

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTREAL

ÉTUDE SUR L'ENTOMOFAUNE ET L'IRRIGATION PAR
ASPERSION DANS LES BLEUETIÈRES SEMI-CULTIVÉES

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN BIOLOGIE

PAR
ÈVE-CATHERINE DESJARDINS

JUILLET 2014

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

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

AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé au Centre de Recherche Les Buissons et rendu possible grâce à l'Union des producteurs agricoles de la Côte-Nord, au Syndicat des producteurs de bleuets du Québec, à l'Association des producteurs de bleuets de la Côte-Nord, au ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, au ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation ainsi qu'au Développement Économique Canada.

Cette thèse est constituée de cinq chapitres dont trois sont sujets à devenir des publications scientifiques. Le dernier chapitre a permis de publier le guide d'identification des alliés et ennemis du bleuet nain : insectes, maladies et végétaux. La première partie (Chapitres II et III) de cette étude était sous la supervision de monsieur Domingos de Oliveira et de madame Barbara Otrysko. Quinze aides de terrain ont participé aux observations réalisées sur le terrain.

Je tiens à remercier sincèrement mon directeur et ma superviseuse de recherche Domingos de Oliveira et Barbara Otrysko pour leur aide précieuse et leurs encouragements. Je tiens à témoigner ma gratitude à tous ceux et celles qui m'ont aidée sur le terrain. Un merci tout spécial à mes filles Clémence et Ophélia qui ont vu le jour pendant la réalisation de ce grand projet de recherche, ainsi qu'à mon conjoint Frédéric Bénichou et mes parents pour leur support.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS ET REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	x
RÉSUMÉ.....	xi
CHAPITRE I	
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1 Facteurs influençant la production fruitière du bleuetier nain.....	2
CHAPITRE II	
ARTICLE 1 EFFETS DE L'IRRIGATION PAR ASPERSION ET DE LA MEGACHILE ROTUNDATA SUR LES COMPOSANTES D'UNE BLEUETIÈRE : PRODUCTION FRUITIÈRE, ENTOMOFAUNE, MALADIES ET PLANTES ADVENTICES.....	7
2.1 Résumé	7
2.2 Introduction	8
2.2.1 Gel.....	8
2.2.2 Sécheresse	10
2.2.3 Système d'irrigation par aspersion.....	10
2.2.4 Introduction de pollinisateurs exotiques : Megachile rotundata.....	11
2.3 Objectifs	122
2.3.1 Hypothèses de travail	133
2.4 Méthodologie	133
2.4.1 En bleuetière.....	133
2.4.2 Suivi de la sécheresse du sol et des facteurs microclimatiques.....	188
2.4.3 Suivi de l'entomofaune et des maladies.....	19
2.5 Résultats	21
2.5.1 Facteurs météorologiques.....	21
2.5.2 Poids moyen d'un bleuet.....	244
2.5.3 Taux de mise à fruit.....	266
2.5.4 Rendements.....	28

2.5.5 Densité de mégachiles.....	31
2.5.6 Influence de la Megachile rotundata sur les butineurs indigènes.....	33
2.5.7 Activité quotidienne des insectes butineurs	34
2.5.8 Aspersions en période de floraison.....	37
2.5.9 Maladies fongiques	38
2.6 Discussion	41
2.6.1 Facteurs météorologiques.....	41
2.6.2 Poids moyen d'un bleuet.....	42
2.6.3 Taux de mise à fruit.....	43
2.6.4 Rendements.....	45
2.6.5 Densité de mégachiles.....	50
2.6.6 Influence de la Megachile rotundata sur les butineurs indigènes.....	50
2.6.7 Activité quotidienne des insectes butineurs	51
2.6.8 Influence de l'aspersion et de la mégachile sur les maladies fongiques	54
2.7 Conclusion.....	55
2.8 Liste de références.....	57
CHAPITRE III	
ARTICLE 2 INFLUENCE DE L'ASPERSION ET DES BASSES TEMPÉRATURES SUR LA FÉCONDITÉ FLORALE DU BLEUETIER NAIN.....	
3.1 Résumé	66
3.2 Introduction	67
3.2.1 Fécondité florale : le pollen.....	67
3.2.2 Fécondité florale : le pistil.....	68
3.3 Problématique et objectifs	69
3.4 Méthodologie	70
3.4.1 Pollinisation croisée	72
3.4.2 Fécondité florale.....	72
3.5 Résultats	73
3.6 Discussion	74

3.7 Conclusion.....	76
3.8 Liste de références.....	76
CHAPITRE IV	
ARTICLE 3 CARACTÉRISATION DE L'ENTOMOFAUNE DES BLEUETIÈRES DU QUÉBEC.....	81
4.1 Résumé.....	81
4.2 Introduction.....	82
4.3 Méthodologie.....	86
4.3.1 Suivi entomologique (dispositif) en bleuetière.....	86
4.3.2 Élevage en laboratoire et suivi des niohirs.....	90
4.4 Résultats.....	93
4.4.1 Alliés : insectes pollinisateurs.....	93
4.4.1.1 Inventaire entomologique.....	93
4.4.1.2 Abondance, distribution et influence du milieu forestier.....	94
4.4.1.3 Bourdons.....	97
4.4.1.4 Halictidés.....	100
4.4.2 Insectes nuisibles.....	101
4.4.2.1 Inventaire entomologique.....	101
4.4.2.2 Distribution horizontale et verticale.....	102
4.4.2.3 Présence temporelle des stades vitaux.....	103
4.4.3 Alliés : insectes prédateurs et parasitoïdes d'insectes nuisibles.....	105
4.4.3.1 Inventaire entomologique.....	105105
4.4.3.2 Distribution verticale et horizontale.....	106
4.5 Discussion.....	109
4.5.1 Inventaire, abondance et biologie des pollinisateurs.....	109
4.5.2 Distribution des pollinisateurs en bleuetière.....	116
4.5.2.1 Distribution horizontale : influence du milieu forestier.....	116
4.5.2.2 Distribution verticale.....	118
4.5.2.3 Présence temporelle.....	118
4.5.3 Inventaire et abondance des insectes nuisibles.....	119

4.5.4 Distribution des insectes nuisibles en bleuetières	121
4.5.4.1 Distribution horizontale : influence du milieu forestier	121
4.5.4.2 Distribution verticale.....	123
4.5.4.3 Présence temporelle et biologie des espèces nuisibles	124
4.5.6 Inventaire et abondance des arthropodes prédateurs et parasitoïdes d'insectes nuisibles	129
4.5.7 Distribution des arthropodes alliés en bleuetières.....	130
4.5.7.1 Distribution horizontale : influence du milieu forestier	130
4.5.8 Biologie des arthropodes alliés : Distribution verticale, proies et présence temporelle	132
4.6 Conclusion.....	140
4.7 Liste de références.....	142
CHAPITRE V	
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	154
5.1 Liste de références.....	156

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1 Dispositif expérimental à la bleuetière des Escoumins	15
2.2 Schéma de l'abri à mégachiles	17
2.3 Schéma d'une sous-parcelle	20
2.4 Moyennes des températures quotidiennes minimales (2003-04-05) aux bleuetières de Sacré-Cœur et des Escoumins.....	22
2.5 Pluviométrie cumulative et assèchement du sol au cours de la saison estivale 2004 à la bleuetière des Escoumins	23
2.6 Températures enregistrées lors d'une aspersion afin de contrer le gel (nuit du 12 au 13 juin 2003) à la bleuetière de Sacré-Cœur	23
2.7 Poids moyens d'un bleuet nain ($\pm$ ÉT) en fonction des traitements aspersions et de la densité de <i>Megachile rotundata</i> à Sacré-Coeur (étés 2003-04-05)	25
2.8 Poids moyens d'un bleuet nain ($\pm$ ÉT) en fonction des traitements aspersions et de la densité de <i>Megachile rotundata</i> aux Escoumins (étés 2003-04-05).....	256
2.9 Taux de mise à fruit (en août) moyens ($\pm$ ÉT) du bleuetier nain en fonction des traitements aspersions et de la densité de <i>Megachile rotundata</i> à Sacré-Coeur (2003-04-05).....	27
2.10 Rendements moyens ($\pm$ ÉT) de la bleuetière semi-cultivée en fonction des traitements aspersions et densité de <i>Megachile rotundata</i> à Sacré-Coeur (étés 2003-04-05)	30
2.11 Rendements moyens ($\pm$ ÉT) de la bleuetière semi-cultivée en fonction des traitements aspersions et densité de <i>Megachile rotundata</i> aux Escoumins (étés 2003-04-05)	30
2.12 Moyennes de mégachiles (<i>Megachile rotundata</i>) ($\pm$ ÉT) par relevé qui butinent les fleurs du bleuetier nain en fonction des traitements aspersions et du nombre de <i>Megachile rotundata</i> introduit par abri à la bleuetière de Sacré-Coeur (2003-04-05).....	32
2.13 Moyennes de mégachiles (<i>Megachile rotundata</i>) ($\pm$ ÉT) par relevé qui butinent les fleurs du bleuetier nain en fonction des traitements aspersions et du nombre de <i>Megachile rotundata</i> introduit par abri à la bleuetière des Escoumins (2003-04-05)	32

2.14 Moyennes d'abeilles indigènes ($\pm$ ÉT) par relevé en fonction de la densité de <i>Megachile rotundata</i> aux bleuetières des Escoumins et de Sacré-Cœur au cours de la période de floraison, 2003-04-05.....	33
2.15 Activité quotidienne moyenne des insectes aux bleuetières des Escoumins et de Sacré-Cœur, étés 2003-04-05	35
2.16 Activité quotidienne moyenne de la <i>Megachile rotundata</i> et de l'ensemble des pollinisateurs indigènes en bleuetières (étés 2003-04-05).....	36
2.17 Températures quotidiennes moyennes ($\pm$ ÉT) en bleuetières pendant la période de floraison du bleuetier nain (5 juin au 7 juillet 2003-04-05).....	36
2.18 Activité moyenne des butineurs ($\pm$ ÉT) la journée suivant une aspersion lors de la période de floraison du bleuetier nain en fonction du type d'aspersion aux bleuetières de Sacré-Coeur et des Escoumins (étés 2003-04-05).....	37
2.19 Pourcentage moyen ($\pm$ ÉT) de couverture moyen du blanc, <i>Microsphaera penicillata</i> var. <i>vaccinii</i> (Schwein.) en fonction du traitement aspersion à la bleuetière des Escoumins en août 2003-04-05	38
2.20 Apparition et développement du blanc, <i>Microsphaera penicillata</i> var. <i>vaccinii</i> (Schwein.) dans le temps en fonction des traitements aspersion et de la densité de mégachile dans la bleuetière des Escoumins (2003-04-05).....	39
2.21 Apparition et développement de la tache septorienne, <i>Septoria</i> spp., et de la rouille, <i>Naohidemyces vaccinii</i> (Wint.), dans le temps en fonction des traitements aspersion et de la densité de mégachile à la bleuetière de Sacré-Coeur (2003-04-05).....	40
3.1 Représentation du taux de mise à fruit résultant d'une pollinisation manuelle avant et après différents traitements aspersion effectués en chambres à environnement contrôlé (étés 2004-05-06).....	74
4.1 Schéma du dispositif expérimental en bleuetière affichant trois transects, neuf stations d'échantillonnage et les techniques d'échantillonnage entomologique	89
4.2 Nichoir de bois utilisé comme technique de piégeage des insectes nicheurs.....	89
4.3 Boîte « life guard » et contenant fournissant l'eau nécessaire aux tiges végétales.....	91
4.4 Abeille du genre <i>Osmia</i> (Hymenoptera : Megachilidae).....	97
4.5 Nid de l' <i>Osmia</i>	97
4.6 Espèces du genre <i>Bombus</i> (Hymenoptera : Apidae) capturées en bleuetières	99

4.7 Espèces parasites du genre <i>Bombus</i> (Hymenoptera : Apidae) capturées en bleuetières	99
4.8 Guêpe maçonne (Vespidae : Eumeninae).....	105
4.9 Nid de la guêpe maçonne composé de cellules remplies de chenilles dont s'alimente la larve.	105

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
4.1 Pollinisateurs potentiels associés aux bleuetières du Québec ainsi que la distribution spatiale et la présence temporelle des adultes.....	96
4.2 Espèces de bourdons (Hymenoptera : <i>Bombus</i> spp.) associées aux bleuetières du Québec ainsi que la distribution spatiale et la présence temporelle des femelles adultes.....	100
4.3 Sous-genres d' <i>Halictidae</i> (Hymenoptera) associés aux bleuetières du Québec ainsi que la distribution spatiale et la présence temporelle des femelles adultes.	101
4.4 Insectes nuisibles potentiels associés aux bleuetières du Québec ainsi que leur distribution spatiale et leur présence temporelle.	104
4.5 Alliés potentiels, arthropodes prédateurs et parasitoïdes, associés aux bleuetières du Québec ainsi que leur distribution spatiale et leur présence temporelle.....	108

RÉSUMÉ

Cette étude consiste à caractériser et à quantifier l'apport de l'irrigation par aspersion d'eau afin de contrer le gel et la sécheresse ainsi que de la *Megachile rotundata*, une abeille introduite pour fin de pollinisation, à la production des bleuetières. L'influence de cette aspersion sur les fleurs et la mise à fruit est évaluée en laboratoire et viendra bonifier l'étude terrain. Parallèlement, un inventaire des taxons et une étude de leur distribution temporelle et spatiale (distribution horizontale et verticale) ont été réalisés dans huit bleuetières du Lac-Saint-Jean et de la Côte-Nord. Ce projet de recherche comporte ainsi une étude expérimentale en laboratoire et sur le terrain (influence de l'aspersion et de la mégachile sur la production fruitière du bleuetier nain) réalisée sur la Côte-Nord et une étude descriptive (caractérisation entomologique des bleuetières) réalisée au Lac-Saint-Jean et sur la Côte-Nord. L'étude expérimentale s'est déroulée sur une période de trois ans (2003 à 2005) en laboratoire et dans deux bleuetières situées à Sacré-Cœur et aux Escoumins, Côte-Nord. Elle s'est prolongée de deux années afin de compléter une caractérisation entomologique. En laboratoire, quatre traitements aspersion ont été appliqués annuellement sur 20 bleuetiers (cinq par traitement) avant et suivant la pollinisation des fleurs. Sur le terrain, six répétitions de deux niveaux de facteurs ($A = \text{densité de } Megachile \text{ rotundata}$ X $B = \text{type d'aspersion}$) sont appliquées annuellement aux deux bleuetières de la Côte-Nord afin de quantifier leur effet sur la production fruitière (poids d'un fruit, taux de mise à fruit et rendement). À la bleuetière de Sacré-Cœur (climat continental) les mégachiles introduites font augmenter les rendements d'un maximum de 286 kg/ha. À une densité optimale de mégachile, c'est l'aspersion afin de contrer la sécheresse qui influence le plus fortement les rendements (augmentation de 603 kg/ha). À la bleuetière des Escoumins (climat de type maritime), aucun traitement n'a d'influence sur les rendements. En laboratoire, l'aspersion lors d'un gel en plus de protéger la fécondité des fleurs fait augmenter les taux de mise à fruit de 30% par rapport au témoin sans gel. Une humidité supérieure semble donc favoriser la fécondité florale. Les bourdons et les halictidés sont les principaux pollinisateurs des bleuetières du Québec. Un déclin très important de *Bombus terrestris* et de son parasite *B. (Psithyrus) ashtoni* est observé. *Bombus borealis*, une espèce de bourdon nouvellement associée aux bleuetières du Québec, semble s'être accaparée sa niche écologique. De manière générale, les insectes nuisibles sont plus abondants à l'intérieur de la bleuetière et les alliés à l'écotone. La distribution des pollinisateurs semble plutôt liée à la ressource florale dominante (bleuetier nain) étant aussi abondants en bleuetière qu'à l'écotone.

Mots-clés : pollinisation, *Megachile rotundata*, bleuet nain, *Vaccinium angustifolium*, irrigation, aspersion, gel, sécheresse, production fruitière, inventaire entomologique, caractérisation entomologique, alliés, insectes nuisibles et maladies.

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La production de bleuets semi-cultivés est sous l'influence à la fois des agents anthropiques et des facteurs environnementaux naturels qui maintiennent une mise à fruit relativement basse, située entre 15 et 60 % (Wood, 1968). Les récoltes fluctuent au gré des années, principalement en fonction de l'importance des populations d'insectes pollinisateurs indigènes (Hall *et al.*, 1982) et des périodes de gel et de sécheresse (Luby *et al.*, 1990) au détriment de la stabilité de l'industrie du bleuet. Ces problématiques culturelles ont été amplifiées par un accroissement de l'intervention humaine représentative d'une pratique agricole intensive. Dans la production du bleuet sauvage, cette régie se traduit, entre autres, par une coupe du couvert forestier sur de grandes étendues, un apport nutritif (fertilisation), une gestion des nuisances (maladies, ravageurs et mauvaises herbes), une introduction de pollinisateurs domestiqués et marginalement par l'implantation de systèmes d'irrigation par aspersion (Metzger et Ismail, 1976; Hall *et al.*, 1979 ; Blatt *et al.*, 1989). Ainsi, la suppression du couvert forestier qui joue un rôle de tampon climatique a engendré une amplification des facteurs microclimatiques, « désertification » du milieu augmentant l'abondance et l'intensité des périodes de gel et de sécheresse en bleuetières. La fertilisation favorise la croissance de mauvaises herbes plus réceptives aux fertilisants que le bleuetier qui est un mauvais compétiteur pour les minéraux et l'eau (Smith *et al.*, 1946; Rayment, 1965; Gough, 1996). L'épandage de pesticides (Wood et Wood, 1962; Kevan, 1975; C.N.R.C., 1981), la raréfaction des ressources florales alternatives (Stubbs *et al.*, 1992) et la destruction de sites de nidification des pollinisateurs indigènes par brûlage (Boulanger *et al.*, 1967) ou la destruction des habitats naturels ont entraîné une diminution de l'entomofaune pollinisatrice (MacKenzie et Winston, 1984).

La création de ces nouvelles problématiques nous amène vers la recherche de solutions pratiques. Ainsi, la dominance écologique du bleuetier est maintenue par l'application d'herbicides (Yarborough *et al.*, 1986). Un bon taux de pollinisation est obtenu grâce à l'introduction de pollinisateurs domestiqués (Aras *et al.*, 1996; Stubbs et Drummond, 1997; Desjardins, 2003) ou par des aménagements favorisant l'établissement de pollinisateurs

indigènes (Thériault, 1999; Rodrigue, 2002; Walton et Isaacs, 2011; Desjardins, 2012). L'aménagement forêt-bleuet qui préconise une alternance entre les milieux forestiers et culturels, l'implantation de brise-vents et de plates-bandes d'espèces végétales florifères dans les bleuetières déjà établies en sont des exemples (Thériault, 1999; Rodrigue, 2002; Desjardins, 2012). Selon Thériault (1999) et Rodrigue (2002), la préservation de milieux forestiers devrait atténuer le gel et la sécheresse grâce à l'effet radiant de son microclimat vers la bleuetière. L'aménagement forêt-bleuet ainsi que les brise-vents contribuent à la conservation d'habitats favorables à la nidification des insectes pollinisateurs et à la rétention d'une couche de neige protectrice sur les bleuetiers lors des froids hivernaux (Thériault, 1999; Rodrigue, 2002).

1.1 FACTEURS INFLUENÇANT LA PRODUCTION FRUITIÈRE DU BLEUETIER NAIN

GELS TARDIFS (PRINTANIER) ET HÂTIFS (AUTOMNAL)

Les organes floraux du bleuetier nain sont sensibles aux facteurs environnementaux et plus particulièrement aux basses températures (Hall *et al.*, 1971; Olson et Eaton, 2001; Hicklenton *et al.*, 2002). Ainsi, au fil des ans plusieurs épisodes de gel ont causé une perte importante et quelquefois une perte totale de la production faisant de ce facteur climatique un des principaux enjeux dans la production du bleuet nain. Au moment de la période de floraison, une température de $-1,1^{\circ}\text{C}$ et moins affecte les rendements d'une bleuetière pouvant endommager les jeunes feuilles, les fleurs ainsi que les bourgeons floraux et foliaires; les fleurs ouvertes gèlent à partir de $-2,2^{\circ}\text{C}$ (seuil critique pour le gel en bleuetière) (Lavoie et Guillemette, 1962; Hall *et al.*, 1971; Hepler *et al.*, 1978; Hicklenton *et al.*, 2002; Yarborough, 2002). À la fin de l'été, un gel hâtif peut causer un ramollissement et la persistance de pédicelles sur les fruits (Hall et Leefe, 1966), ce qui nuit à leur commercialisation. De plus, ce gel amène l'abscission accélérée des bleuets mûrs et une plus grande proportion de bleuets verts dans la récolte.

SÉCHERESSE

Une période de sécheresse au cours de l'anthèse, et plus particulièrement dans le mois précédant la récolte, affecte la production (Struchtemeyer, 1956; Benoît *et al.*, 1984; Spiers, 1996). Un stress hydrique à ce moment affecte la grosseur des fruits produits (Chandler et Masson, 1942; Young, 1951; Sylvestre, 1970-71; Hickelton *et al.*, 2000). Les bleuets alors produits ont la réputation d'être plus petits et d'afficher une maturation inégale affectant ainsi les rendements finaux et la qualité de la récolte.

INSECTES NUISIBLES ET LEURS ENNEMIS NATURELS

Les ennemis naturels (arthropodes prédateurs et parasitoïdes d'autres arthropodes) procurent un service fondamental de régulation des populations pour un milieu agricole écologiquement fonctionnel et durable (Corbett et Rosenheim, 1996; Losey et Vaughan, 2006). Ainsi, un déclin de cette communauté d'arthropodes bénéfiques peut perturber le processus écosystémique original qui, normalement, maintenait à des seuils acceptables les populations d'espèces indésirables; les problèmes de prolifération des nuisances apparaissent (Root, 1973; Andow, 1991; Symondson *et al.*, 2002; Losey et Vaughan, 2006). Dans ce sens, selon Landis *et al.* (2005) une majorité d'études démontrent qu'une diversification culturale génère une plus grande abondance et/ou richesse spécifique d'arthropodes bénéfiques. Les alliés favorisés sont, entre autres, les araignées (Sunderland et Samu, 2000; Nyffeler et Sunderland, 2003), les insectes prédateurs et parasitoïdes (Nentwig, 1988; Corbett et Rosenheim, 1996; Tscharnkte *et al.*, 1998; Steffan-Dewenter, 2002; Marino *et al.*, 2006) ainsi que les pollinisateurs (Steffan-Dewenter *et al.*, 2002; Kremen *et al.*, 2004).

Les bleuetières sont des milieux cultureux faiblement diversifiés soumis, la plupart de temps, à une régie de production intensive : coupe à blanc du milieu forestier suivie d'une application régulière de pesticides et de fertilisants de synthèse. Ce type de culture peut, tel que discuté préalablement, affecter particulièrement les ennemis naturels, prédateurs et parasitoïdes (Root, 1973; Andow, 1991; Menalled *et al.*, 1999; Thies et Tscharnkte, 1999) des insectes ravageurs, ainsi que les pollinisateurs (Steffan-Dewenter *et al.*, 2002; Kremen *et al.*, 2004) en créant : 1. des microclimats extrêmes inhospitaliers à plusieurs espèces d'arthropodes bénéfiques : faible humidité, température extrême et une exposition directe et

continue au soleil ce qui découle principalement d'une perte du milieu forestier qui agit comme tampon climatique en bordure de bleuetière seulement; 2. une disponibilité inégale de la ressource alimentaire due principalement à une faible diversité végétale; 3. une rareté des sites de nidification et 4. une perte d'habitats refuges, zones sources permettant une recolonisation des milieux perturbés. Les producteurs de bleuets nains doivent ainsi faire face à plusieurs espèces d'insectes nuisibles d'importance telles la mouche du bleuet (*Rhagoletis mendax* Curran), l'arpenteuse de l'airelle (*Macaria argillacearia* Packard) et l'altise du bleuet (*Altica sylvia* Malloch) (Crozier et Neilson, 1989; Gaul *et al.* 2002) dont les ennemis naturels (Drummond et Groden, 2000) n'arrivent plus à contrôler les populations en bleuetières. Selon ces derniers auteurs les principaux ennemis naturels de la mouche du bleuet sont deux guêpes parasitoïdes de la famille des braconidae, *Opius ferrugineus* Gahan et *O. melleus* Gahan. Ces guêpes passent leur diapause hivernale à l'intérieur de la puppe de la mouche. Aucun parasitoïde n'a été observé pour l'altise du bleuet et trois espèces de mouches tachinaires (*Winthemia quadripustulata* (Fabricius), *Madremyia saundersii* (Williston), *Zenillia vulgaris* (Fallén)) parasitoïdes ont pour hôte l'arpenteuse de l'airelle (Drummond et Groden, 2000).

POLLINISATEURS DU BLEUETIER NAIN

La pollinisation est le principal facteur limitant la production de bleuets nains (Lee, 1958; Karmo *et al.*, 1959; Aras *et al.*, 1996; Desjardins, 2003; Desjardins et de Oliveira, 2006). Le bleuétier nain étant peu ou pas autofécond, sa fleur a généralement besoin d'une pollinisation croisée effectuée par les insectes afin de produire un fruit (Aalders et Hall, 1961; Wood, 1968; Hall *et al.*, 1979). Cette pollinisation entomophile est nécessaire vue la structure particulière de la fleur (Eck, 1988) et ses relativement gros grains de pollen, difficilement portés par le vent (Marucci, 1966). La fleur est formée d'une corolle de pétales soudés s'ouvrant vers le bas et d'un style aux parois glabres sur lesquelles glissent par gravité les grains de pollen qui ne peuvent ainsi atteindre la surface stigmatique orientée vers le sol (Eck, 1988).

Ainsi, les insectes (vecteurs de pollen) sont essentiels à une production de bleuets (Karmo *et al.*, 1959; Aalders et Hall, 1961; Wood, 1968). En effet, la présence de ces

vecteurs polliniques explique plus de 80 % de la production fruitière des bleuétiers et de la mise à fruit (Lee, 1958; Karmo *et al.*, 1959; Aras *et al.*, 1996). La quantité de pollen déposée sur le stigmate ainsi que la source de pollen (Gupton, 1983; Aalders et Hall, 1961) ont tous les deux un effet sur la production de bleuets (Dogterom *et al.*, 2000). Ces auteurs obtiennent une production moindre de graines par bleuet lorsqu'ils placent une petite quantité de pollen sur le stigmate de la fleur du bleuétier. Le rendement fruitier final s'en trouve affecté puisqu'un faible nombre de graines est associé à des bleuets de petite taille (Desjardins et de Oliveira, 2006).

Les abeilles indigènes sont reconnues comme les agents de pollinisation les plus efficaces des bleuetières (Bigras-Huot *et al.*, 1973; Morrissette *et al.*, 1985; Javorek *et al.*, 2002). Elles ont évolués avec le climat et le type de végétation associé à cette production incluant le bleuétier nain. L'évolution de la régie culturale des bleuetières a eu comme effet de faire augmenter la densité florale et de faire diminuer l'abondance des insectes pollinisateurs indigènes (C.N.R.C., 1981; MacKenzie et Winston, 1984; Stubbs *et al.*, 1992). Ils ne sont maintenant plus suffisants pour assurer une pollinisation adéquate de cette culture (Boulanger *et al.*, 1967; Mackenzie et Winston, 1984; Eck, 1988). Afin de maintenir de bons taux de mise à fruit (minimum de 40% de fleurs produisant un fruit) et de bons rendements (plus de 1000 kg de bleuet par ha), des pollinisateurs domestiqués sont introduits dans les grandes bleuetières (McGregor, 1976; Free, 1993; Javorek et Mackenzie, 1994; Aras *et al.*, 1996; Desjardins, 2003; Desjardins et de Oliveira, 2006). Les principales espèces introduites sont l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.), la mégachile (*Megachile rotundata* L.) et le bourdon fébrile (*Bombus impatiens* Cresson) qui selon Aras *et al.* (1996), Mackenzie *et al.* (1998) et Desjardins et de Oliveira (2006) font augmenter significativement la production de bleuet nain.

L'efficacité d'un pollinisateur introduit en culture dépend de plusieurs facteurs, dont sa FIDÉLITÉ : fréquentation de la culture visée; sa RAPIDITÉ de butinage : nombre de fleurs butinées par unité de temps; son acte de POLLINISATION au sens large du terme : quantité et qualité du pollen déposé sur le stigmate et la FÉCONDATION résultante : nombre d'ovules fécondés menant à la formation de graines; son ACTIVITÉ : importance de son activité de butinage influencée, entre autres, par le climat, ses besoins alimentaires et la

nidification; ainsi que le RAYON D'ACTION : dispersion des butineuses à partir des sites de nidification (Desjardins et de Oliveira, 2006).

OBJECTIF DU PROJET

L'intégration dans les bleuetières de techniques compensatrices telles l'introduction de pollinisateurs commerciaux et l'implantation de systèmes d'irrigation par aspersion devraient procurer aux producteurs un meilleur contrôle sur les facteurs environnementaux nuisibles et ainsi sur la production. L'irrigation par aspersion en plus de contrer les effets néfastes de la sécheresse sur le développement du fruit devrait tel qu'observé dans plusieurs autres productions fruitières (pomme, poire, cerise, citron, etc.) limiter les dégâts du gel (Malo et Orth, 1977; Parsons et Tucker, 1984; Pfammatter, 1998). Par ailleurs, il est essentiel de vérifier l'apport réel d'un tel système en champ et de s'assurer qu'il n'y ait pas de dommages collatéraux à la production.

Le premier objectif du présent projet est de caractériser et quantifier l'apport de l'irrigation par aspersion, de la mégachile introduite (*Megachile rotundata*) ainsi que de la combinaison de ces deux facteurs à la production fruitière des bleuetiers nains.

Les objectifs spécifiques sont : 1. d'évaluer l'impact possible de ces facteurs anthropiques sur les composantes des bleuetières en lien direct avec la production fruitière, soit la mise à fruit, le poids moyen d'un fruit et les rendements fruitiers et indirect avec la production fruitière, soit l'abondance des pollinisateurs indigènes et introduits ainsi que la présence de maladies fongiques.

Le deuxième objectif du projet est de caractériser l'entomofaune des bleuetières du Québec grâce à une étude des taxons alliés et nuisibles présents ainsi que de leur distribution verticale (sol, végétation et milieu aérien), horizontale (forêt, écotone et bleuetière) et temporelle.

CHAPITRE II

ARTICLE 1

EFFETS DE L'IRRIGATION PAR ASPERSION ET DE LA *MEGACHILE ROTUNDATA* SUR LES COMPOSANTES D'UNE BLEUETIÈRE : PRODUCTION FRUITIÈRE, ENTOMOFAUNE, MALADIES ET PLANTES ADVENTICES

PUBLICATION PRÉVUE DANS LE PÉRIODIQUE : *JOURNAL OF ECONOMIC ENTOMOLOGY*

AUTEURS : ÈVE-CATHERINE DESJARDINS, BARBARA OTRYSKO ET DOMINGOS DE OLIVEIRA

2.1 RÉSUMÉ

La production de bleuët nain (*Vaccinium angustifolium* Ait.) fluctue au gré du gel, de la sécheresse et des insectes pollinisateurs. L'irrigation par aspersion en plus de contrer les effets néfastes de la sécheresse, devrait permettre un certain contrôle sur le gel. Ce projet consiste à caractériser et quantifier l'apport de l'irrigation ainsi que de la *Megachile rotundata* à la production de bleuëts. Afin d'avoir une vision plus holistique de l'impact environnemental de ces facteurs, un suivi des nuisances ainsi que des pollinisateurs indigènes est effectué. Cette étude est réalisée sur une période de trois ans à l'intérieur de deux bleuëtières situées à Sacré-Cœur et aux Escoumins, Côte-Nord, où nous avons disposé six blocs composés de trois parcelles soumises à différentes densités de mégachiles : 0, 40 000 et 80 000 individus. Chaque parcelle est divisée en quatre sous-parcelles irriguées contre le gel, contre la sécheresse, contre le gel et la sécheresse et non irriguée. Nous avons déterminé pour chacun de ces traitements, les facteurs de production suivants: le rendement, la mise à fruit et le poids moyen d'un bleuët. Le climat de la bleuëtière de Sacré-Cœur est de type «continental». Lors de saisons sèches, l'aspersion afin de contrer la sécheresse fait augmenter les rendements de 400 kg/ha principalement grâce à une augmentation du poids des bleuëts. Lors de saisons froides et humides, c'est l'aspersion afin de contrer le gel qui agit (augmentation de 280 kg/ha) sur les rendements par la voie d'une augmentation de la mise à fruit. Les mégachiles font augmenter les rendements d'un maximum de 286 kg/ha. À une densité optimale de mégachiles c'est l'aspersion afin de contrer la sécheresse qui influence le plus fortement les rendements (augmentation de 603 kg/ha). La synergie entre ces deux facteurs s'explique par une quantité et qualité accrues du nectar sécrété. L'aspersion lors de gel et combinée (gel et sécheresse) fait augmenter les rendements de 359 kg/ha et de 645 kg/ha respectivement. À la bleuëtière des Escoumins qui est caractérisée par un climat de type «maritime», les traitements aspersion et mégachiles n'ont pas d'influence sur les rendements. L'aspersion afin de contrer la sécheresse y aide toutefois à ralentir la dispersion du blanc. La mégachile introduite cause une apparition hâtive et un développement rapide des maladies fongiques ainsi qu'une présence moindre de pollinisateurs indigènes. Les spores de ces maladies sont possiblement introduites en bleuëtières au printemps avec les nids de ces abeilles qui sont fabriqués de feuilles de bleuëtier.

2.2 INTRODUCTION

Une caractéristique importante de la Côte-Nord est son climat maritime et ses forêts boréales composées principalement d'épinettes noires (*Picea mariana*) (Larson, 1980). Cette particularité devrait avoir un impact sur le microclimat des bleuétières (importance des périodes de gel et de sécheresse) ainsi que sur l'entomofaune qui y est présente.

Le gel, la sécheresse ainsi que l'insuffisance d'insectes pollinisateurs sont des facteurs reconnus pour affecter la production de bleuets nains (Bigras-Huot *et al.*, 1973; Hall *et al.*, 1982; Eck, 1988; Luby *et al.*, 1990). Les clones du bleuétier nain sont fortement autostériles et nécessitent une pollinisation croisée afin de produire des fruits (Karmo *et al.*, 1959; Aalders et Hall, 1961; Wood, 1968). Malgré une présence importante de cette entomofaune le rendement final peut être grandement hypothéqué par un gel des fleurs et des jeunes fruits (Hall *et al.*, 1966; 1982; Eck, 1988; Luby *et al.*, 1990). De plus, une sécheresse au cours de l'anthèse, et plus particulièrement dans le mois précédant la récolte, affecte la production fruitière (Struchtemeyer, 1956; Benoît *et al.*, 1984; Spiers, 1996).

2.2.1 GEL

Les gelées tardives lors de la floraison ou hâtives en fin d'été peuvent affecter et même détruire complètement une récolte de bleuets (Hall et Leefe, 1966; Hall *et al.*, 1971; 1982; Eck, 1988). Le gel hâtif peut endommager le feuillage et occasionner une diminution de la mise à fruit, du volume et du temps de maturation du bleuet nain (Hall *et al.*, 1971). Lorsque la température descend sous zéro, des cristaux de glace se forment dans l'espace intercellulaire du tissu végétal causant un pompage par osmose de l'eau intracellulaire (Bouchet, 1966; Pfammatter, 1998). Il en résulte une concentration du liquide cellulaire jusqu'au point où la cellule développe des lésions et meurt. Au dégel, les tissus atteints subiront un brunissement oxydatif. D'un gel hâtif s'ensuit un ramollissement des bleuets causé par ces bris cellulaires, une abscission accélérée des fruits matures (affectant la mise à fruit et les rendements fruitiers) et une présence accrue de bleuets immatures avec leur tige dans la récolte (Hall et Leefe, 1966). Les données météo d'Environnement Canada

indiquent qu'il y a des risques de gel jusqu'à la mi-juin et à partir de la mi-août dans la haute Côte-Nord (près de Tadoussac).

La température critique du gel des organes végétaux est influencée par l'état de sécheresse (Biermann *et al.*, 1979), la concentration en substances dissoutes (glucides, protéines et autres substances organiques) du liquide intra et extracellulaire des tissus et le stade de développement de l'organe végétal. La fleur du bleuetier dont les cellules sont riches en eau est particulièrement sensible au gel. Les petites cellules et les grands espaces extracellulaires des jeunes organes les rendent plus tolérants au froid (Bouchet, 1966). La sensibilité au gel des organes floraux augmente donc avec l'évolution des phases de développement, du bouton jusqu'au jeune fruit (Spiers, 1978; Patten *et al.*, 1991; Pfammatter, 1998). Selon ce dernier auteur, il existe trois types de gel:

1. **gel par advection** (gelée noire) qui est causé par des masses d'air froid provenant du Nord;
2. **gel par évaporation** causé par un refroidissement dû à l'évaporation de l'eau déposée sur le fruit.
3. **gel par rayonnement** (gelée blanche) causé par une perte de chaleur du sol et des végétaux lors de nuits claires et sans vent.

Ce dernier type de gel est le plus commun. Dans ce cas, l'humidité de l'air diminue les risques de gel. Les particules d'eau freinent la perte de chaleur vers l'atmosphère en interceptant cette énergie et en la dégageant à la plante par condensation ou congélation lors de son contact avec l'organe végétal froid. Au moment de son passage de l'état liquide à solide, l'eau libère environ 80 calories/kilogramme sous forme de chaleur transmise aux végétaux (Collomb, 1961; d'At de Saint-Foulc, 1967). C'est en partie grâce à ce principe que l'aspersion d'eau est considérée comme la méthode la plus efficace pour contrer le gel radiatif des cultures fruitières (d'At de Saint-Foulc, 1967; Pfammatter, 1998).

2.2.2 SÉCHERESSE

Le caractère désertique du microclimat des bleuetières combiné à des sols à percolation élevée engendre un assèchement rapide du milieu en période de sécheresse. Néanmoins, le bleuetier est une plante relativement tolérante aux sécheresses (Davies et Albrigo, 1984). Cette aptitude il l'a acquise grâce à une utilisation efficace de l'eau (Erb, 1987), une pellicule cireuse recouvrant la surface foliaire et l'intérieur des stomates (Anderson *et al.*, 1979; Davies et Johnson, 1982) et une capacité à capter l'eau en profondeur (Hicklenton *et al.*, 2000). Il possède des racines allant jusqu'à 90 cm de profondeur (Davies et Albrigo, 1984). Malgré cette endurance, une sécheresse lors des stades critiques, soit au cours de l'anthèse et de la croissance du fruit amène une baisse importante de rendement (Struchtemeyer, 1956; Benoît *et al.*, 1984; Spiers, 1996). L'expansion du fruit nécessitant une bonne turgescence cellulaire, un stress hydrique à ce moment affecte la grosseur des fruits produits (Chandler et Masson, 1942; Young, 1951; Sylvestre, 1970-71; Hickelton *et al.*, 2000).

2.2.3 SYSTÈME D'IRRIGATION PAR ASPERSION

Le réchauffement de la planète engendre une amplification des fluctuations météorologiques augmentant les risques de sécheresse et de gel dans les productions agricoles (Karl et Trenberth, 2003). Malgré son climat maritime plus modéré, la Côte-Nord n'est pas épargnée. L'intégration dans les bleuetières de techniques compensatrices telle l'implantation de systèmes d'irrigation par aspersion devraient procurer aux producteurs un meilleur contrôle sur ces facteurs environnementaux nuisibles et ainsi sur la production, objectif d'une économie planifiée et plus stable. L'irrigation par aspersion en plus de contrer les effets néfastes de la sécheresse sur le développement du fruit devrait limiter les dégâts du gel. Selon Anderson *et al.* (1979), Deyton et Thompson (1992) et Haman *et al.* (1997), aux États-Unis, une irrigation afin de contrer la sécheresse des bleuetiers de corymbe (*Vaccinium corymbosum* L.) et rabbiteye (*Vaccinium ashei* Reade) fait augmenter considérablement la production de bleuets, soit d'environ 40% selon Deyton et Thompson (1992). L'irrigation par aspersion est une technique reconnue et utilisée dans plusieurs autres cultures fruitières telles

la pêche, la pomme, la poire, l'abricot, la cerise, le citron, la lime et l'avocat où elle aide généralement à protéger la plante, ses fleurs et ses fruits du gel (Malo et Orth, 1977; Parson et Tucker, 1984; Pfammatter, 1998). Par ailleurs, il est essentiel de vérifier l'apport réel d'un tel système en champ et de s'assurer qu'il n'y ait pas de dommages collatéraux à la production.

MALADIES FONGIQUES

Dans ce sens une aspersion afin de contrer le gel peut occasionner un arrosage excessif du sol selon Collomb (1961). Plusieurs études démontrent la sensibilité du bleuetier à un apport trop important d'eau qui peut affecter l'assimilation de carbone (Davies et Flore, 1986 et 1987), la conductivité des racines (Abbot et Gough, 1987b; Davies et Flore, 1986; Crane et Davies, 1987) et causer une perte de fleurs (Tabard, 1967; Abbot et Gough, 1987a; Crane et Davies, 1989). L'irrigation par aspersion semble favoriser les problèmes de maladies (Lemieux *et al.*, 1991; Haman *et al.*, 1997; Contreras, 1996). Des conditions climatiques froides et/ou humides sont propices à l'apparition et à la dispersion de maladies fongiques comme la pourriture sclérotique (*Monilinia vaccinii corymbosi* (Reade) Honey) (Lockhart, 1961; Luby *et al.*, 1990; Hildebrand et Braun, 1991; Shinnors et Olson, 1996) et la moisissure grise (*Botrytis cinerea* Pers.) qui peuvent réduire considérablement la production de bleuets (Smagula et Yarborough, 1990; Caruso et Ramsdell, 1995; Hildebrand *et al.*, 2001; AAPNB, 2009). Lors de son étude sur l'irrigation, Lemieux *et al.* (1991) notent l'apparition de champignons et de blessures dans les bleuetières aspergées.

2.2.4 INTRODUCTION DE POLLINISATEURS EXOTIQUES : *MEGACHILE ROTUNDATA*

La *Megachile rotundata* (F.) est une abeille polylectique native du Sud Ouest de l'Asie et du Sud Est de l'Europe (Kemp et Bosch, 2002). Elle a été introduite en Amérique du Nord vers les années 1930 puis utilisée principalement comme pollinisateur de la luzerne cultivée, *Medicago sativa* L (Bohart, 1972; Peterson *et al.*, 1992). À la fin du 20^{ième} siècle, des études en bleuetière ainsi qu'en atocière démontrent son efficacité en tant que vecteur pollinique du bleuetier nain seulement (Stubbs et Drummond, 1997; Mackenzie et Javorek,

1997; Mackenzie *et al.*, 1998). Selon ces mêmes auteurs, la *Megachile rotundata* en plus de butiner près des nids (jusqu'à 40 m) et ainsi de rester fidèle aux bleuetières est facile à manipuler étant peu agressive. Cette abeille solitaire accepte les nichoirs artificiels vivant ainsi en grégarité. Elle y fabrique un nid loculé à l'intérieur d'un trou cylindrique. Celui-ci est composé d'une série de cellules linéaires faites de feuilles découpées à l'aide de ses mandibules tranchantes. Chaque cellule contient une masse de pollen mélangée à du nectar sur laquelle la femelle adulte vient déposer un œuf. À l'intérieur du trou cylindrique avec fond, les cellules contenant les femelles sont situées en profondeur et celles contenant les mâles vers la superficie (plus près de la sortie); cela provient d'une ponte plus hâtive des œufs femelles suivi des œufs mâles (McCorquodale et Owen, 1994). Les nids produits annuellement par les mégachiles introduites au printemps en bleuetière sont récupérés après la période de floraison du bleuetier afin d'être réintroduits l'année suivante. Ceci donne une certaine autonomie de pollinisation aux producteurs. Dans les bleuetières de la Côte-Nord, les individus introduits proviennent initialement de l'Ouest canadien. Dans cette région nordique, le taux de récupération des nids produits annuellement reste généralement trop faible pour fournir les producteurs l'année suivante (Comm. pers. Guy Grenon, MAPAQ). La *Megachile rotundata* a besoin de températures minimales de 18 à 20°C pour voler et butiner le nectar et de températures supérieures à 22°C pour butiner le pollen servant à la production des nids (MacKenzie *et al.*, 1998), gage d'une efficacité de pollinisation. Toutefois, selon Stubbs et Drummond (1997) les individus provenant de régions plus nordiques, soit du Nord-Ouest de l'Alberta, semblent s'adapter à long terme (sur plusieurs générations) au climat froid, débutant leur activité de butinage des fleurs du bleuetier nain à 13°C.

2.3 OBJECTIFS

L'objectif principal du présent projet est de caractériser et quantifier l'apport de l'irrigation par aspersion, de la mégachile introduite ainsi que de la combinaison de ces deux facteurs à la production fruitière des bleuetiers.

Les objectifs secondaires sont : 1. d'évaluer l'impact possible de ces facteurs anthropiques sur d'autres composantes des bleuetières en lien avec la production fruitière,

soit l'abondance des pollinisateurs indigènes et introduits ainsi que la présence de maladies fongiques.

2.3.1 HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

L'irrigation lors de gels tardifs augmente significativement le rendement via une meilleure mise à fruit seulement.

D'une irrigation lors de sécheresses résulte un rendement accru découlant d'un taux de mise à fruit et d'un poids supérieur des bleuets.

L'ajout de mégachiles accroît significativement le rendement grâce à un taux de mise à fruit et un poids supérieur des bleuets.

2.4 MÉTHODOLOGIE

Cette étude a été réalisée sur une période de trois ans. Elle comprend deux approches: semi-expérimentale (en bleuetière) et descriptive. Cette dernière approche implique une description des facteurs microclimatiques, un inventaire des insectes pollinisateurs et un modèle journalier de leur activité de butinage.

2.4.1 EN BLEUETIÈRE

Cette étude s'est déroulée sur la Côte-Nord aux fermes Deschênes et Laurencelle situées à Sacré-Cœur (48°13'N 69°48'O) et aux Escoumins (48°20'N 69°24'O) respectivement. La bleuetière de Sacré-Cœur est de faible dimension (38 ha), soumise à un climat plutôt continental et est plus sujette aux gels et aux sécheresses. La bleuetière des Escoumins est, quant à elle, de grande dimension (212 ha), soumise à un climat maritime et relativement moins sujette aux périodes de gel et de sécheresse. Un système d'irrigation par

aspersion est installé à ces deux sites sur une superficie expérimentale couvrant 8 hectares à Sacré-Cœur et 17 hectares aux Escoumins. Ce système d'irrigation stationnaire est disposé et fixé à la surface du sol. Il est constitué d'un tuyau principal (8" de diamètre) en aluminium à partir duquel partent des tuyaux secondaires (3" de diamètre) qui supportent les gicleurs disposés en quinconce (fig. 2.1). Ces gicleurs, arroseur à rotation complète 3/4" en laiton (modèle 30-C, SOMLO, Los Angeles, USA) sont spécialement conçus pour la thermo-irrigation (faible débit et forte portée).

Deux et quatre répétitions de traitements sont réalisées annuellement à chacun de ces sites (Sacré-Cœur et Escoumins), respectivement. Chaque répétition est composée de trois parcelles (72 x 72 m) soumises à trois niveaux de densité de mégachiles disposés au hasard : 80 000 (20 000 mégachiles/abri x 4 abris), 40 000 (10 000 mégachiles/abri x 4 abris) ou sans mégachiles introduites. Les abris sont installés le plus tôt possible au printemps, restent en place jusqu'à l'automne puis sont entreposés avant l'hiver. Une parcelle est soumise à quatre niveaux d'aspersion disposés au hasard, soit irriguée lors de gels, lors de sécheresses, lors de gels et de sécheresses ou non-irriguée. Cette parcelle est ainsi subdivisée en quatre sous-parcelles traitements aspersion circonscrites par quatre gicleurs (fig. 2.1).

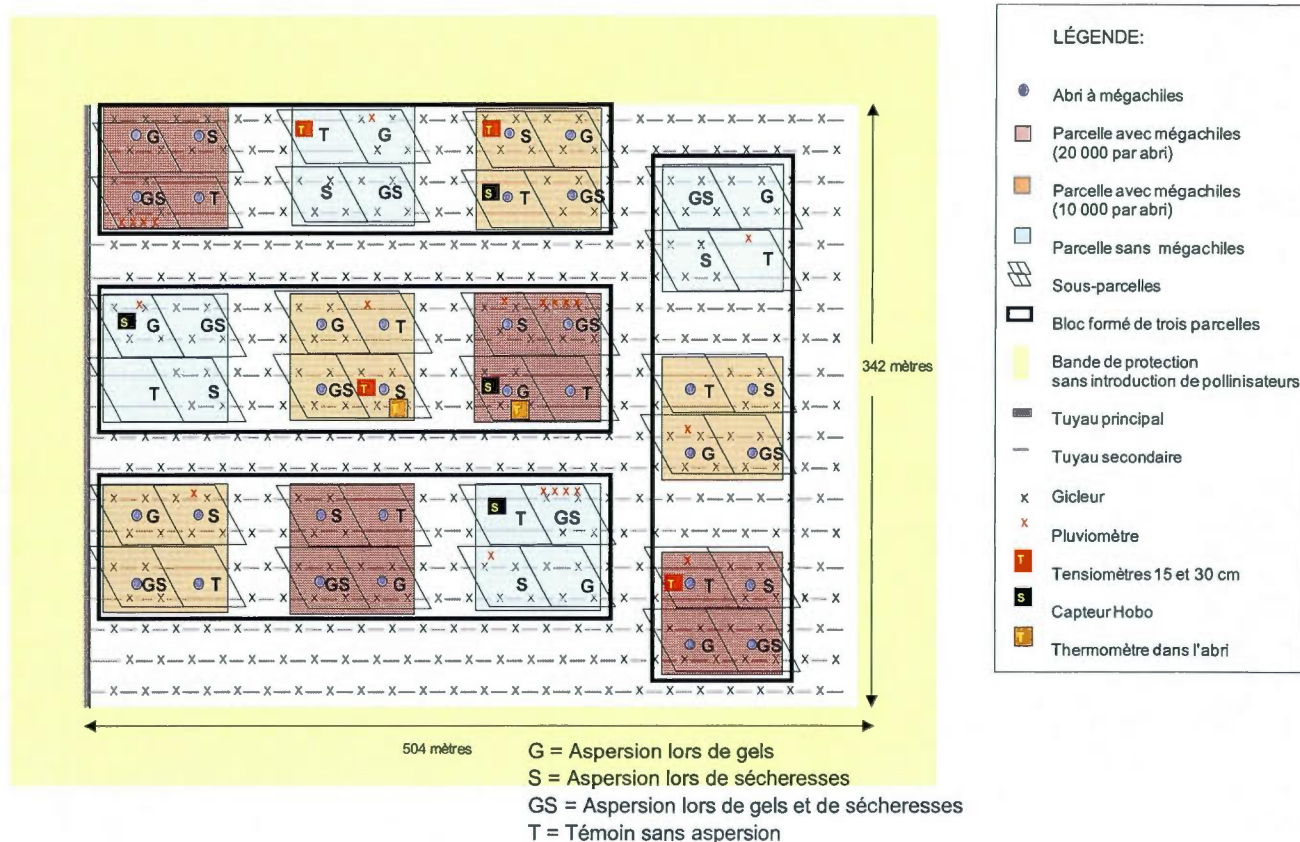


Figure 2. 1 Dispositif expérimental à la bleuitière des Escoumins affichant quatre répétitions de traitements comportant trois parcelles (densités de mégachiles) composées chacune de quatre sous-parcelles (types d'aspersion).

