

**PHÉNOLOGIE ET BIOLOGIE DE LA MOUCHE DU BLEUET DANS LE CONTEXTE
DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN**

21-016-ULAV

DURÉE DU PROJET : 04-2021 / 04-2024

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Frédéric MCCUNE¹ et Valérie FOURNIER¹
¹Université Laval

15 avril 2024

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

TITRE DU PROJET : PHÉNOLOGIE ET BIOLOGIE DE LA MOUCHE DU BLEUET DANS LE CONTEXTE DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN

NUMÉRO DU PROJET : 21-016-ULAV

RÉSUMÉ DU PROJET

La mouche du bleuet (*Rhagoletis mendax* Curran, 1932, Diptera : Tephritidae) est un ravageur d'importance dans les principales régions productrices de bleuet nain. Les fruits infestés par des larves de mouche sont invendables et la tolérance est nulle pour la commercialisation. La récente introduction de la mouche du bleuet dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean a mené, en 2020, à une révision de l'aire de distribution réglementée par l'ACIA pour y inclure les municipalités de cette région, désormais la plus nordique connue de l'insecte. Le but de ce projet était de documenter la biologie de la mouche du bleuet dans le contexte du Saguenay-Lac-St-Jean et ainsi de confirmer l'applicabilité de stratégies de lutte intégrée développées dans le Maine et les provinces maritimes. Nous avons déployé un dispositif de piégeage sur deux bleuetières en 2021 (Dolbeau-Mistassini et Saint-Méthode) et cinq bleuetières en 2022 et 2023 (Dolbeau-Mistassini et Albanel). Nous concluons que les plantes sauvages du Saguenay-Lac-St-Jean ne représentent pas des hôtes alternatifs potentiels de la mouche du bleuet, que le modèle prédictif développé par Teixeira et Polavarapu (2001) permet de prédire la phénologie de la mouche du bleuet au Saguenay-Lac-St-Jean et que les parcelles de forêts représentent des sources pour ses populations. Nos résultats indiquent que certaines stratégies de gestion employées ailleurs contre la mouche du bleuet pourraient s'avérer également efficaces sous les conditions du Saguenay-Lac-St-Jean.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif général de ce projet était de documenter la biologie de la mouche du bleuet (*Rhagoletis mendax* Curran, 1932, Diptera : Tephritidae) dans le contexte du Saguenay-Lac-St-Jean et ainsi de confirmer l'applicabilité de stratégies de lutte intégrée développées dans le Maine et les provinces maritimes. Plus précisément, les sous-objectifs spécifiques étaient 1) de déterminer les hôtes alternatifs potentiels de la mouche du bleuet dans et autour des bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean, 2) de documenter la phénologie de la mouche du bleuet au Saguenay-Lac-St-Jean et d'évaluer un modèle prévisionnel basé sur les cumuls thermiques (degrés-jours) et 3) de documenter les mouvements de la mouche du bleuet entre les parcelles en production, en croissance végétative et de forêt, et d'ainsi évaluer l'applicabilité des mesures de lutte intégrée utilisées dans le Maine et les provinces maritimes dans le contexte du Saguenay-Lac-St-Jean. Finalement, nous souhaitions évaluer si le seuil d'intervention utilisé dans le Maine, soit six mouches/pièges en moyenne lors d'une visite unique ou dix mouches/pièges en moyenne sur plusieurs visites (Dill et al., 2001; Drummond et Collins, 2020), était pertinent en fonction des dommages et des captures que nous avons observés.

