematology* 33: 297-301.
- Simard, L., Bélair, G. et Brodeur, J. 2002. Susceptibility of cranberry girdler to entomopathogenic nematodes. *Canadian Entomologist* 134: 329-330.
- Simard, L., Bélair, G., Gosselin, M. E. et Dionne, J. 2006a. Virulence of Entomopathogenic Nematodes (Rhabditida: Steinernematidae, Heterorhabditidae) Against *Tipula paludosa* (Diptera: Tipulidae), a Turfgrass Pest on Golf Courses. *Biocontrol Science and Technology* (sous presse).
- Simard, L., Brodeur, J., Taschereau, E. et Dionne, J. 2006b. Emergence of a new turfgrass insect pest on golf courses in Quebec, the European crane fly, *Tipula paludosa* (Diptera:Tipulidae). *Phytoprotection* (sous presse).
- Smitley, D. R., Davis, T. W. et Rothwell, N. L. 1998. Spatial distribution of *Ataenius spretulus*, *Aphodius granarius* (Coleoptera: Scarabaeidae), and predaceous insects across golf course fairways and roughs. *Environmental Entomology* 27: 1336-1349.
- Snow, J. T. 2003. The economic impact of golf course industry. Annual Meeting of ASA-CSSA-SSSA, Denver, CO, États-Unis, Novembre. *Agronomy Abstracts*
- Stock, S. P., Mracek, Z. et J. M. Webster, 2000. Morphological variation between allopatric populations of *Steinernema kraussei* (Steiner, 1923) (Rhabditida: Steinernematidae). *Nematology* 2: 143-152.
- Stock, S. P., Pryor, B. M. et Kaya, H. K. 1999. Distribution of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae and Heterorhabditidae) in natural habitats in California, USA. *Biodiversity and Conservation* 8: 535-549.
- Stuard, R. J. et Gaugler, R. 1994. Patchiness in populations of entomopathogenic nematodes. *Journal of Invertebrate Pathology* 64: 39-45.

- Sturhan, D. 1999. Prevalence and habitat specificity of entomopathogenic nematodes in Germany, dans Gwynn, R. L., Smits, P. H., Griffin, C., Ehlers, R.-U., Boemare, N. et Masson, J.-P. (eds). COST 819 –Entomopathogenic nematodes-Application and Persistence of Entomopathogenic Nematodes. European Commission, Luxembourg, DG XII, pp. 123-132.
- Swier, S. R. 1989. Black cutworm control with entomophagous nematodes. *Insecticide & Acaricide Tests* 15: 323.
- Tabashnick, B. E. et Cushing, N. L. 1987. Quantitative genetic analysis of insecticide resistance: variation in fenvalerate tolerance in a diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) population. *Journal of Economic Entomology* 82: 5-10.
- Tanner, R. A. et Gange, A. C. 2005. Effects of golf courses on local biodiversity. *Landscape and Urban Planning* 71: 137-146.
- Tanvez, P. J. 2003. Évaluation du potentiel de résistance aux vers gris (*Agrotis ipsilon*) de différents écotypes de pâturin annuel (*Poa annua* var *reptans*). Mémoire de fin d'études, I.S.A.R.A, Lyon, France, 70p.
- Tashiro, H. 1987. Turfgrass insects of the United States and Canada. Cornell University Press, Ithaca. 391p.
- Thurston, G. S., Kaya, H. K. et Gaugler, R. 1994. Characterizing the enhanced susceptibility of milky disease-infected scarabaeid grubs to entomopathogenic nematodes. *Biological Control* 4: 67-73.
- Thurston, G. S., Kaya, H. K., Burlando, T. M. et Harrison, R. E. 1993. Milky disease bacterium as a stressor to increase susceptibility of scarabaeid larvae to an entomopathogenic nematode. *Journal of Invertebrate Pathology* 61: 167-172.
- Vittum, P. 1979. A taxonomic study of two species of *Hyperodes* (Coleoptera: Curculionidae) damaging turfgrass in New York state. Mémoire de maîtrise, Cornell University, Ithaca, New York, États-Unis, 50p.
- Vittum, P. J. 1995. Black turfgrass ataenius, dans Brandenburg, R. L. et Villani, M. G. (eds.), *Handbook of turfgrass insect pests*. Entomological Society of America, Lanham, pp. 35-37.
- Vittum, P. J. 2005a. Annual bluegrass weevil: a metropolitan pest on the move. *Golf Course Management* May: 105-108.
- Vittum, P. J. 2005b. Nonchemical options for controlling the annual bluegrass weevil. *Golf Course Management*, November: 78-80.