Cette étude est une expérience factorielle à deux facteurs fixes A (3 niveaux de densité de mégachiles) et B (4 niveaux d'aspersion) sous forme de plan en tiroirs (split-plot). Le traitement statistique appliqué est une analyse factorielle de variance à deux critères de classification (3 x 4 niveaux). Ce modèle met en évidence l'action isolée des traitements (facteurs A et B) sur les variables dépendantes et permet de plus de déceler les interactions entre ces facteurs. Dans tous les cas, les postulats spécifiques à cette analyse (homogénéité des variances, distribution normale des résidus et parallélisme) sont vérifiés et respectés. L'utilisation de contrastes qui consiste à tester des combinaisons de traitements choisies *a priori* permet de mettre en relief des divergences entre certaines moyennes d'intérêt. Les deux sites ont été traités indépendamment afin de ne pas perdre d'informations sur l'impact

des traitements à l'intérieur de deux types extrêmes de bleuetière. Les conditions environnementales (conditions climatiques, superficies de bleuetière, régie de production, etc.) régnant à chacun de ces sites étaient généralement opposées. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du progiciel SAS® (SAS Institute, 1998).

Les 12 traitements à l'essai sont :

1. Aspersions lors de gels
2. Aspersions lors de sécheresses
3. Aspersions lors de gels et de sécheresses
4. Témoin sans aspersion et sans mégachiles
5. Aspersions lors de gels + 10 000 mégachiles
6. Aspersions lors de sécheresses + 10 000 mégachiles
7. Aspersions lors de gels et de sécheresses + 10 000 mégachiles
8. Témoin sans aspersion + 10 000 mégachiles
9. Aspersions lors de gels + 20 000 mégachiles
10. Aspersions lors de sécheresses + 20 000 mégachiles
11. Aspersions lors de gels et de sécheresses + 20 000 mégachiles
12. Témoin sans aspersion + 20 000 mégachiles

Aux sous-parcelles non irriguées, les quatre gicleurs sont enlevés. Chaque parcelle avec mégachiles reçoit quatre abris (1 par sous-parcelle). Ces abris contiennent chacune deux ou trois boîtes de nichage (3785 trous chacune) et 10 000 ou 20 000 mégachiles (mâles et femelles) respectivement, dépendamment de la densité recherchée. Les deux densités de mégachiles ont été sélectionnées selon les recommandations (densité par unité de surface) de Stubbs et Drummond (1997) et MacKenzie *et al.* (1998). Les abris (fig. 2.2) sont fabriqués en aspenite recouvert de peinture orange ou bleue tels ceux fabriqués commercialement. Ils sont ancrés au sol à l'aide de piquets puis disposés à cinq mètres à l'ouest du centre des quatre gicleurs. Tel que dans les études de Stubbs et Drummond (1997) et de MacKenzie et Javorek (1997) l'ouverture est placée en direction est, sud-est afin de favoriser l'activité matinale des mégachiles. Des espacements de 54 mètres sont gardés entre les parcelles afin d'éviter une migration de mégachiles vers les parcelles témoins. Ces derniers butinent relativement près

de leur site de nidification. À une densité de 10 000/abri, leur présence diminue de façon importante à partir de 30 mètres de l'ouverture de l'abri (Stubbs et Drummond, 1997).

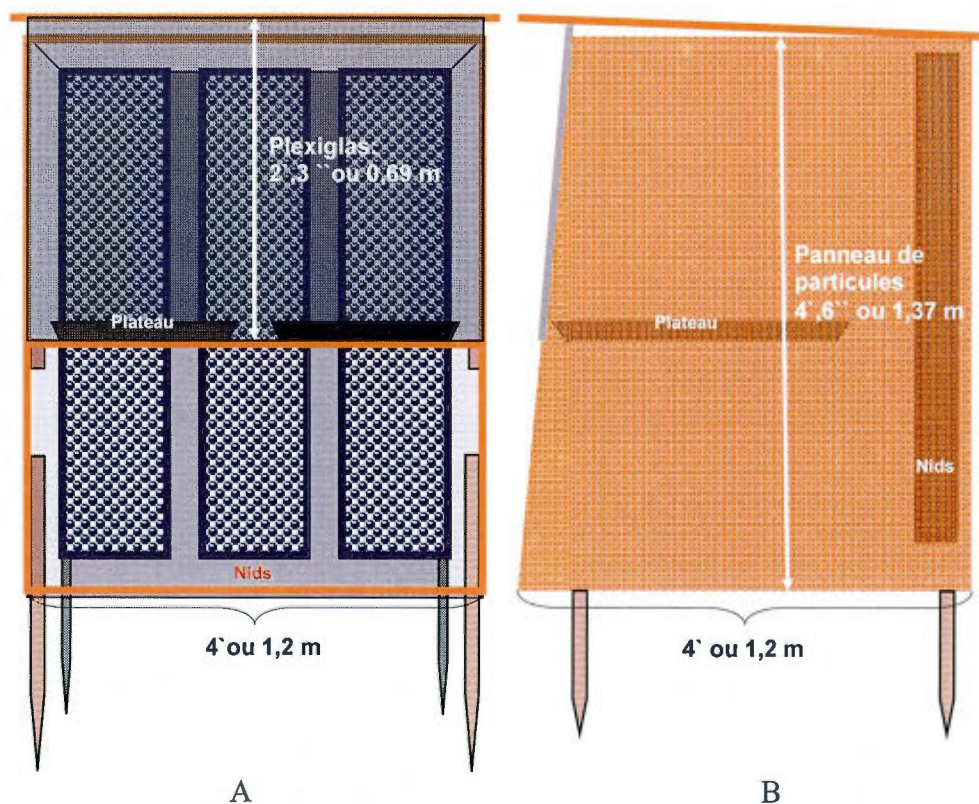


Figure 2. 2 Vue frontale (A) et latérale (B) de l'abri à mégachiles. Les plateaux contiennent les nids introduits de la *Megachile rotundata*. Les femelles émergeant de ces nids iront nicher dans les boîtes de nichage au fond de l'abri.

Les paramètres de production quantifiés sont :

- Rendement (kg de bleuets /hectare)
- Poids moyen d'un bleuet
- Taux de mise à fruit (proportion de fleurs qui forment un fruit mature)

La mise à fruit est évaluée sur 40 bleuetiers par sous-parcelle, marqués à l'aide d'un tuteur et d'un ruban fluorescents. Lors de la période de floraison, au 5^{ème} stade de développement de la fleur (Spiers, 1978), les observateurs comptent le nombre de fleurs produites par tige de bleuetier marquée. Quelques jours avant la récolte, ils viennent compter le nombre de bleuets produits par ces mêmes tiges. Afin de déterminer le rendement, les bleuets sont récoltés sur toute la superficie intra-gicleurs des sous-parcelles à l'aide d'un «bicycle», puis pesés. Le poids moyen d'un bleuet est évalué à partir d'un sous-échantillon de cette récolte. Cent bleuets par sous-parcelle choisis au hasard sont pesés.

2.4.2 SUIVI DE LA SÉCHERESSE DU SOL ET DES FACTEURS MICROCLIMATIQUES

Le déclenchement de l'irrigation lors d'un déficit hydrique est déterminé grâce aux tensiomètres (modèle «SR», 12 de 6" et 12 de 12", irrometer company, Riverside, Californie) enfoncés à des profondeurs de 15 et 30 cm dans le sol. Ces derniers sont plus efficaces pour les sols à forte percolation. L'aspersion est provoquée lorsque les tensiomètres de surface (15 cm) indiquent 20-30 kPa (Brinen *et al.*, 1986). Afin de limiter la perte d'eau due à une dérive et à l'évaporation, nous avons irrigué après le coucher du soleil jusqu'à ce que les tensiomètres à 15 et 30 cm dans le sol indiquent 0 kPa.

Le suivi de la température est réalisé à l'aide de trois types de thermomètres (maxima-minima, Taylor, Oak Brook, IL, USA) placés au niveau de la cime des plants, soit à 20 cm du sol:

1. **thermomètres contrôles** : soumis à l'arrosage (indiquent 0°C lors de l'aspersion en période de gel)
2. **thermomètres extérieurs secs** : à l'extérieur de la zone d'aspersion (indiquent la température du végétal sans intervention)
3. **thermomètres extérieurs humides** : à l'extérieur de la zone d'aspersion dont le réservoir est entouré de gaze humidifiée (indiquent la température qu'atteindraient les végétaux si l'aspersion est arrêtée)

Les études réalisées par Lavoie et Guillemette (1962), Hall *et al.* (1971), Hepler *et al.* (1978) et Hicklenton *et al.* (2002), permettent d'évaluer le seuil de résistance de la fleur du bleuetier nain à environ -2°C. Afin de garder une bonne marge de sécurité, l'aspersion afin de contrer le gel débute lorsque la température du thermomètre humide atteint 0°C et est arrêtée au moment où elle atteint 2°C. La même méthodologie est appliquée pour le gel des fruits. Le traitement aspersion lors du gel comprend donc le gel tardif (printanier) des fleurs et le gel hâtif (automnal) des fruits.

La pluviométrie, l'humidité de l'air et du sol ainsi que la température sont suivies à l'aide de 42 pluviomètres (tru-check 6 pouces, LaMotte, Washington, USA), 24 tensiomètres, 12 capteurs de température et d'humidité relative pour l'extérieur (HOBO® H8 Pro Series, Onset Computer Corporation, Bourne, MA) et 8 thermomètres (fig. 2.1). Un pluviomètre à quatre mètres du gicleur (traitements gel, sécheresse et témoin), deux capteurs HOBO® captant l'humidité relative et la température (traitements gel et témoin) ainsi que deux tensiomètres (traitements sécheresse et témoin à 15 et 30 cm de profondeur) sont installés à deux (pour les HOBO®) et trois sous-parcelles par traitement et ce, à chacune des bleuetières à l'étude. Des pluviomètres sont installés aux distances 1, 4, 8, 12 mètres à partir du gicleur à trois sous-parcelles irriguées lors de gels et de sécheresses afin de s'assurer de l'uniformité de la distribution d'eau lors de l'irrigation. Ces instruments de mesure permettent de faire un suivi et une comparaison entre les traitements. Des lectures sont effectuées quotidiennement aux pluviomètres.

2.4.3 SUIVI DE L'ENTOMOFAUNE ET DES MALADIES

Les relevés entomologiques sont effectués quotidiennement par six observateurs pendant la période de floraison du bleuetier nain qui s'étend du 5 juin au 7 juillet. Deux observateurs sont postés à Sacré-Coeur et quatre aux Escoumins où ils doivent parcourir chacune des sous-parcelles de 8h00 jusqu'à un maximum de 16h00 afin d'y faire des relevés entomologiques. L'activité des insectes varie en fonction de l'heure de la journée (Butler, 1945; Paarman, 1977; Corbet *et al.*, 1979a; Boyle-Makowski et Philogène, 1985; Boyle-

Makowski, 1987); il est donc important d'uniformiser les heures d'observation à chacune des répétitions. À cet effet, l'ordre du parcours des répétitions à chaque site est déterminé aléatoirement à chaque jour.

Deux types de relevés entomologiques sont appliqués aux sous-parcelles afin de suivre l'activité et déterminer, l'abondance (nombre d'individus) et les principaux groupes de pollinisateurs :

1. Le relevé visuel qui est effectué lors d'un parcours de deux minutes en passant par les gicleurs (fig. 2.3). Lors de ce parcours, les observateurs notent le nombre total d'insectes qu'ils ont vu visiter au moins une fleur du bleuetier nain pour chacun des groupes suivants : *Megachile rotundata*, bourdons, abeilles solitaires indigènes, syrphes.
2. Le relevé par collecte sélective qui consiste à récolter les insectes butinant les fleurs du bleuetier nain suivant le relevé visuel.

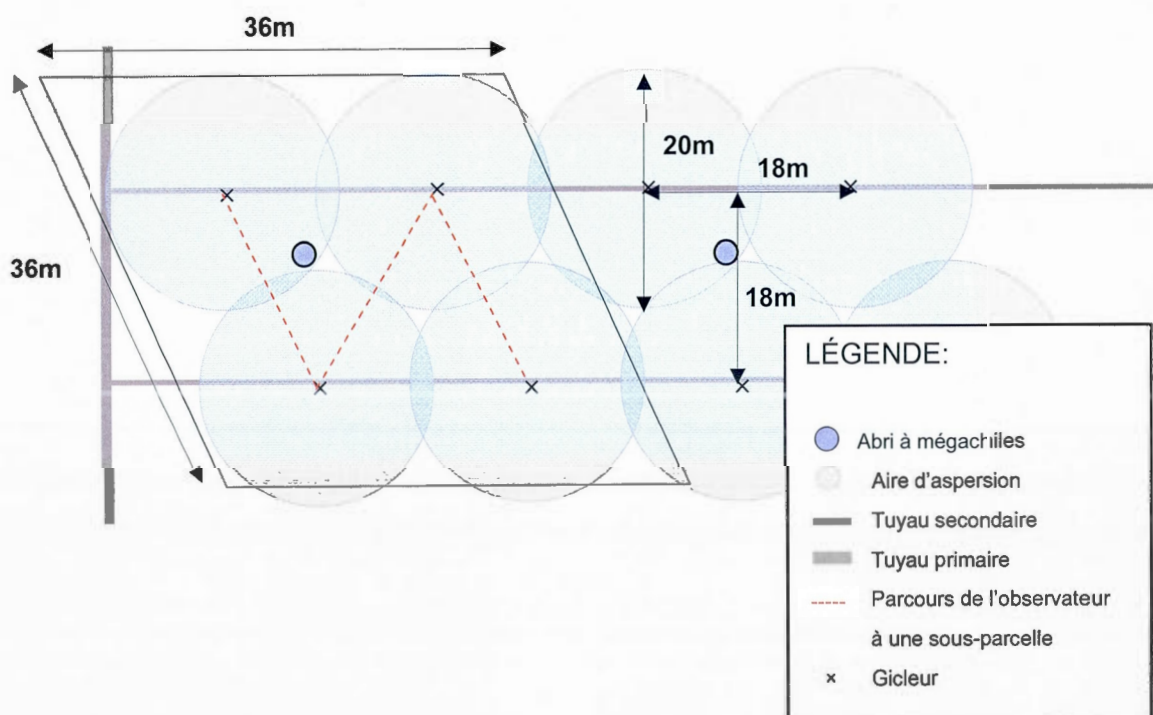


Figure 2. 3 Schéma d'une sous-parcelle

Suivant les relevés entomologiques, à chacune des sous-parcelles, le nombre de foyers présents par maladie est noté et la superficie totale atteinte est évaluée par estimation visuelle. Cette estimation est réalisée à l'aide d'une charte pré-calculée sur papier quadrillé de 18 X 18 cm représentant la sous-parcelle. La proportion calculée de carrés de 1 cm atteints (identifiés par un fond noir) est disposée au hasard de façon à couvrir 0, 20, 40, 60, 80 et 100% de la surface totale de 18 X 18 cm. Lors de l'estimation visuelle, l'observateur compare cette charte avec la sous-parcelle atteinte de maladies. **Maladies à l'étude** : blanc (*Microsphaera penicillata* var. *vaccinii* (Schwein.)), tache septorienne (*Septoria* spp.), pourriture sclérotique (*Monilinia vaccinii-corymbosi* (Reade) et *Monilia* sp.), moisissure grise (*Botrytis cinerea* Pers.) et la rouille du bleuet (*Naohidemyces vaccinii* (Wint.)).

2.5 RÉSULTATS

2.5.1 FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES

La moyenne des températures quotidiennes minimales et maximales enregistrées au cours des trois printemps et étés d'expérimentation (fig. 2.4) affichent de moins grands écarts de température au site des Escoumins relativement au site de Sacré-Cœur qui est ainsi beaucoup plus sujet au gel et aussi, mais de façon moindre, à la sécheresse. À la bleuetière des Escoumins, la quantité de précipitations est supérieure de 25% à celle de Sacré-Cœur. Dans ce sens, en 2003, 2004 et 2005 respectivement, nous avons mesuré 259, 215 et 127 mm de précipitation à Sacré-Cœur comparativement à 318, 254 et 230 mm aux Escoumins.

En 2003, à Sacré-Cœur et aux Escoumins, les producteurs ont déclenché respectivement une (13 juin) et deux (25 août et 1^{er} septembre) aspersions afin de contrer le gel ainsi que trois (29-30 juin et 11 juillet) et deux (29 juin et 15 juillet) aspersions afin de contrer la sécheresse.

L'année 2004 était caractérisée par une période de floraison fraîche. À Sacré-Cœur et aux Escoumins, trois (11, 13 et 29 juin) et trois (13 et 29 juin et 25 août) aspersions afin de contrer le gel ainsi qu'une (22 août) et une (5 août) aspersion afin de contrer la sécheresse ont été déclenchées respectivement. Il est à mentionner que le 27 juin 2004, à la ferme Deschênes, la grêle a entraîné une perte de plus de la moitié des fleurs. Malgré cela, suivant

cet événement, deux aspersions afin de contrer le gel ont été effectuées nous donnant tout de même la possibilité d'évaluer l'effet de ce traitement sur les facteurs de production.

L'année 2005 se distingue par une période de floraison très humide (plus de 80% des précipitations totales en juin) et une période estivale très sèche (moins de 20% des précipitations totales en juillet et août) (fig. 2.5). À Sacré-Cœur une (23 juin) aspersion afin de contrer la sécheresse et aucune aspersion afin de contrer le gel a été déclenchée alors qu'aux Escoumins une (14 juillet) et quatre (28 juin, 1-12-19 juillet) aspersions afin de contrer la sécheresse ont été déclenchées.

TEMPÉRATURE LORS DE L'ASPESSION AFIN DE CONTRER LE GEL

L'aspersion afin de contrer le gel maintient la température à hauteur de végétation, aux alentours de 0°C (fig. 2.6). Par ailleurs, la journée suivant ce type d'aspersion, une baisse des températures se fait sentir jusqu'à 18h00.

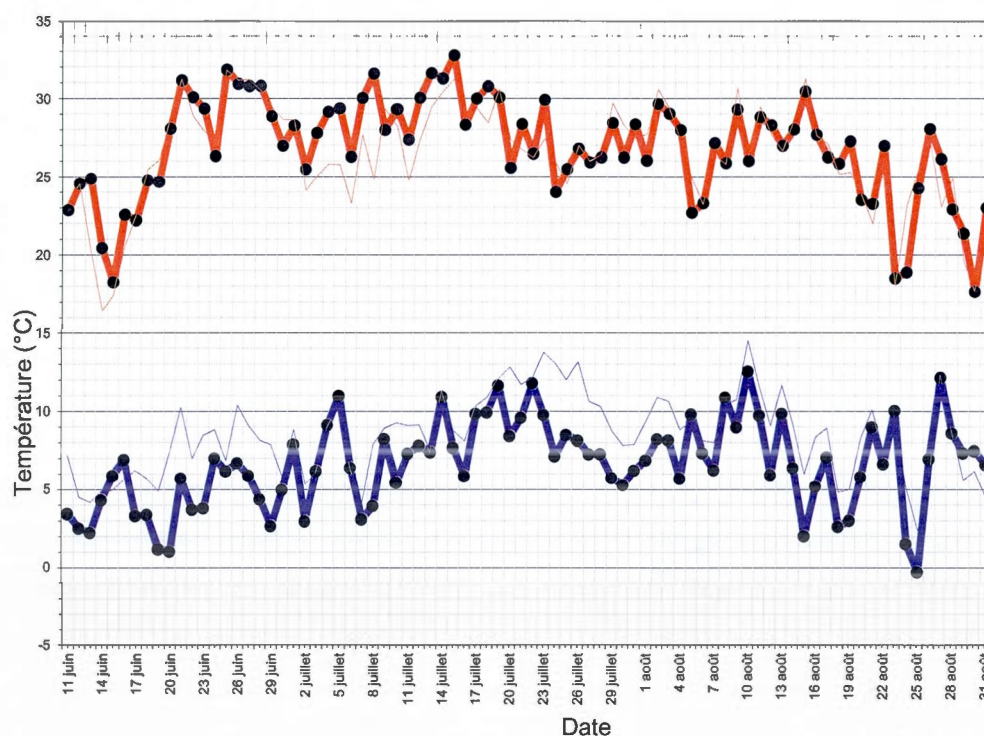


Figure 2. 4 Moyenne des températures quotidiennes minimales (bleues) et maximales (rouges), enregistrées à la bleuetière de Sacré-Cœur (lignes épaisses) et des Escoumins (lignes fines) au cours des printemps et des étés 2003-04-05

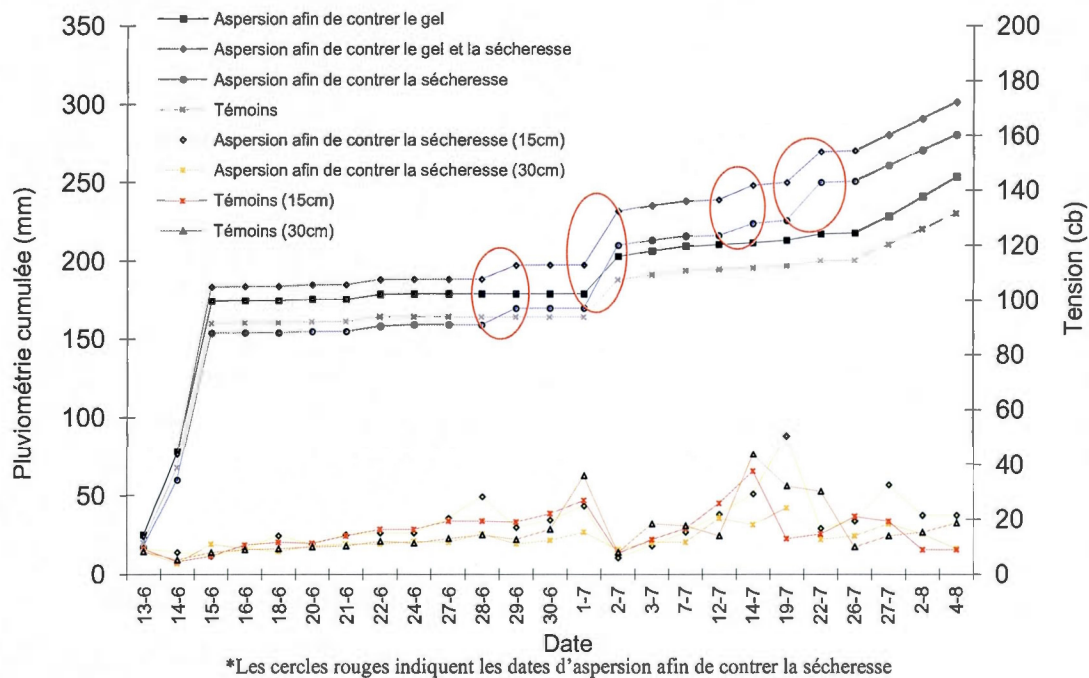


Figure 2. 5 Pluviométrie cumulative (couleurs froides) et assèchement du sol (couleurs chaudes) au cours de la saison estivale 2005 à la bleuetière des Escoumins pour chacun des traitements aspersion

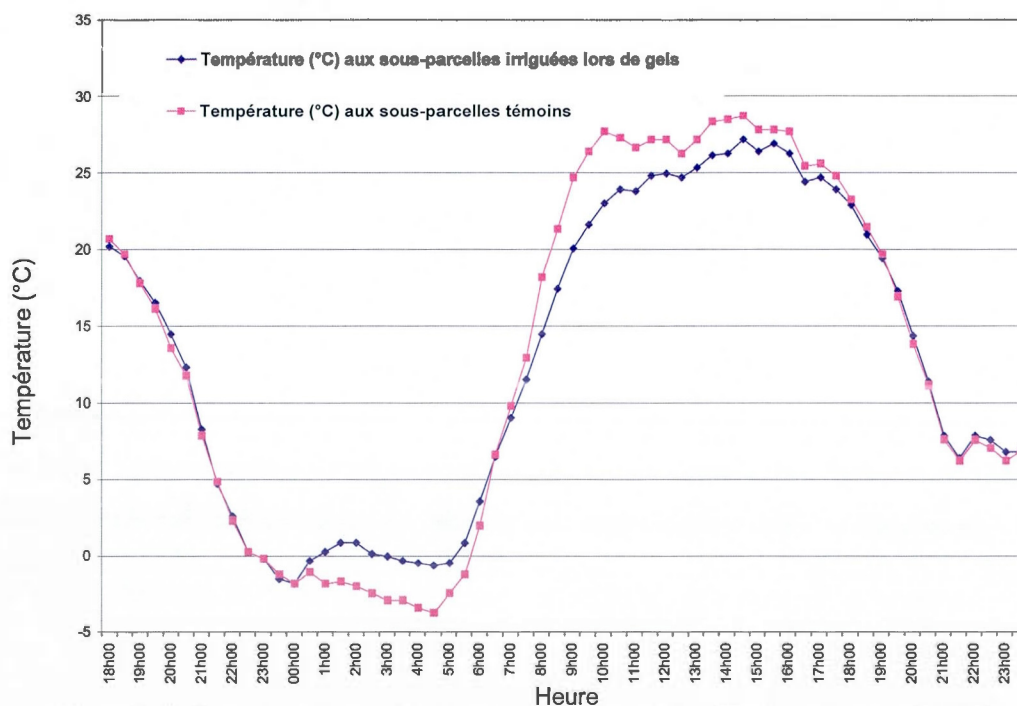


Figure 2. 6 Températures enregistrées lors d'une aspersion afin de contrer le gel et dans les témoins dans la nuit du 12 au 13 juin 2003 à la bleuetière de Sacré-Cœur.

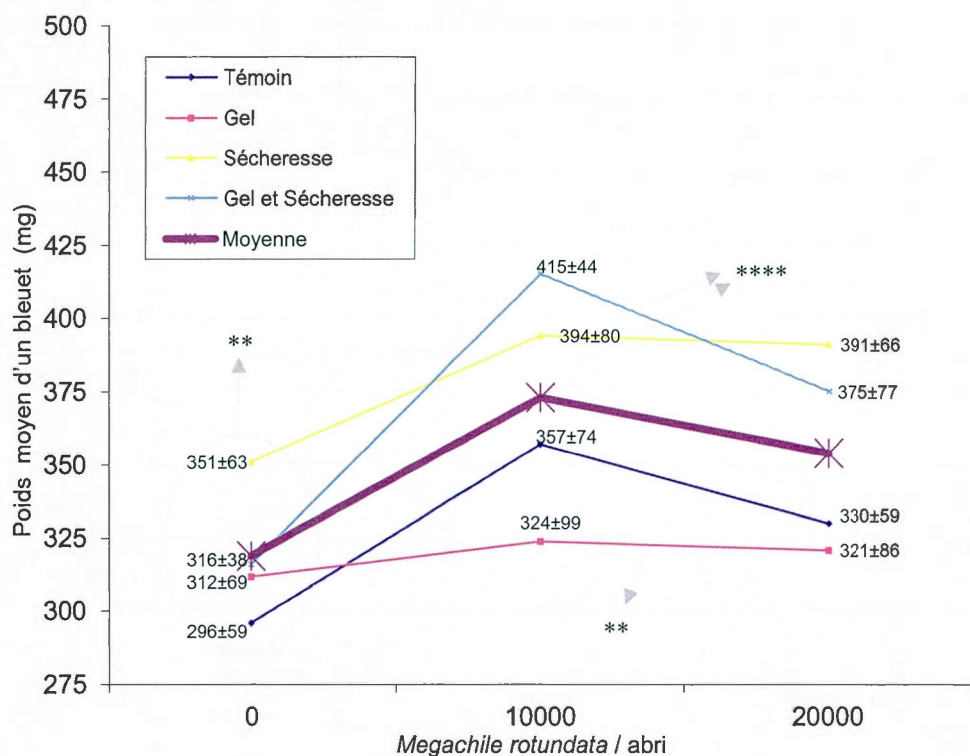
2.5.2 POIDS MOYEN D'UN BLEUET

Le poids moyen d'un bleuet est de 390 ± 62 mg aux Escoumins et de 349 ± 52 mg à Sacré-Coeur. Suivant une combinaison de nos trois années, les analyses statistiques révèlent que le facteur aspersion a un effet significatif sur le poids des fruits à Sacré-Cœur et aux Escoumins ($F_{3,45} = 4.96$; $P = 0.004$ et $F_{3,93} = 6.63$; $P = 0.0004$, respectivement) alors que le facteur mégachile influence significativement le poids des fruits seulement à Sacré-Cœur ($F_{2,10} = 5.18$; $P = 0.009$).

ASPERSION ET MÉGACHILE À SACRÉ-CŒUR

En 2003 et 2005, années caractérisées par des périodes de sécheresse, l'irrigation par aspersion a affecté significativement le poids moyen d'un bleuet à Sacré-Cœur ($F_{3,9} = 4.16$; $P = 0.04$, et $F_{3,9} = 4.90$; $P = 0.02$, respectivement). Au cours de chacune de ces deux années ($F_{1,9} = 8.68$; $P = 0.02$ et $F_{1,9} = 13.10$; $P = 0.004$, respectivement) ainsi qu'une combinaison de nos 3 années ($F_{1,45} = 16.61$; $P = 0.0001$) indiquent que seule l'aspersion afin de contrer la sécheresse (combinée ou non à l'aspersion lors du gel) influence positivement le poids moyen du fruit (fig. 2.7). Cette aspersion fait augmenter le poids moyen d'un bleuet d'environ 65, 41 et 51 mg/fruit, lors de chacune de ces années et les 3 années combinées, respectivement. Différemment, suivant une combinaison des 3 années, les analyses indiquent que l'aspersion afin de contrer le gel seule a une influence négative sur le poids moyen d'un bleuet ($F_{1,45} = 7.77$; $P = 0.007$) le faisant chuter de 9 mg/fruit.

Une combinaison des 3 années affichent une influence positive significative de la présence des mégachiles relativement au témoin sur le poids moyen d'un bleuet ($F_{1,10} = 11.71$; $P = 0.001$) qui est de l'ordre de 80 mg/fruit (fig. 2.7).



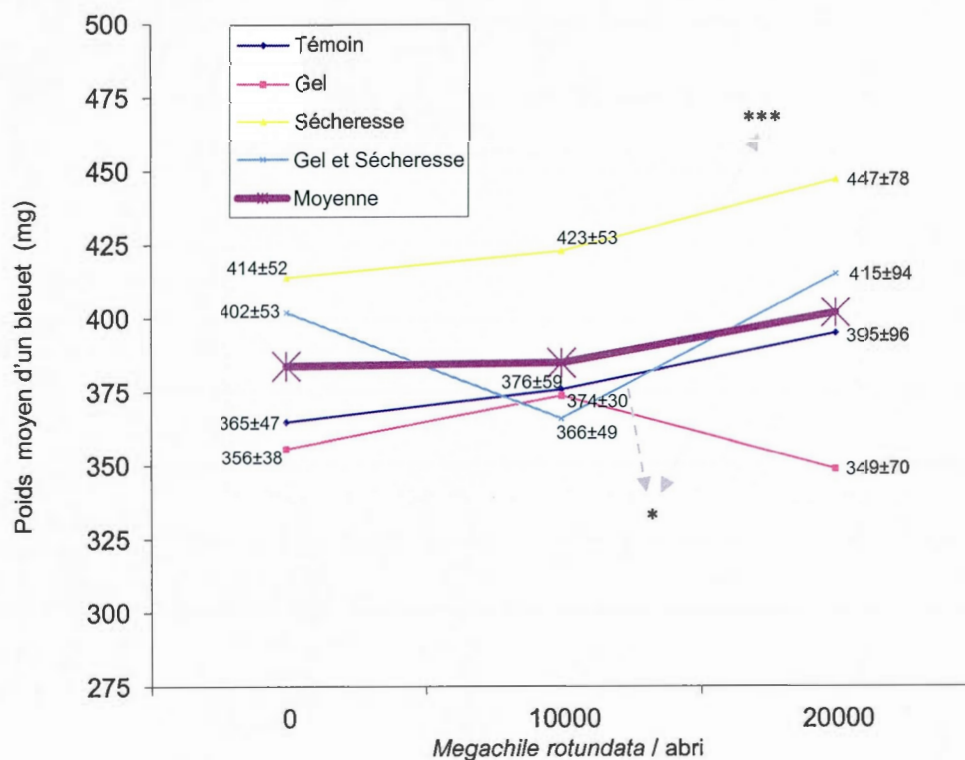
** moyennes significativement différentes des autres au seuil $\alpha = 0.01$

**** moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0.0001$

Figure 2. 7 Poids moyens d'un bleuët nain ($\pm$ ÉT) en fonction des traitements aspersion et de la densité de *Megachile rotundata* à Sacré-Coeur (étés 2003-04-05)

ASPERSION ET MÉGACHILE AUX ESCOUMINS

Aux Escoumins, en 2003, aucun effet du facteur aspersion n'a pu être détecté. Par ailleurs, en 2004 et 2005, nous observons une influence significative de ce facteur, semblable à celui observé à Sacré-Cœur ($F_{3, 27} = 2.77$; $P = 0.07$, $F_{3, 27} = 7.61$; $P = 0.001$, respectivement). Il s'agit d'une augmentation significative de 66 et 89 mg/fruit respectivement et de 50 mg/fruit toutes années confondues, lors de l'aspersion afin de contrer la sécheresse seulement ($F_{1,27} = 8.01$; $P = 0.001$, $F_{1,27} = 14.21$; $P = 0.001$ et $F_{1,99} = 15.19$; $P = 0.0002$, respectivement) (fig. 2.8). De plus, une diminution significative du poids en 2004 et toutes années confondues, résulte de l'aspersion afin de contrer le gel, combinée ou non à l'aspersion afin de contrer la sécheresse ($F_{1,27} = 4.32$; $P = 0.05$ et $F_{1,99} = 5.57$; $P = 0.02$, respectivement). La mégachile introduite n'a pas d'effet significatif sur le poids des bleuëts à ce site (fig. 2.8).



* moyennes significativement différentes des autres au seuil $\alpha = 0.05$

*** moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0.001$

Figure 2.8 Poids moyens d'un bleuet nain ($\pm$ ET) en fonction des traitements aspersion et de la densité de *Megachile rotundata* aux Escoumins (étés 2003-04-05)

2.5.3 TAUX DE MISE À FRUIT

Le taux de mise à fruit est faible aux Escoumins ($33 \pm 9\%$) comparativement à Sacré-Cœur ($50 \pm 12\%$). Les analyses incluant trois années d'expérimentation, révèlent qu'aucun des facteurs aspersion et mégachile n'a d'effet significatif sur la mise à fruit à ces deux sites.

ASPERSION AUX DEUX SITES

Les données recueillies (2003-04-05) révèlent une tendance, plus perceptible à Sacré-Cœur (fig. 2.9) ($F_{1,45} = 3.62$; $P = 0.06$) qu'aux Escoumins, de l'aspersion afin de contrer le gel à faire augmenter la mise à fruit. En 2003 (Escoumins et Sacré-Cœur) et toutes années confondues (Sacré-Cœur), à des densités supérieures de mégachile, nous observons une

« interaction » positive entre le facteur densité de mégachile et l'irrigation afin de contrer le gel ($F_{1,27} = 17.00$; $P = 0.0002$, $F_{1,9} = 11.71$; $P = 0.008$, $F_{1,45} = 7.94$; $P = 0.007$, respectivement). Ainsi, l'impact positif de ce type d'aspersion sur la mise à fruit n'est pas uniforme et tend à augmenter à de fortes densités de mégachile. Cet impact n'est donc pas additif et ne peut être quantifié directement grâce à nos résultats. Cette « interaction » positive ne se fait pas sentir lors d'années ayant une période de floraison plus fraîche et humide telles 2004 et 2005. Aux deux sites, l'aspersion combinée (gel et sécheresse) semble moins favorable à une bonne mise à fruit que l'aspersion afin de contrer le gel seule.

MÉGACHILE AUX DEUX SITES

Aux deux sites expérimentaux (2003-04-05), la *Megachile rotundata* n'a pas d'influence significative sur les taux de mise à fruit. Par contre, nous observons une augmentation tendancielle de ces taux à Sacré-Coeur (fig. 2.9), plus perceptible en août 2003 (période de floraison plus chaude) ($F_{1,2} = 3.95$; $P = 0.06$).

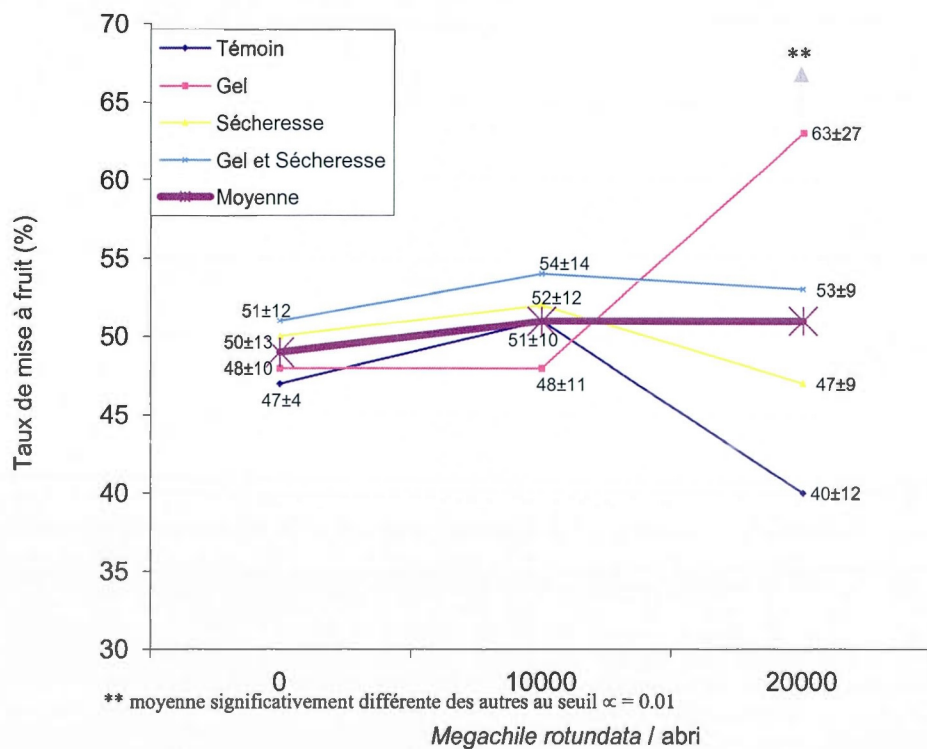


Figure 2.9 Taux de mise à fruit (en août) moyens ($\pm$ ÉT) du bleuetier nain en fonction des traitements aspersion et de la densité de *Megachile rotundata* à Sacré-Coeur (2003-04-05)

Cette augmentation est alors d'un maximum de 22% par rapport au témoin à des densités de 20 000 mégachiles par abri. À l'inverse, aux Escoumins, nous observons une diminution, significative en 2005 ($F_{1,6} = 4.26$; $P = 0.05$), de la mise à fruit avec une augmentation de la densité de mégachile.

2.5.4 RENDEMENTS

Le rendement moyen est de 1005 ± 375 kg/ha aux Escoumins et de 581 ± 352 kg/ha à Sacré-Cœur. En 2004, une forte grêle a fait chuter les rendements à Sacré-Cœur qui étaient alors de 369 ± 116 kg/ha en moyenne. Suivant une combinaison des trois années pour chacun des sites, les analyses statistiques révèlent que les facteurs aspersion et mégachile ont un effet significatif sur les rendements fruitiers à Sacré-Cœur seulement ($F_{3,45} = 2.90$; $P = 0.04$ et $F_{2,10} = 5.31$; $P = 0.008$, respectivement). En 2003, et toutes années confondues, nous observons une tendance vers une interaction positive entre l'aspersion afin de contrer la sécheresse, et une densité supérieure de mégachile aux Escoumins ainsi qu'à Sacré-Cœur.

ASPERSION À SACRÉ-CŒUR

Plus spécifiquement, en 2003, année caractérisée par la présence de périodes de sécheresse, l'aspersion afin de contrer la sécheresse fait augmenter significativement les rendements par rapport aux autres traitements aspersion de 282 kg/ha ($F_{1,9} = 5.31$; $P = 0.05$). L'aspersion afin de contrer le gel n'a pas d'impact significatif sur les rendements finaux.

En 2004, année fraîche, l'aspersion afin de contrer le gel influence positivement les rendements finaux par rapport aux autres traitements aspersion en les faisant augmenter de 248 kg/ha ($F_{1,9} = 27.60$; $P = 0.0005$).

Lors d'une combinaison des années expérimentales, l'ensemble des traitements aspersion fait augmenter significativement les rendements par rapport au témoin non aspergé ($F_{1,45} = 6.85$; $P = 0.01$) (fig. 2.10). Les augmentations les plus notables, de 216 kg/ha sont obtenus suivant le traitement aspersion afin de contrer la sécheresse combiné ou non avec l'aspersion afin de contrer le gel ($F_{1,45} = 6.77$; $P = 0.01$). Nous notons une tendance (non

significative) vers une interaction négative entre l'aspersion afin de contrer le gel et l'efficacité des mégachiles introduites.

MÉGACHILE À SACRÉ-CŒUR

Toutes années confondues, l'ajout de mégachiles à Sacré-Cœur fait augmenter significativement les rendements de 286 kg/ha par rapport au témoin ($F_{1,10} = 10.60$; $P = 0.002$) (fig. 2.10). Un plafonnement des rendements est perçu à partir de la densité 10 000 mégachiles par abri. Par ailleurs, en 2004, année plus fraîche, ce plafonnement apparaît à des densités supérieures de mégachiles soit à partir de 20 000 individus par abri.

ASPERSION AUX ESCOUMINS

Aucun gel d'importance n'a eu lieu à la bleuetière des Escoumins. Par conséquent, les traitements aspersion afin de contrer le gel n'ont pas d'influence significative sur les rendements finaux (fig. 2.11). C'est principalement l'aspersion afin de contrer la sécheresse (combinée ou non à l'aspersion lors du gel) au cours des années sèches, telle 2005, qui fait augmenter les rendements, ici de 179 kg/ha par rapport au témoin ($F_{1,27} = 8.78$; $P = 0.009$). Toutes années confondues, les résultats affichent une augmentation significative des rendements de 176 kg/ha ($F_{1,99} = 4.52$; $P = 0.04$), obtenue grâce à l'aspersion afin de contrer la sécheresse combinée ou non à l'aspersion lors du gel.

MÉGACHILE AUX ESCOUMINS

Une combinaison des 3 années ne permet pas de percevoir une influence significative de la *Megachile rotundata* sur les rendements finaux aux Escoumins (fig. 2.11). En 2003, l'aspersion afin de contrer la sécheresse semble faire augmenter les rendements à des densités supérieures de mégachile seulement ($F_{1,27} = 3.96$; $P = 0.06$).

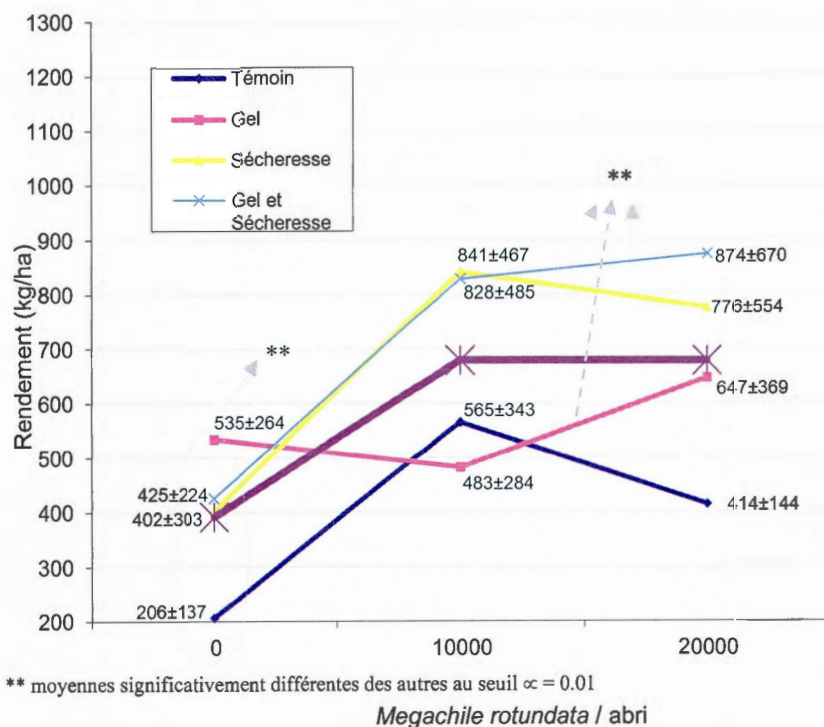


Figure 2. 10 Rendements moyens ($\pm$ ÉT) de la bleuetière semi-cultivée en fonction des traitements aspersion et densité de *Megachile rotundata* à Sacré-Coeur (étés 2003-04-05)

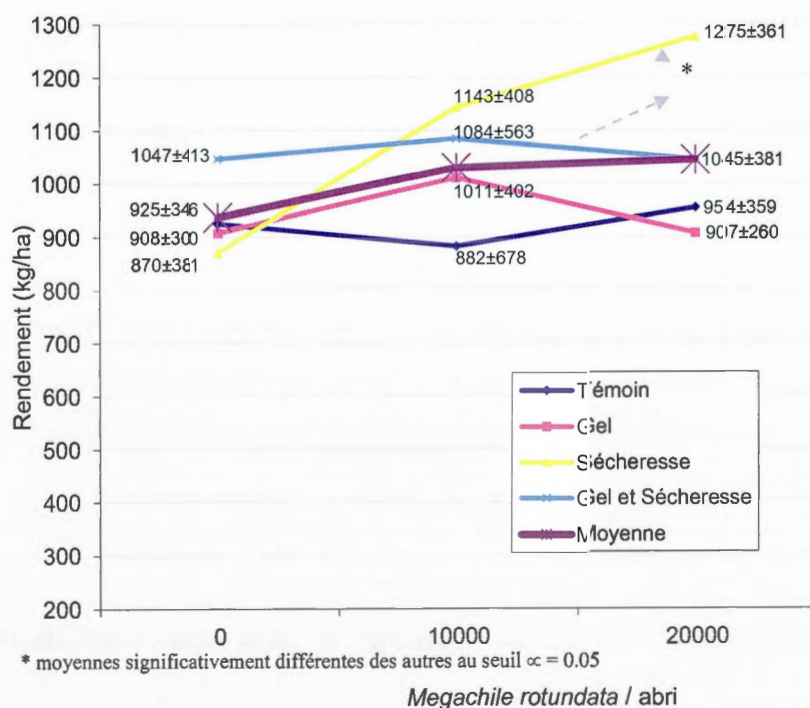


Figure 2. 11 Rendements moyens ($\pm$ ÉT) de la bleuetière semi-cultivée en fonction des traitements aspersion et densité de *Megachile rotundata* aux Escoumins (étés 2003-04-05)

2.5.5 DENSITÉ DE MÉGACHILES

De manière générale, l'activité de butinage aux fleurs du bleuetier nain des mégachiles introduites est multipliée par deux à la bleuetière des Escoumins par rapport à celle de Sacré-Cœur, soit une moyenne de 2.8 ± 1.2 et 1.4 ± 0.9 individus observés par relevé respectivement (fig. 2.12 et 2.13). Par contre, le ratio mégachile/fleur, est beaucoup plus faible aux Escoumins où la densité florale est au moins deux fois plus importante (environ 25 000 000 par rapport à 10 000 000 fleurs/ha à Sacré-Cœur). Une quantification des nids résultants, démontre une activité de butinage accrue à Sacré-Cœur : le taux de récupération des nids étant d'environ 40% du nombre introduit aux Escoumins versus 100% à Sacré-Cœur.

Toutes les années confondues, à Sacré-Cœur et aux Escoumins, le nombre de mégachiles qui butinent est significativement différent entre nos traitements témoins et ceux avec mégachiles introduites ($F_{1, 10} = 47.26$; $P < 0.0001$ et $F_{1, 22} = 150.68$; $P < 0.0001$, respectivement). Il n'y a pas de différence significative entre les densités 10 000 et 20 000 mégachiles par abri. En 2004, nous observons une très faible activité des mégachiles, 4 à 6 fois moindre qu'en 2003. En 2003, l'aspersion afin de contrer le gel seulement semble affecter l'activité des mégachiles. Cette diminution d'activité est significative à Sacré-Cœur ($F_{1, 9} = 7.01$; $P = 0.03$).

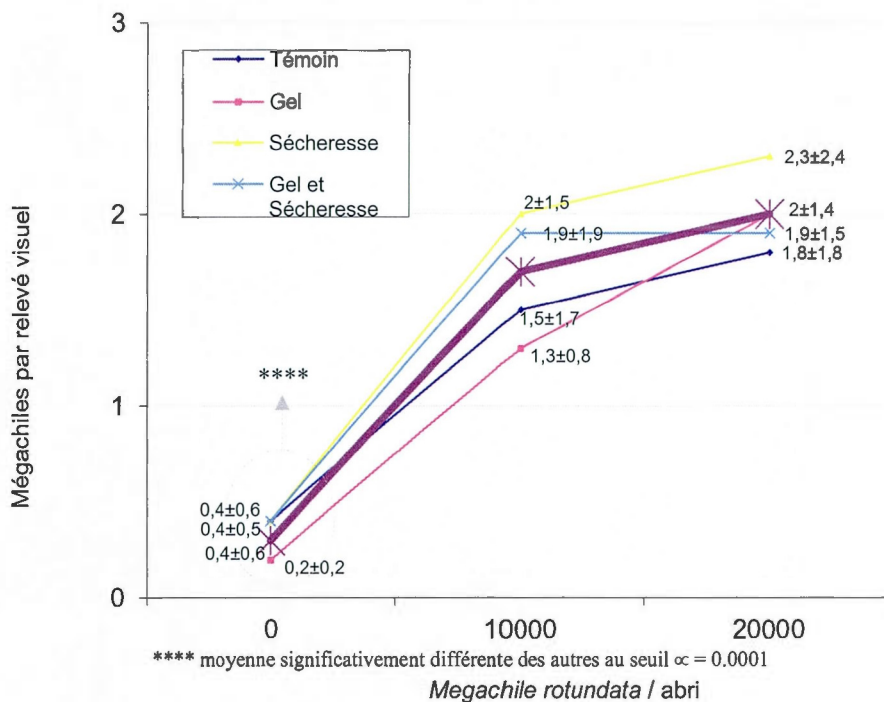


Figure 2. 12 Moyennes de *Megachile rotundata* ($\pm$ ÉT) par relevé qui butinent le bleuetier nain en fonction des traitements aspersion et *Megachile rotundata* à la bleuetière de Sacré-Coeur (2003-04-05)

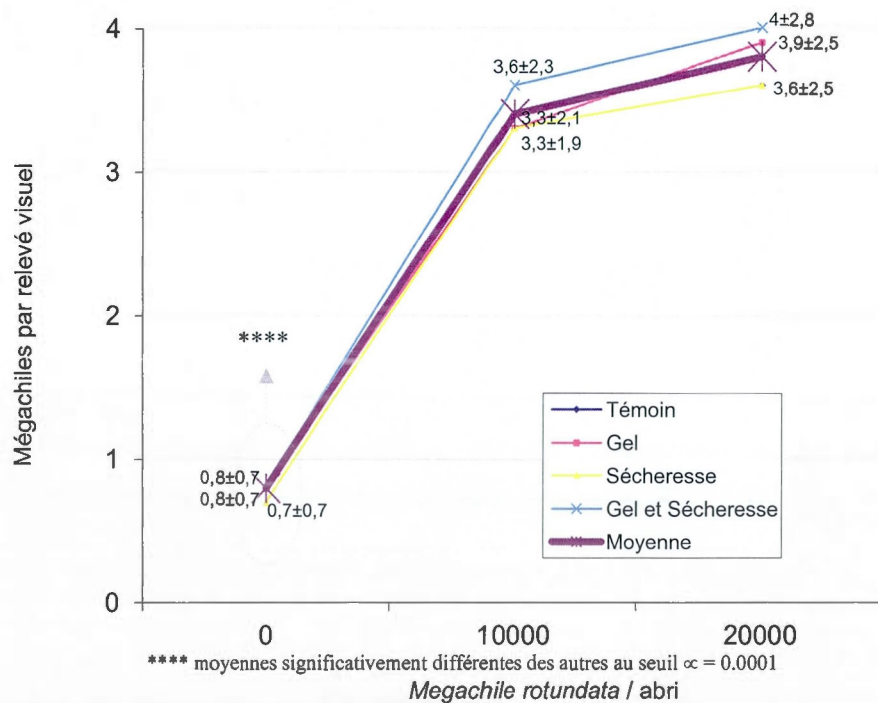


Figure 2. 13 Moyennes de *Megachile rotundata* ($\pm$ ÉT) par relevé qui butinent le bleuetier nain en fonction des traitements aspersion et *Megachile rotundata* à la bleuetière des Escoumins (2003-04-05)

2.5.6 INFLUENCE DE LA *MEGACHILE ROTUNDATA* SUR LES BUTINEURS INDIGÈNES

De manière générale, l'activité de butinage des apoïdes indigènes aux fleurs de bleuetier nain est environ deux fois plus importante à la bleuetière de Sacré-Cœur qu'à celle des Escoumins, soit une moyenne de 0.59 ± 0.38 et 0.35 ± 0.18 individus observés par relevé visuel respectivement (fig. 2.14). Aux Escoumins, toutes les années confondues, le facteur mégachile influence significativement l'activité des abeilles indigènes ($F_{2, 22} = 7.01$; $P = 0.003$). Ainsi, une diminution significative des apoïdes indigènes apparaît en présence de la mégachile introduite ($F_{1, 22} = 9.70$; $P = 0.002$). Cette même tendance est observée à Sacré-Cœur sans toutefois être statistiquement significative. Nos données indiquent une diminution d'activité des apoïdes indigènes à partir d'une densité moyenne d'une à deux mégachiles par passage (2 minutes).