Sous-objectif 1 : les hôtes alternatifs

Pour évaluer les hôtes alternatifs potentiels, nous avons cueillis les fruits sauvages mûrs des espèces présentes sur plusieurs sites infestés par la mouche du bleuet au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les espèces cueillies incluent le bleuet nain (bleuet à feuilles étroites) poussant

dans les parcelles d'habitat naturel (*Vaccinium angustifolium* Aiton, Ericaceae), mais également le petit thé (*Gaultheria hispida* (Linnaeus) Muhlenberg ex Bigelow, Ericaceae), le thé des bois (*Gaultheria procumbens* Linnaeus, Ericaceae), l'aralie hispide (*Aralia hispida* Ventenat, Araliaceae), le quatre-temps (*Cornus canadensis* Linnaeus, Cornaceae), le némopanthe mucroné (*Ilex mucronata* (Linnaeus) M. Powell, V. Savolainen & S. Andrews, Aquifoliaceae), l'amélanchier, dont l'amélanchier de Bartram et l'amélanchier sanguin (*Amelanchier* sp. Medikus, *Amelanchier bartramiana* (Tausch) M. Roemer et *Amelanchier sanguinea* (Pursh) de Candolle, Rosaceae), l'aronie à fruits noirs (*Aronia melanocarpa* (Michaux) Elliott, Rosaceae), le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* Linnaeus f., Rosaceae) et le sorbier (*Sorbus* sp. Linnaeus, Rosaceae). Les fruits, cueillis à la main, ont été placés sur des plateaux de sable pour que les larves présentes dans ceux-ci puissent s'enfouir et se transformer en pupes. Les pupes ont ensuite été récupérées et placées au froid (4°C) pour simuler une diapause obligatoire de 120 jours, puis placées à la température de la pièce pour permettre l'émergence des adultes.

Puisque le taux d'émergence des adultes était faible en 2021, les pupes récoltées en 2022 et 2023 ont été envoyées au Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (LEDP-MAPAQ) pour être identifiées par séquençage. Quelques pupes non-émergées de 2021 y ont également été envoyées. Les identifications moléculaires, incluant l'extraction d'ADN, l'amplification par réaction en chaîne (PCR) et l'électrophorèse, ont été réalisées au LEDP. L'ADN a été extrait des pupes de Tephritidae à l'aide des trousse DNeasy Blood & Tissue Kits (Qiagen) selon les spécifications du fabricant. Comme l'ont souligné Folmer et al. (1994), la sous-unité I de la cytochrome c oxydase mitochondriale (COX I) est une région hautement conservée qui peut être utilisée pour décrire et discriminer certaines espèces d'invertébrés. Les amores utilisées pour amplifier cette région sont LCO1490 (5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3') et HCO2198 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3'). Les produits PCR ont été électrophorisés en utilisant le système QIAxcel Advanced (Qiagen) avec les kits QIAxcel DNA selon les spécifications du fabricant. Les échantillons d'ADN qui présentaient des fragments correspondant à 500 pb ont été utilisés pour le séquençage. Le séquençage a été réalisé par la Plateforme de séquençage et de génotypage (CRCHU de Québec-CHUL) à l'aide de l'analyseur d'ADN 3730xl et du kit BigDye Terminator 3.1 (Applied Biosystems, USA). Les séquences ont été éditées et analysées à l'aide du logiciel Geneious (Biomatters). Une recherche de similarité dans les séquences a été effectuée dans GenBank (NCBI - National Center for Biotechnology Information) et dans BOLD (BOLD Systems) à l'aide du programme BLAST.

Sous-objectif 2 : la phénologie de la mouche du bleuet et les modèles bioclimatiques

Un dispositif de piégeage a été déployé pour les objectifs 2 et 3 (Annexe 1). Spécifiquement, des transects de pièges collants jaunes Pherocon® AM (Trécé Inc., Adair, OK; distribués par Distributions Solida Inc., St-Ferréol-les-Neiges, QC) ont été installés à la jonction de trois types d'habitats (champs en production, champs en croissance végétative et parcelles de forêt). Les pièges ont été installés conformément aux recommandations du MAPAQ (Martel et Moreau, 2020), c'est-à-dire fixés sur des piquets de 15 à 30 cm au-dessus des plants, sans brindilles ou feuilles qui viennent les obstruer et placés en forme de V à un angle de 45°, l'arête du pli et la surface collante jaune exposées face au sol. Les pièges étaient disposés le long des transects à 0, 5, 15, 30 et 60 mètres depuis la jonction dans les champs et à 5 et 15 mètres depuis la jonction dans les parcelles de forêts. Neuf transects étaient ainsi établis par bleuetière (trois types de jonctions d'habitats X trois répétitions), pour un total de 69 pièges par bleuetière. Dans tous les cas, les transects étaient distants de 20 m les uns des autres. Ce dispositif a été établi dans deux bleuetières en 2021 (Dolbeau-