- Vittum, P. J. et Tashiro, H. 1987. Seasonal activity of *Listronotus maculicollis* (Coleoptera: Curculionidae) on annual bluegrass. *Journal of Economic Entomology* 80: 773-778.
- Vittum, P. J., Villani, M. G. et Tashiro, H. 1999. Turfgrass insects of the United States and Canada, 2nd ed. Cornell University Press, Ithaca. 440p.
- Vlug, H. G. et Harrewijn, P. 1994. Analysis of gut contents and feeding behavior of tipulid larvae (Diptera: Tipulidae) using a new root-staining technique. *Journal of Economic Entomology* 87: 101-102.
- Volgyi, A., Fodor, A. et Forst, S. 2000. Inactivation of a novel gene produces a phenotypic variant cell and affects the symbiotic behaviour of *Xenorhabdus nematophilus*. *Applied and Environmental Microbiology* 66: 1622-1628.
- Watson, A. 2001. Biological control of weeds in turfgrass. Réunion annuelle de la SPPQ 2001, Québec, Qc, Canada, Septembre. *Phytoprotection* 82: 134-135.
- Wegner, G. S. et Niemczyk, H. D. 1981. Bionomics and phenology of *Ataenius spretulus*. *Annals of the Entomological Society of America* 74: 374-384.
- Wilkinson, A. T. S. et MacCarthy, H. R. 1967. The marsh crane fly, *Tipula paludosa* Mg., a new pest in British Columbia (Diptera: Tipulidae). *Journal of the Entomological Society of British Columbia* 64: 29-34.
- Williamson, R. C. et Potter, D. A. 1997a. Nocturnal activity and movement of black cutworms (Lepidoptera: Noctuidae) and response to cultural manipulations on golf course putting greens. *Journal of Economic Entomology* 90: 1283-1289.
- Williamson, R. C. et Potter, D. A. 1997b. Cutworms relish some grasses, avoid others. *Golf Course Management*, December: 49-52.
- Williamson, R. C. et Potter, D. A. 1997c. Oviposition of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) on creeping bentgrass putting greens and removal of eggs by mowing. *Journal of Economic Entomology* 90: 590-594.
- Williamson, R. C. et Potter, D. A. 2001. Survival and development of black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on creeping bentgrass cultivars. *International Turfgrass Society Research Journal* 9: 810-813.
- Willmott, D. M., Hart, A. J., Long, S. J., Edmondson, R. N. et Richardson, P. N. 2002. Use of a cold-active entomopathogenic nematode *Steinernema kraussei* to control overwintering larvae of the black vine weevil *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae) in outdoor strawberry plants. *Nematology* 4: 925-932.

- Willson, H. R., Semel, M., Tebcherany, M., Probst, D. J. et Hill, A. S. 1981. Evaluation of sex attractant and black light traps for monitoring black cutworm and variegated cutworm. *Journal of Economic Entomology* 74: 517-519.
- Wilson, M., Wanmin, M., Hashmi, S. et Gaugler, R. 1999. Risk assessment and fitness of the transgenic entomopathogenic nematode. *Biological Control* 15: 81-87.
- Woolbright, L., Elliott, N. B., Fraser, D. F., Salinetti, P. et Dodson, R. G. 2005. Mowing regimes for rough: encouraging biodiversity. *Golf Course Management*, January 151-153.

Annexe

Liste des terrains de golf participants

Code	Nom	Municipalité
<u>Québec</u>		
GC1	Club de golf Sherbooke	Sherbrooke
GC2	Whitlock Golf and Country Club	Hudson
GC3	Club de golf St-Raphaël	Ile Bizard
GC4	Club de golf Parcours du cerf	Longueuil
GC5	Country Club de Montréal	St-Lambert
GC6	Club de golf Islemere	Laval
GC7	Club de golf La Providence	St-Hyacinthe
GC8	Club de golf St-Hyacinthe	St-Hyacinthe
GC9	Hillsdale Golf and Country Club	Mirabel
GC10	Golf St-Janvier Inc	St-Janvier
GC11	Golf le Château Montebello	Montebello
GC12	Club de golf Piedmont	Piedmont
GC13	Club de golf Montcalm	St-Liguori
GC14	Club de golf Louiseville	Louiseville
GC15	Club de golf de Lévis	Lévis
GC16	Golf Royal Charbourg	Charlesbourg
GC17	Golf St-Michel	St-Michel
GC18	Club de golf du Bic	Bic
GC19	Club de golf de Chicoutimi	Chicoutimi
<u>Ontario</u>		
GC20	Erie Shores Golf & Country Club	Leamington
GC21	St. Thomas Golf & Country Club	St.Thomas
GC22	Hunters Pointe Golf Course	Welland
GC23	Niagara-on-the-lake Golf Course	Niagara-on-the-lake
GC24	Galt Country Club	Cambridge
GC25	Westmount Golf & Country Club	Kitchener
GC26	Lakeview Golf Course	Mississauga
GC27	Rosedale Golf & Country Club	Toronto
GC28	Weston Golf & Country Club	Weston
GC29	Diamondback Golf Club	Richmond Hill
GC30	Picton Golf & Country Club	Picton
GC31	Peterborough Golf & Country Club	Peterborough
GC32	Big Bay Pointe Golf & Country Club	Innisfil
GC33	The Briars Golf Club	Jackson's Point
GC34	Blue Mountain Golf & Country Club	Collingwood
GC35	Taboo Golf Club	Gravenhurst
GC36	Muskoka Lakes Golf & Country Club	Port Carling
GC37	Renfrew Golf Club	Renfrew
GC38	Jewel of the North Golf Resort	Redbridge