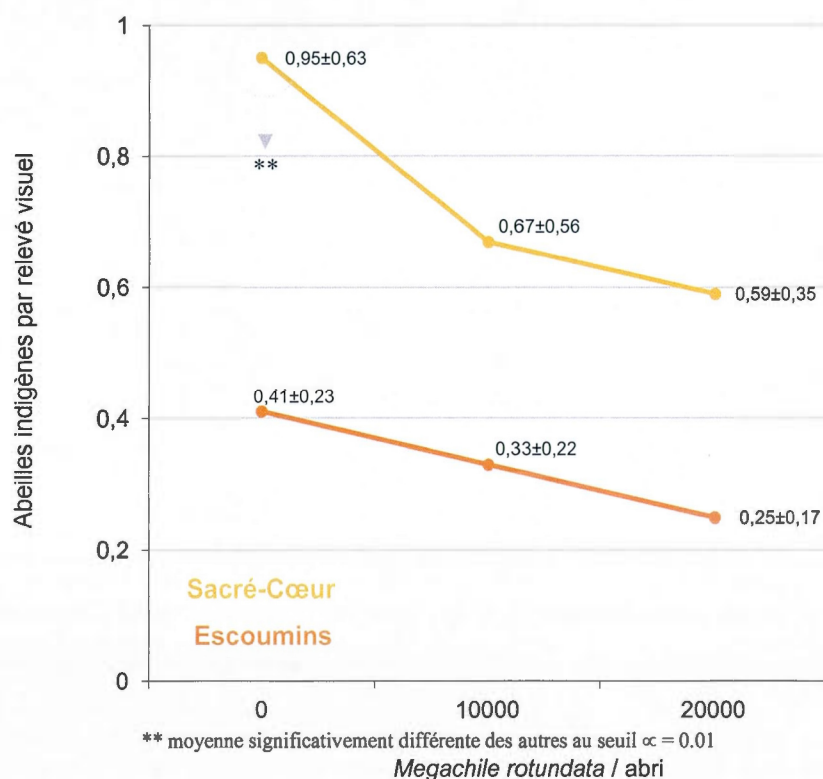


Figure 2. 14 Moyennes d'abeilles indigènes ($\pm$ ÉT) par relevé en fonction de la densité de *Megachile rotundata* aux bleuetières des Escoumins et de Sacré-Cœur au cours de la période de floraison, 2003-04-05

2.5.7 ACTIVITÉ QUOTIDIENNE DES INSECTES BUTINEURS

Toutes les années confondues, les relevés entomologiques signalent que la présence de la *Megachile rotundata* est dominante aux deux sites (fig. 2.15), suivie par les bourdons (*Bombus* spp.), les apoïdes solitaires indigènes (Halictidae et Andrenidae), les Diptères incluant les syrphides (Syrphidae) et en dernier les guêpes (Vespidae). La présence des apoïdes indigènes est accentuée à la bleuetière de Sacré-Cœur où elle est presque équivalente à celle des mégachiles introduites. Les Diptères autres et les Lépidoptères sont plus nombreux aux Escoumins. À Sacré-Coeur dominent les groupes de pollinisateurs indigènes suivants : les bourdons, les abeilles solitaires et les syrphides.

Les relevés entomologiques visuels permettent de distinguer une activité quotidienne bimodale (présentant deux pics d'activité) chez les bourdons, les syrphides et les guêpes, accusant un creux d'activité vers midi pour ces deux premiers groupes et au milieu de l'après-midi pour les syrphides (fig. 2.15). L'activité quotidienne des syrphides est maximale (pic majeur) tôt en matinée (8 h 30 à 10 h 30) et accuse un deuxième pic (mineur) tard en fin de journée (16 h 30). L'activité des bourdons est minimale vers midi et maximale en fin d'après-midi (pic majeur) et en matinée (pic mineur). Pour ce qui est de l'activité des abeilles solitaires et des mégachiles introduites, elle semble tendre vers une courbe unimodale avec un pic d'activité différé dans le temps à la bleuetière des Escoumins (fig. 2.15). Ce pic se situe entre 9 h 30 et 12 h 30 à Sacré-Coeur et entre 12 h 30 et 14 h 30 aux Escoumins.

La température moyenne quotidienne en période de floraison est plus froide à la bleuetière des Escoumins relativement à celle de Sacré-Cœur, seule bleuetière où elles dépassent souvent les 25 °C (fig. 2.17). Aux Escoumins, la période d'activité quotidienne intensive de butinage de la mégachile est plus courte de 2 heures, 0.5 heure le matin et 1.5 heure en fin d'après-midi.

Les résultats affichent une bonne complémentarité entre la *Megachile rotundata* et les butineurs indigènes (fig. 2.16). Ces derniers viennent combler une réduction de l'activité de la mégachile au début, mais surtout en fin de journée lorsque les températures diminuent.

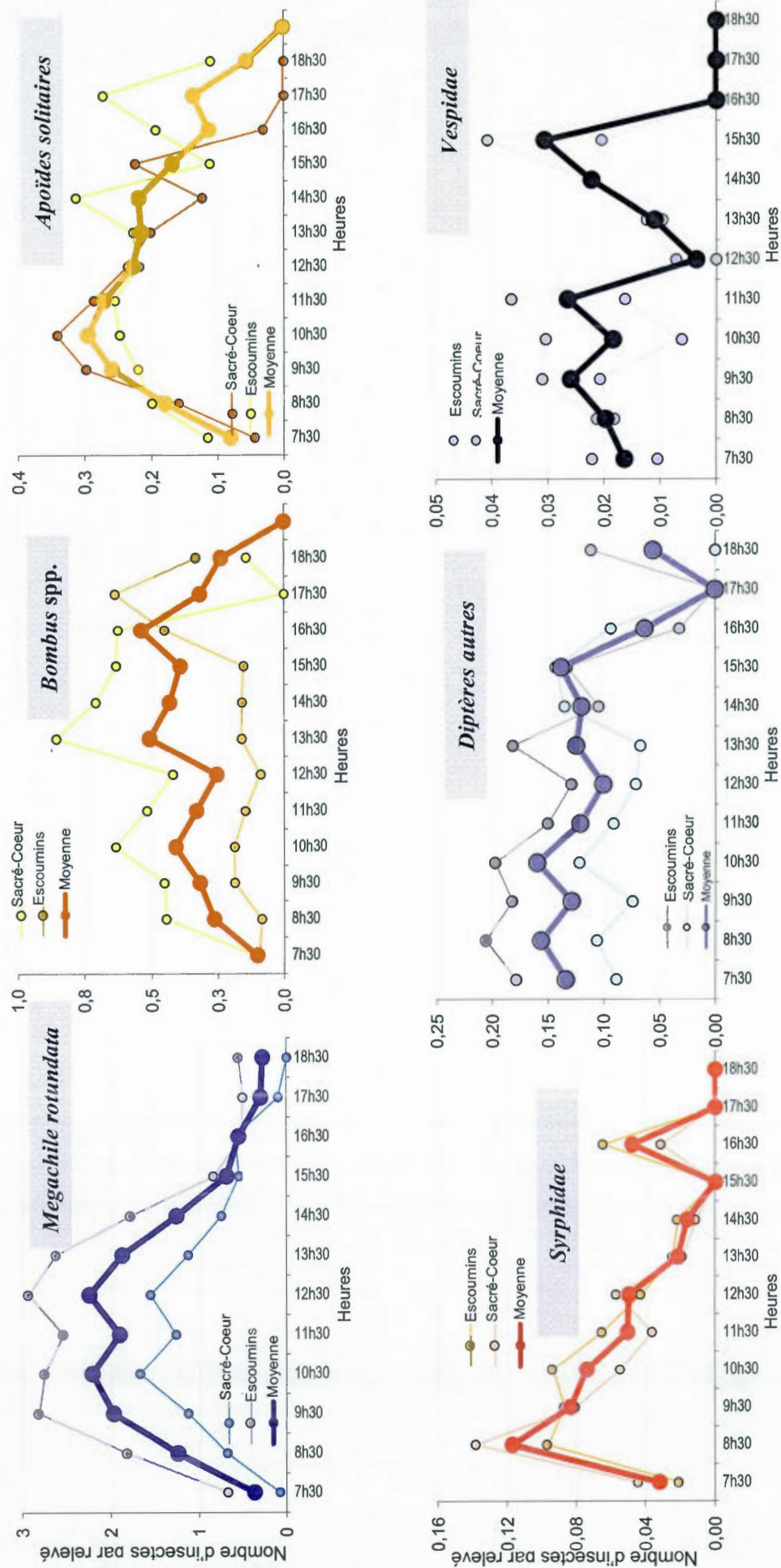


Figure 2.15 Activité quotidienne moyenne des insectes aux bleuettières des Escoumins et de Sacré-Cœur, étés 2003-04-05

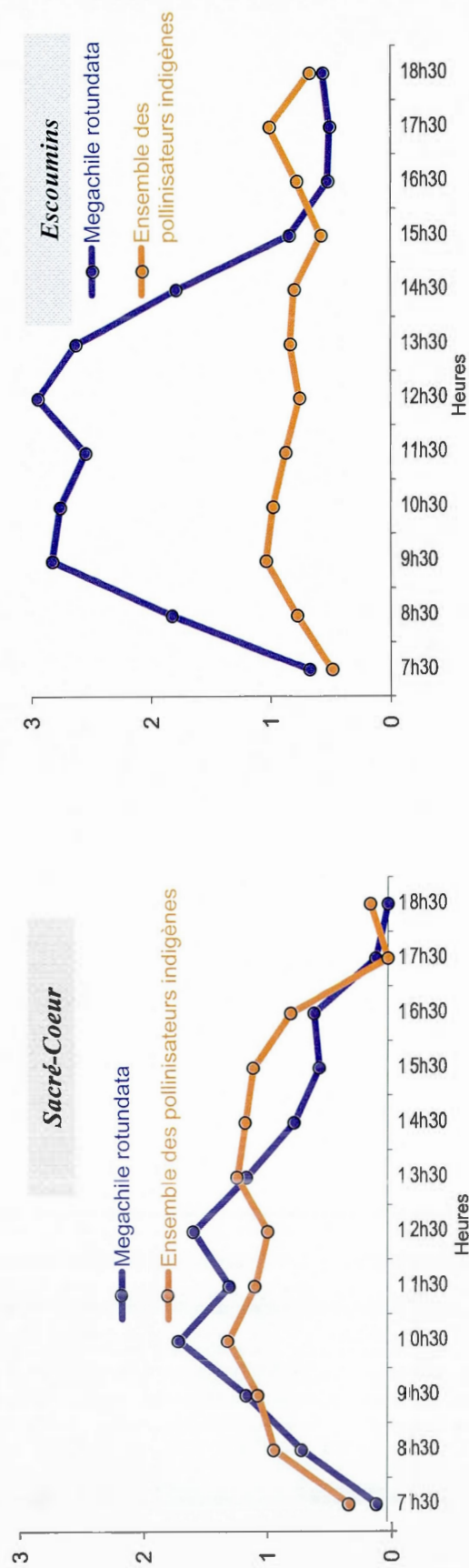
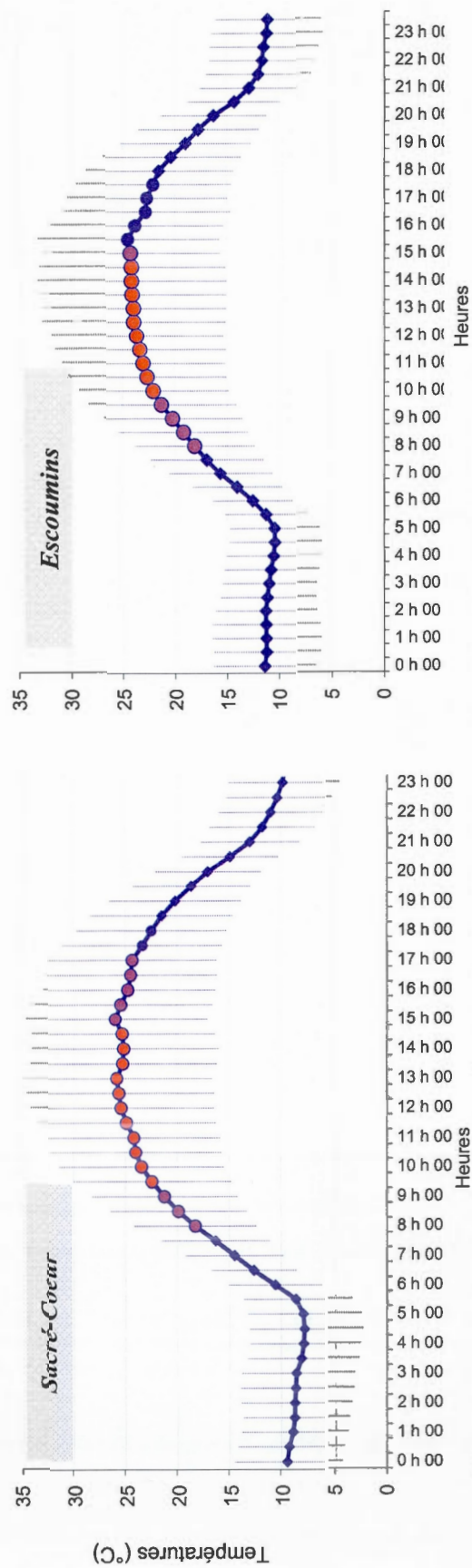


Figure 2.16 Activité quotidienne moyenne de la *Megachile rotundata* et de l'ensemble des pollinisateurs indigènes en bleuetières (étés 2003-04-05)

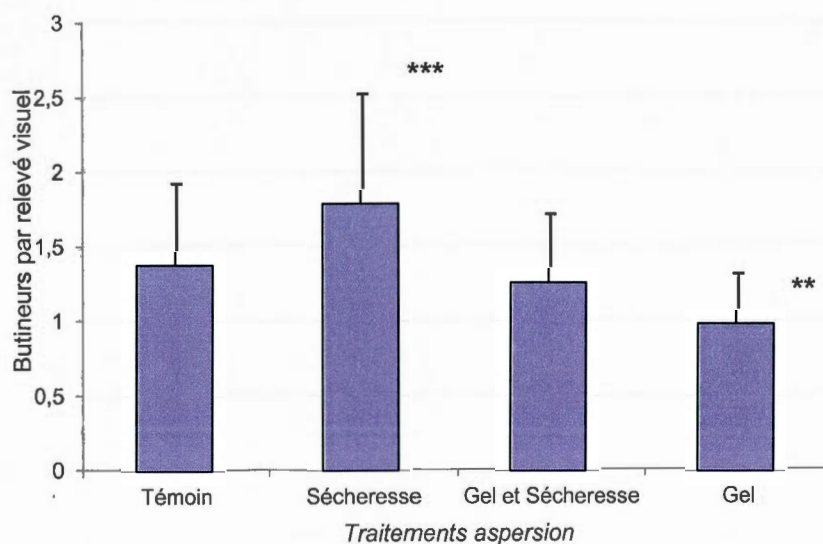


* Les points rouges indiquent l'activité de butinage du pollen et les points violets l'activité générale aux fleurs du bleuëtier nain de la *Megachile rotundata*.

Figure 2.17 Températures quotidiennes moyennes ($\pm$ ET) en bleuetières pendant la période de floraison du bleuëtier nain (5 juin au 7 juillet 2003-04-05)

2.5.8 ASPERSION EN PÉRIODE DE FLORAISON

Tous les sites et les années confondus, l'aspersion a un effet significatif sur la présence des insectes butineurs ($F_{1, 162} = 11.68$; $P = 0.004$). Plus spécifiquement, l'aspersion afin de contrer la sécheresse appliquée au moment de la floraison aux Escoumins (1 X en 2003 et en 2005) et à Sacré-Cœur (2 X en 2005) fait augmenter significativement ($F_{1, 162} = 11.68$; $P = 0.001$) l'abondance des butineurs (fig. 2.18). À l'inverse, une baisse significative ($F_{3, 162} = 7.98$; $P = 0.006$) du nombre de butineurs est observée la journée suivant une aspersion lors d'un gel printanier aux Escoumins (2 X en 2004) et à Sacré-Cœur (1 X en 2003, 3 X en 2004 et 1 X en 2005) (fig. 2.18).



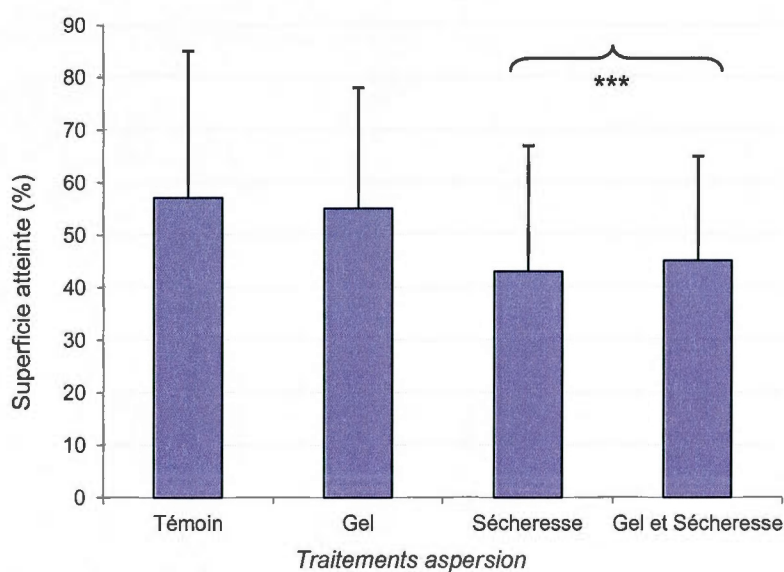
** moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0.01$

*** moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0.001$

Figure 2.18 Activité moyenne des butineurs ($\pm$ ÉT) la journée suivant une aspersion lors de la période de floraison du bleuetier nain en fonction du type d'aspersion aux bleuetières de Sacré-Coeur et des Escoumins (étés 2003-04-05)

2.5.9 MALADIES FONGIQUES

Un suivi estival de l'apparition et du développement des maladies fongiques indique que le facteur aspersion influence significativement le développement du blanc ($F_{3,99} = 4.29$; $P = 0.007$), maladie présente seulement aux Escoumins. Les parcelles aspergées lors d'une sécheresse (combinée ou non à l'aspersion lors du gel) sont significativement ($F_{1,99} = 13.05$; $P = 0.0005$) moins affectées par le blanc, diminuant de 22% la superficie atteinte par cette maladie (fig. 2.19). À l'inverse, pour ce qui est de la tache septorienne et de la rouille nous notons une tendance non significative vers une augmentation de la superficie atteinte dans les parcelles aspergées relativement aux témoins.

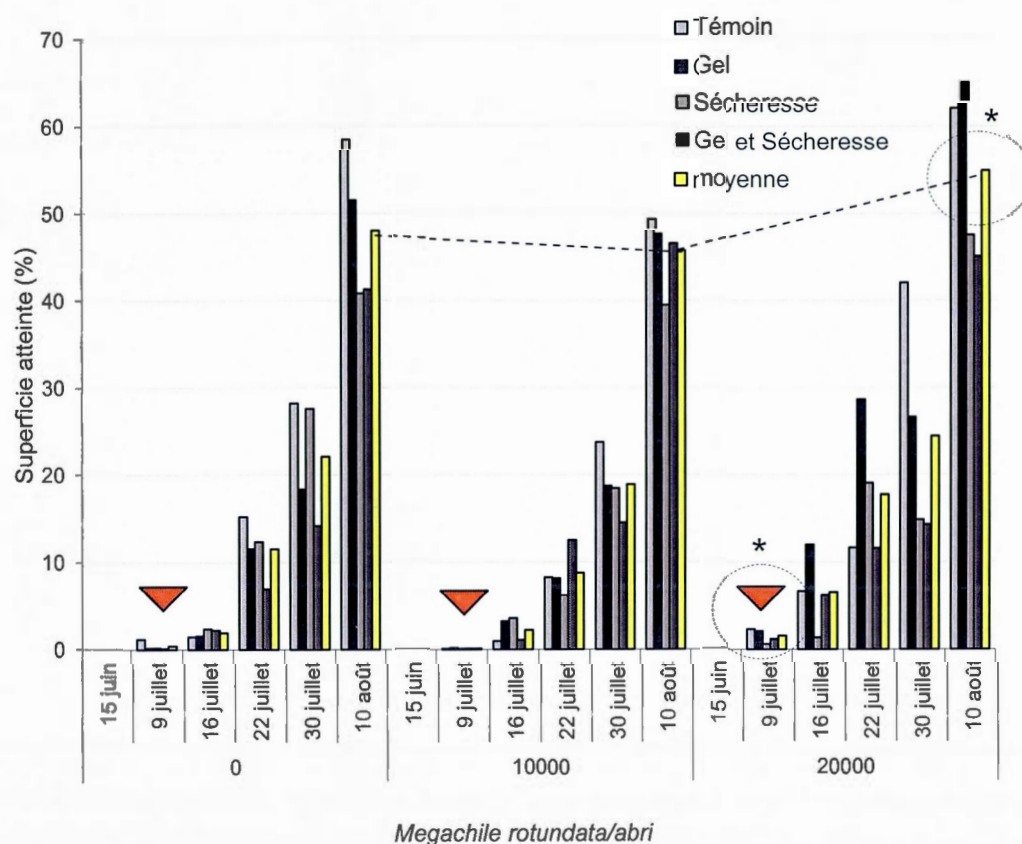


*** moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0.001$

Figure 2.19 Pourcentage moyen ($\pm$ ÉT) de couverture moyen du blanc, *Microsphaera penicillata* var. *vaccinii* (Schwein.) en fonction du traitement aspersion à la bleuetière des Escoumins en août 2003-04-05

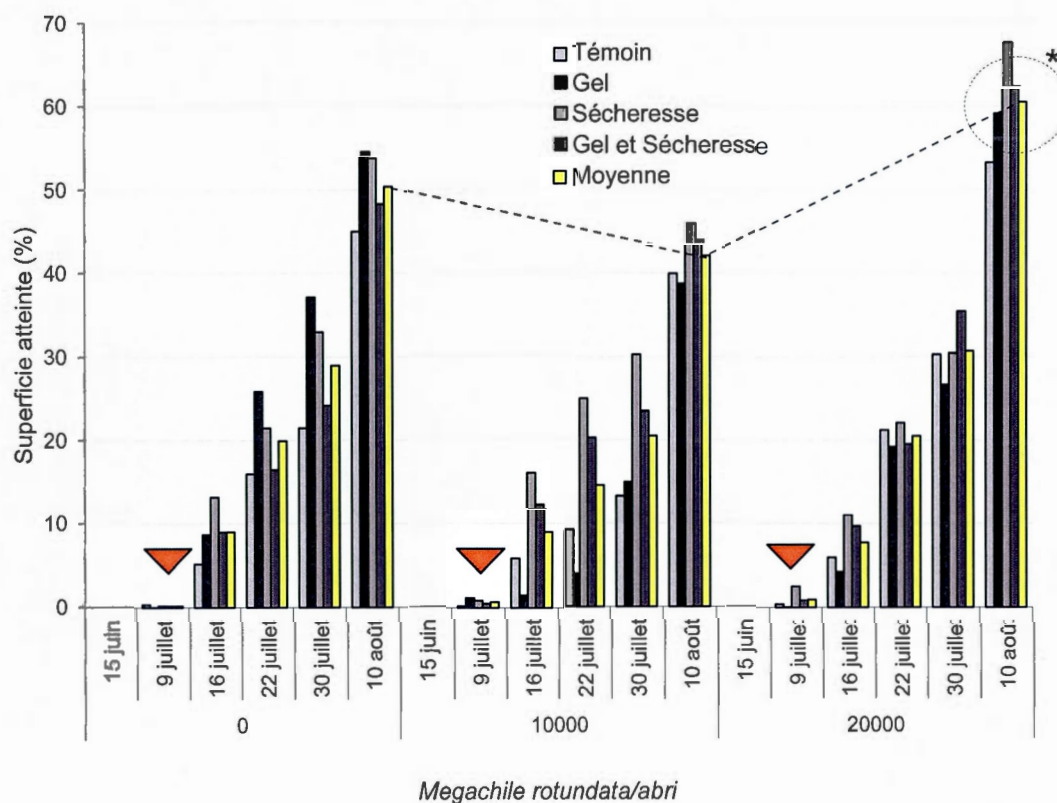
En plus du traitement aspersion, il existe une influence de l'abondance de la *Megachile rotundata* sur l'apparition et le développement des maladies. Dans ce sens, aux Escoumins, l'influence de cette mégachile sur l'apparition ($F_{1,6} = 4.34$; $P = 0.05$) en 2005 et sur le développement ($F_{1,6} = 5.10$; $P = 0.03$) en 2004 du blanc est significative (fig. 2.20).

Semblablement, une tendance vers une apparition plus hâtive des taches septoriennes et de la rouille est observable en présence de la *Megachile rotundata* (fig. 2.21). Toutes les années confondues, le facteur mégachile influence significativement le développement de maladies (tache septorienne et rouille) à Sacré-Cœur ($F_{2, 10} = 3.81$; $P = 0.03$). Ainsi, une forte abondance de cette abeille cause une dispersion significativement plus rapide des taches septoriennes et de la rouille ($F_{1, 10} = 7.56$; $P = 0.05$) et l'introduction de 10 000 ou 20 000 individus semble être, encore une fois, associée à l'apparition de la maladie en bleuetière ($F_{1, 10} = 14.88$; $P = 0.06$).



* moyennes significativement différentes des autres au seuil $\alpha = 0.05$ en 2004 seulement
 ▼ : apparition de la maladie

Figure 2.20 Apparition et développement du blanc, *Microsphaera penicillata* var. *vaccinii* (Schwein.) dans le temps en fonction des traitements aspersion et de la densité de mégachile dans la bleuetière des Escoumins (2003-04-05)



* moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0.05$
 ▼ apparition de la maladie

Figure 2.21 Apparition et développement de la tache septorienne, *Septoria* spp., et de la rouille, *Naohidemyces vaccinii* (Wint.), dans le temps en fonction des traitements aspersion et de la densité de mégachile à la bleuëtière de Sacré-Coeur (2003-04-05)

2.6 DISCUSSION

2.6.1 FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES

CLIMAT À LA BLEUETIÈRE DES ESCOUMINS ET DE SACRÉ-COEUR

La moyenne des températures minimales et maximales enregistrées au cours des 3 années d'expérimentation, 2003-04-05, indique une certaine « continentalité » du microclimat à Sacré-Cœur comparativement aux Escoumins, ce dernier site étant soumis à un climat plutôt « maritime ». Les particularités du climat de type continental sont des températures contrastées et de faibles précipitations (Villeneuve, 1959) ce qui correspond aux données météorologiques plus extrêmes et la pluviosité moindre de Sacré-Cœur. Ces grands écarts de température rendent la bleuetière de Sacré-Cœur plus sujette au gel. Dans ce sens, toutes années confondues, les sondes thermiques ont décelé 8 périodes de gel printanier à Sacré-Cœur relativement à 2 aux Escoumins. Par ailleurs, à la bleuetière des Escoumins, la proximité du fleuve vient tempérer le climat en réduisant les écarts de température et accroît la quantité de précipitations, évaluée à 25 % de plus qu'à Sacré-Cœur.

ASPERSION LORS DE GEL

L'aspersion afin de contrer le gel tardif est efficace en maintenant la température à hauteur de végétation, aux alentours de 0 °C. Par contre, la journée suivant cette aspersion une baisse des températures se fait sentir jusqu'à 18 h, ce qui affecte l'activité de pollinisation. Selon nos relevés entomologiques visuels, l'activité intensive des butineurs s'effectue sur un laps de temps de 10 à 15 jours au cours de la période de floraison totale qui s'étend sur environ un mois, du 5 juin au 7 juillet. Cette courte période rend chacune de ces journées capitales pour l'obtention de bons rendements fruitiers. Selon nos résultats, le refroidissement microclimatique découlant de plusieurs aspersions afin de contrer le gel pourrait gêner la pollinisation entomophile des fleurs puisque cette aspersion affecte l'activité des insectes pollinisateurs. Selon Willmer (1983), Boyle-Makowski (1987) et Desjardins (2003), cette activité est limitée par les basses températures et l'humidité. De plus,

l'humidification du milieu pourrait favoriser l'apparition et le développement de maladies fongiques, telles la pourriture sclérotique, la moisissure grise et la tache septorienne (Hildebrand et Braun, 1991; Caruso et Ramsdell, 1995; Hildebrand *et al.*, 2001; AAPNB, 2009). Dans ce sens, la moisissure grise est plus fréquente dans les régions côtières soumises à des épisodes de brume comme la Côte-Nord (Caruso et Ramsdell, 1995). Elle se développe tôt en saison, en présence de longues périodes d'humidité (Caruso et Ramsdell, 1995; AAPNB, 2009). Semblablement, un printemps humide avec du gel et des températures froides aide au développement de la pourriture sclérotique (Hildebrand et Braun, 1991).

2.6.2 POIDS MOYEN D'UN BLEUET

Selon Young (1951), Sylvestre (1970-71) et Hickelton *et al.* (2000) un stress hydrique au cours de l'anthèse, et plus particulièrement dans le mois précédant la récolte affecte la production fruitière (Struchtemeyer, 1956; Benoît *et al.*, 1984; Spiers, 1996) et plus particulièrement la grosseur des bleuets (Young, 1951; Sylvestre, 1970-71; Hickelton *et al.*, 2000). Les bleuets alors produits ont la réputation d'être petits et de maturation inégale. De plus, une pollinisation inefficace résulte en une production moindre de graines par bleuet (Dogterom *et al.*, 2000) associée à des bleuets de petite taille et de faible poids (Aras et de Oliveira, 1996; Desjardins et de Oliveira, 2006). Conséquemment, le poids des bleuets est une variable qui devrait refléter à la fois le succès de pollinisation et l'efficacité d'une aspersion afin de contrer la sécheresse.

INFLUENCE DE L'ASPERSION

L'irrigation par aspersion afin de contrer la sécheresse fait augmenter le poids moyen d'un bleuet de 50 mg, représentant environ 15 % du poids moyen d'un fruit ici 370 mg. Cette augmentation passe à 25 % lors d'années sèches. À l'inverse, l'aspersion afin de contrer le gel est associée à un poids moindre des bleuets (baisse de 4 %). Cette diminution de poids pourrait s'expliquer par les résultats de cette étude qui démontrent une augmentation du taux de mise à fruit lors de l'aspersion afin de contrer le gel et donc du nombre de fruits par tige. Les ressources limitées, allouées par la plante aux fruits, sont distribuées à un plus grand

nombre de fruits qui devraient être individuellement plus petits. Une deuxième explication serait une présence moindre des insectes butineurs, possiblement due à un refroidissement du microclimat et à une dilution trop importante du nectar. Selon Corbet *et al.*, (1979a et 1979b), la concentration du nectar des fleurs est étroitement liée à l'humidité de l'air et cette concentration influence les visites d'insectes. Une viscosité ou une dilution trop importante de celui-ci sont associées à une diminution du butinage (Betts, 1930; Corbet *et al.*, 1979a; Cruden, 1997). Une dernière explication serait une présence accrue de maladies fongiques possiblement favorisées par l'humidité et la fraîcheur encourues.

INFLUENCE DE LA MEGACHILE ROTUNDATA

L'introduction de mégachiles est associée à un poids moyen par bleuet supérieur de 14 % à Sacré-Cœur alors qu'elle n'a pas d'effet significatif aux Escoumins. Cette augmentation démontre une efficacité de pollinisation de la *Megachile rotundata* à Sacré-Cœur; une pollinisation efficace étant associée à un nombre élevé de graines par bleuet et à un poids supérieur des fruits (Aalders et Hall, 1961; Wood, 1968; Jackson *et al.*, 1972; Bigras-Huot *et al.*, 1973; Aras *et al.*, 1996; Desjardins et de Oliveira, 2006). La mégachile introduite n'ayant pas d'effet sur le poids individuel des bleuets aux Escoumins démontre son manque d'efficacité à ce site.

2.6.3 TAUX DE MISE À FRUIT

INFLUENCE DE L'ASPERSION

Selon Lee (1958), Karmo *et al.* (1959), Aras *et al.* (1996) et Desjardins et de Oliveira (2006), la présence des insectes butineurs explique plus de 80 % de la mise à fruit des bleuétiers. Le gel hâtif peut aussi causer une diminution très importante de la mise à fruit du bleuétier en endommageant le feuillage, les fleurs et les jeunes fruits (Hall *et al.*, 1971). Conséquemment, le pourcentage de mise à fruit est une variable qui devrait refléter à la fois

le succès de pollinisation et l'efficacité d'une aspersion dans un but de protection contre le gel.

Les faibles taux observés aux Escoumins (33 %) par rapport à Sacré-Cœur (50 %) peuvent être attribuables au manque d'efficacité de la *Megachile rotundata* à ce site, démontré lors de cette étude. Les abeilles indigènes, réputées pour leur efficacité de pollinisation en bleuetière (Bigras-Huot *et al.*, 1973; Morrissette *et al.*, 1985; Javorek *et al.*, 2002), ne pouvaient combler la lacune de ces mégachiles étant relativement peu présentes. Les observateurs ont relevé deux fois moins d'abeilles indigènes aux Escoumins par rapport à Sacré-Cœur.

L'aspersion afin de contrer le gel fait augmenter la mise à fruit à Sacré-Cœur seulement. L'influence moindre qu'a ce type d'aspersion aux Escoumins est prévisible puisqu'aucun gel d'importance n'a eu lieu à cette bleuetière.

À ces deux sites, nous observons une synergie positive entre les deux facteurs à l'étude (aspersion et mégachile), présente seulement lors d'une période de floraison chaude (2003). Dans ces circonstances, l'impact sur la mise à fruit de l'aspersion lors de gel tend à augmenter à des densités supérieures de mégachiles allant jusqu'à faire doubler les taux de mise à fruit. Cette efficacité découlerait vraisemblablement d'un plus grand nombre de fleurs fonctionnelles, puisque protégées du gel grâce à ce type d'aspersion, sans qu'un refroidissement du milieu n'affecte trop la pollinisation des fleurs.

INFLUENCE DE LA *MEGACHILE ROTUNDATA*

De manière générale, la *Megachile rotundata* n'a pas d'influence sur les taux de mise à fruit, excepté lors d'une période de floraison plus chaude. Aux Escoumins, une augmentation de la densité de mégachiles résulte même en une diminution de la mise à fruit. Cette diminution pourrait être attribuable à la baisse significative d'abeilles indigènes observée en présence des mégachiles introduites, l'efficacité des abeilles indigènes comme pollinisateur des bleuetières étant reconnue (Bigras-Huot *et al.*, 1973; Morrissette *et al.*, 1985; Javorek *et al.*, 2002). Elle pourrait aussi être causée par l'apparition plus hâtive et le développement plus rapide du blanc en présence de cette mégachile, comme démontré par cette étude. Les bleuetiers atteints par la maladie réaliseraient un émondage physiologique

plus important menant à une diminution de la mise à fruit, tel qu'observé par Penman et Annis, (2005) dans les bleuetières atteintes de la pourriture sclérotique, *Monilinia vaccinii-corymbosi*.

2.6.4 RENDEMENTS

Le rendement final est le facteur de production ultime. Il devrait être en lien étroit avec le taux de mise à fruit et le poids moyen d'un fruit. Dans ce sens, selon Jackson *et al.* (1972), Aras *et al.* (1996) et Desjardins et de Oliveira (2006), le poids moyen d'un bleuet nain et le taux de mise à fruit sont des facteurs déterminants pour l'évaluation de la production fruitière (rendement fruitier). Toutefois, les rendements relativement plus élevés à la bleuetière des Escoumins par rapport à celle de Sacré-Cœur découleraient plutôt en grande partie d'une densité supérieure de fleurs : environ 25 000 000 par rapport à 10 000 000 fleurs/ha, respectivement.

INFLUENCE DE L'ASPERSION

Lors d'années sèches, l'aspersion afin de contrer la sécheresse fait augmenter les rendements de 282 kg/ha à Sacré-Cœur et de 179 kg/ha aux Escoumins. Cette augmentation de rendement s'explique principalement par un accroissement significatif du poids individuel d'un bleuet de 65 et 89 mg par fruit respectivement. Le traitement aspersion n'ayant pas d'effet significatif sur le taux de mise à fruit, la deuxième hypothèse de travail est donc partiellement confirmée. Celle-ci étant que d'une irrigation lors de sécheresses résulte un rendement accru dû à un taux de mise à fruit et un poids supérieur des bleuets.

Dans une bleuetière de climat maritime (ex. bleuetière des Escoumins) ne subissant pas ou peu de gel, l'aspersion afin de contrer le gel a peu d'impact sur les rendements finaux. Différemment, dans une bleuetière de climat continental (ex. bleuetière de Sacré-Cœur) subissant des gels printaniers, l'aspersion afin de contrer le gel permet une augmentation de rendements finaux de 280 kg/ha principalement grâce à une augmentation de la mise à fruit.

Ce qui vient confirmer la première hypothèse de travail qui est que l'irrigation lors de gels tardifs fait augmenter le rendement grâce à une meilleure mise à fruit seulement.

Toutes années et tous sites confondus, ce sont l'aspersion simple afin de contrer la sécheresse (augmentation de 278 kg/ha) et combinée, afin de contrer le gel et la sécheresse (augmentation de 314 kg/ha) qui sont les plus efficaces. L'aspersion afin de contrer le gel a une influence moindre sur les rendements (augmentation de 160 kg/ha) expliquée ici en partie par la diminution significative du poids moyen d'un bleuet observée suivant ce type d'aspersion.

INFLUENCE DE LA MEGACHILE ROTUNDATA

L'introduction de mégachiles fait augmenter les rendements fruitiers finaux de 286 kg/ha à la bleuetière de Sacré-Cœur grâce à une augmentation du poids individuel des bleuets de 80 mg par fruit. Ce qui vient confirmer partiellement la troisième hypothèse de travail selon laquelle l'ajout de mégachiles accroît le rendement grâce à un taux de mise à fruit et un poids supérieur des bleuets. Différemment, cette abeille n'a pas d'influence sur les rendements fruitiers à la bleuetière des Escoumins.

Cette déficience de la *Megachile rotundata* comme vecteur pollinique à la bleuetière des Escoumins semble être attribuable, du moins en partie, au microclimat plus frais qui y règne en début de floraison. Selon nos résultats, la température moyenne quotidienne en période de floraison y est plus froide et la période d'activité quotidienne intensive de butinage de la mégachile plus courte de 2 heures, 0.5 heure le matin et 1.5 heure en fin d'après-midi. La *Megachile rotundata* étant originaire de régions relativement chaudes d'Eurasie (Kemp et Bosch, 2002) est peu adaptée aux climats froids. Celle-ci débute son activité de butinage du nectar, mais surtout du pollen à des températures aussi élevées que 18-19 et 22-23 °C, respectivement (Bailey *et al.*, 1982; Lerer *et al.*, 1982; MacKenzie *et al.*, 1998; Pesson et Louveaux, 1984). Ainsi, des températures supérieures à 22 °C sont nécessaires à une activité de pollinisation de cette mégachile; le butinage du pollen étant essentiel à une pollinisation efficace des fleurs. De plus, selon Stubbs et Drummond (1997), les températures froides et l'humidité présentes dans le Maine et au Canada lors de la période

de floraison du bleuetier nain pourraient prolonger l'émergence et la période d'accouplement de ces mégachiles menant à une faible efficacité de pollinisation. Cette prolongation découlerait d'un retard dans le développement des ovaires (Richards, 1994). Toutefois, selon Pankiw et Lieverse (1980) et Stubbs et Drummond (1997), sur plusieurs générations ces mégachiles s'adaptent aux conditions froides des régions situées plus au nord. Ainsi, la *Megachile rotundata* serait d'autant plus affectée par les conditions climatiques froides de la Côte-Nord lorsqu'elle est importée annuellement du sud du Manitoba (région relativement chaude) comme ce qui se produit aux Escoumins; ce producteur n'arrivant pas à s'autosuffire en termes de récolte annuelle de nids, doit acheter de façon récurrente des *Megachile rotundata*.

Cette faible quantité de nids produits annuellement par les mégachiles, peut selon Peterson et Roitberg (2006) et Lerer *et al.* (1982) être due à des conditions écologiques et environnementales peu propices telles la faible disponibilité de la ressource et des conditions météorologiques peu clémentes. La *Megachile rotundata* qui s'investit alors peu dans la production de progéniture récolte peu de pollen, source de nourriture pour ses larves affectant ainsi son activité de pollinisation. Les nombreuses mégachiles observées aux fleurs dans cette bleuetière y butinent donc vraisemblablement le nectar, qui procure l'énergie nécessaire à leur propre subsistance. Les individus qui s'alimentent principalement du nectar des fleurs sont selon Javorek *et al.* (2002) de piètres pollinisateurs déposant la moitié moins de grains de pollen sur le stigmate des fleurs du bleuetier nain.

En plus d'être produits en faible quantité, les nids récupérés annuellement seraient composés d'une plus grande proportion de mâles résultant de la faible disponibilité de la ressource (McCorquodale et Owen (1994); Peterson et Roitberg, 2006) ici causée par un microclimat trop froid pour une activité normale de la mégachile. Selon Klostermeyer *et al.* (1973), une relation étroite existe entre le poids des provisions (majoritairement du pollen) et le sexe de la progéniture résultante, les mâles résultant de petites provisions. Le grand nombre de mâles observés dans les relevés entomologiques vient appuyer cette affirmation. Ces mâles qui s'alimentent de nectar sont, selon Javorek *et al.* (2002), des pollinisateurs peu efficaces.

Différemment, à Sacré-Coeur, une densité de 10 000 abeilles par abri était suffisante pour une pollinisation optimale. Par ailleurs, en 2004, année caractérisée par une période de floraison froide, une pollinisation maximale était perçue à des densités supérieures de mégachiles, soit 20 000 individus par abri. Afin d'atteindre une même efficacité de pollinisation, un plus grand nombre d'individus est nécessaire lors d'années froides. Toutefois, une augmentation du nombre d'individus introduits n'est pas une solution d'intérêt pour les producteurs. Cette alternative en plus d'impliquer des frais supplémentaires, causerait, selon nos résultats, une diminution de la présence d'abeilles indigènes et une augmentation des maladies fongiques.

Ainsi, afin de contrer ce manque d'efficacité de la *Megachile rotundata*, deux solutions s'offrent aux producteurs de régions froides comme la Côte-Nord. Ces derniers pourraient acheter des *Megachile rotundata* élevées dans des régions plus nordiques de l'Ouest canadien. Selon Pankiw et Lieverse (1980) et Stubbs et Drummond (1997), ces mégachiles s'adaptent aux conditions froides de régions situées plus au nord. Ils pourraient aussi utiliser un pollinisateur commercial mieux adapté au froid comme l'abeille domestique et le bourdon (Heinrich, 1979; Plowright et Laverty, 1987; Free, 1993; Desjardins, 2003). Selon Chagnon (2008) la *Megachile rotundata*, est plus sensible aux conditions thermiques et lumineuses que les deux autres pollinisateurs commerciaux que sont l'abeille et le bourdon.

SYNERGIE ENTRE L'ASPERSION ET LA MÉGACHILE

Les résultats de cette étude démontrent l'existence d'une synergie entre l'aspersion afin de contrer la sécheresse et une densité supérieure de mégachile faisant augmenter substantiellement les rendements. Ce phénomène est vraisemblablement occasionné par une présence accrue de mégachiles butinant les fleurs du bleuetier nain, observée ici la journée suivant une aspersion afin de contrer la sécheresse.

L'attraction qu'exerce le nectar sur les insectes est reconnue et démontrée dans diverses cultures (Butler, 1945; Pederson, 1953; Pederson et Bohart, 1953; Free, 1960). Les facteurs climatiques comme la température, l'humidité de l'air et le facteur éolien peuvent altérer la qualité du nectar. De manière générale, sa concentration augmente au cours de la

journée due à une évaporation accrue de son contenu aqueux ou possiblement à une réduction de la sécrétion d'eau par les nectaires (Corbet *et al.*, 1979a; Cruden, 1997). Le comportement des butineurs est lié à la modulation journalière de la sécrétion de nectar (Cruden, 1997; Corbet *et al.*, 1979a). Une viscosité ou une dilution trop importante de celui-ci sont associées à une diminution du butinage (Betts, 1930; Corbet *et al.*, 1979a; Cruden, 1997). Ainsi, il est prévisible qu'une aspersion lors de sécheresse permette au végétal qui souffre de stress hydrique, la sécrétion d'une plus grande quantité de nectar ou simplement une diminution de sa viscosité attirant ainsi un plus grand nombre de butineurs. Aussi, cette activité de butinage accrue devrait permettre une meilleure pollinisation des fleurs, associées à de meilleurs rendements fruitiers (Aalders et Hall, 1961; Jackson *et al.*, 1972; Aras *et al.*, 1996; Desjardins et de Oliveira, 2006). L'aspersion d'eau lors de sécheresse suivant la période de floraison est tout aussi importante étant essentielle à l'atteinte d'un poids maximal des fruits et des meilleurs rendements résultants (Young, 1951; Struchtemeyer, 1956; Sylvestre, 1970-71; Benoît *et al.*, 1984).

À Sacré-Cœur, l'introduction de mégachiles à des densités optimales combinée à l'aspersion afin de contrer le gel et la sécheresse, la sécheresse seule et le gel seul font augmenter les rendements de 645, 603 et 359 kg/ha, respectivement. Ainsi, dans une bleuetière de la Côte-Nord caractérisée par un climat plutôt continental, subissant des périodes de gel printanier, il est conseillé aux producteurs d'appliquer l'aspersion afin de contrer le gel et la sécheresse combinée à une introduction de *Megachile rotundata*. Différemment, dans une bleuetière de la Côte-Nord caractérisée par un climat maritime, climat printanier plus frais et plus stable, il est conseillé aux producteurs d'appliquer l'aspersion afin de contrer la sécheresse seulement et si possible de remplacer la *Megachile rotundata* par un pollinisateur moins sensible aux basses températures.

2.6.5 DENSITÉ DE MÉGACHILES

MEGACHILE ROTUNDATA SOUS UN CLIMAT MARITIME

Aux Escoumins, le peu de nids produits par les mégachiles lors de la période de floraison (seulement 40 % de récupération de la quantité de nids initialement introduits) signale une faible activité de pollinisation de cette abeille. Cette faible activité de pollinisation est ici démontrée par l'influence non significative de sa présence sur les rendements fruitiers. Telle que mentionnée préalablement, la fraîcheur du microclimat caractérisant cette bleuetière doit vraisemblablement y jouer un rôle majeur. Par ailleurs, la gestion intensive (application régulière d'herbicides et de fertilisants de synthèse ainsi que d'insecticides au besoin) appliquée à la bleuetière des Escoumins et sa grande superficie (212 ha) en nuisant à la disponibilité des ressources florales et végétales alternatives, prisées par la mégachile, doivent aussi être en cause. Selon Stubbs et Drummond (1997) cette mégachile reste à proximité de son nid. La disponibilité de feuilles plus tendres (amélanchier, rosier, etc.) près des sites de nidification favorise l'efficacité de la *Megachile rotundata* qui préfère cette texture pour la fabrication des nids (Javorek, 2005). De plus, une ressource florale abondante suivant la floraison du bleuetier permet de prolonger son activité et ainsi d'augmenter la production de nids (Javorek et MacKenzie, 1994; Stubbs et Drummond, 1997; MacKenzie *et al.*, 1998). Dans ce sens, à la bleuetière de Sacré-Cœur qui est caractérisée par un microclimat printanier plus chaud et une pratique culturale extensive (aucun traitement pour la lutte aux adventices n'est appliqué) le taux de récupération de nids produits au cours de la saison précédente était de plus de 100 %.

2.6.6 INFLUENCE DE LA MEGACHILE ROTUNDATA SUR LES BUTINEURS INDIGÈNES

De manière générale, l'activité des apoïdes indigènes est environ deux fois plus importante à la bleuetière de Sacré-Cœur comparativement à celle des Escoumins. Les résultats de cette étude démontrent que la présence de la *Megachile rotundata* entraîne une

baisse significative des apoïdes indigènes d'autant plus importante lorsque les densités de cette abeille introduite augmentent. Vraisemblablement, celle-ci découlerait d'une compétition, non pas agonistique (comportement agressif), mais plutôt occasionnée par un chevauchement dans leur exploitation des ressources florales, tel qu'étudié par Steffan-Dewenter et Tschamntke (2000) pour l'abeille domestique. Néanmoins, cette première possibilité n'est toutefois pas écartée ayant observé et même filmé des comportements agonistiques entre la *Megachile rotundata* et un bourdon indigène ainsi qu'un bombyliidae et deux autres Diptères. Cette mégachile vole rapidement en direction de l'insecte qui butine, faisant fuir ce dernier. Ce comportement est d'une rapidité telle qu'il est difficilement perceptible à l'œil nu. Des comportements agressifs ont été observés chez plusieurs espèces de Megachilidae (Batra, 1978).

2.6.7 ACTIVITÉ QUOTIDIENNE DES INSECTES BUTINEURS

Il est important de prendre en compte les insectes pollinisateurs indigènes dont la présence est à la base de la production dans la majorité des cultures fruitières dont celle du bleuëtier nain (Bigras-Huot *et al.*, 1973; Morrissette *et al.*, 1985; Javorek *et al.*, 2002). Il ne faut pas oublier que l'introduction d'insectes domestiqués reste une complémentarité au travail de ces vecteurs polliniques naturellement présents et ainsi, bien adaptés au climat et aux fleurs des cultures avec lesquelles ils cohabitent. Nous avons relativement peu de contrôle sur les conditions environnementales des milieux agricoles qui ne sont pas toujours aussi stables qu'on le désirerait. Ainsi, il est essentiel de garder une bonne diversité d'espèces de pollinisateurs afin que ces groupes se relayent selon leur succès dans les conditions environnementales présentes.

ENTOMOFAUNE POLLINISATRICE DES BLEUETIÈRES DE LA CÔTE-NORD

Sur la Côte-Nord, semblablement au Lac-Saint-Jean, aux Maritimes et au Maine, les insectes composant une majeure partie de la faune pollinisatrice indigène des bleuëtiers sont les bourdons et les abeilles solitaires (Boulanger *et al.*, 1967; Finnermore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985). Par ailleurs, différemment de ces autres provinces et régions on

trouve sur la Côte-Nord une présence plus importante des guêpes à papier telle la guêpe à taches blanches (Vespidae : *Dolichovespula maculata*). Cette présence accrue de guêpes est possiblement due aux milieux forestiers encore très présents dans cette région faiblement agricole. La forêt fournit les matériaux nécessaires ainsi qu'un support pour les nids de guêpes souvent situés en hauteur (Spradbery, 1973). Les guêpes, les syrphides et les Diptères autres sont toutefois considérés comme des pollinisateurs secondaires (Jobin et Bigras, 1969; Bigras-Huot *et al.*, 1973; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985). Leur importance moindre vient du fait que les guêpes ont une alimentation diversifiée. Elles sont à la fois anthophiles et entomophages (Evans et Eberhard, 1970; Spradbery, 1973). Les Diptères incluant les syrphides ne se nourrissent du nectar et du pollen des fleurs que pour leur propre survie (McAlpine *et al.*, 1987), différemment des bourdons et des abeilles solitaires dont une grande majorité butine en plus pour nourrir leur progéniture (Mitchell, 1962; Heinrich, 1979). Ainsi, la quantité de pollen récolté par les abeilles est beaucoup plus grande et devrait favoriser le succès de pollinisation des fleurs visitées.

À la bleuetière des Escoumins, caractérisée par une culture intensive, on observe une dominance des Lépidoptères et des Diptères autres que les syrphides. Cette abondance de Lépidoptères et de Diptères autres est un indice d'une possible abondance d'insectes nuisibles qui, selon Drummond et Groden (2000) et Hoffmann *et al.* (2006) comportent plusieurs espèces de Lépidoptères, et de leur(s) parasitoïde(s) de l'ordre des Diptères (mouches tachinaires).

À l'inverse, à la bleuetière de Sacré-Coeur, caractérisée par une culture intensive, dominant les groupes de pollinisateurs indigènes reconnus que sont les bourdons, les abeilles solitaires et les syrphes (Bigras-Huot *et al.*, 1973; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985; Javorek *et al.*, 2002). Ainsi, ces pollinisateurs indigènes semblent plus affectés par une agriculture intensive étant moins présents aux Escoumins. Dans ce sens, Landis *et al.* (2005) mentionnent qu'une majorité d'études démontrent qu'une diversification culturale génère une plus grande abondance et richesse spécifique d'arthropodes bénéfiques et un contrôle efficace des nuisances. Les alliés favorisés sont, entre autres, les pollinisateurs (Steffan-Dewenter *et al.*, 2002; Kremen *et al.*, 2004).

COURBES D'ACTIVITÉ QUOTIDIENNE

Selon nos résultats, l'activité quotidienne des abeilles solitaires et des mégachiles introduites prend la forme d'une courbe unimodale dont le pic d'activité est différé dans le temps à la bleuetière des Escoumins. Cette activité plus tardive des abeilles aux Escoumins est un indice que le climat journalier favorable au butinage de ces insectes tarde à venir à ce site plus frais. Différemment des abeilles solitaires, les résultats indiquent que les bourdons, les guêpes et les syrphes ont une courbe d'activité quotidienne bimodale avec deux pics d'activité, ce qui concorde avec la littérature, du moins en ce qui concerne les bourdons et les guêpes (Desjardins, 2003; Kasper *et al.*, 2008). Selon ces auteurs, les bourdons et les guêpes réagissent aux températures trop élevés du milieu de la journée par une diminution de leur activité à la sortie de la colonie résultant en cette courbe bimodale. L'activité des syrphes est maximale tôt en matinée et celle des guêpes et des bourdons en fin d'après-midi. Les Diptères (syrphes et Diptères autres) étant actifs relativement tôt le matin semblent moins affectés par les basses températures et par l'humidité matinale. Ceci concorde avec les observations de Brown et McNeil (2009) qui démontrent l'importance des Diptères dans la pollinisation d'espèces végétales nordiques, telle la chicouté, associées aux tourbières (environnement frais et humide).

La diversité des modèles d'activité quotidienne des pollinisateurs à l'étude démontre une bonne complémentarité entre ces groupes. Cette complémentarité devrait permettre, lorsque plusieurs de ces taxons sont présents en grand nombre, l'atteinte d'une pollinisation optimale de la bleuetière. Ainsi, les bourdons et les guêpes (dont l'activité est maximale en fin d'après-midi) ainsi que les syrphes et autres Diptères (dont l'activité est maximale en début de journée) viennent combler une réduction d'activité de la mégachile introduite et des apoïdes solitaires (dont l'activité est maximale au milieu de la journée) en présence des conditions environnementales caractérisant ces périodes de la journée.

2.6.8 INFLUENCE DE L'ASPERSION ET DE LA MÉGACHILE SUR LES MALADIES FONGIQUES

Des maladies fongiques se sont développées à nos sites expérimentaux. Il s'agissait principalement du blanc aux Escoumins ainsi que de la tache septorienne et de la rouille du bleuet à Sacré-Coeur, qui sont apparus en juillet. La rouille du bleuet se développe normalement tard en saison, les symptômes étant visibles à partir de septembre (Blatt *et al.*, 1989; Caruso et Ramsdell, 1995). La tache septorienne et le blanc sont un peu plus hâtifs étant généralement visibles à partir de juillet (Blatt *et al.*, 1989; Caruso et Ramsdell, 1995). Nos résultats indiquent une infection moindre (diminution de 22 % de la superficie atteinte) par le blanc lors de l'aspersion afin de contrer la sécheresse. Cette observation concorde avec la littérature qui signale que le blanc est plus commun et plus sévère par temps chaud et sec (Blatt *et al.*, 1989). Dans les bleuetières ayant des antécédents de cette maladie, l'irrigation par aspersion lors de sécheresse permettrait d'exercer un certain contrôle sur cette maladie. À l'inverse, la sévérité de la tache septorienne et de la rouille tend à augmenter en présence d'une aspersion. Selon (AAPNB, 2009) le développement de la tache septorienne est favorisé par des épisodes de pluie en début de saison. Dans les bleuetières souffrant de ces maladies, il est donc recommandé d'asperger seulement en cas de stricte nécessité en début de saison; des périodes d'humidité tôt en saison étant propices au développement de la tache septorienne, de la moisissure grise et de la pourriture sclérotique (Lockhart, 1961; Luby *et al.*, 1990; Smagula et Yarborough, 1990; Hildebrand et Braun, 1991; Shinnors et Olson, 1996; Hildebrand *et al.*, 2001; AAPNB, 2009).

Selon nos résultats, une forte abondance de *Megachile rotundata* cause une apparition plus hâtive et une dispersion plus rapide des maladies (blanc, rouille et tache septorienne) en bleuetière. Les nids de ces mégachiles sont fabriqués de matière végétale dont des feuilles du bleuetier nain (MacKenzie *et al.*, 1998) qui peuvent contenir les spores de ces maladies. Les nids récupérés annuellement sont réintroduits en champ l'année suivante inoculant vraisemblablement la bleuetière des maladies présentes dans le feuillage. Cela expliquerait une apparition plus hâtive des maladies. Les mégachiles introduites semblent de plus jouer un rôle de vecteur de maladies transportant les « spores », ou autres structures de reproduction, dans le milieu à partir des nids contaminés ou tout simplement en se déplaçant sur les organes

des végétaux atteints. Les « spores » peuvent s'accrocher facilement au corps poilu des pollinisateurs qui se déplacent d'une plante à l'autre, entre autres, pour butiner causant ainsi vraisemblablement une dispersion plus rapide des maladies (Shinners et Olson, 1996). Dans ce sens, Batra et Batra (1985) affirment que les pollinisateurs sont d'importants vecteurs d'une des principales maladies du bleuetier nain : la pourriture sclérotique. Toutefois, il n'a pas été possible de déterminer l'influence des mégachiles introduites sur cette maladie qui n'était pas présente lors de cette étude. Tel que le mentionnent Shinners et Olson (1996), il serait important de pousser plus loin nos connaissances sur la contribution relative des pollinisateurs dans la contamination et le développement de maladies en bleuetières.

2.7 CONCLUSION

C'est principalement l'aspersion afin de contrer la sécheresse qui agit sur la production fruitière apportant une augmentation des rendements fruitiers de 176 kg/ha dans une bleuetière dont le climat est de type « maritime » et de 400 kg/ha dans une bleuetière dont le climat est de type « continental ». Cette augmentation découle d'un poids individuel accru des bleuets, allant jusqu'à 21 %.

L'aspersion lors de gel et la présence de la *Megachile rotundata* influence positivement les rendements fruitiers seulement dans la bleuetière caractérisée par un climat « continental ». Lors de saisons froides et humides, l'aspersion afin de contrer le gel y influence positivement les rendements (augmentation de 280 kg/ha) grâce à une augmentation de la mise à fruit. De plus, dans cette bleuetière, la présence de mégachiles fait augmenter les rendements d'un maximum de 280 kg/ha grâce à une augmentation de 14% du poids individuel des bleuets. La combinaison d'une introduction de mégachile avec l'aspersion afin de contrer la sécheresse et l'aspersion combinée (gel et sécheresse) agit fortement sur les rendements qui augmentent alors de 603 kg/ha et 645 kg/ha, respectivement. Cet effet de combinaison est moins important avec l'aspersion afin de contrer le gel, faisant augmenter les rendements de 359 kg/ha. L'influence moindre qu'à cette aspersion sur les rendements en présence de pollinisateurs introduits, découle vraisemblablement d'une baisse d'activité des insectes butineurs et d'une diminution du

poids moyen d'un bleuet, observés en présence de cette aspersion. L'efficacité de l'aspersion afin de contrer le gel des fleurs dépendrait donc de la capacité des pollinisateurs à butiner dans des conditions plus froides et humides. Ainsi, afin de bénéficier de l'effet positif de ce type d'aspersion, il serait intéressant de déterminer dans des études futures l'influence de cette aspersion en présence d'insectes mieux adaptés à des conditions climatiques fraîches et humides comme le bourdon ou les abeilles indigènes.

Les résultats de cette étude démontrent que l'introduction de mégachiles en bleuetière peut nuire à la production fruitière en affectant la présence des abeilles indigènes et en augmentant la sévérité de maladies fongiques comme le blanc, la rouille du bleuet et la tache septorienne. La réintroduction d'une année à l'autre des nids de la *Megachile rotundata*, fabriqués de feuilles vraisemblablement contaminées, et la dispersion des spores par cette abeille dans la bleuetière seraient en cause. À l'inverse, les résultats indiquent que l'aspersion afin de contrer la sécheresse aide à lutter contre le blanc et pourrait ainsi servir de moyen de lutte contre cette maladie.

Ainsi, dans une bleuetière caractérisée par un climat continental, subissant des périodes de gel printanier, il serait avantageux d'appliquer l'aspersion afin de contrer le gel et la sécheresse combinée à une introduction de *Megachile rotundata*. Différemment, dans une bleuetière caractérisée par un climat maritime, températures printanières fraîches et stables, il est ici suggéré d'appliquer l'aspersion afin de contrer la sécheresse seulement et si possible de remplacer la *Megachile rotundata* par un pollinisateur moins sensible aux basses températures comme le bourdon fébrile ou l'abeille domestique. Il serait, aussi intéressant de vérifier si des *Megachile rotundata* achetées d'une région plus nordique afficheraient une efficacité supérieure.

L'entomofaune pollinisatrice des bleuetières de la Côte-Nord étant principalement composée de bourdons et d'abeilles indigènes (Halictidae et Andrenidae) est semblable à celle du Lac-Saint-Jean. Par ailleurs, on y trouve un plus grand nombre de guêpes (Vespidae) associées aux milieux forestiers encore très présents dans cette région. Les courbes d'activité quotidienne sont unimodales chez les abeilles solitaires incluant la *Megachile rotundata* et bimodales chez les bourdons, les syrphes et les guêpes. Ces courbes démontrent une bonne complémentarité des pics d'activité de ces pollinisateurs, les Diptères butinant tôt, les abeilles solitaires en mi-journée et les bourdons et les guêpes en fin de journée.

2.8 LISTE DE RÉFÉRENCES

- AALDERS, L.E., et HALL, I.V. 1961. Pollen incompatibility and fruit set in Lowbush Blueberries. *Can. J. Genet. Cytol.* **3**: 300-307.
- AAPNB (Agriculture, Aquaculture et Pêches, Nouveau-Brunswick). 2009. Feuille de renseignements sur le bleuet sauvage C.3.3.0. 5 pp.
- ABBOT, J.D., et GOUGH, R.E. 1987a. Reproductive response of the highbush blueberry to root-zone flooding. *HortScience.* **22**: 40-42.
- ABBOT, J.D., et GOUGH, R.E. 1987b. Prolonged flooding effects on the anatomy of highbush blueberries. *HortScience.* **22**: 622-625.
- ANDERSON, P.C./BUCHANAN, D.W./ALBRIGO, L.G. 1979. Water relations and yields of three rabbiteye blueberry cultivars with and without drip irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **104**: 731-736.
- ARAS, P., DE OLIVEIRA, D., et SAVOIE, L. 1996. Effect of a honey bee (Hymenoptera : Apidae) Gradient on the pollination and Yield of LowBush Blueberry. *J. Econ. Entomol.* **89**: 1080-1083.
- BAILEY, W.G., LERER, H., et MILLS, P.F. 1982. Humidity and the pollination activity of *Megachile rotundata*. *Environ. Entomol.* **11**: 1063-1066.
- BATRA, S.W.T. 1978. Aggression, territoriality, mating and nest aggregation of some solitary bees (Hymenoptera: Halictidae, Megachilidae, Colletidae, Anthophoridae). *J. Kansas Entomol. Soc.* **51**: 547-559.
- BATRA, L.R., et BATRA, S.W.T. 1985. Floral mimicry induced by mummy berry fungus exploits hosts pollinators as vectors. *Science.* **228**: 1011-1013.
- BENOIT, G.R., GRANT, W.J., ISMAIL, A.A., et YARBOROUGH, D.E. 1984. Effect of soil moisture and fertilizer on the potential and actual yield of lowbush blueberries. *Can. J. Plant Sci.* **64**: 683-689.
- BETTS, A.D. 1930. The ingestion of syrup by the honey bee. *Bee World.* **34**: 106-116.
- BIERMANN, J., STUSHNOFF, C., et BURKE, M.J. 1979. Differential thermal analysis and freezing injury in cold hardy blueberry flower buds. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **104**: 444-449.

- BIGRAS-HUOT, F., HUOT, L., et JOBIN, L. 1973. La pollinisation du bleuët au Lac Saint-Jean. *Ann. Soc. Entomol. Que.* **18**: 15-36.
- BLATT, C.R., HALL, T.V., JENSEN, K.I.N., NIELSON, W.T.A., HILDEBRAND, P.D., NICKERSON, N.L., PRANGE, R.K., LISTER, P.D., CROZIER, L., et SIBEY, J.D. 1989. La production du bleuët nain. Agriculture Canada. Publication 1477/F. 61 p.
- BOHART, G.E. 1972. Management of wild bees for pollination of crops. *Annu. Rev. Entomol.* **17**: 287-312.
- BOUCHET, R.J. 1966. Le risque de gelée. *Phytoma.* **175**: 27-31.
- BOULANGER, L.W., WOOD, G.W., OSGOOD, E.A. et DIRKS, C.O. 1967. Native bees associated with the lowbush blueberry in Maine and Eastern Canada. Maine Agricultural Experiment Station and Canada Agriculture Research Station. Bulletin T26. 22 p.
- BOYLE-MAKOWSKI, R.M.D. 1987. The importance of native pollinators in cultivated orchards: Their abundance and activities in relation to weather conditions. *Proc. Entomol. Soc. Ontario.* **118**: 125-141.
- BOYLE-MAKOWSKI, R.M.D., et PHILOGENE, B.J.R. 1985. Pollinator activity and abiotic factors in an apple orchard. *Can. Entomol.* **117**: 1509-1521.
- BRINEN, G.H., BIENERT, S.A., et CROCKER, T.E. 1986. Current status of the blueberry industry in Alachua County and delineation of problem areas associated with soil acidity as affected by high pH irrigation water. *Proc. Fla. State Hort.* **99**: 200-202.
- BROWN, A.O., et MCNEIL, J.N. 2009. Pollination ecology of the high latitude, dioecious cloudberry (*Rubus chamaemorus*; Rosaceae). *Amer. J. Bot.* **96**: 1096-1107.
- BUTLER, C.G. 1945. The influence of various physical and biological factors of the environment on honeybee activity. An examination of the relationship between activity and nectar concentration and abundance. *J. Exptl. Biol.* **21**: 5-12.
- CARUSO, F.L., et RAMSDELL, D.C. 1995. Compendium of blueberry and cranberry diseases. APS Press, The American Phytopathological Society, St-Paul, MN, USA. 87 pp.
- CHAGNON, M. 2008. Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier. Pour le Bureau régional du Québec de la Fédération canadienne de la faune. 70
[pp.http://www.agrireseau.qc.ca/apiculture/documents/D%C3%A9clin%20poll_FR_MC3_M_Chagnon.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/apiculture/documents/D%C3%A9clin%20poll_FR_MC3_M_Chagnon.pdf)
- CHANDLER, F.B., et MASON, I.C. 1942. The effect of mulch on soil moisture, soil temperature, and growth of blueberry plants. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **40**: 335-337.

- C.N.R.C. 1981. Interactions entre pesticides et pollinisateurs. Conseil national de recherches Canada. Publication No. 18471, Ottawa. 215 p.
- COLLOMB, C. 1961. Remarques sur le procédé de défense contre les gelés du printemps. *Phytoma*. **126**: 29.
- CONTRERAS, C.E.R. 1996. La gestion intégrée de l'eau en milieu agricole. Thèse de D.Sc.Env., U.Q.A.M., Montréal. 68 p.
- CORBET, S.A., UNWIN, D.M., et PRYS-JONES, O.E. 1979a. Humidity, nectar and insect visits to flowers, with special reference to *Crataegus*, *Tilia* and *Echium*. *Ecol. Ent.* **4**: 9-22.
- CORBET, S.A., WILLMER, P.G., BEAMENT, W.L., UNWIN, D.M., et PRYS-JONES, O.E. 1979b. Post-secretory determinants of sugar concentration in nectar. *Plant. Cell Environ.* **2**: 293-308.
- CRANE, J.H., et DAVIES, F.S. 1987. Flooding, hydraulic conductivity, and root electrolyte leakage of rabbiteye blueberry plants. *HortScience*. **22**: 1249-1251.
- CRANE, J.H., et DAVIES, F.S. 1989. Flooding responses of *Vaccinium* species. *HortScience*. **24**: 203-210.
- CRUDEN, R.W. 1997. Implications of evolutionary theory to applied pollination ecology. *Acta Hort.* **437**: 27-43.
- D'AT DE SAINT-FOULC, J. 1967. Irrigation par aspersion. Éditions Eyrolles, Paris V^e. 229 p.
- DAVIES, F.S., et ALBRIGO, L.G. 1984. Water relations of small fruits, p. 89-136. In: T.T. Kozlowski (ed.). *Water deficits and plant growth*, vol. VII. Academic, New York.
- DAVIES, F.S., et FLORE, J.A. 1986. Flooding, gas exchange and hydraulic root conductivity of highbush blueberry. *Physiol. Plant.* **67**: 545-551.
- DAVIES, F.S., et FLORE, J.A. 1987. Gas exchange and flooding stress of highbush and rabbiteye blueberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **111**: 565-571.
- DAVIES, F.S., et JOHNSON, C.R. 1982. Water stress, growth and critical water potentials of rabbiteye blueberry (*Vaccinium aschei* Reade). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **107**: 6-8.
- DESJARDINS, E-C. 2003. Bourdon fébrile domestiqué: pollinisateur efficace du Bleuetier nain? Montréal: Mémoire de la Faculté des Sciences de l'Université du Québec à Montréal. 67 pp.

- DESJARDINS, E-C., et D. DE OLIVEIRA. 2006. Commercial bumble bee *Bombus impatiens* (Hymenoptera:Apidae) as a pollinator in Lowbush Blueberry (Ericale: Ericaceae) fields. J. Econ. Entomol. **99**: 443-449.
- DEYTON, D.E., et THOMPSON, R. 1992. Performance of four rabbiteye blueberry cultivars grown with or without drip irrigation. Fruit Var. J. **46**: 49-53.
- DOGTEROM, M.H., WINSTON, M.L., et MUKAI, A. 2000. Effect of pollen load size and source (self, outcross) on seed and fruit production in highbush blueberry cv. «Bluecrop» (*Vaccinium corymbosum*; Ericaceae) . Amer. J. Bot. **87**: 1584-1591.
- DRUMMOND, F. A., et GRODEN, E. 2000. Evaluation of entomopathogens for biological control of insects pests of lowbush (wild) blueberry. Technical Bulletin 172. Maine agricultural and forest experiment station. University of Maine. 40 p.
- ECK, P. 1988. Blueberry Science. Rutgers University Press, New Brunswick. NJ. 284 p.
- ERB, W.A. 1987. Evaluation of *Vaccinium* interspecific hybrids in different water deficit environments and on upland and organic soil. Ph. D. Dissertation, Univ. Maryland.
- EVANS, H.E., et EBERHARD, M.W. 1970. The wasps. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI. 265p.
- FINNAMORE, A.T., et NEARY, M.E. 1978. Blueberry pollinators of Nova Scotia, with a checklist of the Blueberry pollinators in Eastern Canada and Northeastern United States. Ann. Soc. Entomol. Que. **23**: 168-181.
- FREE, J.B. 1960. The pollination of fruit trees. Bee World. **41**: 141-151.
- FREE, J. B. 1993. Insect pollination of crops. 2nd Edition. Academic Press. New York. 684 pp.
- HALL, I.V., et LEEFE, J.S. 1966. The effects of frost injury before harvest, on yield of marketable lowbush blueberries. Can. J. Plant Sci. **46**: 205.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., et MCRAE, K.B. 1982. Lowbush blueberry production in Eastern Canada as related to certain weather data. Can. J. Plant Sci. **62**: 809-812.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., et NEWBERRY, R.J. 1971. Frost injury to flowers and developing fruits of the lowbush blueberry as measured by impairment of fruit set. Naturaliste Canadien. **98**: 1053-1057.
- HAMAN, D.Z., SMAJSTRLA, A.G., PRITCHARD, R.T., et LYRENE, P.M. 1997. Response of young blueberry plants to irrigation in Florida. HortScience. **32**: 1194-1196.
- HEINRICH, B. 1979. Bumblebee Economics. Harvard University Press. Cambridge. 245 pp.

- HEPLER, P.R., SMAGULA, J.M., et ISMAIL, A.A. 1978. Frost injury and frost protectants for lowbush blueberries. Res. Life Sci. Maine Agric. Exp. Sta. **25**: 1-5.
- HICKLENTON, P.R., REEKIE, J.Y., et GORDON, J. 2000. Physiological and morphological traits of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) plants in relation to post-transplant conditions and water availability. Can. J. plant Sci. **80**: 861-867.
- HICKLENTON, P.R., REEKIE, J.Y.C., MACKENZIE, K., RYAN, D., EATON, L.J, et HAVAR, P. 2002. Freeze damage and frost tolerance thresholds for flowers of the lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). Acta Hort. **574**: 193-201.
- HILDEBRAND P. D., BRAUN, P. G. 1991. Factors affecting infection of lowbush blueberry by ascospores of *Monilinia-vaccinii-corymbosi*. Can. J. Plant Pathol. **574**: 193-201.
- HILDEBRAND P. D., MCRAE, K.B., et LU, X. 2001. Factors affecting flower infection and disease severity of lowbush blueberry by *Botrytis cinerea*. Can. J. Plant Pathol. **23**: 364-370.
- HOFFMANN, S., J.A. COLLINS, F.A. DRUMMOND. 2006. Natural enemies in maine lowbush blueberry. Poster, Department of biological sciences, U. of Maine.
- JACKSON, L.P., AALDERS, L.E., et HALL, I.V. 1972. Berry size and seed number in commercial Low-bush Blueberry fields of Nova-Scotia. Nat. Can. **99**: 615-619.
- JAVOREK, S, et MACKENZIE, K.E. 1994. Alfalfa leafcutter bees pollinate lowbush blueberry. Agriscope. **4**: 1- 2.
- JAVOREK, S., MACKENZIE, K.E., et VANDER KLOET, S.P. 2002. Comparative pollination effectiveness among bees (Hymenoptera: Apoidea) on Lowbush blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). Ann. Entomol. Soc. Am. **95**: 345-351.
- JOBIN, L., et BIGRAS, F. 1969. Essais sur la pollinisation du bleuët. Dans la recherche sur le bleuët. Éditeurs: V. Lavoie. Faculté d'Agriculture de l'Université Laval, Québec. p. 4-39.
- KARL, R.T., et TRENBERTH, K.E. 2003. Modern Global climate change. Science. **302**: 1719-1722.
- KARMO, E.A., VICKERY, V.R., et KINSMAN, G.B. 1959. The need for cross pollination between blueberry clones. Departement of Agriculture and Marketing, Truro. 4 p.
- KASPER, M.L., REESON, A.F., MACKAY, D.A., et AUSTIN, A.D. 2008. Environmental factors influencing daily foraging activity of *Vespula germanica* (Hymenoptera, Vespidae) in Mediterranean Australia. Insect. Soc. **55**: 288-295.

- KEMP, W.P., et BOSCH, J. 2002. Development and emergence of the alfalfa pollinator *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae). *Bull. Entomol. Res.* **92**: 3-16.
- KLOSTERMEYER, E.C., MECH, S.J., RASSMUSSEN, Wm.B. 1973. Sex and weight of *Megachile rotundata* progeny associated with provision weights. *Jour. Kansas Entomol. Soc.* **46**: 536-548.
- KREMEN, C., N.M. WILLIAMS, R.L. BUGG, J.P. FAY, et THORP, R.W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters.* **7**: 1109-1119.
- LANDIS, D.A., MENALLED, F.D., COSTAMAGNA, A.C., et, WILKINSON T.K. 2005. Symposium, manipulating plant resources to enhance beneficial arthropods in agricultural landscapes. *Weed science.* **53**: 902-908.
- LARSON, J.A. 1980. The boreal ecosystem. Academic Press Inc. New York, USA. 500 p.
- LAVOIE, V., et GUILLEMETTE, A. 1962. La production du bleuets dans la province de Québec et les problèmes qui s'y rattachent. Service de l'information et des recherches, ministère de l'agriculture, Québec. 120 p.
- LEE, W.R. 1958. Pollination studies on Low-Bush Blueberries. *J. Econ. Entomol.* **51**: 544-545.
- LEMIEUX, G.-H., VERREAULT, M.R., PERRON, S., VACHON, M.G., et CHAMBERLAND, M.C. 1991. L'applicabilité de l'irrigation par aspersion dans les bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Rapport final, Université du Québec à Chicoutimi. 60 p.
- LERER, H., W. G. BAILEY, P.F. MILLS AND P. PANKIW, 1982. Pollination activity of *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Apoidea). *Environmental Entomology.* **11**: 997-1000.
- LOCKHART, C.L. 1961. *Monilinia* twig and blossom blight of lowbush blueberry and its control. *Can. J. Plant Sci.* **41**: 336-341.
- LUBY, J.J., BALLINGTON, J.R., DRAPER, A.D., PLISZKA, K., et AUSTIN, M.E. 1990. Blueberries and cranberries (*Vaccinium*). *Acta hort.* **290**: 393-456.
- MACKENZIE, K.E., et JAVOREK S. 1997. The potential of alfalfa leafcutter bee (*Megachile rotundata* L.), as pollinators of cranberry (*Vaccinium macrocarpon* AITON). *Acta hort.* **437**: 345-351.

- MACKENZIE, K.E., ROGERS, D., et JAVOREK S. 1998. The alfalfa leafcutter bee (*Megachile rotundata* L.), an alternative managed pollinator of lowbush blueberry. *Acta Hort.* **446**: 393-456.
- MALO, S.E., et ORTH, P.G. 1977. Effect of the 1977 freeze on avocados and limes in south Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **90**: 247-251.
- MCALPINE, J. F., PETERSON, B. V., SHEWELL, G. E., TESKEY, H. J., VOCKEROTH, J. R., WOOD, D. M., et CURRAN, C. H. 1987. *Manual of Nearctic Diptera. Volume 2. Monograph, Research Branch, Agriculture Canada.* 1332 pp.
- MCCORQUODALE, D.B. et OWEN, R.E. 1994. Laying sequence, Diploid males, and nest usurpation in the leafcutter bee, *Megachile rotundata* (Hymenoptera : Megachilidae). *J. Insect Behav.* **116**: 965-974.
- MITCHELL, T.B. 1962. Bees of the eastern united states, Volume 2. NC Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. No 152. USA. 557 pp.
- MORRISSETTE, R., FRANCOEUR, A., et PERRON, J-M. 1985. Importance des Abeilles sauvages (Apoidae) dans la pollinisation des Bleuetiers nains (*Vaccinium* spp.) en Sagamie, Québec. *Rev. Entomol. Que.* **30**: 44-53.
- PAARMANN, V.W. 1977. Untersuchungen zur Bedeutung von hummeln (*Bombus* spp.) für die Bestäubung blühender Obstbäume¹. *Z. Angew. Entomol.* **84**: 164-178.
- PANKIW, P. et LIEVERSE, J.A.C. 1980. The relationship between latitude and the emergence of alfalfa leafcutter bees, *Megachile rotundata* (Hymenoptera : megachilidae). *Can. Ent.* **112** : 555-558.
- PARSON, L.R., et TUCKER, D.P.H. 1984. Sprinkler irrigation for cold protection in citrus groves and nurseries during an advective freeze. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **97**: 28-30.
- PATTEN, K., NEUENDORFF, E., NIMR, G., CLARK, J.R., et FERNANDEZ, G. 1991. Cold injury of southern blueberries as a function of germplasm and season of flower bud development. *HortScience.* **26**: 18-21.
- PEDERSON, M.W. 1953. Seed production in alfalfa as related to nectar production and honeybee visitation. *Bot. Gaz.* **115**: 129-138.
- PEDERSON, M.W., et BOHART, G.E. 1953. Factors responsible for the attractiveness of various clones of alfalfa to pollen-collecting bumble bees. *Agron. J.* **45**: 548-551.
- PENMAN, L.N., et ANNIS, S.L. 2005. Leaf and flower blight caused by *Monilinia vaccinii-corymbosi* on lowbush blueberry: effects on yield and relationship tu bud phenology. *Phytopathology.* **95**: 1174-1182.

- PESSON, P., et LOUVEAUX, J. 1984. Pollinisation et production végétale. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris. 663 pp.
- PETERSON, S.S., BAIRD, C.R., et BITNER, R.M. 1992. Current status of the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*, as a pollinator of alfalfa seed. *Bee Sci.* **2**: 135-142.
- PETERSON, J.H., et ROITBERG, B.D. 2006. Impact of resource levels on sex ratio and resource allocation in the solitary bee, *Megachile rotundata*. *Environ. Entomol.* **35**: 1404-1410.
- PFAMMATTER, W. 1998. Lutte contre le gel par aspersion en arboriculture fruitière. *Vitic. Arboric. hortic.* **30**: 331-334.
- PLOWRIGHT, R.C., et LAVERTY, T.M. 1987. Bumble bees and crop pollination in Ontario. *Proc. Entomol. Soc. Ontario.* **118**: 155-160.
- RICHARDS, K.W. 1994. Ovarian development in alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*. *J. Apicult. Res.* **33**: 199-203.
- SAS Institute. 1998. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. SAS Institute inc. Cary, NC, USA. 1028 p.
- SHINNERS, T.C., et OLSON A.R. 1996. The gynoecial infection pathway of *Monilinia vaccinii-corymbosi* in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*). *Can. J. Plant Sci.* **76**: 493-497.
- SMAGULA, J.M., et YARBOROUGH, D.E. 1990. Changes in the lowbush blueberry industry. **44**: 72-76.
- SPIERS, J.M. 1978. Effect of stage of bud development on cold injury in rabbiteye blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **103**: 452-455.
- SPIERS, J.M. 1996. Established 'Tifblue' rabbiteye blueberries respond to irrigation and fertilization. *HortScience.* **31**: 1167-1168.
- SPRADBERY, J.P. 1973. Wasp, an account of the biology and natural history of solitary and social wasps. University of Washington press, Seattle. 408 pp.
- STEFFAN-DEWENTER, I., MÜNZENBERG, U., BÜRGER, C., THIES, C., et TSCHARNTKE, T. 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology.* **83**: 1421-1432.
- STRUCHTEMEYER, R.A. 1956. For larger yields, irrigate lowbush blueberries. *Maine Farm Res.* **4**: 17-18.

- STUBBS, C.S., et DRUMMOND, F.A. 1997. Management of the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae), for pollination of wild lowbrush blueberry. **70**: 81-93.
- SYLVESTRE, G. 1970-71. Contrôle de l'eau. *Dans la recherche sur le bleuët. Éditeur: V. Lavoie. Faculté d'Agriculture de l'Université Laval, Québec.* p. 76-81.
- TABARD, P. 1967. Étude comparative des divers modes de protection antigel. *Phytoma*. **187**: 486-489.
- VILLENEUVE, G.O. 1959. Bref aperçu climatique du Québec méridional. *Cahiers de géographie du Québec*. **3**: 153-162.
- WILLMER, P.G. 1983. Thermal constraints on activity patterns in nectar-feeding insects. *Ecol. Entomol.* **8**: 455-469.
- WOOD, G.W. 1968. Self-fertility in the lowbush blueberry. *Can. J. Plant Sci.* **48**: 431-433.
- YOUNG, R.S. 1951. Growth and Development of the Blueberry Fruit (*Vaccinium corymbosum* L. and *V. angustifolium* Ait.). *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **59**: 167-172.

CHAPITRE III

ARTICLE 2

INFLUENCE DE L'ASPERSION ET DU GEL SUR LA FÉCONDITÉ FLORALE DU BLEUETIER NAIN

PUBLICATION PRÉVUE DANS LE PÉRIODIQUE : PHYTOPROTECTION

AUTEURS : ÈVE-CATHERINE DESJARDINS, BARBARA OTRYSKO ET DOMINGOS DE OLIVEIRA

3.1 RÉSUMÉ

Lors de la période de floraison du bleuetier nain, de fortes précipitations découlant de la pluie ou d'une aspersion mécanique ainsi que des gels hâtifs sont des facteurs qui affectent la production de fruits. Ces facteurs environnementaux pourraient, entre autres, nuire à la viabilité et à la vigueur pollinique ainsi qu'à la fonctionnalité du pistil en altérant les cellules ou l'exsudat stigmatique, essentiels à l'adhérence, la germination et au développement du pollen. Ce projet vise à déterminer l'influence de ces facteurs environnementaux sur la production fruitière évaluée par la mise à fruit. Il s'est déroulé sur une période de trois ans à l'intérieur de chambres à environnement contrôlé. Des pollinisations croisées ont été effectuées en déposant 15 tétrades polliniques du cultivar Chignecto sur le stigmate de 10 fleurs/bleuetier X 16 bleuetiers du cultivar Augusta. Quatre traitements ont été appliqués annuellement sur 4 bleuetiers avant et suivant la pollinisation des fleurs : 4 traitements X 4 bleuetiers X 5 fleurs pré et 5 fleurs post pollinisées, pour un total de 16 bleuetiers et 160 fleurs pollinisées. Ces traitements sont : 1. Témoin (sans gel et sans aspersion); 2. Gel (2 à -3°C pendant 2 heures) avec aspersion (arrosoir); 3. Aspersion manuelle des stigmates; 4. Gel (2 à -3°C pendant 2 heures) sans aspersion. Tel qu'attendu le gel affecte négativement la production de fruits en faisant chuter le taux de mise à fruit de 31%. Différemment, l'irrigation par aspersion en plus de protéger la fécondité des fleurs fait augmenter le taux de mise à fruit de 30% par rapport au témoin lorsqu'elle est combinée au gel. Il semble qu'une humidité supérieure favorise la fécondité florale en passant par un exsudat stigmatique plus propice à une croissance des tubes polliniques (vigueur pollinique). La tendance vers une mise à fruit supérieure suivant une aspersion manuelle des fleurs préalablement pollinisées vient appuyer cette hypothèse.

3.2 INTRODUCTION

L'adaptation du bleuetier nain au climat nordique est plutôt écologique que physiologique; c'est grâce à sa petite taille qu'il réussit à s'isoler du froid, protégé par la couche de neige qui le surplombe (Marie-Victorin, 1995; Hall *et al.*, 1979). L'étude de Cappiello et Dunham (1994) vient appuyer cette affirmation en démontrant la sensibilité des bourgeons de cette espèce au froid hivernal. Le bleuetier nain fleurit sur une période d'environ 20 jours à la fin du printemps. Suite au débourrement des bourgeons, les organes floraux deviennent sensibles aux facteurs environnementaux, plus particulièrement aux basses températures (Hall *et al.*, 1971; Spiers, 1978; Olson et Eaton, 2001; Hicklenton *et al.*, 2002). Les organes floraux sont par ordre croissant de sensibilité au froid: l'ovaire, le style et la corolle (les étamines et anthères ne faisaient pas partie de cette étude) (NeSmith *et al.*, 1999 et Hicklenton *et al.*, 2002). Ainsi, il peut être trompeur d'utiliser l'inspection visuelle des fleurs pour évaluer les pertes dues au gel (Hickelton *et al.* 2002). NeSmith *et al.* (1999) et Gupton (1983) rapportent une diminution importante de la mise à fruit de fleurs pollinisées dont la corolle, le style et l'ovaire semblaient visuellement intactes. Gupton (1983) explique ce phénomène par un dommage au pistil qui n'est pas visuellement perceptible.

Chez le pommier, une humidité excessive et des pluies durant la floraison affectent les rendements dus à une détérioration et une perte de grains de pollen situés sur les anthères, de même qu'un décollement des grains préalablement agglutinés au stigmate (Brittain, 1933). De même, Hall *et al.* (1982) observent une relation négative entre la production annuelle de bleuets et les fortes pluies de juin. Ils spéculent que l'activité réduite des insectes pollinisateurs, la dilution du pollen dans l'eau de pluie et l'augmentation de la sévérité des maladies fongiques seraient en cause.

3.2.1 FÉCONDITÉ FLORALE : LE POLLEN

Il est généralement admis que les facteurs environnementaux ont une influence sur la viabilité du pollen (Pfeiffer, 1936,1938; Khan *et al.*, 1971; Nath et Anderson, 1975; Dale,

1977; Henny, 1980; Schoper *et al.*, 1986; Shivanna *et al.*, 1991; Falleri, 1993; Stephenson *et al.*, 1992; Lardon et Triboi-Blondel, 1994; Hanna et Towill, 1995; Boyle, 2001). La vigueur pollinique se définit en tant que temps nécessaire à la germination et à l'atteinte du sac embryonnaire par le tube pollinique (Shivanna *et al.*, 1991). Cette vigueur peut être affectée entre autres par l'interaction pollen/pistil et les conditions environnementales (Stephenson *et al.*, 1992; Schoper *et al.*, 1986; Shivanna *et al.*, 1991). Selon Shivanna *et al.* (1991), le pollen soumis à des stress environnementaux lors de sa conservation, soit une température et une humidité relative élevées, devrait montrer une diminution de vigueur avant la perte de sa capacité germinative (viabilité). Un pollen de qualité moindre peut limiter la mise à fruit (Birrenkott et Stang, 1989; Hiratsuka *et al.*, 2001), la grosseur du fruit ainsi que le nombre de graines par bleuet (Vander Kloet, 1983).

3.2.2 FÉCONDITÉ FLORALE : LE PISTIL

Le pistil joue un rôle primordial dans le processus de pollinisation des fleurs. Il doit permettre une adhésion du pollen, lui fournir les conditions nécessaires à sa germination et à sa croissance ainsi qu'un passage et guidage vers les ovules (Heslop-Harrison, 1971). La surface stigmatique des Éricacées est humide (Heslop-Harrison et Shivahhah, 1977), c'est-à-dire recouverte de sécrétions fluides et collantes. Ces sécrétions peuvent être hydrophiles et contenir des glucides et des protéines solubles (Heslop-Harrison, 1971; Knox, 1984) qui peuvent ainsi être diluées par l'eau de pluie. Chez la fleur du bleuetier, le style surplombé du stigmate, s'allonge avec l'âge de la fleur jusqu'à sortir de la corolle (Darnell *et al.*, 1992). Le stigmate normalement protégé des intempéries par la corolle est à ce moment plus vulnérable aux facteurs environnementaux. Une altération des cellules ou de l'exsudat stigmatique, essentiels à la germination et à l'adhérence du pollen (Heslop-Harrison, 1971; Kearn et Inouye, 1993; Pesson et Louveaux, 1984), pourrait causer une diminution de la fécondité des fleurs. Ascher et Drewlow dans Heslop-Harrison (1971), démontrent qu'une dilution de l'exsudat du style inhibe son effet stimulant sur la croissance des tubes polliniques. Selon Brink (1924) et Knox *et al.* (1976), une incompatibilité osmotique entre le grain de pollen et

la sécrétion stigmatique peut causer un bris de la paroi du grain de pollen ou du tube pollinique.

3.3 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

L'irrigation par aspersion est utilisée dans plusieurs cultures fruitières afin d'y exercer un certain contrôle sur les paramètres environnementaux indésirables comme les périodes de sécheresse et de gel. Dans les cultures telles la pêche, la pomme, la poire, l'abricot, la cerise, le citron, la lime et l'avocat, l'irrigation par aspersion permet généralement de protéger la plante et ses fruits du gel (Malo et Orth, 1977; Parson et Tucker, 1984; Pfammatter, 1998). Pour ce qui est du gel printanier des fleurs, c'est principalement dans la culture de la fraise et du bleuet que ce type d'aspersion est utilisé (Locascio *et al.*, 1967; Hepler *et al.*, 1978; Lemieux *et al.*, 1991; Hochmuth *et al.*, 1993). Par ailleurs, cette technique, à l'inverse de l'effet désiré, peut dans ces mêmes productions, endommager et même causer la perte de fleurs (Contreras, 1996). Il est donc essentiel avant d'appliquer la technique d'irrigation par aspersion d'eau comme moyen de protéger les fleurs du gel dans la production du bleuet nain de s'assurer de son efficacité.

OBJECTIF ET HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet d'une aspersion d'eau (manuelle et à l'aide d'un arrosoir), d'un gel, ainsi que d'une combinaison entre l'aspersion d'eau et le gel sur la fécondité des fleurs du bleuetier nain, préalablement pollinisées et de fleurs vierges pollinisées suivant ces traitements. La fécondité des fleurs est déterminée grâce à une quantification du taux de mise à fruit.

Les hypothèses de travail sont :

1. Que l'irrigation par aspersion appliquée lors d'un gel protège la fécondité florale ce qui se traduit par un maintien du taux de mise à fruit.
2. Que l'aspersion d'eau et le gel appliqués avant et suivant une pollinisation de la fleur nuisent à sa fécondité, ce qui se manifeste par une diminution du taux de mise à fruit.

3.4 MÉTHODOLOGIE

Cette étude s'est déroulée sur une période de trois ans dans les installations du Centre de Recherche Les Buissons situé à Pointe-aux-Outardes, Côte-Nord, Québec.

En avril de chaque année, 32 bleuetiers nains en pot, préalablement gardés en état de dormance, sont placés dans une serre tôt au printemps afin d'initier plus rapidement leur floraison. Une moitié est du cultivar Chignecto et l'autre du cultivar Augusta qui sont sexuellement compatibles (Hall *et al.*, 1977). Les traitements sont appliqués sur le cultivar Augusta seulement, le cultivar Chignecto ayant pour seule fonction de fournir le pollen. Dix fleurs nouvellement écloses sont marquées sur chacun des 16 bleuetiers du cultivar Augusta. Ces seize bleuetiers du cultivar Augusta sont soumis aux 4 traitements gel et aspersion suivants (4 bleuetiers par traitement):

- Témoin (sans gel et sans aspersion) (T)
- Gel (2 à -3°C pendant 2 heures) avec aspersion (arrosoir) (GA)
- Aspersion manuelle des stigmates (A)
- Gel (2 à -3°C pendant 2 heures) sans aspersion (G)

Le jour précédant le traitement aspersion (**pré** pollinisation) et suivant (**post** pollinisation), 5 fleurs par plant subissent une pollinisation croisée pour un total de 10 fleurs croisées par bleuetier.

Le dispositif expérimental est un plan factoriel à deux facteurs fixes A (2 niveaux de pollinisation) et B (4 niveaux de traitement gel et aspersion) avec un arrangement des traitements en tiroirs. Chaque combinaison de traitement est répétée 4 fois par année et ce, pendant 3 ans ce qui nous donne un total de 12 répétitions pour chacune des combinaisons suivante : **Tpré**, **Tpost**, **GApré**, **GApóst**, **Apré**, **Apóst**, **Gpré** et **Gpóst**. Le traitement statistique est une analyse factorielle de variance à deux critères de classification (2X4 niveaux). Les postulats spécifiques à cette analyse (homogénéité des variances, distribution normale des résidus et parallélisme) sont vérifiés et respectés. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du progiciel SAS® (SAS Institute, 1998).

À la fin avril, les bleuetiers du cultivar Augusta sont transportés à l'intérieur de 3 différentes chambres à environnement contrôlé. Les bleuetiers subissant une aspersion manuelle et les témoins sont placés dans une même chambre sans fenêtre et maintenue à une température de 15 °C et une humidité relative de 70%. L'aspersion manuelle des stigmates se fait à l'aide d'un pulvérisateur manuel : une seule aspersion face à l'ouverture de la fleur afin de s'assurer que l'eau entre en contact avec les stigmates. Les bleuetiers subissant les traitements gel avec ou sans aspersion sont placés dans deux autres chambres à environnement contrôlé programmées pour simuler une baisse de température uniforme. Une de ces chambres contient les plants subissant le gel sans aspersion et l'autre ceux subissant le gel avec aspersion. D'une température initiale de 15°C, ils subissent un taux de refroidissement de 2 à 5°C/heure jusqu'à l'atteinte de basses températures variant de 2 à -3°C maintenues pendant deux heures. Après ce laps de temps nous revenons progressivement (taux de réchauffement de 2 à 5°C/heure) à la température initiale. Cette programmation s'inspire des températures relevées lors de périodes de gel en bleuetière (fig. 2.4). Le déclenchement et l'arrêt de l'aspersion sont gérés de la même manière qu'en bleuetière. Dans ce sens, les études réalisées par Lavoie et Guillemette (1962), Hall *et al.* (1971), Hepler *et al.* (1978) et Hicklenton *et al.* (2002), permettent d'évaluer le seuil de résistance de la fleur du bleuetier nain à environ -2°C. Afin de garder une bonne marge de sécurité, l'aspersion débute lorsque la température atteint 0°C et est arrêtée au moment où elle atteint 2°C. L'aspersion s'effectue à l'aide d'arrosoirs à pelouse qui, selon Verrault (Comm. Pers.), imitent bien le système d'irrigation par aspersion.

Deux jours avant l'application des traitements toutes les fleurs ouvertes sont enlevées, seulement les boutons floraux sont gardés. Ceci permet de s'assurer de l'uniformité de l'âge et de la réceptivité des fleurs à l'étude. Selon Wood (1962), la période optimale de réceptivité florale du bleuetier nain se situe de leur ouverture jusqu'à 3 jours après l'éclosion des boutons floraux.

3.4.1 POLLINISATION CROISÉE

La pollinisation croisée s'est réalisée en serre à une température de 22°C avec le pollen des fleurs provenant des bleuetiers du cultivar Chignecto. La viabilité pollinique étant altérée par, entre autres, l'âge de la fleur (Stephenson *et al.*, 1992), les grains récoltés sont mélangés dans un but d'uniformisation. Ensuite quinze tétrades de pollen sont déposées sur le stigmate des fleurs du cultivar Augusta à l'aide d'un cheveu. Cette quantité de pollen est représentative de ce que dépose l'abeille domestique lors d'une visite à la fleur du bleuetier nain (Javorek *et al.*, 2002). Un dépôt plus et possiblement trop important de pollen pourrait selon Birrenkott et Stang (1989) mener à un engorgement au niveau du style limitant la fécondation des ovules.

3.4.2 FÉCONDITÉ FLORALE

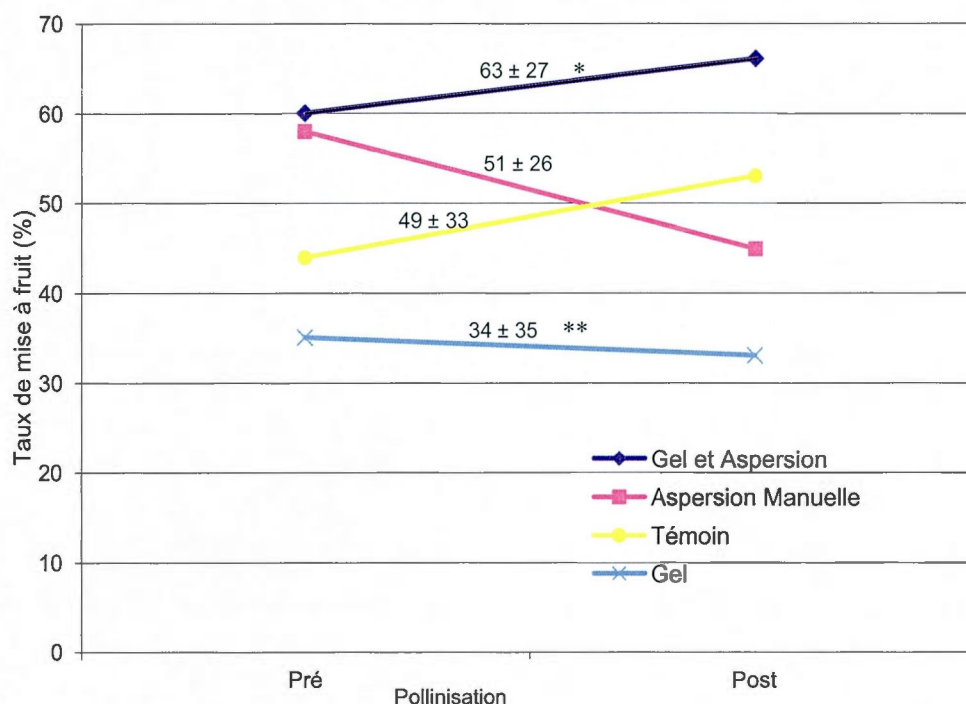
L'évaluation *in vivo* de l'efficacité d'une pollinisation effectuée avant et suivant les traitements aspersion est déterminée par une quantification du taux de mise à fruit des fleurs pollinisées manuellement. Les bleuetiers à l'étude sont gardés en serre jusqu'au 15 juin, les données météo d'Environnement Canada indiquant qu'il y a des risques de gel jusqu'à la mi-juin. Par la suite, ils sont déplacés à l'extérieur puis recouvert d'un filet empêchant les animaux de s'alimenter des fruits. En août de chaque année, le taux de mise à fruit

(proportion de fleurs ayant produit un fruit) est quantifié pour chaque traitement grâce à un comptage des fleurs marquées ayant produit un fruit.

3.5 RÉSULTATS

Les résultats démontrent un effet non-significatif du moment d'application de la pollinisation manuelle. Toutefois, le traitement aspersion influence significativement les taux de mise à fruit ($F_{3, 66} = 3.45$; $P = 0.02$). Plus spécifiquement, le gel fait chuter de 15% les taux de mise à fruit qui passent de 49% dans les témoins à 34% suivant un gel simulé (fig. 3.1) ($F_{1, 66} = 7.51$; $P = 0.007$). À l'inverse, le gel combiné à une aspersion d'eau fait augmenter significativement les taux de mise à fruit de 14%, passant de 49% (témoins) à 63% (gel et aspersion d'eau) ($F_{1, 66} = 6.14$; $P = 0.02$). L'aspersion manuelle n'a pas d'influence sur les taux de mise à fruit.

Une tendance (non-significative) vers une mise à fruit plus élevée est observable lorsque les traitements aspersion sont appliqués avant la pollinisation des fleurs (pollinisation post-traitement). À l'exception de l'aspersion manuelle qui semble favoriser une production de fruits lorsqu'elle est pratiquée avant la pollinisation des fleurs (pollinisation pré-traitement).



** : moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0,01$

* : moyenne significativement différente des autres au seuil $\alpha = 0,05$

Figure 3.1 Pourcentage de mise à fruit ($\pm$ ÉT) des bleuetiers suivant une pollinisation manuelle pratiquée avant et après les traitements aspersion, simulés en chambres à environnement contrôlé (étés 2004-05-06).

3.6 DISCUSSION

Tel qu'attendu, le gel avant et suivant une pollinisation affectent la fécondité des fleurs du bleuetier nain. Ceci est démontré par une diminution importante des taux de mise à fruit obtenue suivant ce traitement. Toutefois, la fécondité des fleurs est préservée grâce à l'aspersion d'eau en présence du gel confirmant ainsi notre première hypothèse. Ce traitement en plus de maintenir les taux de mise à fruit, étonnamment, fait augmenter significativement la production fruitière. La fécondité florale n'est pas affectée par les traitements aspersion. La deuxième hypothèse de cette étude disant que l'aspersion d'eau nuit à la fécondité des fleurs est donc rejetée.

Selon Heslop-Harrison et Shivahhah (1977), la surface stigmatique des Éricacées est humide, c'est-à-dire recouverte de sécrétions fluides et collantes qui, selon Heslop-Harrison (1971) permettent une meilleure adhésion des grains de pollen en plus de fournir les conditions nécessaires à leur germination et à leur croissance. Cette fécondité florale (taux de mise à fruit) supérieure en présence de l'irrigation par aspersion lors du gel pourrait être attribuable à une production plus importante de sécrétions stigmatiques. La concentration de ces sécrétions, semblablement au nectar des fleurs, devrait varier en fonction des conditions environnementales, tel qu'observé chez d'autres espèces végétales (Lora *et al.* 2011; Konar et Linskens, 1966). Selon Corbet *et al.* (1979) et Cruden (1997) la variation quotidienne de la sécrétion de nectar à l'intérieur des fleurs serait due à une évaporation de son contenu aqueux et à une réduction de la sécrétion d'eau par les nectaires. Le traitement aspersion manuelle d'eau vers l'intérieur des fleurs donne des indices des mécanismes impliqués. Selon les résultats découlant de ce traitement, il semblerait que ce ne soit pas la viabilité mais bien la vigueur pollinique qui soit impliqué. Dans ce sens, une mouillure importante du stigmate par aspersion manuelle d'eau une journée suivant la pollinisation manuelle des fleurs semble affecter positivement la fécondité florale (tendance vers une hausse des taux de mise à fruit). La germination du pollen étant rapide, selon Mulcahy et Mulcahy (1987) souvent moins d'une heure, il ne devrait pas y avoir de décollement des tétrades préalablement agglutinées au stigmate, le tube pollinique permettant de bien fixer le pollen au pistil. Le tube pollinique s'allonge et traverse l'espace intercellulaire du pistil pour se rendre jusqu'aux ovules (Franklin-Tong, 1999) et se mélange donc ainsi à cette structure florale sur laquelle il est ancré. Le traitement aspersion appliqué le lendemain d'une pollinisation paraît ici avoir une influence principalement sur le tube pollinique. L'humidité supérieure découlant de ce traitement stimulant vraisemblablement la vigueur pollinique.

À l'inverse, la fécondité florale paraît affectée par une mouillure du stigmate lors d'une aspersion manuelle d'eau effectuée avant la pollinisation des fleurs résultant en une baisse (non-significative) des taux de mise à fruit de 8% par rapport au témoin. Ce phénomène pourrait s'expliquer par 1. une diminution de la viabilité des grains de pollen qui entrent en contact avec un exsudat stigmatique trop dilué créant une incompatibilité osmotique et le bris des parois (Brink, 1924; Knox *et al.*, 1976); 2. une difficulté des grains de pollen à adhérer au stigmate trop humide et ainsi moins collant; 3. une dilution de

l'exsudat inhibant son effet stimulant sur la germination du pollen ou la croissance du tube pollinique (Ascher et Drewlow dans Heslop-Harrison 1971).

À l'exception du traitement aspersion manuelle, il est à noter une augmentation non-significative des taux de mise à fruit lorsque les fleurs sont pollinisées après les traitements aspersion. Ceci peut être attribuable aux conditions environnementales présentes une partie de la journée suivant le traitement pré pollinisation qui étaient moins propices à une pollinisation efficace des fleurs. Les pots étaient alors tous placés en milieux clos (chambres à environnement contrôlé) sans lumière et relativement frais 15°C pour fin d'uniformité des conditions environnementales.

3.7 CONCLUSION

En milieu contrôlé, l'irrigation par aspersion d'eau en présence de gel en plus de protéger la fécondité des fleurs fait augmenter significativement les taux de mise à fruit. L'humidité découlant de l'aspersion d'eau semble favoriser la croissance du tube pollinique permettant une fécondité supérieure des fleurs. Il serait intéressant de pousser plus loin cette étude en déterminant les mécanismes sous-jacents à ce phénomène. D'un point de vue appliqué une validation de ces effets positifs en bleuetières serait pertinente pour l'ensemble des producteurs qui pourraient voir leur production fruitière accrue suivant une aspersion d'eau en période de floraison.

3.8 LISTE DE RÉFÉRENCES

- BIRRENKOTT, B.A., et STANG, E.J. 1989. Pollination and pollen tube growth in relation to cranberry fruit development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114**: 733-737.
- BOYLE, T.H. 2001. Environmental control of moisture content and viability in *Schlumbergera truncate* (Cactaceae) pollen. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **126**: 625-630.

- BRINK, R.A. 1924. The physiology of pollen. III. Growth *in vitro* and *in vivo*. Amer. J. Bot. **II**: 283-350.
- BRITTAIN, W.H. 1933. Apple pollination studies in the Annapolis Valley, Nova Scotia. Canadian Department of Agriculture Bulletin, New Series. **162**: 1-198.
- CAPPIELLO, P.E., et DUNHAM, S.W. 1994. Seasonal variation in low temperature tolerance of *Vaccinium angustifolium* Ait. HortScience. **29**: 302-304.
- CONTRERAS, C.E.R. 1996. La gestion intégrée de l'eau en milieu agricole. Thèse de D.Sc.Env., U.Q.A.M., Montréal. 68 p.
- CORBET, S.A., UNWIN, D.M., et PRYS-JONES, O.E. 1979. Humidity, nectar and insect visits to flowers, with special reference to *Crataegus*, *Tilia* and *Echium*. Ecol. Ent. **4**: 9-22.
- CRUDEN, R.W. 1997. Implications of evolutionary theory to applied pollination ecology. Acta Hort. **437**: 27-43.
- DALE, A. 1977. Some consequences of pollen storage in the raspberry (*Rubus idaeus* L.). Euphytica. **26**: 745-748.
- DARNELL, R.L., STUTTE, G.W., MARTIN, G.C., LANG, G.A., et EARLY, J.D. 1992. Developmental physiology of rabbiteye blueberry. Horticultural reviews, volume 13. John Wiley & Sons, Inc., Canada. p. 339-405.
- FALLERI, E. 1993. Influence of relative humidity and temperature on storage of *Alnus cordata* pollen. Can. J. For. Res. **23**: 21-24.
- FRANKLIN-TONG, V.E. 1999. Signaling and modulation of pollen tube growth. Plant Cell. **18**: 713-714.
- GUPTON, C.L. 1983. Variability among rabbiteye blueberry cultivars for tolerance of flowers to frost. HortScience. **18**: 713-714.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., et JACKSON, L.P. 1977. Chignecto lowbush blueberry. Can. J. Plant Sci. **57**: 1217-1218.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., et MCRAE, K.B. 1982. Lowbush blueberry production in Eastern Canada as related to certain weather data. Can. J. Plant Sci. **62**: 809-812.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., et NEWBERRY, R.J. 1971. Frost injury to flowers and developing fruits of the lowbush blueberry as measured by impairment of fruit set. Naturaliste Canadien. **98**: 1053-1057.

- HALL, I.V., AALDERS, L.E., NICKERSON, N.L., et VANDER, S.P. 1979. The biological flora of Canada: 1. *Vaccinium angustifolium* Ait., sweet lowbush blueberry. *Canad. Field-Nat.* **93**: 415-430.
- HANNA, W.W., et TOWILL, L.E. 1995. Long-term pollen storage. *Plant Breeding Rev.* **13**: 179-207.
- HENNY, R.J. 1980. Germination of *Dieffenbachia maculate* 'Perfection' pollen after storage at different temperature and relative humidity regimes. *HortScience.* **15**: 191-192.
- HEPLER, P.R., SMAGULA, J.M., et ISMAIL, A.A. 1978. Frost injury and frost protectants for lowbush blueberries. *Res. Life Sci. Maine Agric. Exp. Sta.* **25**: 1-5.
- HESLOP-HARRISON, Y. 1971. Pollen: Development and Physiology. Appleton-Century-Crofts, New-York. 338 p.
- HESLOP-HARRISON, Y., et SHIVANNAH, K.R. 1977. The receptive surface of the angiosperm stigma. *Ann. Bot.* **41**: 1233-1258.
- HICKLENTON, P.R., REEKIE, J.Y.C., MACKENZIE, K., RYAN, D., EATON, L.J., et HAVAR, P. 2002. Freeze damage and frost tolerance thresholds for flowers of the lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Acta Hort.* **574**: 193-201.
- HIRATSUKA, S., ZHANG, S.-L. NAKAGAWA, E., et KAWAI, Y. 2001. Selective inhibition of the growth of incompatible pollen tubes by S-protein in Japanese pear. **13**: 209-215.
- HOCHMUTH, G.J., LOCASCIO, S.J., KOSTEWICZ, S.R., et MARTIN, F.G., 1993. Irrigation Method and rowcover use for strawberry freeze protection. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.* **118**: 575-579.
- JAVOREK, S., MACKENZIE, K.E., et VANDER KLOET, S.P. 2002. Comparative pollination effectiveness among bees (Hymenoptera: Apoidae) on Lowbush blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **95**: 345-351.
- KEARN C.A., et INOUE D.W. 1993. Techniques for pollination biologists. University Press of Colorado, Niwot, Colorado. 583 p.
- KHAN, M.N., HEYNE E.G., et GOSS J.A. 1971. Effect of relative humidity on viability and longevity of wheat pollen. *Crop Science.* **11**: 127.
- KNOX, R.B. 1984. Pollen-pistil interaction. Dans: H.F. Linskens and J. Heslop-Harrison (eds.), Cellular interactions. *Encycl. Plant Physiol.* **17**: 508-608.

- KNOX, R.B., CLARKE, A.E., HARRISON, S., SMITH, P., et MARCHALONIS. 1976. Cell recognition in plants: determinants of the stigma surface and their pollen interactions. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **73**: 2788-2792.
- KONAR, R.N., et LINSKENS, H.F. 1966. Physiology and biochemistry of the stigmatic fluid of *petunia hybrida*. *Planta*. **71**: 372-387.
- LARDON, A., et TRIBOI-BLONDEL A.M. 1994. Freezing injury to ovules, pollen and seeds in winter rape. *J. Exp. Bot.* **45**: 1177-1181.
- LAVOIE, V., et GUILLEMETTE, A. 1962. La production du bleuets dans la province de Québec et les problèmes qui s'y rattachent. Service de l'information et des recherches, ministère de l'agriculture, Québec. 120 pp.
- LEMIEUX, G.-H., VERREAULT, M.R., PERRON, S., VACHON, M.G., et CHAMBERLAND, M.C. 1991. L'applicabilité de l'irrigation par aspersion dans les bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Rapport final, Université du Québec à Chicoutimi. 60 pp.
- LOCASCIO, S.J., HARRISON, D.S., et NETTELS, V.F. 1967. Sprinkler irrigation of strawberries for freeze protection. *Florida Agricultural Experiment Stations Journal Series* No. 2817. p. 208-211.
- LORA, J.L., HERRERO, M., et HORMAZA, J.I. 2011. Stigmatic receptivity in a dichogamous early-divergent angiosperm species, *Annona cherimola* (Annonaceae): influence of temperature and humidity. *Amer. J. Bot.* **98**: 265-274.
- MALO, S.E., et ORTH, P.G. 1977. Effect of the 1977 freeze on avocados and limes in south Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **90**: 247-251.
- MARIE-VICTORIN E.C. 1995. Flore Laurentienne. Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal (Québec). 1093 pp.
- MULCAHY, D.L., et MULCAHY, G.B. 1987. The effects of pollen competition. *Am. Sci.* **75**: 44-55.
- NATH, J., et ANDERSON, J.O. 1975. Effect of freezing and freeze-drying on the viability and storage of *Lilium longiflorum* L. and *Zea mays* L. *Pollen. Cryobiology*. **12**: 81-88.
- NESMITH, D.S., KREWER, G., et LINDSTROM, O.M. 1999. Fruit set of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) after subfreezing temperatures. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.* **124**: 337-340.
- OLSON, A.R., et EATON, L.J. 2001. Spring frost damage to placental tissues in lowbush blueberry flower buds. *Can. J. Plant Sci.* **81**: 779-781.

- PARSON, L.R., et TUCKER, D.P.H. 1984. Sprinkler irrigation for cold protection in citrus groves and nurseries during an advective freeze. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **97**: 28-30.
- PESSON, P., et LOUVEAUX, J. 1984. Pollinisation et production végétale. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris. 663 pp.
- PFAMMATTER, W. 1998. Lutte contre le gel par aspersion en arboriculture fruitière. *Vitic. Arboric. hortic.* **30**: 331-334.
- PFEIFFER, N.E. 1936. Longevity of pollen of *Lilium* and hybrid *Amaryllis*. *Contr. Royce Thomp. Inst.* **8**: 141-150.
- PFEIFFER, N.E. 1938. Viability of stored *Lilium* pollen. *Contr. Boyce Thomp. Inst.* **9**: 199-211.
- SAS Institute. 1998. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. SAS Institute inc. Cary, NC, USA. 1028 p.
- SCHOPER, J. B., LAMBERT, R. J., et VASILAS, B. L. 1986. Maize pollen viability and ear receptivity under water and high temperature stress. *Crop Sci.* **26**: 1029-1033.
- SHIVANNA, K.R., LINSKENS, H.F. et CRESTI, M. 1991. Pollen viability and pollen vigor. *Theor. Appl. Genet.* **81**: 38-42.
- SPIERS, J.M. 1978. Effect of stage of bud development on cold injury in rabbiteye blueberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **103**: 452-455.
- STEPHENSON, A.G., LAU, T.C., QUESADA, M., et WINSOR, A. 1992. Factors that affect pollen performance. *Ecology and evolution of plant reproduction*. Chapman & Hall, New York. p.119-136.
- VANDER KLOET, S.P. 1983. The relationship between seed number and pollen viability in *Vaccinium corymbosum* L. *HortScience.* **18**: 225-226.
- WOOD, G.W. 1962. Period of receptivity in flowers of the lowbush blueberry. *Can. J. Bot.* **40**: 685-686.

CHAPITRE IV

ARTICLE 3

CARACTÉRISATION DE L'ENTOMOFAUNE DES BLEUETIÈRES SEMI-CULTIVÉES DU QUÉBEC

PUBLICATION PRÉVUE COMME MÉMOIRE DANS LE PÉRIODIQUE : *ENVIRONMENT AND ENTOMOLOGY*.

AUTEUR : ÈVE-CATHERINE DESJARDINS

PUBLICATION RÉALISÉE (DOCUMENT CI-JOINT) ET DÉPOSÉE DANS LES BIBLIOTHÈQUES NATIONALES, D'UN GUIDE D'IDENTIFICATION DES ALLIÉS ET DES ENNEMIS DU BLEUET NAIN : *INSECTES, MALADIES ET VÉGÉTAUX*.

AUTEURS : ÈVE-CATHERINE DESJARDINS A RÉALISÉ LES SECTIONS PORTANT SUR LES INSECTES ET LES MALADIES. ROMAIN NÉRON A RÉALISÉ LA SECTION PORTANT SUR LES VÉGÉTAUX.

4.1 RÉSUMÉ

À l'exception des pollinisateurs, les insectes alliés des bleuetières du Québec restent méconnus. Ce projet a pour objectif de déterminer les principaux taxons alliés (pollinisateurs, prédateurs, parasitoïdes et phytophages de mauvaises herbes) et espèces d'insectes nuisibles associées aux bleuetières du Québec. Il vise, de plus, à caractériser leur distribution temporelle et spatiale (distribution horizontale et verticale). Cette étude couvre la saison estivale et se déroule sur cinq années à l'intérieur de sept bleuetières dispersées dans les principales régions productrices de bleuets nains du Québec (Lac-Saint-Jean et Côte-Nord). Les relevés entomologiques ont été effectués à trois stations le long d'un transect horizontal partant du milieu forestier jusqu'à l'intérieur de la bleuetière. Trois techniques de capture ont été utilisées : piège fosse (pédofaune), filet fauchoir (faune de la strate végétale) et piège Malaise (faune aérienne). Les bourdons et les halictidés sont toujours les principaux représentants de la force pollinisatrice des bleuetières. Toutefois, il est à noter un déclin très important de *Bombus terrecola* et de son parasite *B. (Psythirus) ashtoni* et l'apparition d'une nouvelle espèce très abondante, *Bombus borealis*. L'altise de l'airelle (*Altica sylvia*) et l'arpenteuse du bleuet (*Macaria andersoni andersoni*) sont les principaux insectes nuisibles d'importance. La lébie noire et les punaises sont des alliés prédateurs méconnus ayant un fort potentiel pour le contrôle de l'altise et des arpenteuses. De manière générale, les insectes nuisibles sont plus abondants à l'intérieur de la bleuetière relativement à l'écotone et à la forêt et sont associés à la végétation dont ils s'alimentent. Différemment, les alliés sont plus nombreux à l'écotone où la diversité végétale est supérieure. La distribution des pollinisateurs semble plutôt liée à la ressource florale dominante (bleuetier nain) étant aussi abondants en bleuetières qu'à l'écotone.

4.2 INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS

La présence d'habitats naturels et semi-naturels accessibles et diversifiés est un facteur essentiel au bon maintien et à la diversité des populations d'ennemis naturels en culture (Nentwig, 1988; Marino et Landis, 1996; Tscharncke *et al.*, 1998; Steffan-Dewenter, 2002; Roland et Taylor, 1997; Menalled *et al.*, 1999; 2003). Ces habitats répondent à leurs besoins spécifiques en fournissant entre autres : 1. un environnement moins hostile, facteurs climatiques plus cléments incluant une humidité relative, des températures et des vents relativement modérés; 2. une protection visuelle (cachettes) des prédateurs d'insectes comme les oiseaux; 3. des sites refuges devenant milieux sources lors d'interventions importantes dans la culture; 4. une disponibilité de ressources alimentaires comme le nectar et le pollen des fleurs pour les adultes; 5. des sites de nidification et le matériel nécessaire à leur fabrication (Jervis et Kidd, 1986; Jervis *et al.*, 1993; Baggen *et al.*, 1999; Steffan-Dewenter, 2002; Costamanga et Landis, 2004) couvrant toute la saison. Selon Tscharncke *et al.* (1998), il est possible d'augmenter les populations bénéfiques plus spécifiquement les prédateurs nicheurs par l'introduction de nichoirs artificiels adaptés.

INSECTES NUISIBLES DES BLEUETIÈRES

Différemment d'une majorité de cultures, les bleuetières sont des agroécosystèmes permanents, le sol ne subissant pas de perturbations physiques majeures, qui peuvent être qualifiées de permacultures. Ce type de production devrait générer une présence accrue d'arthropodes bénéfiques et ainsi une meilleure lutte aux insectes nuisibles, plusieurs insectes alliés étant affectés négativement par une altération du sol (O'neal *et al.*, 2005). De plus, la production de bleuets nains souffre moins d'une présence d'insectes nuisibles, car on y tolère une défoliation relativement importante et l'aspect esthétique du végétal (à l'exception du fruit) n'est pas considéré. Les principales nuisances sont les insectes qui affectent la production fruitière en s'attaquant aux bourgeons, aux fleurs ainsi qu'aux fruits et les insectes

défoliateurs ayant la capacité de se nourrir de la totalité du feuillage. En se basant sur la littérature (Boulanger *et al.*, 1967; Bigras-Huot *et al.*, 1973; Perron et Jobin, 1973; Finnermore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985; Crozier et Neilson, 1989; Drummond et Groden, 2000; Howatt, 2005; Hoffmann *et al.*, 2006) provenant du Québec ainsi que de l'Est de l'Amérique du Nord ainsi que sur les connaissances des intervenants du domaine au Québec, voici une liste des principaux alliés et ennemis probables associés aux bleuetières du Québec :

Alliés = Pollinisateurs : bourdons indigènes (Hyménoptères : Bombinae) et Halictidae (Hyménoptères); Prédateurs : Carabidae (Coléoptères), fourmis prédatrices (Hyménoptères : Formicidae), Phalangidae (Opiliones), araignées édaphiques (Aranéides : Lycosidae), les staphylins (Staphylinidae) et les acariens prédateurs (Acari); Parasitoïdes : guêpes parasitoïdes (Hyménoptères : Ichneumonidae, Braconidae...) et Tachinidae (Diptères).

Nuisances = Lépidoptères : arpeuteuse de l'airelle (*Macaria argillacearia* Packard), arpeuteuse caténaire (*Cingilia catenaria* (Drury)), chenille à houppes blanches (*Orgyia leucostigma* (J. E. Smith)), légionnaire noire (*Actebia fennica* (Tauscher)), tordeuse du bleuet (*Aroga trialbamaculella* (Chambers)) et tisseuse du bleuet (*Croesia curvalana* (Kearfott)); Coléoptères : altise de l'airelle (*Altica sylvia* Malloch), porte-case du bleuet (*Neochlamisus cribripennis* (LeConte)), galéruque de l'airelle (*Tricholochmaea vaccinii* (Fall)), scarabée des feuilles (*Serica tristis* LeConte); Hyménoptères : tenthrèdes du bleuet (*Neopareophora litura* et *Pristiphora cincta* Newman) et ptéromale galligène (*Hemadas nubilipennis* Ashmead); Diptères : mouche du bleuet (*Rhagoletis mendax* Curran), cécidomyie de l'airelle (*Contarinia vaccinii* Felt); Thysanoptères : thrips du bleuet (*Frankliniella vaccinii* Morgan et *Catinathrips* spp.) et Orthoptères : criquets (*Melanoplus* spp. et *Camnula pellucida* Scudder).

ALLIÉS DES BLEUETIÈRES

Peu d'études portant sur les insectes alliés (autres que les pollinisateurs) associés aux bleuetières du Québec ont été réalisées par le passé. F. A. Drummond, principal chercheur du domaine, a publié des documents portant sur l'évaluation d'entomopathogènes, de prédateurs et de parasitoïdes pour une lutte biologique contre les nuisances du bleuet nain (Drummond

et Groden, 2000; Hoffmann *et al.*, 2006). En 2006, Karem *et al.* (2006) ont publié un article sur la distribution des guêpes (sous ordre des Apocrita) dans les bleuetières du Maine affirmant que celles du genre *Ophion* pourraient participer au contrôle d'espèces nuisibles associées à cet agroécosystème. Aucune information n'a été trouvée sur les insectes phytophages incluant les granivores pouvant agir sur les herbes indésirables des bleuetières. Des inventaires de pollinisateurs ont été réalisés dans les bleuetières semi-cultivées du Nord-Est américain (Phipps, 1930; Boulanger *et al.*, 1967; Finnamore et Neary 1978; Morrissette *et al.*, 1985; Stubbs *et al.*, 1992). Au Lac-Saint-Jean, ces inventaires, qui portaient sur les abeilles sauvages, ont été réalisés par Boulanger *et al.* (1967) ainsi que par Morrissette *et al.* (1985). Toutefois, l'apparition saisonnière de la plupart de ces abeilles reste méconnue. Quelques observations effectuées par Boulanger *et al.* (1967) dans une bleuetière au Lac-Saint-Jean montrent une émergence hâtive des ouvrières *Bombus ternarius* et *B. terricola*, soit au milieu de la période de floraison du bleuetier nain (mi-juin). Ces deux espèces très abondantes composent une majeure partie de l'entomofaune pollinisatrice des bleuetières du Québec (Boulanger *et al.*, 1967; Bigras-Huot *et al.*, 1973; Finnamore et Neary, 1978 et Morrissette *et al.*, 1985). Pour ce qui est des insectes nuisibles et de leurs ennemis naturels, l'information accessible provient d'autres provinces du Canada ou des États-Unis et n'est pas nécessairement applicable aux bleuetières du Québec.

PROBLÉMATIQUE

Les insectes nuisibles, l'envahissement de leur culture par des plantes adventices combiné à une méconnaissance face à ces menaces peut exacerber la nervosité des producteurs, plus prompts, à épandre des pesticides nuisibles à l'environnement et par le fait même, aux organismes bénéfiques à leur culture. En effet, plusieurs producteurs de bleuets nains éprouvent de la difficulté à identifier correctement les plantes adventices et les insectes nuisibles et ont accès à des connaissances limitées sur le comportement et la biologie de ces insectes ce qui peut amener un usage inadéquat et possiblement abusif de pesticides. Il est donc essentiel de développer nos connaissances sur les arthropodes alliés et nuisibles des bleuetières du Québec afin d'aider les intervenants et les producteurs du domaine dans la gestion intégrée de cette production fruitière.

OBJECTIFS

Ce projet vise à caractériser l'entomofaune associée aux bleuetières du Québec. Il s'agit de déterminer les taxons d'importance ainsi que leurs présences temporelles et spatiales, soit de connaître le moment d'apparition des différents stades de vie et d'étudier leur distribution verticale (sol, végétation et milieu aérien) et horizontale (bleuetière, écotone et milieu forestier) dans cette production fruitière. La distribution horizontale de l'entomofaune, de la forêt vers l'intérieur de la bleuetière, vise à déterminer l'influence d'une plus grande diversité végétale et d'une variation de la structure physique du milieu apportée par la forêt à proximité. Les résultats obtenus ont servi à la production d'un guide d'identification et de gestion des alliés et ennemis du bleuet nain : insectes, maladies et végétaux, archivé à la bibliothèque nationale du Canada et du Québec (Desjardins et Neron, 2010). Cet ouvrage vise à soutenir le plus d'intervenants possible dans le domaine du bleuet nain en leur exposant en plus des nuisances, les aspects positifs de plusieurs êtres vivants de cet agroécosystème.

Plus spécifiquement, ce projet consiste à réaliser :

1. Un inventaire entomologique permettant de déterminer les principaux arthropodes d'importance (abondants et potentiellement efficaces) associés aux bleuetières du Québec. Les taxons étudiés ont été classés en 3 catégories : pollinisateurs, insectes nuisibles et ennemis naturels des insectes nuisibles.
2. Un chronogramme de l'apparition printanière et de la présence temporelle des différents stades de vie.
3. Une détermination de la distribution spatiale (verticale) des différents stades de vie dans la bleuetière : au sol, dans la végétation ou dans le milieu aérien.
4. Une détermination de la distribution spatiale (horizontale) des alliés et nuisances, du milieu forestier de proximité jusqu'à 400 mètres à l'intérieur de la bleuetière en passant par l'écotone entre ces deux milieux.

HYPOTHÈSES DE TRAVAIL RELIÉES À CE DERNIER OBJECTIF :

1. Les insectes alliés sont plus abondants à l'écotone entre le milieu forestier et la bleuetière.
2. Les insectes nuisibles du bleuet nain, d'importance supérieure (phytophages spécialistes), sont plus abondants dans une monoculture de leur plante hôte, soit à l'intérieur de la bleuetière par rapport à l'écotone et au milieu forestier.

4.3 MÉTHODOLOGIE

Cette étude implique une approche descriptive de l'entomofaune des bleuetières du Québec et de la distribution temporelle et spatiale des taxons d'importance. L'inventaire accompli se limite aux taxons d'insectes nuisibles, d'ennemis naturels ainsi que de pollinisateurs reconnus dans la littérature comme étant des alliés en général et des nuisances spécifiques au bleuetier nain. Dans ce sens, un inventaire des connaissances cumulées par les experts du domaine ainsi que lors d'études pertinentes a été dressé afin de mettre en lumière les espèces d'intérêts. La récolte de données lors de cinq étés de terrain est venue confirmer ou non ces connaissances et combler les lacunes existantes. Les alliés devaient être reconnus pour s'attaquer à au moins un insecte nuisible ou une espèce végétale indésirable des bleuetières du Québec. Ces groupes devaient être, soient : 1. abondants sur le terrain, 2. qualifiés de très efficaces selon la littérature ou 3. spécifiques en s'attaquant à une des principales espèces nuisibles. Dans la mesure du possible, ce lien en tant que prédateur ou parasitoïde d'insectes nuisibles a été validé lors d'un élevage en laboratoire.

4.3.1 SUIVI ENTOMOLOGIQUE (DISPOSITIF) EN BLEUETIÈRE

Huit bleuetières du Lac-Saint-Jean et de la Côte-Nord, ont été sélectionnées afin d'y faire un suivi entomologique sur 5 années de 2003 à 2007. Les bleuetières du Lac-Saint-Jean

étaient situées à Péribonka (48°45'N 72°03'O), Saint-Honoré (48°32'N 71°05'O), Saint-Ambroise (48°33'N 71°19'O) et Albanel (48°53'N 72°26'O) et celles de la Côte-Nord, aux Escoumins (48°20'N 69°24'O), Sacré-Cœur (48°13'N 69°48'O), Pointe-Lebel (49°09'N 68°15'O) et Gallix (50°08'N 66°37'O). Trois transects par bleuetière ont été tracés. Ils étaient situés à plus de 500 m les uns des autres et comportaient chacun trois stations d'échantillonnage situées à -20 m (en forêt), 0 m (écotone forêt/bleuetière) et à 400 m à l'intérieur de la bleuetière (fig. 4.1). À chacune de ces stations, des observateurs ont appliqué hebdomadairement la collecte sélective d'insectes et la technique du filet fauchoir et ce, de la mi-mai à la fin septembre. L'efficacité de cette dernière technique est reconnue pour une collecte massive d'insectes associés à la végétation (Lesage, 1991). Elle consiste à donner 3 coups de filet entomologique en avançant dans la végétation (3 coups de filet X 3 stations X 3 transects par bleuetière). L'amplitude de chacun des coups est contrôlée en formant un angle d'environ 45°. En milieu forestier, cette technique est appliquée sur les tiges de bleuetier nain. La collecte sélective consiste à récolter tous les insectes d'intérêt (préalablement listés) observés pendant 10 minutes. Les arthropodes capturés ont été placés dans un pot hermétique et déposés au congélateur pour observations ultérieures en période hivernale. Un piège fosse blanc de la série d-110-115 fabriqué par Laurent LeSage, entomologiste à AAC, Ottawa Ontario avec cadre en bois qui assure une jonction parfaite entre le piège et le sol a été installé à chacune des deux stations 0 m (écotone forêt/bleuetière) et à 400 m à l'intérieur de la bleuetière (2 pièges fosses X 3 transects par bleuetière). Un piège Malaise fabriqué par Laurent LeSage, entomologiste à AAC, Ottawa Ontario à quatre côtés est disposé près de la dernière station du transect central seulement (1 piège Malaise par bleuetière). Les techniques sélectionnées assurent une couverture de l'ensemble des groupes d'arthropodes à l'étude. Ils assurent un suivi des pédoarthropodes (piège fosse), des arthropodes de la strate végétale (filet fauchoir), ainsi que des arthropodes aériens (piège Malaise). De même que pour la technique du filet fauchoir, les observateurs ont récolté les spécimens capturés hebdomadairement à chacun des pièges fosses et Malaises. Les arthropodes récoltés ont été conservés dans une solution d'éthanol 75 %, de glycérine 5 % et d'eau distillée 20 % pour des observations ultérieures.

Seulement les relevés entomologiques effectués à l'aide des techniques du filet fauchoir et de la collecte sélective, appliquées à la fois en forêt, à l'écotone et dans la

bleuetière, ont été utilisés lors de l'étude de la distribution horizontale des taxons dans ces trois milieux. L'ensemble des relevés entomologiques a été utilisé pour l'étude de la distribution verticale et de la présence temporelle des stades vitaux.

De plus, les populations d'insectes nicheurs ont été suivies et étudiées à l'aide de nichoirs de bois (fig. 4.2), utilisés ici comme technique de piégeage. Selon Tschamntke *et al.* (1998), plusieurs groupes d'insectes bénéfiques telles les guêpes maçonnes (Eumenidae) et les osmies (Megachilidae : *Osmia*) utilisent ce type de nichoir et peuvent ainsi être suivis et caractérisés. Six nichoirs en pin, composés de 40 trous de différents diamètres (5 X 10 et 13 mm et 10 X 6 mm) et profondeurs (4 X 5, 10, 15 et 20 mm) ont été disposés en bordure de chacune des bleuetières. Ils sont composés de six étages démontables donnant accès à l'ensemble des nids produits par les insectes.

Ces relevés entomologiques ainsi que les nichoirs ont contribué à la détermination :

1. Des principaux alliés du bleuet nain ainsi que de leur abondance relative.
2. Des principaux insectes nuisibles du bleuet nain ainsi que de leur abondance relative.

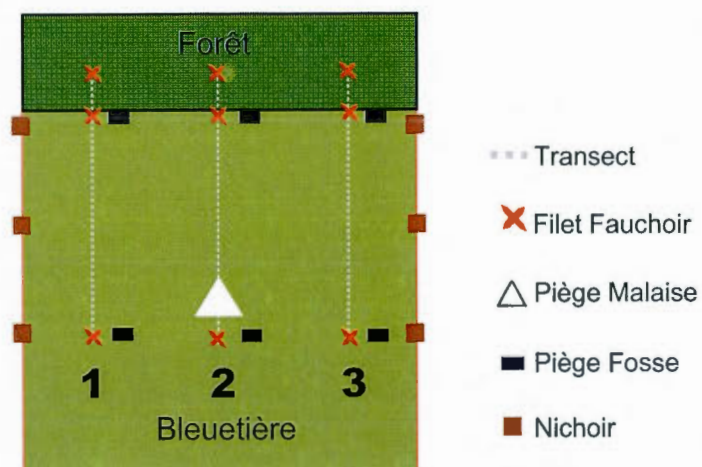


Figure 4.1 Schéma du dispositif expérimental en bleuetière affichant les 3 transects, les 9 stations d'échantillonnage et les techniques d'échantillonnage entomologique.



Figure 4.2 Nichoir de bois utilisé comme technique de piégeage des insectes nicheurs.

4.3.2 ÉLEVAGE EN LABORATOIRE ET SUIVI DES NICHOURS

IDENTIFICATION DES TAXONS ET ÉTUDE DU COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

Lors de la collecte sélective, les observateurs devaient récolter aux stations d'échantillonnage les arthropodes ciblés par le projet. Les taxons visés étaient déterminés initialement à l'aide de la littérature et des intervenants du domaine. Cette récolte a pour objectifs : 1. l'élevage d'arthropodes en laboratoire jusqu'au stade adulte pour une identification facilitée; 2. une étude comportementale des prédateurs et des phytophages (alliés) validant ainsi les proies ou l'espèce végétale indésirable dont ils s'alimentent; 3. une détermination des taxons parasitoïdes des espèces nuisibles d'importance. Selon Memmott et Godfray (1993), l'élevage est la technique la moins biaisée quand il s'agit d'étudier les espèces parasitoïdes car le filet fauchoir et l'application d'insecticides pour capturer les adultes favorisent la sélection de types particuliers de parasitoïdes.

L'élevage est réalisé dans des boîtes « life guard » fabriquées en Israël (fig. 4.3). Ces dernières permettent un renouvellement interne en oxygène tout en limitant la perte d'humidité grâce à un filtre spécialement conçu à cet effet. Chaque boîte se voit attitrer un taxon particulier et contient plusieurs individus. À l'intérieur, on y trouve des tiges de bleuetier nain ou d'une plante indésirable (pour les alliés phytophages) fraîchement coupées dont le bout est maintenu dans l'eau à l'aide de petits contenants utilisés par les fleuristes (fig. 4.3). Ces tiges servent à la fois de source de nourriture et d'humidité ainsi que de support pour les cocons, oeufs ou autres. Les insectes élevés sont sous surveillance quotidienne et les boîtes sont nettoyées au besoin. Les tiges végétales y sont rafraîchies et l'évolution des individus (changements de stade de développement) ainsi que leurs comportements alimentaires sont notés. Une fois devenu adulte, chaque individu est récolté et congelé pour identification ultérieure.

L'étude des insectes nicheurs (nichours de bois) a été réalisée à la fin de la période de floraison du bleuetier nain (début juillet). Les nichours expérimentaux ont été récupérés et ouverts afin de noter les taxons d'intérêt, soient les insectes prédateurs d'espèces nuisibles ou les pollinisateurs ayant produits un grand nombre de nids. Les nichours ont été refermés afin

d'amener les larves jusqu'à maturité pour faciliter l'identification des taxons d'intérêt ainsi que pour étudier leur cycle vital.



Figure 4.3 Boîte « life guard » et contenant fournissant l'eau nécessaire aux tiges végétales.

INSECTES PARASITOÏDES

Les parasitoïdes présents dans les cages sont aussi récoltés et congelés pour une identification ultérieure. Les taxons parasitant au moins une fois un insecte nuisible sont considérés comme un parasitoïde de cet insecte.

ARTHROPODES PRÉDATEURS

La préférence alimentaire des prédateurs est déterminée suivant une présentation de plusieurs types de proies potentielles. En se basant sur la littérature (Hoffmann *et al.*, 2006; Drummond et Groden, 2000), seulement les proies reconnues à chaque taxon étaient distribuées aux prédateurs permettant ainsi de valider leur préférence alimentaire. Ces proies devaient faire partie des insectes nuisibles. Elles comprenaient des **larves** : tenthrède du bleuet (*Neopareophora litura*), altise de l'airelle (*Altica sylvia*), galéruque de l'airelle (*Tricholochmaea vaccinii*), tordeuses spp. (Tortricidae et Gelechiidae), arpeuteuses (Geometridae), noctuelles (Noctuidae) et des **adultes** : tordeuses spp. (Tortricidae et Gelechiidae) ainsi que des cercopes (Homoptères) et des criquets (Acrididae). En ce qui concerne les nichoirs, les proies retrouvées dans les nids d'insectes prédateurs d'intérêt ont

été récoltées et identifiées. Les taxons consommés au moins une fois par un prédateur sont considérés comme une proie.

INSECTES PHYTOPHAGES DE PLANTES INDÉSIRABLES

Les insectes phytophages des principales plantes indésirables des bleuetières présents en grand nombre et ayant défolié complètement plus d'une plante ont été récoltés. Ces derniers ont été mis en présence de la plante hôte dans une boîte d'élevage afin de s'assurer de leur statut de phytophage de cette espèce végétale. Les espèces récoltées et considérées comme alliées d'importance devaient avoir défolié totalement au moins un individu de l'espèce végétale indésirable en bleuetière.

IDENTIFICATION ENTOMOLOGIQUE

L'identification des insectes a été effectuée par l'auteure de cette thèse, Ève-Catherine Desjardins, au laboratoire du Centre de Recherche Les Buissons, par le laboratoire de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ section entomologie, ainsi que par M. André Payette de l'insectarium de Montréal, spécialiste des abeilles indigènes du Québec et M. Laurent Lesage, entomologiste (Agriculture et Agroalimentaire Canada), spécialiste des Chrysomèles.

TRAITEMENT DES DONNÉES

L'approche de cette étude est descriptive et consiste ainsi à décrire des phénomènes particuliers observés. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du progiciel SAS® (SAS Institute, 1998).

Distribution horizontale L'analyse de variance de type I à un critère de classification est appliquée afin de déceler une possible différence entre les moyennes d'individus par taxons capturés à chacune des distances (forêt, -20 m, écotone, 0 m et bleuetière 400 m). Ces moyennes découlent du nombre total d'individus capturés à ces

distances annuellement (total de 5 années) à chacune des bleuetières (total de 7) pour un total de 25 répétitions. Les postulats spécifiques à cette analyse (homogénéité des variances et distribution normale des résidus) sont vérifiés et respectés. Dans le cas d'une différence significative entre les moyennes le test L.S.D est appliqué afin de détecter une différence entre des paires de moyennes.

Distribution temporelle Un pic d'abondance est décrété lorsque le nombre total de captures est maximal (et plus élevé que 1) et supérieur de plus de 50 % à la moyenne des captures suivantes jusqu'au prochain creux inclusivement. Dans le cas où le nombre de pics dépasse 3, un seul pic est considéré.

Par la suite, la date moyenne $\pm$ E.T. d'un pic d'abondance est déterminée statistiquement avec un intervalle de confiance à 95 %. Pour ce faire, les années et les bleuetières sont considérées comme des répétitions d'observations donnant au final 25 répétitions. Certaines années bleuetières étant éliminées lorsqu'il était impossible de prendre des données.

4.4 RÉSULTATS

4.4.1 ALLIÉS : INSECTES POLLINISATEURS

4.4.1.1 INVENTAIRE ENTOMOLOGIQUE

Selon nos relevés entomologiques (tabl. 4.1) les insectes pollinisateurs potentiels les plus abondants (plus de 500 individus) sont par ordre d'importance : les halictidés, les mouches à damier et les bourdons. Les espèces ayant une abondance moyenne (de 50 à 500 individus) sont par ordre d'importance : les Syrphidae, la mégachile, les Vespidae et les Andrenidae. Le seul pollinisateur de faible abondance (moins de 50 individus) est l'osmie (fig. 4.4). Cette dernière était, par ailleurs, le principal pollinisateur capturé dans les nichoirs (fig. 4.5). Les Sarcophagidae sont de nouveaux pollinisateurs potentiels des bleuetières du Québec. D'autres espèces ou taxons ont été récoltés et sont considérés comme des

pollinisateurs potentiels secondaires : il s'agit de la volucelle faux-bombyle (*Volucella bombylans*), des Stratiomyidae, des Bibionidae, des Bombyliidae, des Calliphoridae, des Tachinidae, des Anthomyiidae, des Conopidae et des abeilles des genres *Nomada* et *Sphecodes*.

4.4.1.2 ABONDANCE, DISTRIBUTION ET INFLUENCE DU MILIEU FORESTIER

Selon nos relevés (filet fauchoir et collecte sélective seulement) (tabl. 4.1), la plupart des groupes de pollinisateurs sont significativement plus nombreux à l'écotone entre le milieu forestier et la bleuetière (0 m) ainsi qu'à l'intérieur de la bleuetière (400 m) relativement au milieu forestier (-20 m). Dans ce sens, la présence des mégachiles ($F_{2, 57} = 4.58$; $P = 0.01$), des Andrenidae ($F_{2, 57} = 3.39$; $P = 0.04$) et des Halictidae ($F_{2, 57} = 7.54$; $P = 0.001$) est significativement influencée par le facteur distance étant plus abondants à l'intérieur de la bleuetière et à l'écotone relativement à la forêt. Les mégachiles indigènes sont particulièrement associées à la bleuetière ($P = 0.02$), 94% des individus y ont été capturés. Les Bombinae et les Sarcophagidae sont aussi influencés par le facteur distance ($F_{2, 57} = 8.19$; $P = 0.0008$ et $F_{2, 57} = 3.65$; $P = 0.03$, respectivement) étant plus nombreux à l'écotone. Semblablement pour les Syrphidae ($F_{2, 57} = 6.48$; $P = 0.001$) qui sont moins abondants en forêt relativement à l'écotone et en bleuetière. La distance a aussi un effet significatif sur la présence des Vespidae ($F_{2, 57} = 3.96$; $P = 0.01$) qui font exception aux autres pollinisateurs en étant plus abondants en forêt et à l'écotone relativement à la bleuetière. Les osmies sont présentes dans ces trois milieux. Ainsi, les taxons affichant une abondance considérable en forêt, soit plus de 10% des captures totales, sont par ordre d'importance : les Vespidae, les osmies et les Diptères. Aucun ou très peu de représentants des groupes suivants a été capturé dans le milieu forestier, soient les mégachiles, les Andrenidae et les Halictidae.

Les relevés entomologiques (filet fauchoir, pièges fosse et Malaise) indiquent que les pollinisateurs sont capturés en plus grand nombre au sol et dans le milieu aérien. Les Andrenidae, les Halictidae, les Bombinae et les Sarcophagidae sont plus abondamment récoltés au sol alors qu'à l'inverse, les Syrphidae sont plus nombreux dans le milieu aérien. Les osmies, les Andrenidae et les Bombinae ont un pic d'abondance au milieu de la période

de floraison du bleuetier nain (IC à 95%, 15 ± 4.7 juin, 15 ± 2.4 juin et 13 ± 2.4 juin). Les bourdons affichent, de plus, un deuxième pic d'abondance au sol à la fin d'août (IC à 95%, 17 ± 4.0 juin). Les pics de présence des Halictidae sont situés au début de juillet (IC à 95%, 2 ± 3.4 juillet) et en août (IC à 95%, 18 ± 3.5 juin). Ils sont plus abondants au sol, tout au long de la saison estivale et plus particulièrement au début de juillet et à la fin d'août et sont plus nombreux dans la végétation et le milieu aérien lors de la période de floraison du bleuetier nain (fin de mai au début de juillet). Les mégachiles, les osmies et les Andrenidae sont présents seulement au moment de la période de floraison du bleuetier. Les Vespidae affichent des pics d'abondance dans le milieu aérien à la fin de juin (IC à 95%, 16 ± 6.7 juin) et au sol au début de septembre (IC à 95%, 5 ± 7.1 septembre). Les Sarcophagidae sont plus abondants dans le milieu aérien en début de saison et au sol en fin de saison. Les Syrphidae affichent un pic d'abondance à la mi-août (IC à 95%, 13 ± 8.0 août).

Tableau 4.1 Pollinisateurs potentiels associés aux bleuettières du Québec et leur distribution spatiale horizontale (% de capture totale à 20 m dans la forêt, à l'écotone forêt et bleuettière et à 400 m à l'intérieur de la bleuettière) et verticale, soit au sol (piège fosse), dans la végétation (filet fauchoir) et dans le milieu aérien (piège Malaise), ainsi que la présence temporelle des adultes capturés. La capture totale est la somme des femelles capturées toutes techniques, incluant la collecte sélective, bleuettières et années confondues. Les cases ombrées indiquent les pics d'abondance. Les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement ($P \leq 0,05$). Dans la distribution temporelle des captures les insectes immatures sont en gris et les adultes en noir.

Ordre (famille)	Taxon ou espèce (capture totale)	Forêt	Écotone	Bleuettière	Technique (capture totale)	Distribution temporelle des captures											
						Mai			Juin			Juillet			Août		
						16-31	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30
Hyménoptère (Megachilidae)	Mégachiles, <i>Megachile melanophaea</i> (124)	0a	6a	94b	Piège Fosse (53)	0	28; 4	21; 0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
					Filet Fauchoir (1)	0	0; 0	0	0; 1	0	0	0; 1	0	0	0	0	0
					Piège Malaise (70)	1; 3	11; 15	10; 13	0; 14	0	0	0; 14	0	0	0	0	-
Hyménoptère (Megachilidae)	Osmies, <i>Osmia</i> spp. (30)	22a	33a	45a	Piège Fosse (21)	8	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	-
					Filet Fauchoir (1)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Piège Malaise (8)	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Hyménoptère (Andrenidae)	Andrènes, <i>Andrena</i> spp. (53)	0a	44b	56b	Piège Fosse (50)	5	35	10	0	0	0	0	0	0	0	0	-
					Filet Fauchoir (3)	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					Piège Malaise (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Hyménoptère (Halictidae)	Halictidés, <i>Halictus</i> , <i>Eurylaeus</i> , <i>Lasioglossum</i> et <i>Dialictus</i> spp. (2144)	1a	42b	57b	Piège Fosse (1993)	0; 36	0; 130	0; 155	31; 229	5; 37	0; 114	5; 1095	0; 156	0; 2	0	0	-
					Filet Fauchoir (71)	0; 19	0; 18	0; 4	0; 9	0; 9	1; 5	0; 4	0; 2	0; 0	0	0	-
					Piège Malaise (80)	0	0; 24	31; 6	0; 11	0; 0	0; 8	0; 0	0; 0	0; 0	0	0	-
Hyménoptère (Apidae)	Bourdons, <i>Bombus</i> spp. (513)	5a	68b	27a	Piège Fosse (422)	0; 67	3; 55	0; 25	0; 6	10; 10	5; 15	41; 99	49; 37	0; 0	0	0	-
					Filet Fauchoir (16)	0; 0	0; 4	0; 8	0; 1	0; 2	0; 0	1; 0	0; 0	0; 0	0	0	-
					Piège Malaise (75)	0; 2	0; 35	0; 23	0; 1	0; 0	0; 14	0; 0	0; 0	0; 0	0	0	-
Hyménoptère (Vespidae)	Guêpes à papier, ND (110)	48a	44a	8b	Piège Fosse (46)	0	0	0	0	0	10	5	31	0	0	0	-
					Filet Fauchoir (3)	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
					Piège Malaise (61)	0	17	31	1	0	12	0	0	0	0	0	-
Diptère (Sarcophagidae)	Mouches à damier, ND (1575)	18a	60b	22a	Piège Fosse (1275)	0	17	54	140	74	436	175	379	5	0	0	-
					Filet Fauchoir (30)	0	6	5	1	6	2	5	5	5	0	0	-
					Piège Malaise (270)	-	40	78	67	32	37	11	5	5	0	0	-
Diptère (Syrphidae)	Syrphidés, ND (456)	16a	44b	40b	Piège Fosse (41)	0	0	5	16	0	10	10	0	0	0	0	-
					Filet Fauchoir (26)	2	6	2	6	4	4	1	1	1	0	0	-
					Piège Malaise (389)	0	57	43	26	64	189	10	0	0	0	0	-

* insectes capturés à l'aide des techniques du filet fauchoir et de la collecte sélective seulement



Figure 4.4 Abeille du genre *Osmia* (Hymenoptera : Megachilidae).



Figure 4. 5 Nid de l'*Osmia*.

4.4.1.3 BOURDONS

Les espèces (fig. 4.6 et 4.7) de bourdons les plus abondamment capturées (plus de 50 individus) sont par ordre d'importance (tabl. 4.2) : *Bombus ternarius* Say, *B. borealis* Kirby et *B. frigidus* Smith. Les espèces d'abondance moyenne, plus de 10 individus capturés, sont par ordre d'abondance : *Bombus sandersoni* Franklin, *B. vagans* Smith, *B. insularis* Smith et celle de plus faible abondance, moins de 10 individus capturés est : *B. terricola* Kirby. D'autres espèces ont été capturées en très faible nombre, moins de 5 individus, il s'agit de : *B. perplexus* Cresson (6), *B. fervidus* Fabricius (4), *B. (Psithyrus) fernaldae* Franklin (2), *B. impatiens* Say (1), *B. griseocollis* De Geer (1), *B. bimaculatus* Stock (1) ainsi que *B. fraternus* Smith (1). Au total, 13 espèces de bourdons ont été capturées dont 2 (*Bombus bimaculatus* et *B. fraternus*) sont de nouvelles espèces capturées dans les bleuetières du Québec.

Bombus ternarius, *B. frigidus*, *B. borealis* et *B. terricola* affichent une présence saisonnière bimodale avec un premier pic d'abondance au moment de la période de floraison et un deuxième au sol en fin d'été. Les espèces de bourdons dont les pics d'abondance printaniers sont les plus hâtifs sont, du plus hâtif au moins hâtif: *B. borealis* (IC à 95%, 15±2.5 juin), *ex æquo Bombus sandersoni* (IC à 95%, 17±4.7 juin), *B. ternarius* (IC à 95%, 17±2.0 juin) et *B. frigidus* (IC à 95%, 17±2.5 juin) suivi de *B. terricola* (IC à 95%, 20±3.7

juin). Chez *Bombus vagans* et *B. insularis* ces pics sont plus tardifs (IC à 95%, 23 ± 5.6 juin et 26 ± 5.7 juin, respectivement). Le deuxième pic d'abondance de *Bombus terrecola* est relativement tôt, celui-ci se trouvant au sol dès la mi-juillet (IC à 95%, 19 ± 8.0 juillet). *Bombus sandersoni*, *B. vagans* et *B. insularis* ne sont pas capturés au sol et affichent une abondance saisonnière unimodale avec un seul pic de présence en début de saison.



B. griseocollis



B. frigidus



B. fervidus



B. borealis



B. impatiens



B. perplexus



B. sandersoni



B. vagans



B. ternarius



B. terricola

Figure 4. 6 Espèces du genre *Bombus* (Hymenoptera : Apidae) capturées en bleuetières.



B. insularis



B. fernaldae

Figure 4. 7 Espèces parasites du genre *Bombus* (Hymenoptera : Apidae) capturées en bleuetières.

Tableau 4.2 Espèces de bourdons (Hymenoptera : *Bombus* spp.) associées aux bleuetières du Québec et leur distribution spatiale verticale, soit au sol (piège fosse), dans la végétation (filet fauchoir) et dans le milieu aérien (piège Malaise), ainsi que la présence temporelle des femelles adultes. La capture totale est la somme des femelles capturées toutes techniques, incluant la collecte sélective, bleuetières et années confondues. Les cases ombrées indiquent les pics d'abondance.

Espèce (capture totale)	Technique (capture totale)	Distribution temporelle des captures								
		Mai 16-31	Juin 1-15	Juillet 16-30		Août 1-15		Septembre 16-31		
<i>Bombus ternarius</i> (217)	Piège Fosse (108)	19	10	9	8	5	14	38	5	-
	Filet Fauchoir (5)	0	0	5	0	0	0	0	0	0
	Piège Malaise (38)	6	19	4	0	0	9	0	0	-
<i>Bombus sandersoni</i> (19)	Piège Fosse (9)	5	4	0	0	0	0	0	0	-
	Filet Fauchoir (1)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Piège Malaise (9)	6	1	1	1	0	0	0	0	-
<i>Bombus frigidus</i> (71)	Piège Fosse (46)	14	5	2	0	0	0	14	11	-
	Filet Fauchoir (1)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Piège Malaise (24)	12	9	2	1	0	0	0	0	-
<i>Bombus borealis</i> (143)	Piège Fosse (68)	10	8	2	0	0	4	22	22	-
	Filet Fauchoir (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Piège Malaise (7)	0	2	0	0	0	5	0	0	-
<i>Bombus terricola</i> (8)	Piège Fosse (6)	1	0	0	0	5	0	0	0	-
	Filet Fauchoir (1)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Piège Malaise (1)	0	1	0	0	0	0	0	0	-
<i>Bombus vagans</i> (14)	Piège Fosse (1)	0	1	0	0	0	0	0	0	-
	Filet Fauchoir (1)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Piège Malaise (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	-
<i>Bombus insularis</i> (13)	Piège Fosse (1)	0	0	1	0	0	0	0	0	-
	Filet Fauchoir (3)	0	2	0	1	0	0	0	0	0
	Piège Malaise (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	-

4.4.1.4 HALICTIDÉS

Selon nos relevés entomologiques (tabl. 4.3) les sous-genres d'halictidés capturés en bleuetières sont, du plus abondant au moins abondant : loin devant *Evylaeus*, suivi de *Dialictus* et de *Lasioglossum* presque *ex equo* et dernièrement *Halictus*.

Les abeilles du sous-genre *Lasioglossum* sont les plus hâtives ayant un pic d'abondance à la fin mai (IC à 95%, 23±4.7 mai), suivi d'*Evylaeus* (fin juin) (IC à 95%, 17±7.65 juin), de *Dialictus* (fin juin) (IC à 95%, 24±3.4 juin) et d'*Halictus* (début juillet) (IC à 95%, 3±3.1 juillet). Les seconds pics d'abondance se situent à la fin d'août pour les sous-genres *Lasioglossum* (IC à 95%, 18±5.2 août) et *Evylaeus* (IC à 95%, 18±13.5 août) et un peu plus tard, soit au début de septembre pour les sous-genres *Dialictus* (IC à 95%, 8±6.3 septembre) et *Halictus* (IC à 95%, 4±6.7 septembre). Les halictidés sont capturés majoritairement au sol. Les sous-genres *Lasioglossum* et *Evylaeus* sont plus abondants dans

la végétation au moment de la période de floraison du bleuetier nain. Les abeilles du sous-genre *Halictus* semblent se trouver en plus grand nombre à l'écotone alors que celles du sous-genre *Evylaeus* semblent plus nombreuses à l'intérieur de la bleuetière.

Tableau 4.3 Sous-genre d'Halictidae (Hymenoptera) associé aux bleuetières du Québec et leur distribution spatiale horizontale (% de capture totale à 20 m dans la forêt, à l'écotone et à 400 m à l'intérieur de la bleuetière) et verticale, soit au sol (piège fosse), dans la végétation (filet fauchoir) et dans le milieu aérien (piège Malaise), ainsi que la présence temporelle des adultes capturés. La capture totale est la somme des individus capturés toutes techniques (incluant la collecte sélective) bleuetières et années confondues. Les cases ombrées indiquent les pics d'abondance.

Sous-genre (capture totale)	Distribution (%)*		Technique (capture totale)	Distribution temporelle des captures									
	Écotone	Bleuetière		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre	
				16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15
<i>Dialictus</i> spp. (369)	48%	52%	Piège Fosse (336)	0	0	43	73	52	22	33	113	-	
			Filet Fauchoir (5)	0	1	1	0	0	1	2	0	0	
			Piège Malaise (28)	0	7	5	11	5	0	0	0	-	
<i>Evylaeus</i> spp. (762)	32%	68%	Piège Fosse (753)	0	11	56	34	4	87	416	145	-	
			Filet Fauchoir (9)	0	4	2	2	1	0	0	0	0	
			Piège Malaise (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
<i>Halictus</i> spp. (83)	75%	25%	Piège Fosse (48)	0	0	0	33	8	4	0	3	-	
			Filet Fauchoir (2)	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
			Piège Malaise (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
<i>Lasioglossum</i> spp. (334)	49%	51%	Piège Fosse (322)	28	8	4	15	8	9	240	10	-	
			Filet Fauchoir (3)	2	0	1	0	0	0	0	0	0	
			Piège Malaise (9)	0	1	0	0	0	8	0	0	-	

* insectes capturés à l'aide des techniques du filet fauchoir, collecte sélective et piège fosse.

4.4.2 INSECTES NUISIBLES

4.4.2.1 INVENTAIRE ENTOMOLOGIQUE

Selon nos relevés (tabl. 4.4) les insectes potentiellement nuisibles à la production du bleuet nain les plus abondants (plus de 500 individus) sont par ordre d'importance : le cercope de l'airelle (*Clastoptera saintcyri* Provancher), l'altise de l'airelle (*Altica sylvia* Malloch) et les criquets (*Melanoplus* spp.). Les espèces ayant une abondance moyenne (de 50 à 500 individus) sont par ordre d'importance : la galéruque de l'airelle (*Tricholochmaea vaccinii* Fall), la tenthrède du bleuet (*Neopareophora litura*), le porte-case du bleuet

(*Neochlamisus cribripennis*) et une espèce nouvellement considérée nuisible dans les bleuetières du Québec, décrétée lors de ce projet, l'arpenreuse du bleuet (*Macaria andersoni andersoni* Swett). Les insectes potentiellement nuisibles de faible abondance (moins de 50 individus) sont par ordre d'importance : le charançon de l'airelle (*Anthonomus musculus* Say), la tisseuse du bleuet (*Croesia curvalana* Kearfott), le ptéromale galligène (*Hemadas nubilipennis*), les scarabées des feuilles (*Serica tristis* LeConte et *S. atracapila* Kirby) et la tordeuse du bleuet (*Aroga trialbamaculella* Chambers). D'autres taxons potentiellement nuisibles ont été récoltés en faible nombre, soit moins de 5 individus. Il s'agit de l'arpenreuse caténaire (*Cingilia catenaria* Drury), les chenilles à houppes blanches (*Orgyia leucostigma* J.E. Smith) et rousses (*Orgyia antiqua* Linnaeus), la tordeuse soufrée (*Sparganothis sulfureana* Clemens), la cigale ridée (*Okanagana rimosa* Say) et les thrips du bleuet (*Frankliniella* spp.). Aucun individu des insectes potentiellement nuisibles suivants n'a été capturé : la mouche du bleuet (*Rhagoletis mendax* Curran) et la légionnaire noire (*Actebia fennica* Tauscher).

4.4.2.2 DISTRIBUTION HORIZONTALE ET VERTICALE

Les espèces potentiellement nuisibles étaient généralement plus abondantes à l'intérieur de la bleuetière (tabl. 4.4). Ces espèces font partie de l'ordre des Hyménoptères, des Orthoptères et des Coléoptères. Il existe toutefois des exceptions, la galéruque et le cercope de l'airelle dont la présence est influencée par le facteur distance (forêt -20 m, écotone 0 m et bleuetière 400 m) ($F_{2, 57} = 5.65$; $P = 0.001$ et $F_{2, 57} = 8.01$; $P = 0.0009$, respectivement) qui sont rencontrés en plus grand nombre à l'écotone. Ainsi que les espèces de Lépidoptères, telles l'arpenreuse et la tisseuse du bleuet, ainsi que le charançon de l'airelle ($F_{2, 57} = 4.19$; $P = 0.007$, $F_{2, 57} = 3.65$; $P = 0.03$ et $F_{2, 57} = 3.73$; $P = 0.02$, respectivement) qui sont capturés en plus grand nombre sur les bleuetiers situés en forêt et à l'écotone par rapport à la bleuetière. Les espèces potentiellement nuisibles se trouvent principalement au niveau de la végétation (filet fauchoir), à l'exception des criquets qui sont plus nombreux au sol.

4.4.2.3 PRÉSENCE TEMPORELLE DES STADES VITAUX

Les pics de présence du porte-case immature et adulte étaient en juillet (IC à 95%, 17 ± 4.1 juillet) et en août (IC à 95%, 14 ± 4.8 août), respectivement. La présence saisonnière du charançon et de la galéruque adultes est bimodale avec deux pics d'abondance, soit au début de juin (IC à 95%, 20 ± 4.2 juin et 6 ± 5.5 juin, respectivement) et en fin de saison (IC à 95%, 6 ± 2.9 août et 4 ± 3.7 septembre, respectivement) alors que les larves sont plus nombreuses en août (IC à 95%, 19 ± 4.2 août). Le pic d'abondance des larves de l'altise est en juin (IC à 95%, 10 ± 3.5 juin) alors que les adultes sont plus abondants aux mois de juillet et d'août (IC à 95%, 13 ± 6.3 juillet). Il n'y a presque plus de larves d'altises dans la végétation à partir du début de juillet. Par ailleurs, à cette même période (début juillet), beaucoup de nouveaux adultes ont été récoltés dans le milieu aérien (piège Malaise) et par la suite au sol (piège fosse) à partir de la fin juillet. Les scarabées des feuilles sont présents tôt en saison (mai et début juin). Le cercope adulte est capturé en plus grand nombre au milieu de l'été (IC à 95%, 5 ± 6.7 août). Les chenilles (Lépidoptères) potentiellement nuisibles, telles l'arpenteuse et la tisseuse du bleuet, ainsi que le ptéromale galligène, sont présentes seulement au début de la saison avec des pics d'abondance en juin (IC à 95%, 10 ± 3.9 juin, 8 ± 4.1 juin et 23 ± 6.8 juin, respectivement). À partir de la mi-juillet, ces insectes deviennent rares ou absents des pièges. À l'exception de la tordeuse du bleuet dont la larve est présente de la mi-juillet jusqu'à la fin d'août. Pour ce qui est des criquets, ils sont capturés de juin à septembre avec un pic d'abondance à la mi-juillet (IC à 95%, 15 ± 10.9 juillet). À partir de septembre, aucun insecte nuisible n'est récolté.

Tableau 4. 4 Insectes nuisibles associés aux bleuettières du Québec et leur distribution spatiale horizontale (% de capture totale à 20 m dans la forêt, à l'écotone forêt et bleuettière et à 400 m à l'intérieur de la bleuettière) et verticale (au sol (piège fosse), dans la végétation (filet fauchoir) et dans le milieu aérien (piège Malaise)), ainsi que la présence temporelle des adultes capturés. La capture totale est la somme des individus capturés toutes techniques, bleuettières et années confondues. Les cases ombrées indiquent les pics d'abondance. Les valeurs suivies de lettres différentes indiquent significativement ($P \leq 0,05$). Dans la distribution temporelle des captures les insectes immatures sont en gris et les adultes en noir.

Ordre (Famille)	Taxon ou Espèce (Capture Totale)	Distribution (%) ¹			Technique (capture totale)	Mai				Juin				Juillet				Août				Septembre			
		Forêt	Écotone	Bleuetière		16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-31	1-15	16-31	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	
Coléoptère (Chrysomelidae)	Porte-casse du bleuët, <i>Neochlamisus cribripennis</i> (81)	0% a	37% b	63% c	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					Filet Fauchoir (81)	1; 0	3; 0	5; 0	22; 3	31; 1	1; 8	0; 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Coléoptère (Chrysomelidae)	Gallérue de l'airelle, <i>Tricholochmaea vaccinii</i> (271)	24% a	61% b	15% a	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					Filet Fauchoir (271)	0; 44	0; 45	0; 31	1; 24	3; 5	5; 13	11; 35	1; 53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Coléoptère (Chrysomelidae)	Alise du bleuët, <i>Altica sylvia</i> (2640)	4% a	39% b	57% c	Piège Fosse (1086)	0; 0	35; 0	0; 0	0; 44	0; 333	0; 211	0; 194	0; 269	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					Filet Fauchoir (1335)	61; 0	226; 16	204; 13	4; 167	0; 168	0; 314	0; 112	0; 50	0; 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (419)	-	0; 0	0; 0	0; 390	0; 0	0; 6	0; 23	0; 0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Coléoptère (Scarabaeidae)	Scarabée des feuilles, <i>Serica tristis</i> et <i>S. a tricapila</i> (6)	0% a	0% a	100% b	Piège Fosse (1)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
					Filet Fauchoir (5)	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Coléoptère (Curculionidae)	Charançon de l'airelle, <i>Anthonomus musculus</i> (42)	61% a	22% b	17% b	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Filet Fauchoir (42)	2	3	7	1	6	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Homoptère (Cercopidae)	Cercope de l'airelle, <i>Clastoptera saintcyri</i> (3314)	3% a	61% b	36% c	Piège Fosse (4)	0	0	0	0	0	0	0; 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Filet Fauchoir (3310)	0; 0	0; 0	0; 1	3; 32	29; 1083	13; 1681	0; 426	1; 41	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Hyménoptère (Tenthredinidae)	Tenthrède du bleuët, <i>Neopareophora litura</i> (144)	14% a	37% b	49% b	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Filet Fauchoir (144)	4	88	50	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Hyménoptère (Pteromalidae)	Ptéromalie galligène, <i>Hemadas nubilipennis</i> (9)	0% a	38% b	62% b	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Filet Fauchoir (9)	1	1	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Lépidoptère (Geometridae)	Arpenteuse du bleuët, <i>Macaria andersoni andersoni</i> (52)	68% a	13% b	19% b	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Filet Fauchoir (51)	1	32	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (1)	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Lépidoptère (Tortricidae)	Tisseuse du bleuët, <i>Croesia curvalana</i> (16)	57% a	29% b	14% b	Piège Fosse (1)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Filet Fauchoir (13)	2	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (2)	-	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Lépidoptère (Gelechiidae)	Tordeuse du bleuët, <i>Aregea trialbamaculella</i> (5)	45% a	44% a	11% a	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Filet Fauchoir (5)	0	0	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Orthoptère (Acrididae)	Criquets, <i>Melanoplus</i> spp. (1006)*	14% a	35% b	52% c	Piège Fosse (902)	0	68	125	440	6	163	14	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
					Filet Fauchoir (93)	0	3	16	36	20	16	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
					Piège Malaise (11)	-	1	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

*Nymphes et adultes

¹Insectes capturés à l'aide de la technique du filet fauchoir seulement

4.4.3 ALLIÉS : INSECTES PRÉDATEURS ET PARASITOÏDES D'INSECTES NUISIBLES

4.4.3.1 INVENTAIRE ENTOMOLOGIQUE

Les insectes potentiellement alliés les plus abondants (plus de 500 individus) sont par ordre d'importance : loin devant les guêpes parasitoïdes, les araignées loups et les mouches tachinaires (tabl. 4.5). Les espèces ayant une abondance moyenne (de 50 à 500 individus) sont par ordre d'importance : presque *ex æquo* les guêpes fouisseuses (dont le genre *Podalomia*), les araignées sauteuses et les cicindèles, suivi des punaises demoiselles (comprenant les espèces *Nabica Flavomarginata* (Scholtz, 1847) et *Nabis americanoferus* (Carayon), de la lèbie noire (*Lebia moesta* LeConte) et du calosome chaud (*Calosoma calidum* Fabricius). Les espèces de faible abondance (moins de 50 individus) sont par ordre d'importance : les punaises assassines (dont l'espèce *Sinea diadema* (Fabricius)), les punaises à bouclier et les punaises aux grands yeux (principalement *Geocoris bullatus* (Say)), les araignées philodromes et les guêpes maçonnes (fig. 4.8). Ces dernières étaient le principal groupe d'alliés prédateurs d'insectes nuisibles capturé dans les nichoirs (fig. 4.9).



Figure 4. 9 Guêpe maçonne (Vespidae : Eumeninae).



Figure 4. 8 Nid de la guêpe maçonne composé de cellules remplies de chenilles dont s'alimente la larve.

4.4.3.2 DISTRIBUTION VERTICALE ET HORIZONTALE

Les espèces potentiellement alliées sont majoritairement plus abondantes à l'écotone entre le milieu forestier et la bleuetière. Ainsi, la présence des punaises assassines, de la lébie noire et de l'araignée-loup est influencée par la distance (forêt -20 m, écotone 0 m et bleuetière 400 m) ($F_{2, 57} = 9.51$; $P = 0.0007$; $F_{2, 57} = 8.01$; $P = 0.002$ et $F_{2, 57} = 10.72$; $P = 0.0002$, respectivement) étant significativement supérieures à l'écotone. Les exceptions sont les punaises aux grands yeux et les guêpes parasitoïdes dont l'abondance est aussi influencée par le facteur distance ($F_{2, 57} = 9.48$; $P = 0.0008$ et $F_{2, 57} = 3.65$; $P = 0.02$, respectivement), mais qui se trouvent en plus grand nombre à l'intérieur de la bleuetière. Les araignées philodromes et le calosome chaud sont aussi nombreux dans la bleuetière qu'à l'écotone. Les mouches tachinaires et les araignées sauteuses font aussi exception. Aussi influencées par la distance ($F_{2, 57} = 7.98$; $P = 0.002$ et $F_{2, 57} = 10.09$; $P = 0.0003$, respectivement), elles sont, différemment des autres taxons, plus nombreuses en forêt. Aucun représentant des groupes suivants n'a été capturé dans le milieu forestier, soient les carabes, les punaises réduves et aux grands yeux, de même que les guêpes fouisseuses.

Les Hétéroptères sont capturés principalement sur la végétation (filet fauchoir). Seuls les adultes des punaises assassines, à bouclier et aux grands yeux se trouvent au sol (piège fosse) très tôt en saison (mai) ou en fin d'été. Les pics d'abondance de ces punaises adultes se situent en été (IC à 95%, 19 ± 7.5 août, 22 ± 9.2 juillet et 19 ± 6.6 juillet, respectivement), mais chez les punaises aux grands yeux une quantité maximale d'adultes est observée au sol au début de septembre (IC à 95%, 5 ± 3.2 septembre). En saison estivale, les guêpes maçonnes se trouvent sur la végétation alors qu'elles sont récoltées au sol en fin de saison. Les guêpes parasitoïdes sont plus nombreuses dans le milieu aérien. Elles sont présentes en abondance tout au long de la saison estivale avec un pic d'abondance au début d'août (IC à 95%, 03 ± 15.1 août). Les guêpes fouisseuses sont capturées majoritairement au niveau du sol où elles sont particulièrement abondantes en fin d'été, présentant un pic au début de septembre (IC à 95%, 05 ± 10.6 septembre). Les carabes et les cicindèles s'observent en grande partie au sol à l'exception de la lébie qui se trouve principalement dans la végétation. Le calosome chaud est particulièrement abondant en début de saison présentant un pic d'abondance au début de juin (IC à 95%, 11 ± 4.3 juin). Les mouches tachinaires, plus abondantes en début de

saison avec un pic de présence au début de juillet (IC à 95%, 07 ± 10.8 juillet), sont principalement capturées dans le milieu aérien. Les araignées loups se trouvent principalement au sol alors que les araignées philodromes sont plutôt récoltées dans la végétation. Les araignées loups et les araignées philodromes sont plus abondantes en début et en fin de saison présentant les pics d'abondance suivants : IC à 95%, 13 ± 11.5 juin et 03 ± 9.1 septembre ainsi que 23 ± 8.7 mai et 07 ± 3.6 août, respectivement). Les araignées sauteuses sont capturées à la fois au sol et sur la végétation tout au long de la saison avec un pic d'abondance au sol en fin d'été (IC à 95%, 05 ± 11.2 septembre) et une présence accrue dans la végétation au début d'août.

Tableau 4.5 Alliés potentiels, arthropodes prédateurs et parasitoïdes, associés aux bleuetières du Québec ainsi que leur distribution spatiale (% de capture totale), leur présence temporelle et leurs proies validées lors d'un élevage en laboratoire. La capture totale est la somme des individus capturés à l'aide de chacune des techniques pour l'ensemble des bleuetières. Les cases ombrées indiquent les pics d'abondance. Les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement ($P \leq 0,05$). Dans la distribution temporelle des captures les insectes immatures sont en gris et les adultes en noir.

Ordre (famille)	Taxon (capture totale)	Proies validées	Distribution (%) [*]	Technique (capture totale)	Distribution temporelle des captures														
					Forêt	Écotone	Bleuetière	Mai				Juin				Juillet			
								16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15
Hétéroptère (Pentatomidae)	Punaises à bouclier, <i>Apanteles</i> et <i>Euschistus</i> spp. (39)	ND	41a 42a 17b	Piège Fosse (1)	0; 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
				Filet Fauchoir (38)	0	0	0	1; 1	7; 0	4; 3	15; 1	5; 1	0	0	0	0			
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hétéroptère (Reduviidae)	Punaise assassine, <i>Sinea diadema</i> (40)	Chenilles Tenthrède du bleuet	0a 58b 42c	Piège Fosse (4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0; 4	0	-			
				Filet Fauchoir (38)	0	2; 0	4; 0	4; 2	5; 0	5; 3	2; 2	6; 1	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-			
Hétéroptère (Nabidae)	Punaises demoiselles, <i>Nabis</i> et <i>Nabucula</i> spp. (165)	Tenthrède du bleuet Petites chenilles	21a 41b 38ab	Piège Fosse (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-			
				Filet Fauchoir (165)	1; 0	1; 4	2; 5	5; 8	17; 8	41; 23	10; 15	15; 10	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-			
Hétéroptère (Lygaeidae)	Punaises aux grands yeux, <i>Geocoris</i> spp. (274)	Tenthrède du bleuet Petites chenilles	0a 33b 67c	Piège Fosse (248)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0; 248	-	-			
				Filet Fauchoir (28)	0	0; 2	1; 2	1; 6	0; 7	1; 5	0; 1	0	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-			
Hyménoptère (Vespidae)	Guêpes maçonnnes <i>Eumeninae</i> (4)	Petites chenilles	-	Piège Fosse (2)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	-	-			
				Filet Fauchoir (2)	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hyménoptère (Ichneumonidae et Braconidae)	Guêpes parasitoïdes ND (1305)	Chenilles Galéruque de l'airelle	21a 33ab 46b	Piège Fosse (225)	0	9	62	38	2	84	4	28	-	-	-				
				Filet Fauchoir (366)	21	48	28	43	92	71	44	16	3	0	0				
				Piège Malaise (714)	-	52	195	89	129	138	111	0	-	0	0				
Hyménoptère (Sphecidae)	Guêpes fouisseuses <i>Sphecinae</i> (264)	ND	0a 56b 44c	Piège Fosse (247)	0	10	1	21	3	44	0	168	-	-	-				
				Filet Fauchoir (7)	0	1	0	1	1	3	1	0	0	0	0				
				Piège Malaise (10)	-	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0				
Coléoptère (Carabidae)	Cabosome chaud <i>Calosoma calidum</i> (75)	Cricquets Grosses chenilles	- 48a 52a	Piège Fosse (75)	9	36	11	8	0	6	1	4	-	-	-				
				Filet Fauchoir (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Coléoptère (Cicindelidae)	Cicindèles <i>Cicindela</i> spp. (256)	ND	- 57a 43b	Piège Fosse (254)	9	63	38	65	20	58	1	0	-	-	-				
				Filet Fauchoir (2)	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Coléoptère (Carabidae)	Lébie noire <i>Lebia moesta</i> (95)	Altise du bleuet (larve) Galéruque de l'airelle (larve)	0a 58b 42c	Piège Fosse (2)	1	0	0	1	0	0	0	0	-	-	-				
				Filet Fauchoir (78)	1	13	4	4	11	32	12	1	0	0	0				
				Piège Malaise (15)	-	0	0	0	0	15	0	0	-	-	-				
Diptère (Tachinidae)	Mouches tachinaires ND (510)	Chenilles Cricquets Galéruque de l'airelle	52a 35b 13c	Piège Fosse (86)	0	3	0	84	0	0	0	1	-	-	-				
				Filet Fauchoir (31)	0	6	5	1	6	3	5	5	0	0	0				
				Piège Malaise (391)	-	69	129	124	37	21	11	0	-	-	-				
Aranéides (Salticidae)	Araignées sauteuses ND (259)	Petits papillons Homoptères	65a 24b 12b	Piège Fosse (184)	0	5	33	29	10	5	8	94	-	-	-				
				Filet Fauchoir (75)	4	5	6	7	8	21	9	15	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-				
Aranéides (Lycosidae)	Araignées lous ND (639)	Chenilles Homoptères	- 64a 36b	Piège Fosse (825)	18	180	57	147	37	38	54	94	-	-	-				
				Filet Fauchoir (14)	2	1	1	2	1	2	1	4	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-				
Aranéides (Phidromidae)	Araignées phidromes <i>Thanatus</i> et <i>Tibellus</i> spp. (35)	ND	29a 33a 38a	Piège Fosse (1)	0	0	0	1	0	0	0	0	-	-	-				
				Filet Fauchoir (34)	5	2	4	3	3	12	3	2	0	0	0				
				Piège Malaise (0)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-				

*insectes capturés à l'aide de la technique du filet fauchoir seulement.

4.5 DISCUSSION

4.5.1 INVENTAIRE, ABONDANCE ET BIOLOGIE DES POLLINISATEURS

BOURDONS ET HALICTIDÉS TOUJOURS MAJORITAIRES

Une revue de littérature (Boulanger *et al.*, 1967; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985) nous a permis de monter une liste des insectes pollinisateurs des bleuetières du Québec. Les principaux représentants de cette guilda sont les bourdons indigènes (*Bombus* spp.) et les Halictidae. Les autres groupes d'abeilles présentes sont : les Andrenidae, les Colletidae, les mégachiles (Megachilidae), les osmies (Megachilidae) ainsi que les abeilles parasites des genres *Nomada* (Apidae) et *Sphecodes* (Halictidae). Pour ce qui est des Diptères, les principales familles impliquées sont les Syrphidae, les Bombyliidae et les Conopidae. Les Vespidae et les Lépidoptères adultes butinent aussi les fleurs du bleuetier nain (Finnamore et Neary, 1978).

Plus spécifiquement, en 1967 (Boulanger *et al.*, 1967), en 1978 (Finnamore et Neary, 1978) ainsi qu'en 1982-1983 (Morrissette *et al.*, 1985), la majorité de la force pollinisatrice des bleuetières du Québec provenait de deux espèces de bourdons : *Bombus ternarius* et *B. terricola*; ainsi que de deux espèces d'halictidés : *Dialictus pilosus* Smith et *Evylaeus quebecensis* Crawford. Les espèces de bourdons capturées dans les bleuetières du Québec de 1967 à 1983 étaient : *Bombus borealis*, *B. fervidus*, *B. rufocinctus* Cresson, *B. sandersoni*, *B. ternarius*, *B. terricola*, *B. vagans vagans*, *B. (Psythirus) ashtoni* (Cresson), *B. (Psythirus) fernaldae* et *B. (Psythirus) insularis*. Les sous-genres d'Halictidae alors présents étaient : *Halictus*, *Lasioglossum*, *Evylaeus*, *Dialictus* ainsi que le genre *Sphecodes* (parasites). Les résultats obtenus concordent avec ces études, les taxons de pollinisateurs les plus présents étant toujours les Halictidae et les Bombinae. Les Sarcophagidae sont aussi abondants, mais étant des Diptères leur efficacité de pollinisation du bleuetier nain est généralement considérée faible relativement aux abeilles (Phipps, 1930; Wood, 1968; Jobin et Bigras, 1969; Bigras-Huot *et al.*, 1973; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985). Chez les Halictidae, le sous-genre *Evylaeus* est toujours dominant suivi des sous-genres *Dialictus* et *Lasioglossum*. Par ailleurs, ce dernier sous-genre semble avoir pris de l'ampleur depuis

Boulanger *et al.* (1967) et Morrisette *et al.* (1985). Ces derniers mentionnaient alors que la seule espèce du genre récoltée en bleuetière était *Lasioglossum athabascense* Sandhouse et qu'elle était de faible abondance.

Selon Colla et Packer (2008), les bourdons sont très vulnérables à une extinction due, entre autres, au long cycle vital de leur colonie qui couvre toute la saison estivale ainsi qu'à la présence nécessaire de trois types d'habitats à proximité : site de butinage, de nichage et de diapause hivernale. Dans ce sens, les résultats de cette étude indiquent que les espèces associées aux bleuetières, qui sont ou qui furent très abondantes, soit *Bombus ternarius*, *B. terricola*, *B. borealis* et *B. frigidus* : 1. butinent la fleur du bleuetier nain; 2. nichent dans le sol (Plath, 1934 dans Bohart, 1956) vraisemblablement à l'intérieur de nids de petits rongeurs qui sont visiblement (abondance d'excréments hivernaux) nombreux en bleuetières (Obs. Pers. Desjardins) et 3. reviennent en bleuetière en fin de saison vraisemblablement pour y passer leur diapause hivernale au sol. Cette affirmation découle des nombreuses captures de ces espèces dans les pièges fosses à cette période de l'année.

DÉCLIN DE *BOMBUS TERRICOLA* ET *B. (PSYTHIRUS) ASHTONI*

Bombus rufocinctus et *B. (Psythirus) ashtoni*, bourdons jadis présents en bleuetières, n'ont pas été relevés lors de cette étude. *B. rufocinctus* vient possiblement des milieux entourant les bleuetières, étant peu adapté à cette espèce végétale. Son déclin est probablement imputable aux dimensions grandissantes des bleuetières ainsi qu'à l'utilisation accrue d'herbicides diminuant la présence de plantes adventices. Ce manque d'adaptation à la fleur du bleuetier nain vient de sa langue qui est, selon Laverty et Harder (1988), la plus courte de toutes les espèces d'Amérique du Nord. Cette faible dimension rend difficile la récolte du nectar de fleurs profondes (Holm, 1966) comme celles du bleuetier nain. De plus, selon Laverty et Harder (1988) les reines sortent tard au printemps. Les ouvrières ne peuvent vraisemblablement pas profiter de la manne florale (période de floraison du bleuetier) pour nourrir la colonie en expansion. Cette espèce présente donc un faible synchronisme avec la floraison du bleuetier nain.

Les espèces les plus abondamment récoltées diffèrent des études antérieures. Les résultats de cette étude révèlent que *Bombus ternarius* et *B. borealis* sont, de loin, les espèces

les plus abondantes. *Bombus terricola* qui était par le passé, selon Boulanger *et al.* (1967), Bigras-Huot *et al.* (1973), Finnamore et Neary (1978) et Morrisette *et al.* (1985), une des principales espèces composant la force pollinisatrice des bleuetières, a été capturée ici en très faible nombre et son principal parasite *B. (Psithyrus) ashtoni* était absent de nos relevés. Ces observations concordent avec le signalement de Colla et Packer (2008) d'un déclin évident de *Bombus terricola* et de *B. ashtoni* dans l'Est de l'Amérique du Nord. Les quelques individus de l'espèce *B. terricola* ont été capturés principalement sur la Côte-Nord : région encore peu habitée, très faiblement agricole et comportant encore de grandes superficies de forêt. En plus de la perte ou de la dégradation de leur habitat et de l'utilisation de pesticides (Johansen, 1977; Thompson, 2003), il est possible que l'introduction de pollinisateurs commerciaux soit une des causes du déclin de *Bombus terricola* et de *B. ashtoni* (Thorp 2003; Colla *et al.*, 2006). Depuis les années 1990 (Aras *et al.* 1996), les producteurs introduisent massivement des ruches d'abeille domestique en bleuetières ainsi que, depuis quelques années, des ruchettes de bourdon (*Bombus impatiens*) commerciales (Desjardins et de Oliveira 2006) afin de répondre aux besoins de pollinisation de cette production. L'introduction de colonies commerciales atteintes de pathogènes pourrait contaminer les colonies de bourdons indigènes (Thorp, 2003; Colla *et al.*, 2006). Selon Chagnon (2008), en Amérique du Nord, la baisse catastrophique de certaines espèces de bourdons depuis les années 1990 est probablement imputable à l'introduction accidentelle de parasites exotiques venus d'Europe. L'étude de Colla *et al.* (2006) vient appuyer cette affirmation en démontrant la présence de parasites chez les bourdons indigènes provenant de ruchettes commerciales introduites dans les serres. La perte d'habitats et l'utilisation de pesticides dont les néonicotinoïdes qui sont toxiques pour les abeilles, sont aussi vraisemblablement en cause (Marletto *et al.*, 2003; Kearns et Inouye, 1997). Une compétition trop importante entre les pollinisateurs introduits et indigènes pour la ressource florale pourrait aussi être impliquée (Paton, 1996). Par exemple, en Australie, l'impact négatif de l'introduction de l'abeille domestique sur les abeilles indigènes a été démontré (Paton, 1993; Goulson, 2003; Paini, 2004). Thomson (2004) observe une compétition entre l'abeille domestique et *Bombus occidentalis* pour le nectar affectant le succès de reproduction de ce dernier. Il note aussi une diminution des bourdons indigènes à proximité des ruches d'abeille domestique ainsi qu'un chevauchement important de leurs niches écologiques, nuisible aux bourdons (Thomson, 2006).

Semblablement à *Bombus frigidus*, *B. borealis* et *B. ternarius*, des individus *B. terricola* ont été capturés au sol en fin d'été. Les reines de ces espèces reviennent vraisemblablement en bleuetière pour leur diapause hivernale. Toutefois, le faible nombre d'individus (*Bombus terricola*) qui étaient, en plus, de petite dimension, ne permet pas d'affirmer avec certitude un retour des reines de cette espèce. Mais si tel était le cas, *Bombus terricola* serait plus hâtif que *B. frigidus*, *B. borealis* et *B. ternarius*, revenant en bleuetière à la fin de juillet. Ainsi, les reines *Bombus terricola* chercheraient un site de diapause hivernale concordant avec le début de la récolte de bleuets pouvant à long terme nuire à la population de cette espèce, surtout depuis l'utilisation de machinerie (récolteuse) imposante.

Bombus ashtoni, est un parasite de *B. terricola* et de *B. affinis* (Lavery et Harder, 1988). Cette dernière espèce hôte n'ayant pas été capturée en bleuetière, il est attendu que la population de *B. ashtoni* suit la dynamique de sa seule population hôte : *B. terricola*. Le déclin important de ces deux espèces de bourdons libère des niches écologiques qui peuvent être récupérées par d'autres espèces (Richardson *et al.*, 2000) tels *Bombus borealis* et *B. frigidus* dont l'abondance a fortement augmenté dans les bleuetières du Québec.

ESSOR DE *BOMBUS BOREALIS* ET *B. FRIGIDUS*

Bombus borealis Kirby ainsi que *B. frigidus*, une nouvelle espèce capturée dans les bleuetières du Québec, sont après *B. ternarius* les espèces de bourdons les plus abondantes. *Bombus frigidus* est une espèce arctique et subarctique dont l'émergence printanière hâtive concorde avec le déploiement des fleurs du saule (Vogt et Heinrich, 1994). Il n'est donc pas surprenant qu'elle soit associée au bleuetier nain une espèce végétale relativement nordique à floraison printanière. Dans la région du Lac-Saint-Jean seulement, *Bombus borealis* est aujourd'hui aussi abondant que l'était jadis *Bombus terricola* et semble ainsi s'être approprié sa niche écologique. Toutefois, *Bombus borealis* reste peu abondant sur la Côte-Nord et n'a pas été capturé dans les bleuetières situées plus au nord, soit à Pointe-Lebel (49°09'N 68°15'O) et à Gallix (50°08'N 66°37'O). Selon Lavery et Harder (1988), à cette époque, *Bombus borealis* se trouvait au sud du Québec ainsi que dans les bleuetières des Maritimes, de Terre-Neuve, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse (Boulanger *et al.*, 1967; Finnamore et Neary, 1978). Selon Gixti *et al.* (2008), *Bombus borealis* était

présent dans le nord du mid-ouest américain et est maintenant disparu de cette région. Son aire de répartition semble donc s'être étendue vers le nord semblablement à plusieurs autres espèces d'insecte vraisemblablement en lien avec le réchauffement climatique (Hill *et al.*, 1999; Parmesan *et al.*, 1999; Crozier, 2003; Root *et al.*, 2003; Hickling *et al.*, 2006). Il est probable que *Bombus borealis* se soit accaparé la niche écologique de *B. terricola*; ces deux espèces butinant le bleuetier nain, effectuant probablement leur diapause hivernale et nichant dans le sol (Plath, 1934 dans Bohart, 1956) des bleuetières. Ils utiliseraient comme site de nidification les nids de petits rongeurs, nombreux en bleuetières (Obs. Pers. Desjardins). De plus, selon Laverty et Harder (1988), *Bombus borealis* a une langue plus longue que celle de *B. terricola*. Cette langue de grande dimension devrait l'avantager en lui conférant une rapidité et une efficacité accrues lors du butinage des fleurs profondes du bleuetier nain (Holm, 1966; Inouye, 1980). Dans ce sens, *B. terricola* est reconnu pour percer des trous sur le côté des corolles de fleurs profondes comme celle du bleuetier afin de pouvoir atteindre les nectaires (Brian, 1954 et Laverty et Harder, 1988). Il va ainsi chercher le nectar sans déposer de grains de pollen sur le stigmate de la fleur visitée. Ce comportement affecte son efficacité en tant que pollinisateur du bleuetier nain.

MEGACHILIDAE : GENRE *OSMIA* DANS LES NICHOS

Les autres groupes d'abeilles (Apoïdae) rencontrés en relativement grand nombre sont les osmies et la *Megachile melanophoea* qui font partie de la famille des Megachilidae. Selon les observations de Morrissette *et al.* (1985), en bleuetière, les osmies ne semblent pas nicher au sol, aucun des nichoirs qu'ils avaient alors installés n'ayant été colonisés par ces abeilles. Différemment, dans notre étude, les osmies étaient les principales abeilles colonisatrices des nichoirs implantés en bleuetières. Malgré une faible récolte d'individus, nous considérons que cette abeille a un excellent potentiel comme pollinisateur à domestiquer en vue de remplacer la *Megachile rotundata*. Cette espèce introduite dans les bleuetières du Québec provient de régions plus méridionales (Kemp et Bosch, 2002) et, selon l'étude présentée précédemment (Chapitre II), celle-ci est peu adaptée au climat nordique. Le potentiel des abeilles du genre *Osmia* comme agent de pollinisation des bleuetières nordiques découle, entre autres, de son comportement de butinage et de l'aire de distribution de

plusieurs espèces associées au bleuetier nain qui s'étend au Nord québécois (Mitchell, 1962). Les osmies devraient être mieux adaptées à la morphologie de la fleur du bleuetier nain ayant coévolué avec cette espèce végétale. De plus, selon nos résultats, la présence de cette abeille couvre toute la période de floraison du bleuetier nain. Aussi, cette dernière, comme les bourdons, pratique la sonification ou la pollinisation vibratile (vibration du thorax) et est ainsi mieux adaptée à la fleur du bleuetier nain pourvue d'anthères poricides nécessitant des vibrations afin de libérer le pollen (Buchmann, 1983 dans Mohr et Kevan, 1987). L'insecte ainsi saupoudré est beaucoup plus apte à déposer une bonne quantité de pollen sur le stigmate des fleurs visitées (Buchmann, 1983 dans Mohr et Kevan, 1987).

Les nichoirs ont permis de mieux cerner le cycle de vie des espèces d'osmie qui y sont présentes. Ces espèces sont univoltines et solitaires, mais ont la capacité d'être grégaires pouvant nicher en grand nombre près les unes des autres. Elles affichent une protandrie. Au printemps, les mâles adultes sortent en premier du nid en attendant la sortie des femelles afin de s'accoupler. Une fois fécondées, les femelles fabriquent à l'intérieur des trous cylindriques des nichoirs de bois un nid formé de plusieurs cellules contenant chacune une balle de pollen et un œuf. Les cloisons des cellules sont fabriquées de matière végétale mastiquée. Durant l'été, les œufs éclosent et les jeunes larves se nourrissent de la réserve de pollen. Elles se transforment ensuite en nymphes, puis en adultes et passent l'hiver à ce stade, à l'intérieur du nid.

La principale espèce de mégachile rencontrée en bleuetière est *Megachile melanophoea*. Celle-ci apparaît un peu plus tard que les autres taxons d'abeilles au moment de la période de floraison du bleuetier. Selon nos observations, cette espèce niche dans le sol fabriquant un nid de feuilles découpées à l'aide de ses mandibules.

DÉCLIN DES ANDRENIDAE

Jadis, les Andrenidae étaient des pollinisateurs importants des bleuetières dont l'abondance était de beaucoup supérieure à celle des Megachilidae (Boulanger *et al.*, 1967; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985). Aujourd'hui, nos résultats indiquent que les Andrenidae sont moins abondantes que les autres taxons d'abeilles rencontrés dans les bleuetières du Québec. Ce déclin peut être expliqué par une augmentation importante des

superficies de production rendant leur colonisation par l'andrène plus difficile. Le cycle de production du bleuet nain s'étend sur deux ans. La première année, un émondage (taille au ras du sol) des bleuetiers est exercé à l'aide de machinerie imposante. Ces bleuetiers ne produiront alors pas de fleurs (année de végétation) poussant ces abeilles à quitter le champ. Les Andrenidae ayant niché ailleurs devront recoloniser ces grandes superficies en fleurs seulement lors de la deuxième année de croissance du bleuetier. Aussi, plusieurs parasites associés aux bleuetières, soient les Hyménoptères du genre *Nomada* ainsi que les Diptères de la famille des Bombyliidae et des Conopidae, semblent s'attaquer principalement à cette famille d'abeilles (Morrissette *et al.*, 1985) affectant plus fortement leurs populations.

AUTRES POLLINISATEURS

Les guêpes à papier (reines) dont la guêpe à taches blanches (*Dolichovespula maculata* Linnaeus) étaient aussi en relativement grand nombre. Par ailleurs, celles-ci en plus d'être des prédateurs d'arthropodes butinent les fleurs (Spradbery, 1973), ici du bleuetier nain. Ses diverses sources alimentaires font de cet insecte un pollinisateur probablement moins efficace que les abeilles qui sont spécialisées dans la récolte de pollen et de nectar. De plus, tel que démontré par nos résultats ainsi que par ceux de Karem *et al.* (2006), les guêpes (Hymenoptera : Vespidae) présentes en bleuetières semblent étroitement liées au milieu forestier, leur abondance y étant supérieure. Les guêpes à papier du genre *Dolichovespula*, telle la guêpe à taches blanches, une espèce associée aux bleuetières, nichent habituellement dans le milieu aérien dans les arbres ou les arbustes et fabriquent un nid de fibre de bois mastiquée (Evans et Eberhard, 1970; Spradbery, 1973). La disponibilité de ce matériau, nécessaire à la construction du nid, est certainement supérieure à l'intérieur et à proximité d'un milieu forestier où les guêpes sont observées en plus grand nombre dans les bleuetières du Québec de même que dans les bleuetières du Maine (Karem *et al.*, 2006). Aussi, ces guêpes ont été capturées en plus grand nombre sur la Côte-Nord où les milieux forestiers abondent relativement au Saguenay, Lac-St-Jean.

De manière générale, les Diptères sont considérés comme des agents de pollinisation du bleuetier nain peu efficaces relativement aux abeilles (Wood, 1968; Jobin et Bigras, 1969; Bigras-Huot *et al.*, 1973; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985). Cette efficacité

moindre vient du fait que le Diptère adulte butine les fleurs seulement pour combler ses besoins énergétiques alors que les abeilles, à l'exception des mâles et des espèces parasites, butinent, en plus, pour nourrir leur progéniture. La plus faible récolte de pollen encourue et donc de transport potentiel du pollen vers d'autres fleurs en fait vraisemblablement de piètres pollinisateurs du bleuetier nain. Cette affirmation devrait cependant être validée par des études ultérieures. Toutefois, les Sarcophagidae et les Syrphidae sont ici considérés comme des pollinisateurs d'importance vu le très grand nombre d'adultes capturés. Selon nos élevages ainsi que McAlpine *et al.* (1987), les larves des Sarcophagidae sont des parasitoïdes généralistes de plusieurs arthropodes dont les Lépidoptères (chenilles), les criquets, les Coléoptères et les araignées. Ces deux familles sont donc bénéfiques à tous leurs stades de développement.

D'autres taxons récoltés sont considérés comme pollinisateurs secondaires du bleuetier nain, il s'agit de la volucelle faux-bombyle (*Volucella bombylans* Linnaeus), des Stratiomyidae, des Bibionidae, des Bombyliidae, des Calliphoridae, des Tachinidae, des Anthomyiidae, des Conopidae et des abeilles du genre *Nomada* et *Sphecodes*. Plusieurs de ces taxons en plus d'être en relativement faible nombre font partie des Diptères et sont donc considérés comme des pollinisateurs peu efficaces du bleuetier nain. De plus, les abeilles du genre *Nomada* et *Sphecodes*, les Bombyliidae et les Conopidae parasitent des pollinisateurs d'importance nuisant ainsi à ses populations (Boulanger *et al.*, 1967; O'toole et Raw, 1999).

4.5.2 DISTRIBUTION DES POLLINISATEURS EN BLEUETIÈRE

4.5.2.1 DISTRIBUTION HORIZONTALE : INFLUENCE DU MILIEU FORESTIER

De manière générale, les insectes pollinisateurs se trouvent de façon aussi importante en bordure de forêt (écotone) qu'à l'intérieur de la bleuetière ce qui vient réfuter notre première hypothèse de travail, selon laquelle il y aurait une abondance supérieure d'alliés à l'écotone. Le milieu forestier (forêt boréale) habituellement présent en bordure de bleuetière apporte une plus grande diversité végétale sans toutefois fournir une ressource florale importante. La distribution des pollinisateurs dans le milieu semble moins liée à cette diversité végétale

accrue qu'à : 1. la présence d'une ressource alimentaire abondante, soient les fleurs du bleuetier nain à l'écotone ainsi qu'en bleuetière; 2. la présence de sites de nichage et 3. la structure du milieu qui leurs procure une protection. Aussi, une majorité de pollinisateurs n'apprécie pas les forts vents et profite du microclimat favorable (ex. protection du vent, humidité relative et températures moins extrêmes...) apporté par le milieu forestier (Marino et Landis, 1996; Steffan-Dewenter, 2002; Roland et Taylor, 1997; Menalled *et al.*, 1999). Les insectes les plus affectés sont souvent de plus grande dimension, tel le bourdon (Heinrich, 1979; Bailey *et al.*, 1982; Plowright et Lavery, 1987; Free, 1993; Stubbs et Drummond, 2001; Desjardins, 2003). Ils sont représentés ici par les bourdons, les guêpes ainsi qu'une majorité de Lépidoptères (adultes) qui sont plus abondants à l'écotone qu'à l'intérieur de la bleuetière. Selon Kim *et al.* (2006), les abeilles sociales sont plus affectées par un éloignement de milieux naturels que ne le sont les abeilles solitaires. Nos résultats appuient cette affirmation : à l'inverse des bourdons (abeilles sociales), les abeilles solitaires que sont les Andrenidae, les Halictidae et la *Megachile melanophoea* ne sont pas capturées en milieu forestier et sont beaucoup moins abondantes à l'écotone comparativement à l'intérieur de la bleuetière. Il se dessine ainsi trois groupes au sein des pollinisateurs des bleuetières :

- ❖ Les abeilles qui nichent dans les sols sablonneux (abeilles solitaires) qui sont plus abondantes à l'intérieur de la bleuetière. Selon Morrissette *et al.* (1985) et Bellmann (1999), ces abeilles préfèrent les milieux ouverts faiblement ombragés. Ces abeilles sont représentées par les Andrenidae, les Halictidae, la *Megachile melanophoea* ainsi que, selon Boulanger *et al.* (1967), certaines espèces d'osmies.

- ❖ Les taxons qui dépendent en partie du milieu forestier, entre autres, pour nicher et qui se trouvent plutôt à l'écotone où la ressource florale est à proximité de leur site de nichage. Un premier exemple est l'ensemble des guêpes associées aux bleuetières dont les nids sont fabriqués de pulpe de bois et situés généralement en hauteur, accrochés à une branche d'arbre (Spradbery, 1973). C'est aussi le cas de plusieurs espèces d'abeilles du genre *Osmia* qui nichent dans les trous d'insectes xylophages (Rust, 1974; Bosch *et al.*, 2000). Selon notre élevage en laboratoire et nos récoltes d'insectes, les larves de Syrphidae sont rares en bleuetières. Ainsi, les adultes semblent provenir des milieux entourant la bleuetière, dont le milieu forestier, où les larves se développent.

❖ Les taxons qui cherchent plutôt la protection et le microclimat apportés par le milieu forestier. Ces taxons seraient ici la majorité des espèces de Bombinae et les Sarcophagidae. Les milieux plus ombragés de la bleuetière (écotone) devraient permettre aux fleurs du bleuetier nain, qui y subit un stress hydrique moindre, une production plus grande de nectar dont ces pollinisateurs sont friands (Chapitre II, section 2.6.8).

4.5.2.2 DISTRIBUTION VERTICALE

Selon nos résultats, les Andrenidae, les Halictidae, les bourdons ainsi que les Sarcophagidae sont plus abondamment récoltés au sol. Pour ce qui est des Andrenidae, Halictidae et bourdons cette observation peut s'expliquer par les sites de nichage et de diapause hivernale de ces insectes généralement situés au sol. Pour ce qui est des Sarcophagidae, ils parasitent (parasitoïdes) des insectes, le plus souvent de la pédofaune, dont les criquets et les Coléoptères (McAlpine *et al.*, 1987). Par conséquent, cette mouche vole souvent près du sol à la recherche d'un hôte potentiel. Différemment, les Syrphidae sont plus nombreux dans le milieu aérien. Ces derniers sont réputés pour leur vol ultraperformant. Ils peuvent appliquer le vol stationnaire et même le vol à reculons (McAlpine *et al.*, 1987). Les Syrphidae ne semblent donc pas rechercher la protection du vent apportée par la végétation. Ce qui explique vraisemblablement leur présence plus importante dans le milieu aérien où ils ont facilement accès aux fleurs qu'ils butinent. Les larves de Syrphidae étant rares en bleuetières (section 4.5.2.1), les adultes y viennent généralement seulement pour butiner les fleurs et non pas pour chercher une proie potentielle ou pour pondre. Ils n'ont donc pas à s'aventurer dans la végétation et près du sol.

4.5.2.3 PRÉSENCE TEMPORELLE

Les mégachiles, les osmies et les Andrenidae ont un seul pic de présence (univoltines). Chez l'osmie, ce pic est bien synchronisé avec la floraison du bleuetier nain. Ce sont vraisemblablement des abeilles oligolectiques ou monolectiques, spécialistes du bleuetier nain. Par conséquent, elles ne devraient pas souffrir d'une diminution de la ressource florale suivant la période de floraison dans cette production fruitière, leur cycle

vital se trouvant alors complété. Toutefois, le pic de présence des mégachiles femelles est trop tardif celles-ci étant encore présentes trois semaines suivant la floraison des bleuetiers.

Les Halictidae, les bourdons, les Vespidae, les Sarcophagidae et les Syrphidae présentent deux pics d'abondance au début et en fin de saison. Ces insectes ont donc besoin d'une ressource alimentaire couvrant toute la période estivale. Ils devraient être affectés par une diversité florale moindre, en ayant peu de ressources florales alternatives suivant la période de floraison du bleuetier nain. C'est peut-être une des raisons qui expliquent le nombre supérieur d'individus d'une majorité de ces taxons à l'écotone où il y a une plus grande diversité végétale. Le premier pic d'abondance des Halictidae et des Sarcophagidae coïncide avec la fin de la période de floraison désavantageant ces insectes butineurs qui ont ainsi moins accès à la ressource florale. Leur grand nombre en général, même à l'extérieur de leurs pics d'abondance, en fait tout de même des pollinisateurs d'importance. Le premier pic d'abondance des Bombinae, des Vespidae et des Syrphidae coïncide avec la période de floraison du bleuetier nain ce qui devrait permettre à ces groupes d'être plus performants en ayant accès à une plus grande ressource florale.

L'ensemble de ces taxons de pollinisateurs semble être univoltine avec un ou deux pics d'abondance. La seule exception est le genre *Lasioglossum* qui semble multivoltine ayant trois pics d'abondance. Selon la littérature plusieurs espèces d'halictidés du genre *Lasioglossum* sont eusociales et multivoltines (Bellmann, 1999; O'toole et Raw, 1999). Les femelles de ce genre semblent très hâtives et doivent par conséquent butiner d'autres espèces végétales que le bleuetier nain qui n'est alors pas en fleurs, tels que le saule et l'amélanchier.

4.5.3 INVENTAIRE ET ABONDANCE DES INSECTES NUISIBLES

LÉGIONNAIRE NOIRE UNE PROBLÉMATIQUE DE MOINS

À l'exception de quelques espèces, telles la légionnaire noire et la mouche du bleuet, une majorité d'espèces reconnues comme des nuisances des bleuetières du Québec, du Maine et des provinces Maritimes ont été capturées lors de cette étude. Selon Michèle Roy (MAPAQ, 2011), l'aire de distribution de la mouche du bleuet ne s'étend toujours pas aux

principales régions productrices de bleuets nains du Québec : Lac-Saint-Jean et Côte-Nord. Par ailleurs, celle-ci se rencontre dans les bleuetières situées au Sud du Québec. Pour ce qui est de la légionnaire noire, selon (Forcier, 1998), c'est la présence de cendre fraîche au sol qui indique à la femelle le meilleur site de ponte. C'est à ce site que ses plantes hôtes favorites dont le bleuetier nain pousseront en abondance le printemps suivant (Wood et Neilson, 1956; Handfield, 1999). La légionnaire noire est bien connue des forestiers qui doivent enrayer de sérieuses infestations dans les plantations de conifères exécutées sur brûlis (Baker, 1972; West, 1991). Ainsi, la légionnaire noire qui n'est plus une problématique des bleuetières (Wild Blueberry Network Information Center) a vraisemblablement changé de statut suivant l'abandon du brûlage comme pratique culturale dans cette production fruitière.

MACARIA ARGILLACEARIA FAIT PLACE À MACARIA ANDERSONI ANDERSONI

Au Québec, les espèces problématiques, qui nécessitent des traitements phytosanitaires sporadiquement, sont : l'altise de l'airelle et les arpeuteuses (Comm. pers. Guy Grenon, MAPAQ). Nos résultats appuient cette affirmation en partie, l'espèce nuisible la plus abondamment capturée étant l'altise de l'airelle. Cette altise est aussi une problématique majeure dans les provinces de l'Atlantique et au Maine (Crozier et Neilson, 1989; Collins *et al.*, 1995b; Maund et Chiasson, 1997; Drummond et Groden, 2000; Howatt, 2005; Hoffmann *et al.*, 2006). Nos élevages en laboratoire ont permis l'identification des deux espèces impliquées, soit l'altise de l'airelle (*Altica sylvia*) et l'arpeuteuse du bleuet (*Macaria andersoni andersoni*), nom vernaculaire décrété par Michèle Roy du laboratoire de diagnostic en phytoprotection du MAPAQ, section entomologie. Ainsi, l'arpeuteuse de l'airelle (*Macaria argillacearia*) qui est une problématique importante dans les bleuetières situées plus au sud (Sud du Québec, Maine et provinces Maritimes) fait place à l'arpeuteuse du bleuet (*Macaria andersoni andersoni*) dans les principales régions productrices de bleuet nain du Québec. Cette observation concorde avec Handfield (1999) qui signale son absence du Lac-Saint-Jean et de la Côte-Nord. Selon ce même auteur et Landry *et al.* (2002), l'arpeuteuse du bleuet, *Macaria andersoni andersoni* est une spécialiste du bleuet alors que l'arpeuteuse de l'airelle s'alimente, en plus du bleuetier, de la canneberge.

AUTRES ESPÈCES NUISIBLES OU TRÈS ABONDANTES

Cette étude indique une forte abondance du cercope de l'airelle et des criquets en bleuetière. En très grand nombre, le cercope peut réduire la vigueur du bleuetier en suçant la sève des tiges (Laplante *et al.*, 2006; Marshall, 2006). Les criquets des genres *Camnula* et *Melanoplus* peuvent aussi devenir problématiques (Crozier et Neilson, 1989; Collins *et al.*, 1995a; Drummond et Groden, 2000). Selon ces auteurs, des dégâts, principalement des morsures faites aux bleuets, peuvent survenir lorsqu'ils sont en très grand nombre seulement. La galéruque de l'airelle, la tenthrède du bleuet et le porte-case du bleuet étaient d'abondance moyenne. Au Québec, ces espèces ont le potentiel de devenir des nuisances d'importance, mais, selon les intervenants du domaine, n'ont jamais nécessité de traitements phytosanitaires. La tisseuse du bleuet, la tordeuse du bleuet, le ptéromale galligène et le scarabée des feuilles qui sont des nuisances reconnues dans les bleuetières des Maritimes et du Maine sont aussi présents au Québec, mais en faible nombre.

Selon nos résultats, l'arpenteuse du bleuet et le charançon de l'airelle (*Anthonomus musculus*) sont de nouvelles espèces potentiellement nuisibles dans les bleuetières du Québec. Ce charançon est une nuisance dans la canneberge (Landry *et al.*, 2002) où il se nourrit de bourgeons, de fleurs et de feuilles. Selon Landry *et al.* (2002), Long et Averill (2003) et Armstrong (2008), lors de la ponte la femelle perce un trou dans l'inflorescence et vient y insérer un œuf. Par la suite, elle sectionne totalement ou en partie le pédicelle afin de faire tomber au sol la fleur contenant sa progéniture (Long et Averill, 2003; Armstrong, 2008).

4.5.4 DISTRIBUTION DES INSECTES NUISIBLES EN BLEUETIÈRES

4.5.4.1 DISTRIBUTION HORIZONTALE : INFLUENCE DU MILIEU FORESTIER

Le fait qu'une majorité des espèces potentiellement nuisibles soit plus abondante à l'intérieur de la bleuetière indique une spécificité alimentaire de ces insectes pour le bleuetier

nain. Il s'agit, à l'exception de la galéruque et du charançon qui dépendent de la forêt pour leur diapause hivernale, de tous les insectes de l'ordre des Coléoptères, des Hyménoptères et des Orthoptères. Selon Phipps (1930), Baker (1972), Goulet et Hubert (1993), Handfield (1999), Drummond et Groden (2000), Majka *et al.* (2007) et AAFC (2010) les espèces nuisibles à l'étude spécialistes du bleuetier nain sont : l'arpenteuse du bleuet, la tisseuse du bleuet, le porte-case du bleuet, l'altise de l'airelle, la tenthrède du bleuet et le ptéromale galligène. Les espèces nuisibles oligophages sont : la galéruque de l'airelle, la tordeuse du bleuet, le cercope de l'airelle, le scarabée des feuilles et le charançon de l'airelle. Les criquets sont les seuls généralistes.

LES ESPÈCES INFÉODÉES AU GENRE VACCINIUM

Les espèces spécialistes du bleuetier nain devraient être plus abondantes à l'intérieur de la bleuetière où leur plante hôte est plus abondante. Dans ce sens, une faible majorité (4 espèces sur 6) de ces espèces relativement spécialistes est plus nombreuse à l'intérieur de la bleuetière. Une de ces quatre espèces est l'altise de l'airelle, insecte nuisible le plus problématique au Québec. Ce qui confirme notre deuxième hypothèse de travail : les insectes nuisibles d'importance supérieure devraient être plus abondants là où la diversité végétale est moindre et leur plante hôte très abondante, soit dans la bleuetière. À l'inverse, la deuxième espèce la plus problématique, l'arpenteuse du bleuet, est plus abondante sur les bleuetiers du milieu forestier situé à proximité de la bleuetière. L'arpenteuse du bleuet fait partie des deux espèces inféodées aux *Vaccinium* ne répondant pas à cet énoncé, l'autre espèce étant la tisseuse du bleuet. Leur distribution semble être influencée par d'autres facteurs que l'abondance du bleuetier nain. Selon Ponder et Seabrook (1988), les bleuetières sont de grandes étendues de milieux ouverts (souvent de 200 ha et plus) directement exposés à de très forts vents. Ainsi, la protection apportée par le milieu forestier qui joue le rôle de brise-vent semble être la meilleure explication à la distribution de l'ensemble des Lépidoptères nuisibles, plus nombreux à l'écotone ou dans le milieu forestier. Nos observations vont dans ce sens ayant relevé au crépuscule des rassemblements de papillons d'espèces nuisibles, telles les tisseuses et les tordeuses, à l'écotone. La ponte se fera donc vraisemblablement près de ces sites (écotone ou forêt à proximité) d'accouplement. Les œufs et les larves qui y

passeront l'hiver au sol seront d'autant plus protégés par la plus grande accumulation de neige associée à ces sites.

LES ESPÈCES OLIGOPHAGES ET GÉNÉRALISTES

Différemment des espèces spécialistes, une minorité (2 taxons sur 6) des espèces oligophages et généralistes était plus abondante à l'intérieur de la bleuetière. Ces deux groupes d'insectes nuisibles sont les criquets et les scarabées des feuilles. Les criquets sont reconnus pour apprécier les milieux ouverts, secs et chauds, là où les graminées (leurs plantes hôtes favorites) sont plus nombreuses. Différemment, la galéruque et le charançon préfèrent l'écotone et la forêt. Ces espèces sont reconnues pour passer leur diapause hivernale dans la litière de la forêt (en pourtour du milieu cultural) (Drummond et Groden, 2000; Landry *et al.*, 2002; Armstrong, 2008). Elles y demeurent donc à proximité probablement dues à leur dépendance à ce milieu.

Le cercope de l'airelle, seul représentant des Homoptères, est plus abondant à l'écotone. Cette espèce devrait apprécier l'humidité plus importante de ce milieu ombragé et tempéré par la forêt, favorable à la production et au maintien d'un bon volume d'écume blanche produite par les nymphes. Les bleuetiers situés à l'écotone devraient subir un stress hydrique moindre favorable à une disponibilité de sève dont s'alimente ce cercope.

4.5.4.2 DISTRIBUTION VERTICALE

Selon nos résultats, les insectes nuisibles abondent principalement sur la végétation (bleuetier nain) dont ils s'alimentent. Il y a cependant des exceptions, soit l'altise de l'airelle adulte et les criquets. Les altises adultes sont capturées en plus grand nombre dans le milieu aérien au début de juillet et au sol à partir de la fin juillet. Selon (Wood, 1918; Ouellette, 1998), le début de juillet correspond à l'émergence de la nouvelle génération d'adultes. Il est possible que ces nouveaux adultes se déplacent dans les airs : 1. afin de mieux s'accoupler avec des individus provenant d'autres sources parentales favorables à un brassage génétique accru et 2. afin de coloniser de nouveaux milieux, telles les bleuetières en année de végétation qui seront en production l'année suivante. Dans ce sens, Phipps (1930) observe

une migration des adultes vers les champs de bleuetier en végétation possiblement attirés par les jeunes pousses succulentes. De manière générale, Strauss (1988) dans Ouellette (1998), Bach (1988) et Zhang et McEvoy (1994) et plus spécifiquement, Wood (1918) et Ouellette (1998) observent ce phénomène de dispersion et de regroupement sporadique des Chrysomèles dont l'altise de l'airelle. L'abondance supérieure d'adultes au sol à la fin de juillet correspond à la période de ponte des femelles, près de la base des tiges de bleuetiers (Crozier, 2001; Maund et Chiasson, 1997; Ouellette, 1998). Chez les criquets, cette abondance accrue au sol couvre toute la saison. Ces derniers sont tout de même capturés, en plus faible nombre, dans la végétation. Leur présence au sol est justifiable par leur mode de déplacement qui nécessite un substrat rigide afin de se propulser efficacement, ce que ne leur permet pas la végétation dont ils s'alimentent.

4.5.4.3 PRÉSENCE TEMPORELLE ET BIOLOGIE DES ESPÈCES NUISIBLES

PORTE-CASE DU BLEUET

Les résultats de cette étude affichent des pics de présence des larves et des adultes du porte-case en juillet et en août, respectivement. Selon Crozier et Neilson (1989), Crozier (1993) et Drummond et Groden (2000), en Nouvelle-Écosse et au Maine, les femelles commencent à pondre leurs œufs à la mi-juin. Cette dernière affirmation ne concorde pas avec nos observations, aucun adulte n'ayant été capturé en juin. En se basant sur nos relevés, la ponte aurait lieu plus tôt, soit en mai, des larves étant présentes dans la bleuetière à la fin mai. Selon nos observations, les nouveaux adultes qui émergent en août s'alimentent du feuillage et de l'écorce des bleuetiers. L'absence de larves suivant ce seul pic d'abondance d'adultes en fin de saison indique que le porte-case est une espèce univoltine. Les adultes n'étant plus présents dans les relevés entomologiques à partir du début de septembre, doivent à cette période de l'année être cachés dans la litière du sol pour la diapause hivernale. Cette diapause est en avance sur les Maritimes et le Maine où les adultes restent actifs jusqu'à la fin d'octobre (Crozier et Neilson, 1989; Crozier, 1993; AAFC, 2010). Ainsi, le cycle vital de cette espèce semble plus hâtif au Québec relativement aux bleuetières des provinces Maritimes où l'effet maritime modère la chute de température à l'automne.

GALÉRUQUE DE L'AIRESSE

Selon nos relevés, la galéruque de l'airesse est univoltine affichant deux pics d'abondance des adultes au printemps (émergence des adultes en diapause) et en fin de saison (nouvelle génération) sans qu'il y ait production de larves par la suite. Les adultes passent leur diapause hivernale dans la litière du milieu forestier (Drummond et Groden, 2000). Selon nos observations, les adultes sont présents tôt en saison (mai). Les larves apparaissent plus tard, soit à partir du début de juillet avec un pic d'abondance à la fin d'août. Ces larves deviennent des adultes à partir du mois d'août avec un pic d'abondance d'adultes au début de septembre. Ceux-ci migrent vers la forêt (Drummond et Groden, 2000) à la mi-septembre, n'étant à ce moment plus présents dans nos relevés entomologiques. Le cycle de vie de cet insecte est ainsi plus tardif au Québec relativement aux Maritimes et au Maine où les nouveaux adultes sont abondants à partir de la fin de juillet (Crozier et Neilson, 1989; Collins *et al.*, 1995c; Drummond et Groden, 2000).

ALTISE DE L'AIRESSE

Nos relevés entomologiques indiquent que l'altise de l'airesse est univoltine, affichant un seul pic d'abondance d'adultes en début d'été sans production de larves avant l'année suivante. Cette altise passe l'hiver au stade d'œuf dans la litière ou à la surface du sol (Collins *et al.* 1995b; Maund et Chiasson, 1997; Ouellette, 1998; Crozier, 2001). Selon nos résultats, les œufs éclosent tôt au printemps, les larves étant présentes en mai jusqu'au début de juillet avec un pic d'abondance en juin. Selon Collins *et al.* (1995b) et Maund et Chiasson (1997), à maturité la larve migre dans le sol (jusqu'à 12 mm de profondeur) pour se transformer en pupa. Nos captures montrent que les nouveaux adultes émergent à partir du début de juillet et sont présents jusqu'en septembre avec un pic d'abondance en juillet. La ponte au sol près de la base des bleuetiers (Ouellette, 1998) semble avoir lieu à partir de la fin juillet, beaucoup de nouveaux adultes ayant été récoltés au sol à ce moment. Il n'y a presque plus de larves dans la végétation à partir du début de juillet.

SCARABÉES DES FEUILLES

Selon nos résultats, les scarabées des feuilles sont plus abondants tôt en saison (mai et début juin) ce qui concorde avec la littérature (Baker, 1972; Crozier et Neilson, 1989). Selon Baker (1972) les larves vivent dans le sol pendant quelques années où elles s'alimentent de racines et les adultes émergent principalement en mai.

CHARANÇON DE L'AIRESSE

Ce charançon est une espèce univoltine (Landry *et al.*, 2002; Armstrong, 2008). Selon nos résultats, l'adulte est présent dans la végétation du mois de mai jusqu'à la mi-août. Toutefois, il est plus abondant à la fin du mois de juin et au début du mois d'août. Ce qui, en se basant sur son cycle vital devrait concorder avec la période de ponte et d'émergence des nouveaux adultes, respectivement. Voici son cycle vital selon Landry *et al.* (2002), Long et Averill (2003) et Armstrong 2008) : le charançon de l'airesse sort de diapause très tôt au printemps et s'alimente alors de bourgeons et, par la suite, de fleurs et de feuilles. L'accouplement qui a lieu à la fin de mai et au début de juin est suivi de la ponte dans les jeunes fleurs. La femelle perce un trou dans la fleur et vient y insérer un seul œuf, répétant ce comportement plusieurs fois. Par la suite, elle sectionne totalement ou en partie le pédicelle afin de faire tomber au sol la fleur contenant sa progéniture. Suivant sa naissance, la larve se nourrit de l'intérieur de la fleur et se transforme en pupa. Les nouveaux adultes émergent en été et s'alimentent de feuilles et de fruits. Selon Armstrong (2008), il passe sa diapause hivernale au stade adulte dans les boisés. En se basant sur nos résultats, cette migration des adultes semble avoir lieu à la mi-août, ces derniers n'étant alors plus présents dans nos relevés.

CERCOPE DE L'AIRESSE

Selon nos résultats, le cercope de l'airesse est une espèce univoltine affichant un seul pic de présence des nymphes suivi de celui des adultes. Les adultes sont plus abondants au milieu de l'été (fin juillet et début d'août) concordant ainsi avec la littérature (Laplane *et al.*

2006; Pilon, 2009) qui révèle une sortie de la larve mature de son abri à la mi-juillet afin de devenir adulte. Vers la fin de l'été, les adultes s'accouplent et la femelle pond ses œufs dans les tissus du bleuetier où ils passeront l'hiver (Pilon, 2009).

PTÉROMALE GALLIGÈNE

Les résultats montrent que le ptéromale galligène est une espèce univoltine dont l'adulte est présent seulement en début de saison (mai), épisode printanier correspondant vraisemblablement à la période d'accouplement et de ponte des femelles. Selon Shorthouse *et al.* (1986), West et Shorthouse (1989), Crozier (1997) et Hayman *et al.* (2002), au printemps la femelle adulte pond ses œufs un à un à l'intérieur des tiges de bleuetiers provoquant une excroissance ou galle multi chambre où chaque individu a sa propre loge. Cette galle commence à être visible au moment où les œufs éclosent, soit environ deux semaines après la ponte. Durant tout l'été, les larves s'alimentent de l'intérieur de la galle qui prend de l'ampleur. Elles passent l'hiver dans cet abri. Au printemps suivant, elles se transforment en pupes puis en adultes qui sortiront de la galle à partir de la fin mai comme l'indiquent nos résultats.

TENTHRÈDE DU BLEUET

Les résultats obtenus indiquent que la tenthrède du bleuet est univoltine, puisque la larve présente un seul pic de présence au début de juin. Voici son cycle vital (Neilson, 1958) : cette tenthrède passe la majorité de sa vie (dix mois) dans le sol, au stade larvaire, dans un cocon. En mai, les femelles émergent et commencent à pondre leurs œufs habituellement déposés individuellement dans un bourgeon foliaire. Ils éclosent quelques jours après la ponte et les larves s'alimentent de l'intérieur du bourgeon. La littérature ainsi que nos résultats indiquent que les larves sortent des bourgeons vers la fin mai et s'alimentent de feuillage jusqu'à la fin juin. À maturité (fin juin), elles se laissent tomber, s'enfouissent dans le sol et tissent un cocon pour ne ressortir qu'au printemps suivant ou deux ans plus tard (Neilson,

1958; Collins *et al.*, 1994b; Crozier, 1995; Maund et Chiasson, 1997; Drummond et Groden, 2000).

ARPENTEUSE ET TISSEUSE DU BLEUET

Les chenilles de l'arpenteuse du bleuët et de la tisseuse du bleuët sont présentes seulement en début de saison avec un pic de présence au début de juin. D'après nos observations, Drummond et Groden (2000), Dixon et Carl (2002) et Howatt (2005), ces espèces sont univoltines. Selon Ponder et Seabrook (1988) et Polavarupu et Seabrook (1996), la tisseuse du bleuët passe l'hiver sous forme embryonnaire (œuf) dans la litière des bleuëtières. Les oeufs semblent être pondus majoritairement à l'écotone et dans le milieu forestier où les chenilles ainsi que les adultes sont présents en plus grand nombre. Au crépuscule, nous avons observé des regroupements de papillons de la tisseuse du bleuët le long du milieu forestier. Les chenilles apparaissent tôt en saison et, selon Polavarupu et Seabrook (1996) ainsi que Drummond et Groden (2000), s'alimentent de bourgeons en croissance (mai) et ensuite de feuilles et de fleurs. La chenille devient chrysalide à partir de la fin juin et les adultes émergent en juillet.

TORDEUSE DU BLEUET

Collins *et al.* (1994a) mentionnent que la tordeuse du bleuët est univoltine passant l'hiver au stade de chenille mature dans la litière du sol, à l'intérieur de vieilles feuilles attachées ensemble. Dans ce sens, nos relevés indiquent que la chenille est présente tard en saison, soit à partir de la mi-juillet jusqu'à la fin d'août. Selon Collins *et al.* (1994a) : les chenilles s'alimenteront jusqu'en septembre, puis migreront vers le sol pour la diapause hivernale. Au printemps (mai), elles sortent de leur abri et se transforment rapidement en chrysalide. Les papillons émergent deux semaines plus tard et seront présents jusqu'en août avec un pic d'abondance en juillet (période de ponte).

CRIQUETS

Les criquets sont présents de juin à septembre avec un pic d'abondance au début de juillet. Selon Colins *et al.* (1995a), Drommond et Groden (2000) et Johnson (2008) : les genres *Camnula* et *Melanoplus* sont univoltines et passent l'hiver au stade de l'œuf dans la litière du sol. En mai et en juin, les œufs éclosent et les nymphes commencent à se nourrir sur les nouvelles pousses de bleuetier nain (Colins *et al.*, 1995a). Nos récoltes entomologiques indiquent que les nymphes se développent jusqu'à la fin de juillet. Ce qui correspond à la littérature qui signale que les adultes s'alimentent de feuilles et de fruits à la fin de l'été, laissant souvent une cicatrice calleuse sur les bleuets (Crozier et Neilson, 1989; Colins *et al.*, 1995a; Drommond et Groden, 2000). C'est à ce moment que les femelles pondent leurs œufs dans un sol préférentiellement ferme (Colins *et al.*, 1995a).

4.5.6 INVENTAIRE ET ABONDANCE DES ARTHROPODES PRÉDATEURS ET PARASITOÏDES D'INSECTES NUISIBLES

LÉBIE NOIRE ET PUNAISES, DES ALLIÉS MÉCONNUS

Une revue de littérature (Ouellette, 1998; Drummond et Groden, 2000; Maloney, 2002; O'Neal *et al.* 2005; Hoffmann *et al.* 2006; Choate *et al.* 2008) a permis le montage d'une liste des principaux insectes alliés (prédateurs et parasitoïdes d'insectes nuisibles) associés aux bleuetières des provinces Maritimes et du Maine. Ces groupes sont les araignées édaphiques (Aranéides : Lycosidae), les carabes (Coléoptères : Carabidae), les staphylins (Staphylinidae), les punaises assassines (Hétéroptères : Reduviidae), les faucheux (Opiliones : Phalangidae), les fourmis prédatrices (Hyménoptères : Formicidae), les mouches tachinaires (Diptères : Tachinidae) et les guêpes parasitoïdes (Hyménoptères : Ichneumonidae).

Les observations effectuées dans ce projet concordent avec ces études indiquant une présence importante de ces mêmes alliés. Par ailleurs, les acariens prédateurs, les faucheux et

les fourmis malgré leur abondance ont été considérés comme des alliés secondaires. La raison est que malgré une connaissance des espèces de fourmis associées aux bleuetières du Québec et de leur habitat (Francoeur et Jobin, 1968; Francoeur, 2001), leur comportement alimentaire reste méconnu. De manière générale, les fourmis prédatrices sont considérées comme des insectes bénéfiques malgré leur alimentation variée, s'alimentant d'insectes, mais aussi de graines, de nectar, de fruits, etc. (Metcalf et Flint, 1962; Dajoz, 1998; Cranshaw, 2004; Guiseppe *et al.* 2006). Ce type d'alimentation devrait toutefois nuire à un possible impact sur les espèces nuisibles dont elles se nourrissent potentiellement (thrips, œufs d'insectes, petites chenilles...). Ajoutons à cela, leur contribution probable à une dispersion de plantes adventices des bleuetières produisant des graines avec élaïosome telles les violettes (*Viola* spp.) (Brew *et al.* 1989). En plus des alliés reconnus dans la littérature nous observons aussi un grand nombre de guêpes fouisseuses, d'araignées sauteuses, de cicindèles, de punaises demoiselles ainsi que de lébie noire. D'autres groupes un peu moins abondants sont tout de même considérés comme des alliés de par leur comportement alimentaire (section 4.5.7). Il s'agit des araignées philodromes, des guêpes maçonnes (fig. 4.8), des punaises à bouclier et des punaises aux grands yeux. Semblablement aux bleuetières du Maine, les araignées alliées associées aux bleuetières du Québec sont les araignées lous, mais comptent en plus les araignées sauteuses et philodromes.

4.5.7 DISTRIBUTION DES ARTHROPODES ALLIÉS EN BLEUETIÈRES

4.5.7.1 DISTRIBUTION HORIZONTALE : INFLUENCE DU MILIEU FORESTIER

Selon les relevés entomologiques, la moitié des espèces potentiellement alliées se trouve plus abondamment à l'écotone entre le milieu forestier et la bleuetière. La première hypothèse de travail, selon laquelle il y aurait une abondance supérieure d'alliés à l'écotone est confirmée pour ce qui est des alliés prédateurs et parasitoïdes d'insectes nuisibles. Il y a toutefois plusieurs exceptions, soient les punaises aux grands yeux et les guêpes parasitoïdes qui sont en plus grand nombre à l'intérieur de la bleuetière.

Les guêpes parasitoïdes qui s'attaquent à une majorité d'espèces d'insectes nuisibles semblent suivre la présence de ces hôtes potentiels qui sont en général plus abondants en bleuetières. Cependant, leur distribution est relativement uniforme étant tout de même très présentes à l'écotone et dans le milieu forestier. Dans ce sens, Baker (1972) mentionne qu'un très grand nombre d'espèces d'Ichneumonidae, principale famille représentant ce groupe, s'attaquent aux insectes des forêts. Aussi, plusieurs guêpes parasitoïdes adultes s'alimentent de pollen et de nectar (Jervis et Kidd, 1986; Jervis *et al.*, 1993; Baggen *et al.*, 1999; Tooker et Hanks, 2000; Costamanga et Landis, 2004). L'abondance de fleurs en bleuetière pourrait expliquer leur présence moindre en forêt par rapport à la bleuetière. Différemment, une étude de Karem *et al.* (2006) effectuée dans les bleuetières du Maine démontre une présence supérieure de ces guêpes en forêt et à l'écotone. Cette différence pourrait être attribuable aux pièges utilisés : piège Malaise dans leur cas et filet fauchoir ici. La technique du filet fauchoir permet de capturer les insectes associés à la basse végétation dont les guêpes parasitoïdes à la recherche d'hôtes s'alimentant sur cette végétation. Les taxons ainsi capturés devraient être plus représentatifs des guêpes parasitoïdes ayant pour hôte(s) des insectes nuisibles du bleuetier nain telles les espèces du genre *Ophion* (Karem *et al.*, 2006). Ces dernières parasitent souvent les grosses chenilles de la famille des Noctuidae et des Geometridae incluant l'arpenteuse du bleuet (Rohlf et Mack, 1983; Varkonyi *et al.*, 2002; Karem *et al.*, 2006). Dans ce sens, tôt au printemps, nous avons observé plusieurs individus du genre *Ophion* survolant les bleuetiers. L'étude de Karem *et al.* (2006) démontre une présence plus importante des individus composant ce genre à l'intérieur des bleuetières du Maine par rapport à l'écotone et au milieu forestier à proximité de champ. Selon ces mêmes auteurs, la distribution des guêpes du genre *Ophion* diverge des autres assemblages de guêpes à l'étude (sous ordre : Apocrita) dont la présence est supérieure à l'écotone et dans le milieu forestier. Dans la présente étude, la distribution des guêpes parasitoïdes capturées grâce à la technique du filet fauchoir suit celle du genre *Ophion* obtenue par Karem *et al.* (2006) appuyant une possible abondance de ces guêpes dans les bleuetières du Québec.

Pour ce qui est des punaises aux grands yeux, celles-ci s'alimentent, en plus de petits insectes, de graines de mauvaises herbes (Tamaki et Weeks, 1972; Henry et Froeschner, 1988; Cranshaw, 2004; Hagler, 2007) présentes en plus grand nombre dans les bleuetières relativement au milieu forestier. Aussi, selon nos résultats, ces punaises connaissent un pic

d'abondance au sol en fin de saison où elles doivent rechercher en plus de la manne de graines de mauvaises herbes, la chaleur des milieux ouverts et sablonneux des bleuetières. Les mouches tachinaires et les araignées sauteuses font aussi exception en étant beaucoup plus abondantes en forêt. Ces dernières semblent suivre la distribution de leurs proies potentielles validées en laboratoire, soient les chenilles ou les petits papillons ainsi que les galéruques qui sont aussi associées au milieu forestier. Aucun représentant des taxons suivants n'a été capturé en forêt, soient les carabes, les punaises réduves et aux grands yeux, de même que les guêpes fouisseuses. Ceux-ci préfèrent vraisemblablement les milieux ouverts. Les résultats affichent une abondance moindre des araignées lous en bleuetière par rapport à l'écotone appuyant ainsi l'étude de Maloney (2002) où des baisses substantielles de 40 à 60% de ces araignées sont observées à 30m à l'intérieur relativement à la bordure des bleuetières du Maine.

4.5.8 BIOLOGIE DES ARTHROPODES ALLIÉS : DISTRIBUTION VERTICALE, PROIES ET PRÉSENCE TEMPORELLE

Les carabes et les cicindèles sont majoritairement capturés au sol où ils peuvent se déplacer plus facilement à la recherche d'une proie à l'exception de la lébie qui se trouve principalement dans la végétation pour s'y nourrir de larves de chrysomèles. Les Hétéroptères sont capturés majoritairement par la technique du filet fauchoir et vivent donc principalement dans la végétation. Seuls les adultes punaises assassines, à bouclier et aux grands yeux sont capturés au sol (piège fosse) très tôt en saison (mai) et en fin d'été, indices que les adultes passent leur diapause hivernale au sol. Dans ce sens, selon Henry et Froeschner (1988), les punaises demoiselles et à bouclier passent l'hiver le plus souvent au stade adulte.

PUNAISES DEMOISELLES

Plusieurs espèces de nabis sont reconnues comme des prédateurs importants dans les agroécosystèmes (Metcalf et Flint, 1962; Baker, 1972; Richman *et al.*, 1980; Sloderbeck

et Yeargan, 1983; Cranshaw, 2004). Selon ces auteurs elles s'alimentent d'Homoptères ainsi que d'une grande variété de petits insectes au corps mou, telles des chenilles et ainsi que d'œufs. Dans nos élevages, ces punaises se sont alimentées de la tenthrède du bleuet ainsi que de petites chenilles en les transperçant à l'aide de leur rostre pour en aspirer le contenu. Selon nos observations, elles peuvent, en plus, piquer la végétation afin d'en aspirer la sève. En bleuetières, elles sont plus abondantes au début d'août, soit au même moment que le cercope de l'airelle ainsi que la tordeuse du bleuet dont elles devraient s'alimenter.

PUNAISES À BOUCLIER

Selon la littérature (Baker, 1972; Henry et Froeschner, 1988; Cranshaw, 2004; Shelton, 2010) les punaises prédatrices de la famille des Pentatomidae s'alimentent, entre autres, de Lépidoptères (chenilles), de larves de Coléoptères et d'Hyménoptères et d'Homoptères. Telles les punaises demoiselles, elles sont plus abondantes au début d'août. Ce qui coïncide avec le pic de présence du cercope de l'airelle, une de ses proies potentielles.

PUNAISES ASSASSINES

Selon nos observations, les punaises assassines chassent dans la végétation des bleuetières grâce à leurs pattes avant robustes et bien adaptées pour la saisie des proies. Dans la littérature (Baker, 1972; Henry et Froeschner, 1988; Pilon, 2009), on mentionne que ces punaises chassent une grande variété de proies dont des Lépidoptères (chenilles), des Hyménoptères et des Homoptères. Selon Ouellette (1998), la punaise assassine, *Sinea diadema*, est un prédateur potentiel de l'altise de l'airelle dans les bleuetières du Nouveau-Brunswick. En élevage, cette espèce s'alimente de la tenthrède du bleuet et de chenilles qu'elle empale à l'aide de son rostre pour en aspirer le contenu. Les punaises assassines sont plus abondantes en bleuetières de la mi-juin jusqu'à la mi-septembre avec un pic d'abondance au début d'août. Leur pic d'abondance coïncide avec celui du cercope de l'airelle. Elles sont aussi présentes au même moment que les larves de la tenthrède du bleuet, de l'arpenteuse du bleuet et de la tordeuse du bleuet dont elles devraient s'alimenter.

PUNAISES AUX GRANDS YEUX

De manière générale, les membres du genre *Geocoris* sont reconnus comme étant des insectes bénéfiques (Tamaki et Weeks, 1972; Henry et Froeschner, 1988; Cranshaw, 2004; Hagler, 2007). Selon ces mêmes auteurs, les punaises aux grands yeux sont granivores de semences de mauvaises herbes, se nourrissent d'œufs d'insectes nuisibles et sont prédatrices de plusieurs petits insectes à corps mou dont des chenilles. Leur pic d'abondance dans la végétation se situe à la fin de juillet chevauchant ainsi celui de la tordeuse du bleuet dont elles devraient s'alimenter. Cette hypothèse est validée par l'élevage en laboratoire où ces punaises s'alimentaient de graines en général ainsi que de larves de la tenthrède du bleuet et de petites chenilles dont les tordeuses.

GUÊPES MAÇONNES

Les guêpes maçonnes (fig. 4.8) sont les principaux alliés prédateurs présents dans les nichoirs à l'étude. Celles-ci peuvent jouer un rôle majeur dans la lutte biologique des insectes nuisibles (Harris, 1994). Selon nos relevés entomologiques, en saison estivale, ces guêpes se trouvent sur la végétation où, selon Spradbery (1973), elles chassent. Des observations aux nichoirs indiquent que les femelles adultes chassent de petites chenilles lors de la période de floraison du bleuetier nain. Dans ce sens, selon Spradbery (1973), Gauld et Bolton (1988) et Harris (1994), ses proies sont principalement des chenilles de la famille des Tortricidae et Geometridae. Il y a donc une présence simultanée (en juin) de ces prédatrices, de l'arpenteuse ainsi que de la tisseuse du bleuet dans la végétation des bleuetières. La guêpe maçonne pourra ainsi remplir chacune des cellules du nid de ces proies vivantes, paralysées à l'aide de son dard (Spradbery, 1973), dont se nourrira la larve (fig. 4.9). Toujours selon nos observations, ces guêpes sont univoltines produisant une seule génération d'adultes par année. Le nid linéaire composé de plusieurs cellules de boue séchée est fabriqué dans une cavité. Lorsqu'une cellule est pleine, la guêpe maçonne la ferme définitivement après avoir pondu un œuf sur les proies. Au début de l'été, les larves s'alimentent des proies paralysées et fraîches. En juillet, elles se transforment en nymphes puis en adultes qui sortiront du nid. Cette sortie des nouveaux adultes devrait correspondre à la deuxième récolte d'individus en

juillet (tabl.4.5). Leur cycle vital semble court puisque des adultes sont capturés au sol à la fin d'août, vraisemblablement pour y passer leur diapause hivernale.

GUÊPES FOUISSEUSES

Les guêpes fouisseuses sont ici récoltées majoritairement au niveau du sol où elles chassent et établissent leur nid souterrain et ce, de façon plus marquée en fin d'été (début septembre) puisque l'adulte y passe sa diapause hivernale (Metcalf et Flint, 1962; Gauld et Bolton, 1988; Bellmann, 1999). Selon ces auteurs son cycle vital se résume comme suit : la femelle paralyse ses proies avec son dard, puis les transporte dans le nid; chaque cellule du nid sera remplie d'une grosse ou de plusieurs proies et d'un seul œuf; durant l'été, l'œuf éclot et la larve mange les proies vivantes mais paralysées à l'intérieur de sa cellule; à l'automne, elle se transforme en nymphe et passe ensuite l'hiver à ce stade, à l'intérieur du nid.

Ces guêpes généralistes chassent, entre autres, des Lépidoptères, des Orthoptères et des Homoptères (Metcalf et Flint, 1962; Baker, 1972; Spradbery, 1973; Gauld et Bolton, 1988; Bellmann, 1999; Pilon, 2009). Dans ce sens, les guêpes fouisseuses présentent deux pics d'abondance en bleuetière (début juin et début juillet jusqu'au début d'août) qui concordent avec celui de l'arpeuteuse du bleuet, des criquets et du cercope de l'airelle qu'elles chassent vraisemblablement. Toutefois, ces guêpes étant capturées en plus grand nombre au sol, il est fort probable qu'elles chassent majoritairement les noctuelles qui s'y cachent le jour. D'ailleurs, Bellmann (1999) mentionne que le genre *Podalonia*, associé aux bleuetières, se nourrit spécifiquement de noctuelles.

GUÊPES PARASITOÏDES

Les guêpes parasitoïdes comprennent plusieurs milliers d'espèces en Amérique du Nord et jouent un rôle primordial dans la lutte aux populations d'insectes nuisibles (Metcalf et Flint, 1962; Baker, 1972; Gauld et Bolton, 1988; Borror et White, 1991; Bellmann, 1999). Selon ces auteurs, leurs hôtes sont, entre autres, des Lépidoptères, des Coléoptères, des Hyménoptères et des Orthoptères. Dans ce sens, les adultes de la galéruque de l'airelle, ainsi que plusieurs chenilles (Tortricidae, Geometridae, Noctuidae, etc.) faisant partie de notre

élevage, étaient parasitées par ces guêpes. Nos résultats indiquent qu'elles sont plus abondantes dans le milieu aérien où, entre autres, tel que nous l'avons observé pour le genre *Ophion*, elles s'exposent à des partenaires sexuels. Selon l'étude de Karem *et al.* (2006), réalisée dans les bleuetières du Maine, la recherche d'hôtes amène les guêpes parasitoïdes à voler au-dessus des bleuetiers alors que le butinage des fleurs et l'activité parasitique en général devrait les pousser à voler plus près de la végétation et du sol. Cette affirmation appuie nos résultats qui affichent une présence relativement uniforme de ces guêpes, plus abondantes dans le milieu aérien, mais aussi présentes en grand nombre dans la végétation et au sol.

LÉBIE NOIRE

Selon nos résultats et nos observations, la lébie noire vit et chasse dans la végétation des bleuetières où elle a été capturée en grand nombre à l'aide du filet fauchoir. En élevage, elle s'alimente des larves de la galéruque de l'airelle et de l'altise de l'airelle, principale nuisance des bleuetières. Selon Laurent Lesage (Comm. pers.), le genre *Altica* dont fait partie l'altise de l'airelle comporte des espèces toxiques pour une majorité d'alliés. Dans ce sens, Drummond et Groden (2000) signalent qu'aucun insecte parasitant cette espèce n'a été répertorié. Toutefois, Ouellette (1998) mentionne le potentiel de cette lébie comme prédateur des larves de l'altise de l'airelle dans les bleuetières du Nouveau-Brunswick. De plus, la larve de la lébie est un ectoparasitoïde des nymphes de chrysomèles (Dempster *et al.*, 1959; Weber *et al.*, 2006; Weber et Riddick, 2010). En bleuetière, elle devrait parasiter les nymphes de l'altise de l'airelle et de la galéruque de l'airelle, des chrysomèles nuisibles très abondantes. Le cycle vital de cette lébie, parfaitement synchronisé avec ces deux insectes nuisibles vient appuyer cette hypothèse.

Le pic d'abondance des larves d'altise (juin) concorde avec le premier pic d'abondance de la lébie (début juin). En début de saison, les adultes émergeant pourront s'alimenter de ces larves. L'accouplement de la lébie devrait avoir lieu lors de ce premier pic d'abondance. La capture de lébie au sol au début de juillet devrait correspondre à la période de ponte des œufs sur les nymphes de chrysomèles : possiblement l'altise de l'airelle dont les larves matures se transforment en nymphes à ce moment. Selon Dempster *et al.*, (1959),

plus de l'arpeuse de l'airelle. Par ailleurs, ces auteurs notent un relativement grand délai avant la prédation des altises qui lui sont présentées, appuyant une attraction moindre de ce dernier pour ces insectes.

CICINDÈLES

Selon nos observations, l'adulte est diurne et aime les milieux ouverts comme un chemin de sable en bordure de bleuetière. Baker (1972) et Cranshaw (2004) viennent confirmer sa préférence pour les milieux ouverts, sablonneux et secs, favorables à une chasse efficace de la larve et de l'adulte. De plus, selon ces auteurs, la larve qui vit dans le sol y est sans risque de noyade (milieu non inondable). Les cicindèles sont des prédateurs généralistes et les insectes nuisibles des bleuetières pouvant faire partie de sa diète sont, entre autres, les Lépidoptères, les Orthoptères et les Hyménoptères (Dreisig, 1981; Larochelle, 1990). Selon nos résultats, c'est en début de saison, soit du début de juin à la mi-juillet, que les adultes sont les plus abondants. Ce pic d'abondance des cicindèles correspond à celui des larves de l'arpeuse de l'airelle et de la tenthrède du bleuet, ainsi que des criquets, dont ils s'alimentent vraisemblablement. La présence des adultes diminue radicalement à partir de la fin août, ce qui devrait signaler le début d'une diapause hivernale.

MOUCHES TACHINAIRES

Les mouches tachinaires, dont une majorité d'espèces sont parasitoïdes, jouent un rôle fondamental dans le contrôle de plusieurs populations d'insectes nuisibles (Baker, 1972; McAlpine *et al.*, 1987; Grenier, 1988; Kara et Tschorsnig, 2003). Selon nos relevés, celles-ci sont majoritairement capturées en milieu aérien où elles peuvent se déplacer rapidement étant reconnues pour leur vol très actif (McAlpine *et al.*, 1987). Un grand nombre ponctuel d'individus a été capturé au sol au début de juillet alors que quelques individus ont été récoltés dans la végétation tout au long de la saison où, entre autres, ils butinaient les fleurs. Selon Baker (1972), McAlpine *et al.* (1987), Ponder et Seabrook (1988) et Drummond et Groden (2000), les hôtes des mouches tachinaires, faisant partie des insectes nuisibles du

bleuetier nain, sont, entre autres, des Lépidoptères (chenilles : tordeuse et tisseuse du bleuet, noctuelles, arpeuteuse caténaire et arpeuteuse du bleuet), des Coléoptères (galéruque de l'airelle), des Hyménoptères (larves de tenthrèdes) et des Orthoptères (criquets). Notre élevage indique que ces mouches parasitent, entre autres, la galéruque de l'airelle, la tisseuse et la tordeuse du bleuet.

ARAIGNÉES-LOUPS

Selon les observations faites lors de cette étude, elles vivent principalement au sol où elles sont abondamment récoltées. Elles ne construisent pas de toile, mais peuvent grimper dans la végétation étant aussi capturées, en plus faible nombre, sur les tiges de bleuetier. Lors de l'élevage en laboratoire, les araignées-loups se sont alimentées, entre autres, de chenilles et d'Homoptères. Hoffmann *et al.*, (2006), mentionnent qu'elles mangent aussi des criquets et des altises du bleuet et qu'elles sont plus abondantes en juin. Selon nos relevés, ces araignées sont plus abondantes en début et en fin de saison. Hoffmann *et al.*, (2006) n'ont toutefois pu noter de présence accrue en fin de saison ayant appliqué leurs relevés entomologiques jusqu'en août seulement. La présence des araignées-loups est synchrone avec les pics d'abondance de plusieurs espèces de Lépidoptères telles l'arpeuteuse et la tisseuse du bleuet et avec le pic d'abondance de la tenthrède du bleuet (Hyménoptères) dont elles s'alimentent vraisemblablement.

ARAIGNÉES PHILODROMES

Les araignées philodromes sont des prédateurs généralistes qui ne construisent pas de toile (Paquin et Dupérré, 2003). Selon nos relevés, le genre *Tibellus* est le plus abondant en bleuetières où il est associé à la végétation, une forte majorité d'individus étant capturés à l'aide de la technique du filet fauchoir. Au milieu de l'été, les adultes du genre *Tibellus* s'accouplent et les femelles pondent leurs œufs dans des sacs attachés à la haute végétation (Paquin et Dupérré, 2003). Ces araignées présentent un pic d'abondance au début d'août qui pourrait correspondre à cette période d'accouplement et de ponte. Ce pic d'abondance est de

plus synchrones avec les pics de présence du cercope du bleuet et de la tordeuse du bleuet dont elles s'alimentent vraisemblablement. Selon Pilon (2009), les araignées philodromes chassent, entre autres, des Lépidoptères (chenilles), des Diptères et des Homoptères.

ARAIGNÉES SAUTEUSES

Les araignées sauteuses sont des prédateurs généralistes abondants en bleuetières (Pilon, 2009). Selon Paquin et Dupérré (2003), elles ne construisent pas de toile et vivent à la fois au sol et dans la végétation. Ce qui est appuyé par le nombre élevé d'individus capturés à la fois au sol (piège fosse) et sur les bleuetiers (filet fauchoir). Pilon (2009) mentionne que ces araignées s'alimentent, entre autres, de Lépidoptères (chenilles et papillons), de Diptères et d'Homoptères. En élevage, les araignées sauteuses se sont alimentées, entre autres, de papillons et d'Homoptères.

4.6 CONCLUSION

Des modifications importantes de l'entomofaune pollinisatrice des bleuetières sont survenues depuis les premiers inventaires accomplis dans les années 1960. Tel que mentionné par Colla et Packer (2008) et Gixti *et al.* (2008), les résultats de cette étude signalent le déclin d'une des principales espèces composant jadis la force pollinisatrice des bleuetières du Québec. Il s'agit de *Bombus terricola* et de son parasite *B. (Psythirus) ashtoni*. Selon Chagnon (2008), ce déclin serait vraisemblablement associé à une introduction de parasites résultant du commerce mondial des bourdons utilisés pour la pollinisation en serre et en champ (bleuets et canneberges). D'autres facteurs semblent aussi impliqués dont l'utilisation de pesticides et la perte d'habitats (Berenbaum *et al.*, 2007; Marletto *et al.*, 2003). Dans ce sens, Colla *et al.* (2006), démontrent que l'utilisation de ruchettes commerciales en serres cause une contamination des bourdons indigènes à proximité. L'amélioration de la gestion des parasites des bourdons pourrait aider à diminuer ou même éliminer ces agents

pathogènes. *Bombus borealis*, une nouvelle espèce maintenant très abondante, semble s'être accaparé sa niche écologique.

Les bleuetières sont des permacultures aménagées en milieu forestier, ce qui favorise vraisemblablement les populations alliées. Dans ce sens, nous observons une forte présence des insectes alliés dans cette production qui souffre peu de problématiques reliées aux insectes ravageurs; les traitements phytosanitaires y étant rarement nécessaires. Selon nos résultats, les alliés, que ce soit les pollinisateurs (principalement les bourdons) ou les ennemis naturels des insectes nuisibles, sont en général plus abondants à l'écotone (forêt et bleuetière) démontrant ainsi l'importance de préserver les milieux forestiers à proximité de cette production fruitière. La forêt par son apport à la diversité végétale fournit aux arthropodes alliés des ressources alimentaires (ex. florales) alternatives au bleuetier nain, des sites de nichage et des matériaux pour la fabrication des nids ainsi qu'une protection physique, entre autres, contre le vent, la sécheresse et le froid hivernal (couche nivale plus importante). Les guêpes parasitoïdes très abondantes en bleuetières semblent jouer un rôle majeur dans la lutte aux populations potentiellement nuisibles.

Dans cette étude, ces insectes nuisibles étaient généralement plus abondants à l'intérieur de la bleuetière, là où l'on trouve une forte densité de leur plante hôte et une diversité végétale moindre. Au Québec, selon les intervenants du domaine, les insectes les plus problématiques (nécessitant des traitements phytosanitaires) sont l'altise de l'airelle et les arpeuteuses. Nous avons constaté ici que l'arpeuteuse du bleuet était l'arpeuteuse la plus commune et problématique au Québec. Cette dernière substitue l'arpeuteuse de l'airelle qui est l'espèce nuisible dans les bleuetières des provinces Maritimes et au Maine. La légionnaire noire qui était une nuisance par le passé ne l'est plus depuis l'abandon du brûlage au sol comme pratique culturale. Les cendres alors produites attiraient la femelle qui venait y pondre ses oeufs.

La découverte d'une espèce alliée d'un grand intérêt associée à la végétation des bleuetières pourrait ouvrir de nouvelles avenues pour lutter contre la principale espèce nuisible des bleuetières : l'altise de l'airelle. Il s'agit de la lébie noire qui, lors de notre élevage, avait pour préférence alimentaire la larve de cette altise, boudée par les autres alliés à l'étude. Selon Drummond et Groden (2000) et Laurent Lesage (Comm. pers.) cette altise n'avait jusqu'à ce jour pas de prédateurs connus. Le survol ici réalisé des principaux

arthropodes alliés devrait permettre une sélection future des taxons d'intérêt supérieur pour la lutte aux populations nuisibles. Ces alliés pourront faire l'objet d'études plus poussées afin de déterminer leur potentiel comme agent de lutte biologique.

Cette étude a permis le développement ainsi qu'une mise à jour de nos connaissances sur l'entomofaune des bleuetières du Québec : pollinisateurs, insectes nuisibles et alliés prédateurs, parasitoïdes et phytophages de mauvaises herbes. Les connaissances ici acquises sont essentielles pour une meilleure compréhension de la dynamique de ces populations initiant ainsi le développement d'une gestion écologique des nuisances ainsi que des alliés des bleuetières.

4.7 LISTE DE RÉFÉRENCES

- AAFC. 2010. Integrated Pest Management, Blueberry Casebeetle. NDOW, D.A. 1991. Agriculture and Agri-Food Canada Insect Identification Sheet No.8. <http://wlapwww.gov.bc.ca/vir/pp/ipm/insects/blueberry.html>
- ARAS, P., DE OLIVEIRA, D., et SAVOIE, L. 1996. Effect of a honey bee (Hymenoptera : Apidae) Gradient on the pollination and Yield of LowBush Blueberry. J. Econ. Entomol. **89**: 1080-1083.
- ARMSTRONG, C. 2008. Cranberry Weevil. Cooperative extension, pest management office, University of Maine.
- BACH, C.E. 1988. Effects of host plant patch size on herbivore density: underlying mechanisms. Ecology. **69**:1103-1117.
- BAGGEN, L.R., GURR, G.M., et MEATS A. 1999. Flowers in tri-trophic systems: mechanisms allowing selective exploitation by insect natural enemies for conservation biological control. Entomol. Exp. Appl. **91**: 155-161.
- BAILEY, W.G., LERER, H., et MILLS, P.F. 1982. Humidity and the pollination activity of *Megachile rotundata*. Environ. Entomol. **11**: 1063-1066.
- BAKER, W.L. 1972. Eastern forest insects. U.S. Department of Agricultural Forest Service, Miscellaneous Publication No. 1175. 642 pp.

- BELLMANN, H. 1999. Guide des abeilles bourdons, guêpes et fourmis d'Europe, l'identification, le comportement, l'habitat. Delachaux et Niestlé S.A., Lausanne-Paris. 336 pp.
- BIGRAS-HUOT, F., HUOT, L., ET JOBIN, L. 1973. La pollinisation du bleuët au Lac Saint-Jean. Ann. Soc. Entomol. Que. **18**: 15-36.
- BOHART, G. E. 1956. Pollination of alfalfa and red clover. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Entomology. Experiment Station, Logan, Utah. pp. 355-380.
- BORROR, D.J., et WHITE, R.E., 1991. Les insectes de l'Amérique du Nord (au Nord du Mexique). Broquet, Laprairie, Qc., Canada. 408 pp.
- BOSCH, J., KEMP, W.P., et PETERSON, S. S. 2000. Management of *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae) populations for almond pollination: methods to advance bee emergence. Environ. Entomol. **29**: 874-883.
- BOULANGER, L.W., WOOD, G.W., OSGOOD, E.A. et DIRKS, C.O. 1967. Native bees associated with the lowbush blueberry in Maine and Eastern Canada. Maine Agricultural Experiment Station and Canada Agriculture Research Station. Bulletin T26. 22 p.
- BREW, C. R., O'DOWD, D.J., et RAE, I.D. 1989. Seed dispersal by ants: behaviour-releasing compounds in elaiosomes. Oecologia: **80**: 490-497.
- BRIAN, A. 1954. The foraging of bumble bees. Bee World. **35**: 61-67 et 81-91.
- CHAGNON, M. 2008. Causes et effets du déclin mondial des pollinisateurs et les moyens d'y remédier. Fédération Canadienne de la Faune, bureau régional du Québec. 75 pp.
- CHOATE, A., DRUMMOND, F., et YARBOROUGH, D.E. 2008. Beneficial Insect Series 1 : The Allegheny Mound Ant. The University of Maine Cooperative Extension, Fact Sheet No.195. <http://extension.umaine.edu/blueberries/factsheets/insects/195-allegheny-mound-ant/>
- COLLA, S., OTTERSTATTER, M.C., GEGEAR, R.J., et THOMSON, J.D. 2006. Plight of the bumblebee: Pathogen spillover from commercial to wild populations. Biological Conservation. **129**: 461-467.
- COLLA, S., et PACKER, L. 2008. Evidence for decline in eastern North American bumblebees (Hymenoptera: Apidae), with special focus on *Bombus affinis* Cresson. Biodivers. Conserv. **17**: 1379-1391.
- COLLINS, J.A., FORSYTHE, H.Y., et YARBOROUGH, D. 1994a. Red-Stripped Fireworm (*Aroga triangularis* Cham.). Maine, Wild Blueberry Fact Sheet No. 205. University of Maine Cooperative Extension, Orono. <http://extension.umaine.edu/blueberries/factsheets/insects/205-red-stripped-fireworm/>

- COLLINS, J.A., FORSYTHE, H.Y., et YARBOROUGH, D. 1994b. Blueberry Sawfly (*Neopareophora litura* (Klug)). Maine, Wild Blueberry Fact Sheet No. 206. University of Maine Cooperative Extension, Orono.
<http://extension.umaine.edu/blueberries/factsheets/insects/206-blueberry-sawfly/>
- COLLINS, J.A., FORSYTHE, H.Y., et YARBOROUGH, D. 1995a. Grasshoppers. Maine, Wild Blueberry Fact Sheet No. 198. University of Maine Cooperative Extension, Orono.
<http://extension.umaine.edu/blueberries/factsheets/insects/200-blueberry-flea-beetle/>
- COLLINS, J.A., FORSYTHE, H.Y., et YARBOROUGH, D. 1995b. Blueberry Flea Beetle (*Altica sylvia* Malloch). Wild Blueberry Fact Sheet No. 200. University of Maine Cooperative Extension, Orono.
- COLLINS, J.A., FORSYTHE, H.Y., et YARBOROUGH, D. 1995c. Blueberry Leaf Beetle (*Pyrrhalta vaccinii* (Fall)). Wild Blueberry Fact Sheet No. 203. University of Maine Cooperative Extension, Orono.
- COSTAMANGA, A.C., et LANDIS, D.A. 2004. Effect of food resources on adult *Glyptapanteles militaris* and *Meteorus communis* (Hymenoptera : Braconidae), parasitoids of *Pseudaletia unipuncta* (Lepidoptera : Noctuidae). Environ. Entomol. 33: 128-213.
- CRANSHAW, W. 2004. Garden insects of north america. Princeton university press, Woodstock, UK. 656 pp.
- CROZIER, L. 1993. The Blueberry Case Beetle. Lowbush Blueberry Fact Sheet, Nova Scotia Department of Agriculture and Marketing.
<http://nsac.ca/wildblue/facts/insects/casebeet.asp>
- CROZIER, L. 1995. The Blueberry Sawfly. Lowbush Blueberry Fact Sheet, Nova Scotia Department of Agriculture and Marketing. <http://nsac.ca/wildblue/facts/insects/sawfly.asp>
- CROZIER, L. 1997. The Blueberry Stem Gall. Lowbush Blueberry Fact Sheet, Nova Scotia Department of Agriculture and Marketing.
<http://nsac.ca/wildblue/facts/insects/stemgall.asp>
- CROZIER, L. 2001. The Blueberry Flea Beetle. Lowbush Blueberry Fact Sheet, Nova Scotia Department of Agriculture and Marketing.
<http://nsac.ca/wildblue/facts/insects/fleabeet.asp>
- CROZIER, L. 2003. Winter warming facilitates range expansion: cold tolerance of the butterfly *Atalopedes campestris*. Oecologia. 135: 648-656.
- CROZIER, L.M., et NEILSON, W.T.A. 1989. La Production du bleuet nain, Insectes ravageurs. Agriculture Canada, Publication 1477/F, Ottawa. 61 pp.

- DAJOZ, R. 1998. Les insectes et la forêt, rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier. Éditions TEC & DOC, Paris. 594 pp.
- DEMPSTER, J. P., RICHARDS, O.W., et WALOFF, N. 1959. Carabidae as predators on the pupal stage of the chrysomelid beetle, *Phytodecta olivacea* (Forester). *Oikos*. **10**: 65-70.
- DESJARDINS, E-C. 2003. Bourdon fébrile domestiqué: pollinisateur efficace du Bleuetier nain? Montréal: Mémoire de la Faculté des Sciences de l'Université du Québec à Montréal. 67 pp.
- DESJARDINS, E-C., et DE OLIVEIRA, D. 2006. Commercial Bumble Bee *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) as a Pollinator in Lowbush Blueberry (Ericale: Ericaceae) Fields. *J. Econ. Entomol.* **99**: 443-449.
- DESJARDINS, E-C., et NÉRON, R. 2010. Guide d'identification des alliés et ennemis du bleuet nain : insectes, maladies et végétaux. Éditions Centre de Recherche Les Buissons, Pointe-aux-Outardes, Qc, Canada. 273 pp.
- DIXON, P.L. et CARL, K. 2002. *Croesia curvalana* (Kearfott), blueberry leaf tier (Lepidoptera: Tortricidae). Biological control programmes in Canada, Chapitre 17. Editions CAB International. Washington, USA. 583 pp.
- DREISIG, H. 1981. The rate of predation and its temperature dependence in a tiger beetle, *Cicindela hybrida*. *Oikos*. **36**: 196-202.
- DRUMMOND, F. A. et GRODEN, E. 2000. Evaluation of entomopathogens for biological control of insects pests of lowbush (wild) blueberry. Technical Bulletin 172. Maine agricultural and forest experiment station. University of Maine. 40 pp.
- EVANS, H.E., et EBERHARD, M.W. 1970. The wasps. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI. 265pp.
- FINNAMORE, A.T., et NEARY, M.E. 1978. Blueberry pollinators of Nova Scotia, with a checklist of the Blueberry pollinators in Eastern Canada and Northeastern United States. *Ann. Soc. Entomol. Que.* **23**: 168-181.
- FORCIER, E. 1998. Impacts des volatils associés à la cendre de brulis sur la biologie reproductive de la Légionnaire noire (*Actebia fennica* Tauscher). Québec : Mémoire de la Faculté des études supérieures de l'Université Laval. 25 pp.
- FRANCOEUR, A. 2001. Les fourmis de la forêt boréale du Québec (Formicidae, Hymenoptera). *Naturaliste Canadian*. **125**: 108-114.
- FRANCOEUR, A., et JOBIN, L. 1968. Étude préliminaire sur les Formicidae (Hymenoptera) des bleuetières du Lac-Saint-Jean. Dans: La recherche sur le bleuet, Rapport de travail 1967-68. Faculté d'Agriculture, Université Laval. 36-53 p.

- FREE, J.B. 1993. Insect Pollination of crops. 2nd Edition. Academic Press. New York. 684 pp.
- GAULD, I., et BOLTON, B. 1988. The Hymenoptera. British Museum (Natural History), Oxford University Press, Oxford, UK. 332 pp.
- GOULET, H., et HUBER, J. 1993. Hymenoptera of the world : an identification guide to families. Government of Canada Publications, Ottawa. 668 pp.
- GOULSON, D. 2003. Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annu. Rev. Ecology and Systematics*. **34**:1-26.
- GRENIER, S. 1988. Applied biological control with Tachinid flies (Diptera, Tachinidae): A review. *J. Pest Sci.* **61**: 49-56.
- GRIXTI, J. C., WONG, L.T., CAMERON, S.A., et FAVRET, C. 2008. Decline of bumble bees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biological Conservation*. **142**: 75-84.
- GUISEPPE, K.F.L., DRUMMOND, F.A., et STUBBS, C. 2006. The use of glyphosate herbicides in managed forest ecosystems and their effects on non-target organisms with particular reference to ants as bioindicators. Maine Agricultural and forest experiment station, Technical Bulletin 192. University of Maine. 51pp.
- HAGLER, J. 2007. *Geocoris* spp. (Heteroptera: lygaeidae), Bigeyed Bug *dans* Biological control: a guide to natural enemies in North America. Cornell University. <http://www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/> accessed (date)
- HANDFIELD L. 1999. Le guide des Papillons du Québec. Broquet inc., Boucherville. 536 pp.
- HARRIS, A.C. 1994. *Ancistrocerus gazella* (Hymenoptera: Vespoidae: Eumenidae): a potentially useful biological agent for leafrollers *Plantortix octo*, *P. Excessana*, *Ctenopseustis obliqua*, *C.herana*, and *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) in New Zealand. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.* **22**: 235-238.
- HAYMAN D.I., MACKENZIE, K.E., et REEKIE, E.G. 2002. The impact of stem galls induced by *Hemadas nubilipennis* Ashmead on shoot characteristics of lowbush blueberry. *Can. J. Plant Sci.* **83**: 401-408.
- HEINRICH, B. 1979. Bumblebee Economics. Harvard University Press. Cambridge. 245 pp.
- HENRY, T.J., et FROESCHNER R.C. 1988. Catalog of the Heteroptera, or True Bugs, of Canada and the Continental United States. E.J.BRILL, New-York. 958 pp.

- HICKLING, R., ROY, D.B., HILL, J.K., FOX, R., THOMAS, C.D. LL J.K., et THOMAS, C.D. 2006. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Glob. Change Biol.* **12**: 450-455.
- HILL J.K., THOMAS, C.D., et HUNTLEY, B. 1999. Climate and habitat availability determine 20th century changes in a butterfly's range margin. *Proc. R. Soc. Lond. B.* **266**: 1197-1206.
- HOFFMANN, S., J.A. COLLINS, F.A. DRUMMOND. 2006. Natural enemies in maine lowbush blueberry. Poster, Department of biological sciences, U. of Maine.
- HOLM, N. 1966. The utilization and management of bumble bees for red clover and alfalfa seed production. *Ann. Rev. Entomol.* **11**: 155-182.
- HORGAN, F.G., et J.H. MYERS. 2004. Interactions between predatory ground beetles, the winter moth and an introduced parasitoïd on the lower Mainland of British Columbia. *Pedobiologia.* **48**: 23-35.
- HOWATT, S. 2005. Profile de la culture du bleuët sauvage au Canada. Centre de lutte antiparasitaire, Agriculture et Agroalimentaire Canada. 39 pp.
- INOUE, D.W. 1980. The effect of proboscis and corolla tube lengths on patterns and rates of flower visitation by bumblebees. *Oecologia* **45**: 197-201.
- JERVIS, M.A., et KIDD, N.A.C. 1986. Host feeding strategies in hymenopteran parasitoids. *Biol. Rev.* **61**: 395-434.
- JERVIS, M.A., KIDD, N.A.C., FITTON, M.G., HUDDLESTON, T., et DAWAH, H.A. 1993. Flower-visiting by hymenopteran parasitoids. *J. Nat. Hist.* **27**: 67-105.
- JOBIN, L., et BIGRAS, F. 1969. Essais sur la pollinisation du bleuët. *Dans la recherche sur le bleuët. Éditeurs: V. Lavoie. Faculté d'Agriculture de l'Université Laval, Québec.* p. 4-39.
- JOHANSEN, C.A. 1977. Pesticides and pollinators. *Ann. Rev. Entomol.* **22**: 177-192.
- JOHNSON, D.N. 2008. Grasshopper identification & control methods to protect crops and the environment. Pest management Centre, Agriculture et AgroAlimentaire Canada. 41 pp.
- KARA, K., et TSCHORSNIG, H.-P. 2003. Host catalogue for the Turkish Tachinidae (Diptera). *J. Appl. Ent.* **127**: 465-476.
- KAREM, J., WOOD, S.A., DRUMMOND, F., et STUBBS, C. 2006. Sampling native wasps along both vertical and horizontal gradients in the Maine lowbush blueberry landscape. *Environ. Entomol.* **35**: 1083-1093.

- KEARN C.A., et INOUE D.W. 1997. Pollinators, flowering plants and conservation biology. *Bioscience*. **47**: 297-307
- KEMP, W.P., et BOSCH, J. 2002. Development and emergence of the alfalfa pollinator *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae). *Bull. Entomol. Res.* **92**: 3-16.
- KIM, J., WILLIAM, N., et KREMEN, C. 2006. Effect of cultivation and proximity to natural habitat on ground-nesting native bees in California sunflower fields. *J. of Kansas Entomol. Soc.* **79**: 309-320.
- LANDRY, J-F, ROY, M., et TURCOTTE C. 2002. *Insectes ravageurs de la canneberge au Québec, Guide d'identification*, © Ministère des Travaux publics et des Services gouvernementaux. 117 pp.
- LAPLANTE, N., ROY, M. et FRÉCHETTE, M. 2006. Un cercope dans les bleuetières : *Clastoptera saintcyri* (Homoptera : Cercopidae), Dommages, Identification, Biologie. Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec. 5 pp.
- LAROCHELLE, A. 1990. The food of Carabid beetles (coleoptera : carabidae, including cicindelinae). *Fabrer's supplement 5*. Association des entomologistes amateurs du Quebec. 132 pp.
- LAVERTY, T.M., et HARDER, L.D. 1988. The bumble bees of eastern Canada. *Can.Entomol.* **120**: 965-987.
- LONG, B.B., et AVERILL, A.L. 2003. Compensatory response of cranberry to simulated damage by cranberry weevil (*Anthonomus musculus* Say) (Coleoptera: Curculionidae). *J. Econ. Entomol.* **96**: 407-412.
- LÖVEI G.L., et SUNDERLAND, K.D. 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Ann. Rev. Entomol.* **41**: 231-236.
- MAJKA, C.G., ANDERSON, R.S., et MCCORQUODALE, D.B. 2007. The weevils (Coleoptera: Curculionidea) of the Maritime provinces of Canada, II: new records from Nova Scotia and Prince Edward Island and regional zoogeography. *Can. Entomol.* **139**: 397-442.
- MALONEY, D. 2002. The ecology of wolf spiders (Lycosidae) in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) agroecosystems. Master's thesis, University of Maine, Orono, ME.
- MARINO, P.C., et LANDIS, D.A. 1996. Effect of landscape structure on parasitoids diversity and parasitism in agroecosystems. *Ecol. Appl.* **6**: 276-284.
- MARLETTO, F., PATETTA, A., et MANINO, A. 2003. Laboratory assessment of pesticide toxicity to bumblebees. *Bull. Insectology.* **56**: 155-158.

- MARSHALL, S.A. 2006. Insects their natural history and diversity. Published by firefly books Ltd. Ontario, Canada. 718 pp.
- MAUND, C., et CHIASSON, G. 1997. Blueberry Flea Beetle. New Brunswick, Department of Agriculture & Rural Development. <http://www.gnb.ca/0171/10/0171100012-e.asp>
- MCALPINE, J. F., PETERSON, B. V., SHEWELL, G. E., TESKEY, H. J., VOCKEROTH, J. R., WOOD, D. M., et CURRAN, C. H. 1987. Manual of Nearctic Diptera. Volume 2. Monograph, Research Branch, Agriculture Canada. 1332 pp.
- MEMMOTT, J., et GODFRAY, C.J. 1993. Parasitoid webs dans Hymenoptera and Biodiversity. Lasalle and Gauld (eds). Wallingford, UK. 217-235 p.
- MENALLED, F.D., COSTAMAGNA, A.C., MARINO, P.C. ET LANDIS, D.A. 2003. Temporal variation in the response of parasitoids to agriculture landscape structure. Agric. Ecosyst. Environ. **96**: 29-35.
- MENALLED, F.D., MARINO, P.C., GAGE, S., et LANDIS, D.A. 1999. Does agriculture landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity ? Ecol.Appl. **9**: 634-641.
- METCALF, C.L., et FLINT, W.P. 1962. Destructive and useful insects, their habits and control. McGraw-Hill, Inc. USA. 1087 pp.
- MITCHELL, T.B. 1962. Bees of the eastern united states, Volume 2. NC Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. No 152. USA. 557 pp.
- MOHR, N.A., et KEVAN, P.G. 1987. Pollinators and pollination requirements of Low-Bush Blueberry and cranberry in Ontario with notes on highbush blueberry and Lignonberry. Proc. Entomol. Soc. Ontario. 118: 149-153.
- MORRISSETTE, R., FRANCOEUR, A., et PERRON, J-M. 1985. Importance des Abeilles sauvages (Apoidae) dans la pollinisation des Bleuetiers nains (*Vaccinium* spp.) en Sagamie, Québec. Rev. Entomol. Que. **30**: 44-53.
- NEILSON, W.T.A. 1958. Notes on life-histories of sawflies (Hymenoptera: Tenthredinidae) common in low-bush blueberry fields in New Brunswick. Can. Entomol. **90** : 229-234.
- O'NEAL, M.E., ZONTEK, E.L., SZENDRE, Z. I., LANDIS, D.A., et ISAACS, R. 2005. Ground predator abundance affects prey removal in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fields and can be altered by aisle ground covers. BioControl. **50**: 205-222.
- O'TOOLE, C., et RAW, A. 1999. Bees of the worl. Blandford A Cassell imprint, UK. 192 pp.

- OUELLETTE, M. 1998. Description du cycle biologique, de la dynamique et de la gestion des populations de l'altise de l'airielle (Coleoptera : Chrysomelidae) dans des bleuetières cultivées au nord-est du nouveau-Brunswick. Moncton : Thèse de la faculté des sciences de l'Université de Moncton. 121 pp.
- PAINI, D.R. 2004. Impact of the introduced honey bees (*Apis mellifera*) (Hymenoptera: Apidae) on native bees: a review. *Austral Ecology*. **29**: 399-407.
- PAQUIN P., et DUPÉRRÉ, N. 2003. Guide d'identification des araignées (Araneae) du Québec. Fabriques, supplément 11. 251 pp.
- PARMESAN, C., RYRHOLM, C., STEPHANESCU, C., HILL, J.K., THOMAS, C.D., DESCIMON, H., HUNTLEY, B., KAILA, L., KULLBERY, J., TAMMARU, T., TENNENT, W. J., THOMAS, J.A., et WARREN, M. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*. **399**: 579-583.
- PATON, D.C. 1993. Honeybees *Apis mellifera* in the Australian environment. Does *Apis mellifera* disrupt or benefit native biota ? *Bioscience*. **43** : 95-103.
- PATON, D.C. 1996. Overview of Feral and Managed Honeybees in Australia: Distribution, Abundance, Extent of Interactions with Native Biota, Evidence of Impacts and Future Research. Canberra: Australian Nature Conservation Agency. <http://www.deh.gov.au/biodiversity/invasive/publications/bees/introduction.html>
- PERRON, J.M., et JOBIN, L. 1973. Étude des principaux problèmes entomologiques rattachés à la culture du bleuet au Lac-St-Jean. Université Laval, Québec. pp. 4-32.
- PHIPPS, C.R. 1930. Blueberry and huckleberry insects. Maine Agricultural Experiment Station Bulletin 356.
- PILON, C. 2009. Les cercopes du Québec. Entomofaune du Québec inc. 1988-2011. <http://entomofaune.qc.ca/entomofaune/cercopes/>
- PLOWRIGHT, R.C., et LAVERTY, T. M. 1987. Bumble Bees and crop pollination in Ontario. *Proc. Entomol. Soc. Ontario*. **118**: 155-160.
- POLAVARUPU, S., et SEABROOK, W.D. 1996. Seasonal diapause development, effects of temperature and photoperiod on postdiapause egg development , and validation of a degree-day model predicting larval eclosion of blueberry leaf-tier, *Croesia curvalana* (Kearfott) (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.* **128**: 187-198.
- PONDER, B.M. et SEABROOK, W.D. 1988. Biology of the blueberry leaf-tier *Croesia curvalana* (Kearfott) (Tortricidae): a field and laboratory study. *J. Lepidopt. Soc.* **42**: 120-131.

- RICHARDSON, D.M., N. ALLSOPP, C.M. D'ANTONIO, S.J. MILTON, et M. REJMANEK. 2000. Plant invasions - the role of mutualisms. *Biological Reviews*. **75**: 66-93.
- RICHMAN, D.B., HEMENWAY, R.C., et WHITCOMB, W.H., 1980. Field cage evaluation of predators of the soybean looper, *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera : Noctuidae). *Env. Ent.* **9**: 315-317.
- ROHLFS, W.M., et MACK, T.P. 1983. Effect of parasitization by *Ophion flavidus* Brulle (Hymenoptera: Ichneumonidae) on consumption and utilization of a pinto bean diet by fall armyworm (Lepidoptera : Noctuidae). *Environ. Entomol.* **12**: 1257-1259.
- ROLAND, J., et TAYLOR, P.D. 1997. Insect parasitoid species respond to forest structure at different spatial scales. *Nature*. **386**: 710-713.
- ROOT, T.L., PRICE, J.T., HALL K.R., SCHNEIDER, S.H., ROSENZWEIG, C., et POUNDS, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. **421**: 57-60.
- ROY, M., LÉGARÉ, J.-P. et FRÉCHETTE, M. 2013. La mouche du bleut (*Rhagoletis mendax*). Laboratoire de diagnostic en phytoprotection, Québec. 4 pp.
- RUST, R. W. 1974. The systematics and biology of the genus *Osmia*, *Chalcosmia* and *Cephalosmia* (Hymenoptera: Megachilidae). *Wasmann J. Biol.* **32**: 1-93.
- SAS Institute. 1998. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. SAS Institute inc. Cary, NC, USA. 1028 p.
- SHELTON, A. 2010. *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pentatomidae), Spined Soldier Bug dans Biological control: a guide to natural enemies in North America. Cornell University. <http://www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/> accessed (date)
- SHORTHOUSE, J.D., WEST, A., LANDRY, R.W., et THIBODEAU, P.D. 1986. Structural damage by female *Hemadas nubilipennis* (Hymenoptera: Pteromalidae) as a factor in gall induction on lowbush blueberry. *Can. Entomol.* **118**: 249-254.
- SLODERBECK, P.E., et YEARGAN, K.V. 1983. Comparison of *Nabis americanoferus* and *Nabis roseipennis* (Hemiptera: Nabidae) as predators of the green cloverworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Env. Entomol.* **12**: 161-165.
- SPRADBERY, J.P. 1973. Wasp, an account of the biology and natural history of solitary and social wasps. University of Washington press, Seattle. 408 pp.
- STEFFAN-DEWENTER, I. 2002. Landscape context affects trap-nesting bees, wasps, and their natural enemies. *Ecol. Entomol.* **27**: 631-637.

- STUBBS, C.S., et DRUMMOND, F.A. 2001. *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae): an alternative to *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) for lowbush blueberry pollination. J. Econ. Entomol. **94**: 609-616.
- STUBBS, C.S., JACOBSON, H.A. et OSGOOD, E.A. 1992. Alternate forage plants for native (wild) bees associated with lowbush blueberry, *Vaccinium* spp., in Maine. Maine Agr. Exp. Stn. Tech. Bull. 148, University of Maine, Orono.
- TAMAKI, G., et WEEKS, R.E. 1972. Efficiency of three predators, *Geocoris bullatus*, *Nabis americanoferus*, and *Coccinella transversogutata*, used alone or in combination against three insect prey species, *Myzus persicae*, *Ceramica picta*, and *Mamestra configurata*, in a greenhouse study. Env. Entomol. **1**: 258-263.
- THOMSON, H.M. 2003. Behavioural effects of pesticides in bees – Their potential for use in risk assessment. Ecotoxicology. **12**: 317-330.
- THOMSON, D.M. 2004. Competitive interactions between the invasive European honey bee and native bumble bees. Ecology. **85**: 458-470.
- THOMSON, D.M. 2006. Detecting the effects of introduced species: a case study of competition between *Apis* and *Bombus*. Oikos. **114**: 407-418.
- THORP, R.W. 2003. Bumble bees (Hymenoptera: Apidae): commercial use and environmental concerns in For Nonnative Crops, Whence Pollinators of the Future? Entomological Society of America. Lanham, Md.: Thomas Say Publications in Entomology. p. 21-40.
- TOOKER, J.F., et HANKS, L.M. 2000. Flowering plant hosts of adult hymenopteran parasitoids of central Illinois. Annu. Entomol. Soc. Am. **93**: 580-588.
- TSCHARNTKE, T., GATHMANN, A., et STEFFAN-DEWENTER, I. 1998. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions. J. Appl. Ecol. **35**: 708-719.
- VARKONYI, G., HANSKI, I., ROST, M., et ITAMIES, J. 2002. Host-parasitoid dynamics in periodic boreal moths. Oikos. **98**: 421-430.
- VOGT, D.F., et HEINRICH, B. 1994. Abdominal temperature regulation by Arctic bumblebees. Physiological Zoology. **66**: 257-269.
- WEBER, D.C., et RIDDICK, E.W. 2010. *Lebia grandis* (Coleoptera : Carabidae) dans Biological control: a guide to natural enemies in North America. Cornell University. <http://www.nysaes.cornell.edu/ent/biocontrol/> accessed (date)
- WEBER, D.C., ROWLEY D.R., GREENSTONE M.H., et ATHANAS M.M. 2006. Prey preference and host suitability of the predatory and parasitoid carabid beetle, *Lebia*

- grandis*, for several species of *Leptinotarsa* beetles. J. Insect Science. **6** : 09.
<http://insectscience.org/6.09>
- WEST, R. J. 1991. Notes on the biology and control of the black army cutworm, *Actebia fennica* (Lepidoptera : Noctuidae), in black spruce plantation. Proc. Ent. Soc. Ont. **122**: 53-63.
- WEST, A., et SHORTHOUSE, J.D. 1989. Initiation and development of the stem gall induced by *Hemadas nubilipennis* (Hymenoptera: Pteromalidae) on lowbush blueberry, *Vaccinium angustifolium* (Ericaceae). Can. J. Bot. **67**: 2187-2198.
- WOOD, G. W. 1918. The biology of Maine species of *Altica*. Maine Agricultural Experiment Station Bulletin. **273**: 149-204.
- WOOD, G. W. 1968. Self-fertility in the lowbush blueberry. Can. J. Plant Sci. **48**: 431-433.
- WOOD, G. W., et NEILSON, T.A. 1956. Notes on the black army cutworm, *Actebia fennica* (Tauscher), a pest of low-bush blueberry in New-Brunswick. Can. Ent. **88**: 93-96.
- ZHANG, Z., et MCEVOY, P.B. 1994. Attraction of *Longitarsus jacobaeae* males to cues associated with conspecific females (Coleoptera : Chrysomelidae). Environ. Entomol. **23**: 732-737.

CHAPITRE V

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le suivi entomologique réalisé lors de cette étude indique que les insectes nuisibles sont majoritairement plus abondants à l'intérieur de la bleuetière étant associés à la végétation dont ils s'alimentent. De manière générale, les groupes alliés sont plus nombreux à l'écotone où la diversité végétale est supérieure. La présence des pollinisateurs semble liée à la ressource florale dominante (bleuetier nain) étant aussi abondants en bleuetière qu'à l'écotone. Par ailleurs, les bourdons, composant la majorité de la force pollinisatrice des bleuetières du Québec (Boulanger *et al.*, 1967; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985) et étant reconnus pour leur efficacité de pollinisation supérieure (Javorek *et al.* 2002; Desjardins et de Oliveira, 2006) sont nettement plus abondants en bordure de forêt. Ainsi, l'étude de la distribution horizontale des insectes, de la forêt vers l'intérieur de la bleuetière, nous éclaire sur l'importance des milieux forestiers en pourtour de bleuetière afin d'y favoriser la présence des alliés tel le bourdon.

En accord avec les observations de Colla et Packer (2008) cette étude confirme un déclin évident de *Bombus terricola*, jadis un des principaux pollinisateurs des bleuetières, et de son parasite *B. (Psithirus) ashtoni*. Une nouvelle espèce maintenant très abondante, *Bombus borealis*, semble s'être approprié sa niche écologique. L'altise de l'airelle (*Altica sylvia*) et l'arpenreuse du bleuet (*Macaria andersoni andersoni*) sont les principaux insectes nuisibles rencontrés en bleuetières. Au Québec, cette dernière espèce remplace l'arpenreuse de l'airelle (*Macaria argillacearia*) qui est problématique dans les Maritimes et au Maine. La lébie noire et les punaises sont des alliés prédateurs méconnus ayant un fort potentiel pour le contrôle de l'altise et des arpenreuses. Leur potentiel, déjà remarqué par Ouellette (1998), mérite que l'on s'y attarde spécialement en développant des connaissances poussées sur la biologie de ces insectes. Ces connaissances ouvriront la voie vers l'utilisation possible de ces alliés pour une lutte biologique des arpenreuses et de l'altise de l'airelle, principales nuisances des bleuetières.

Une différence marquée du microclimat des deux sites expérimentaux cause une divergence importante de l'effet de l'irrigation par aspersion et d'une introduction de *Megachile rotundata* sur les paramètres étudiés. Le climat de la bleuetière de Sacré-Coeur est de type « continental » comparativement à celui de la bleuetière des Escoumins qui est plutôt de type « maritime », ces deux sites étant situés dans les terres et en bordure du fleuve Saint-Laurent, respectivement. Au printemps, cette masse d'eau maintient un climat frais, relativement humide, avec peu de fluctuations des températures. Ainsi, aucune période de gel printanier et de sécheresse d'importance n'a eu lieu. Par conséquent, à ce site les traitements aspersion et mégachiles n'ont pas d'influence sur les rendements fruitiers. L'aspersion afin de contrer la sécheresse exerce toutefois un contrôle sur le développement du blanc. Les *Megachile rotundata* ne se sont pas montrées d'efficaces pollinisateurs. Ces abeilles n'ayant pas la chaleur nécessaire pour s'investir dans la production de progéniture (nids) butinaient principalement le nectar des fleurs, ce qui, selon l'étude de Javorek *et al.* (2002) nuit à leur efficacité de pollinisation. Il serait d'un intérêt majeur d'étudier et de développer des techniques d'élevage pour des abeilles nordiques indigènes aux bleuetières, telles les osmies (Boulanger *et al.*, 1967; Finnamore et Neary, 1978; Morrissette *et al.*, 1985), qui devraient avoir un meilleur potentiel que la *Megachile rotundata* comme vecteur pollinique du bleuetier nain.

La mégachile en plus d'être un piètre pollinisateur est liée à une apparition hâtive et un développement rapide de maladies fongiques dont le blanc mais aussi la tache septorienne et la rouille du bleuet. Les nids de cette mégachile sont fabriqués de feuilles de bleuetier qui peuvent contenir ces maladies. Il est fort probable que les nids récupérés d'une année à l'autre jouent le rôle de vecteur de maladies fongiques dont les spores sont probablement introduites et dispersées par la nouvelle génération de mégachiles qui en émergent. Tel que le mentionnent Shinnars et Olson (1996) pour la pourriture sclérotique, il serait important de développer nos connaissances par la réalisation d'études sur la contribution relative des pollinisateurs dans la contamination et le développement de maladies en bleuetières.

Différemment, au printemps, la bleuetière de Sacré-Cœur se réchauffe plus rapidement et est soumise à des fluctuations de températures plus importantes subissant quelques périodes de gel tardif. À cette bleuetière dont le climat est ici qualifié de « continental », les aspersion afin de contrer la sécheresse et afin de contrer le gel font

augmenter les rendements. Cette augmentation est, pour l'aspersion lors de sécheresse, d'un maximum de 400 kg/ha grâce à un gain du poids moyen des bleuets et, pour l'aspersion lors du gel, d'un maximum de 280 kg/ha grâce à une mise à fruit accrue. Dans cette bleuetière au microclimat plus chaud lors de la floraison du bleuetier nain, les mégachiles sont relativement efficaces faisant augmenter les rendements d'un maximum de 286 kg/ha. À de fortes densités de mégachiles l'aspersion lors de sécheresse fait augmenter les rendements de 603 kg/ha.

Les résultats de l'étude en chambre à environnement contrôlé démontrent une augmentation significative de la mise à fruit suivant une aspersion d'eau sur les bleuetiers en fleurs, lors d'un gel simulé. L'humidité favorise la fécondité florale possiblement grâce à une sécrétion plus importante de l'exsudat stigmatique qui deviendrait plus propice à la germination des grains de pollen et à la croissance des tubes polliniques (vigueur pollinique).

Il serait important de pousser l'investigation afin de mieux comprendre cette influence positive de l'aspersion d'eau en période de floraison. Dans ce sens, une étude approfondie de l'exsudat stigmatique et de la sécrétion du nectar par les fleurs aiderait à comprendre les phénomènes ici observés, soit une fécondité accrue de la fleur et une abondance supérieure de pollinisateurs en bleuetière suivant l'aspersion d'eau.

5.1 LISTE DE RÉFÉRENCES

- AALDERS, L.E., et HALL, I.V. 1961. Pollen incompatibility and fruit set in Lowbush Blueberries. *Can. J. Genet. Cytol.* **3**: 300-307.
- ANDOW, D.A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annu. Rev. Entomol.* **36**: 561-586.
- ARAS, P., DE OLIVEIRA, D., et SAVOIE, L. 1996. Effect of a honey bee (Hymenoptera : Apidae) Gradient on the pollination and Yield of LowBush Blueberry. *J. Econ. Entomol.* **89**: 1080-1083.

- BENOIT, G.R., GRANT, W.J., ISMAIL, A.A., et YARBOROUGH, D.E. 1984. Effect of soil moisture and fertilizer on the potential and actual yield of lowbush blueberries. *Can. J. Plant Sci.* **64**: 683-689.
- BIGRAS-HUOT, F., HUOT, L., et JOBIN, L. 1973. La pollinisation du bleuët au Lac Saint-Jean. *Ann. Soc. Entomol. Que.* **18**: 15-36.
- BLATT, C.R., HALL, T.V., JENSEN, K.I.N., NIELSON, W.T.A., HILDEBRAND, P.D., NICKERSON, N.L., PRANGE, R.K., LISTER, P.D., CROZIER, L., et SIBEY, J.D. 1989. La production du bleuët nain. Agriculture Canada. Publication 1477/F. 61 p.
- BOULANGER, L.W., WOOD, G.W., OSGOOD, E.A. et DIRKS, C.O. 1967. Native bees associated with the lowbush blueberry in Maine and Eastern Canada. Maine Agricultural Experiment Station and Canada Agriculture Research Station. Bulletin T26. 22 p.
- CHANDLER, F.B., et MASON, I.C. 1942. The effect of mulch on soil moisture, soil temperature, and growth of blueberry plants. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **40**: 335-337.
- C.N.R.C. 1981. Interactions entre pesticides et pollinisateurs. Conseil national de recherches Canada. Publication No. 18471, Ottawa. 215 p.
- COLLA, S., et PACKER, L. 2008. Evidence for decline in eastern North American bumblebees (Hymenoptera: Apidae), with special focus on *Bombus affinis* Cresson. *Biodivers. Conserv.* **17**: 1379-1391.
- CORBETT, A., et ROSHENHEIM J.A. 1996. Impact of a natural enemy overwintering refuge and its interaction with the surrounding landscape. *Ecol. Entomol.* **21**: 155-164.
- CROZIER, L.M., et NEILSON, W.T.A. 1989. La Production du bleuët nain, Insectes ravageurs. Agriculture Canada, Publication 1477/F, Ottawa. 61 pp.
- DESJARDINS, E-C. 2003. Bourdon fébrile domestiqué: pollinisateur efficace du Bleuëtier nain? Montréal: Mémoire de la Faculté des Sciences de l'Université du Québec à Montréal. 67 pp.
- DESJARDINS, È-C. 2012. Évaluation d'un aménagement écologique et d'un agent de lutte biologique pour le contrôle de nuisances en bleuëtières sur la Côte-Nord. Rapport final présenté au programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire. Centre de Recherche Les Buissons, Québec. 66 pp.
- DESJARDINS, E-C., et DE OLIVEIRA, D. 2006. Commercial Bumble Bee *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apidae) as a Pollinator in Lowbush Blueberry (Ericaceae) Fields. *J. Econ. Entomol.* **99**: 443-449.

- DOGTEROM, M.H., WINSTON, M.L., et MUKAI, A. 2000. Effect of pollen load size and source (self, outcross) on seed and fruit production in highbush blueberry cv. «Bluecrop» (*Vaccinium corymbosum*; Ericaceae) . Amer. J. Bot. **87**: 1584-1591.
- DRUMMOND, F. A., et GRODEN, E. 2000. Evaluation of entomopathogens for biological control of insects pests of lowbush (wild) blueberry. Technical Bulletin 172. Maine agricultural and forest experiment station. University of Maine. 40 pp.
- ECK, P. 1988. Blueberry Science. Rutgers University Press, New Brunswick. NJ. 284 p.
- FINNAMORE, A.T., et NEARY, M.E. 1978. Blueberry pollinators of Nova Scotia, with a checklist of the Blueberry pollinators in Eastern Canada and Northeastern United States. Ann. Soc. Entomol. Que. **23**: 168-181.
- FREE, J. B. 1993. Insect pollination of crops. 2nd Edition. Academic Press. New York. 684 pp.
- GAUL, S.O., MCRAE, K.B., et ESTABROOKS, E.N. 2002. Integrated Pest Management of *Rhagoletis mendax* (Diptera: Tephritidae) in lowbush blueberry using vegetative field management. J. Econ. Entomol. **95**: 958-965.
- GOUGH, R.E. 1996. Blueberries north and south. J. small fruit vitic. **4**: 71-106.
- GUPTON, C.L. 1983. Variability among rabbiteye blueberry cultivars for tolerance of flowers to frost. HortScience. **18**: 713-714.
- HALL, I.V., et LEEFE, J.S. 1966. The effects of frost injury before harvest, on yield of marketable lowbush blueberries. Can. J. Plant Sci. **46**: 205.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., et MCRAE, K.B. 1982. Lowbush blueberry production in Eastern Canada as related to certain weather data. Can. J. Plant Sci. **62**: 809-812.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., et NEWBERRY, R.J. 1971. Frost injury to flowers and developing fruits of the lowbush blueberry as measured by impairment of fruit set. Naturaliste Canadien. **98**: 1053-1057.
- HALL, I.V., AALDERS, L.E., NICKERSON, N.L., et VANDER KLOET, S.P. 1979. The biological flora of Canada. I. *Vaccinium angustifolium* Ait., sweet lowbush blueberry. Can. Field Nat. **93**: 415-430.
- HEPLER, P.R., SMAGULA, J.M., et ISMAIL, A.A. 1978. Frost injury and frost protectants for lowbush blueberries. Res. Life Sci. Maine Agric. Exp. Sta. **25**: 1-5.
- HICKLENTON, P.R., REEKIE, J.Y., et GORDON, J. 2000. Physiological and morphological traits of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) plants in relation to post-transplant conditions and water availability. Can. J. plant Sci. **80**: 861-867.

- HICKLENTON, P.R., REEKIE, J.Y.C., MACKENZIE, K., RYAN, D., EATON, L.J., et HAVAR, P. 2002. Freeze damage and frost tolerance thresholds for flowers of the lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Acta Hort.* **574**: 193-201.
- JAVOREK, S., et MACKENZIE, K. 1994. Alfalfa Leafcutter Bees Pollinate Lowbush Blueberry. *Agriscopes*. **4**:1- 2.
- JAVOREK, S.K., MACKENZIE, K.E., et VANDER KLOET, S.P. 2002. Comparative pollination effectiveness among bees (Hymenoptera: Apoidea) on Lowbush blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **95**: 345-351.
- KARMO, E.A., VICKERY, V.R., et KINSMAN, G.B. 1959. The need for cross pollination between blueberry clones. Departement of Agriculture and Marketing, Truro. 4 p.
- KEVAN, P.G. 1975. Pollination and environmental conservation. *Environ. Conserv.* **2**: 293-298.
- KREMEN, C., N.M. WILLIAMS, R.L. BUGG, J.P. FAY, et THORP, R.W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters*. **7**: 1109-1119.
- LANDIS, D.A., MENALLED, F.D., COSTAMAGNA, A.C., et, WILKINSON T.K. 2005. Symposium, manipulating plant resources to enhance beneficial arthropods in agricultural landscapes. *Weed science*. **53**: 902-908.
- LAVOIE, V., et GUILLEMETTE, A. 1962. La production du bleuets dans la province de Québec et les problèmes qui s'y rattachent. Service de l'information et des recherches, ministère de l'agriculture, Québec. 120 p.
- LEE, W.R. 1958. Pollination studies on Low-Bush Blueberries. *J. Econ. Entomol.* **51**: 544-545.
- LOSEY, J.E., et VAUGHAN, M. 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioSciences*. **56**: 311-323.
- LUBY, J.J., BALLINGTON, J.R., DRAPER, A.D., PLISZKA, K., et AUSTIN, M.E. 1990. Blueberries and cranberries (*Vaccinium*). *Acta Hort.* **290**: 393-456.
- MACKENZIE, K.E., et WINSTON, M.L. 1984. Diversity and abundance of native bee pollinators on berry crops and natural vegetation in the lower Fraser Valley, British Columbia. *Can. Entomol.* **116**: 965-974.
- MACKENZIE, K.E., ROGERS, D., et JAVOREK S. 1998. The alfalfa leafcutter bee (*Megachile rotundata* L.), an alternative managed pollinator of lowbush blueberry. *Acta hort.* **446**: 393-456.

- MALO, S.E., et ORTH, P.G. 1977. Effect of the 1977 freeze on avocados and limes in south Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **90**: 247-251.
- MARINO, P.C., LANDIS, D.A., et HAWKINS. 2006. Conserving parasitoid assemblages of North American pest Lepidoptera: Does biological control by native parasitoids depend on landscape complexity ? *Biol. Control* **37**: 173-185.
- MARUCCI, P.E. 1966. Blueberry pollination. *American Bee J.* **106**: 250-251.
- MCGREGOR, S.E. 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. U. S. Dep. Agric. Handbook no 496. 411 pp.
- MENALLED, F.D., MARINO, P.C., GAGE, S., et LANDIS, D.A. 1999. Does agriculture landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity ? *Ecol. Appl.* **9**: 634-641.
- METZGER, H.B., et ISMAIL, A.A. 1976. Management practices and cash operating costs in lowbush blueberry production. Bulletin Orono, Maine Life Sciences and Agriculture Experiment Station, University of Maine volume 723. 22 p.
- MORRISSETTE, R., FRANCOEUR, A., et PERRON, J-M. 1985. Importance des Abeilles sauvages (Apoidae) dans la pollinisation des Bleuetiers nains (*Vaccinium* spp.) en Sagamie, Québec. *Rev. Entomol. Que.* **30**: 44-53.
- NENTWIG, W. 1988. Augmentation of beneficial arthropods by strip-management. *Oecologia.* **76**: 597-606.
- NYFFELER, M., et SUNDERLAND, K.D. 2003. Composition, abundance and pest control potential of spider communities in agroecosystems: a comparison of European and US studies. *Agric. Ecosyst. Environ.* **18**: 145-154.
- OLSON, A.R., et EATON, L.J. 2001. Spring frost damage to placental tissues in lowbush blueberry flower buds. *Can. J. Plant Sci.* **81**: 779-781.
- OUELLETTE, M. 1998. Description du cycle biologique, de la dynamique et de la gestion des populations de l'altise de l'airelle (Coleoptera : Chrysomelidae) dans des bleuetières cultivées au nord-est du nouveau-Brunswick. Moncton : Thèse de la faculté des sciences de l'Université de Moncton. 121 pp.
- PARSON, L.R., et TUCKER, D.P.H. 1984. Sprinkler irrigation for cold protection in citrus groves and nurseries during an advective freeze. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* **97**: 28-30.
- PFAMMATTER, W. 1998. Lutte contre le gel par aspersion en arboriculture fruitière. *Vitic. Arboric. hortic.* **30**: 331-334.

- RAYMENT, A.F. 1965. The response of native stands of lowbush blueberry in Newfoundland to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. *Can. J. Plant Sci.* **45** : 145-152.
- RODRIGUE, P. 2002. L'aménagement forêt-bleuet sur terres publiques. *Le monde forestier*. Octobre. 11 p.
- ROOT, R.B. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr.* **43**: 95-124.
- SHINNERS, T.C., et OLSON A.R. 1996. The gynoecial infection pathway of *Monilinia vaccinii-corymbosi* in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*). *Can. J. Plant Sci.* **76**: 493-497.
- SMITH, W.W., EGGERT, R., HODGDON, A.R., et YEAGER, A.F. 1946. Response of lowbush blueberry to fertilizers. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* **48**: 263-268.
- SPIERS, J.M. 1996. Established 'Tifblue' rabbiteye blueberries respond to irrigation and fertilization. *HortScience*. **31**: 1167-1168.
- STEFFAN-DEWENTER, I. 2002. Landscape context affects trap-nesting bees, wasps, and their natural enemies. *Ecol. Entomol.* **27**: 631-637.
- STEFFAN-DEWENTER, I., MÜNZENBERG, U., BÜRGER, C., THIES, C., et TSCHARNTKE, T. 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*. **83**: 1421-1432.
- STRUCHTEMEYER, R.A. 1956. For larger yields, irrigate lowbush blueberries. *Maine Farm Res.* **4**: 17-18.
- STUBBS, C.S., et DRUMMOND, F.A. 1997. Management of the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae), for pollination of wild lowbrush blueberry. **70**: 81-93.
- STUBBS, C.S., JACOBSON, H.A. et OSGOOD, E.A. 1992. Alternate forage plants for native (wild) bees associated with lowbush blueberry, *Vaccinium* spp., in Maine. *Maine Agr. Exp. Stn. Tech. Bull.* 148, University of Maine, Orono.
- SUNDERLAND, K., et SAMU, F. 2000. Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. **95**: 1-13.
- SYLVESTRE, G. 1970-71. Contrôle de l'eau. *Dans la recherche sur le bleuet. Éditeur: V. Lavoie. Faculté d'Agriculture de l'Université Laval, Québec.* p. 76-81.

- SYMONDSON, W.O.C., SUNDERLAND, K.D., et GREENSTONE, M.H. 2002. Can generalist predators be effective biocontrol agents ? *Annu. Rev. Entomol.* **47**: 561-594.
- THÉRIAULT, P.É. 1999. Des bleuets dans la forêt. *Le Bulletin des agriculteurs*. Avril, p.96.
- THIES, C., et TSCHARNTKE, T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science*. **295**: 893-895.
- TSCHARNTKE, T., GATHMANN, A., et STEFFAN-DEWENTER, I. 1998. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: community structure and interactions. *J. Appl. Ecol.* **35**: 708-719.
- WALTON, N.J., et ISAACS R. 2011. Influence of native flowering plant strips on natural enemies and herbivores in adjacent blueberry fields. *Environ. Entomol.* **40**: 697-705.
- WOOD, G.W. 1968. Self-fertility in the lowbush blueberry. *Can. J. Plant. Sci.* **48**: 431-433.
- WOOD, G.W., et WOOD, F.A. 1962. Mortality of bumble bees in commercial low bush blueberry fields dusted with calcium arsenate. *J. Econ. Entomol.* **55**: 537-539.
- YARBOROUGH, D.E. 2002. Flower Primordia Development Stage. Fact Sheet No. 216, UMaine Extension No. 2003. Available at : <http://umaine.edu/blueberries/factsheets/production/flower-primordia-development-stage/>
- YARBOROUGH, D.E., HANCHAR, J.J., SKINNER, S.P., et ISMAIL, A.A. 1986. Weed response, yield, and economics of hexazinone and nitrogen use in lowbush blueberry production. *Weed Sci.* **34**: 723-729.
- YOUNG, R.S. 1951. Growth and Developement of the Blueberry Fruit (*Vaccinium Corymbosum* L. and *V. Angustifolium* Ait.). *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **59**: 167-172.