Mistassini et Saint-Méthode) et cinq bleuetières en 2022 et 2023 (trois à Dolbeau-Mistassini, incluant le site de 2021, et deux à Albanel) (Annexe 2). Les pièges ont été relevés deux fois par semaine, mais remplacés seulement aux deux semaines. Les spécimens capturés ont été conservés dans l'alcool et sexés. Les femelles ont été disséquées en laboratoire pour en déterminer la maturité sexuelle. Celles dont l'abdomen contenait au moins un œuf ont été considérées comme matures sexuellement. Le piégeage a commencé chaque année vers la mi-juin et s'est terminé deux semaines après la dernière capture, soit vers le début ou la mi-septembre.

Afin de répondre au deuxième objectif, des capteurs de température du sol ont été installés sur chaque site dès que ceux-ci étaient accessibles après la fonte des neiges (Micro-stations HOBO H21-USB avec capteurs de température du sol S-TMB-M006, Onset, Bourne, MA). Les capteurs enregistraient la température à chaque heure. Nous avons ensuite calculé la température moyenne journalière pour chaque site et la moyenne des températures obtenues par l'ensemble des sites pour une date donnée afin d'estimer les degrés-jours accumulés par la culture chaque jour. Nous avons calculé les degrés-jours deux fois, soit avec les températures de base stipulées par chacun des deux modèles prévisionnels élaborés aux États-Unis (Dill et al., 2001; Teixeira et Polavarapu, 2001), soit 4,7°C et 30°F. Des courbes d'émergence des femelles ont été créées et elles ont été comparées avec les prédictions obtenues avec chacun des modèles prévisionnels existants.

Sous-objectif 3 : utilisation des habitats par la mouche du bleuet

Avec les données de captures selon l'habitat et la distance, nous répondons aux hypothèses du troisième objectif. Des modèles mixtes linéaires généralisés (fonction glmmTMB du package du même nom (Brooks et al., 2017) sur R (R Core Team 2023)) ont été effectuées pour déterminer l'impact de l'habitat et de la distance sur la présence de la mouche du bleuet. La variable réponse était le nombre total de mouches du bleuet capturées par traitement (type de jonction d'habitats et distance) et par date. Les facteurs fixes étaient le piège (combinaison de la jonction d'habitat et de la distance [p. ex. piège à 15 m. dans un champ en production bordant la forêt]), le jour Julien, le jour Julien au carré, le sexe du spécimen capturé et toutes les interactions doubles et triples entre ces paramètres. Pour ces analyses, uniquement les captures effectuées entre le 20 juin et le 31 juillet ont été prises en compte. Cette période est le moment où les captures sont les plus importantes, où il est attendu que la mouche du bleuet migre entre les habitats et où les producteurs risquent de traiter. Les captures de mouches du bleuet sur les trois pièges situés à une même distance pour une jonction d'habitat donnée (les trois transects) ont été additionnées afin d'éviter la pseudoréPLICATION. Les facteurs aléatoires étaient le site, l'année et l'interaction entre le site et l'année. Afin de prendre en compte le nombre important de zéros dans les données (pièges sans capture de mouches du bleuet à une date donnée), nous avons employé un modèle comportant une structure avec inflation de zéros et une famille binomiale négative. Des contrastes ont été construits pour identifier les différences entre les habitats.

Aussi, des tests de larves ont été effectués pour vérifier le niveau d'infestation des fruits avant la récolte et ainsi d'évaluer la pertinence du seuil d'intervention déterminé dans le Maine. Les fruits à l'intérieur d'un quadrat de 1 m² ont été récoltés à 2 m de distance de chaque piège installé dans une parcelle en production. Le nombre de larves dans les fruits a été déterminé grâce à la technique avec solution concentrée sucrée (Martel et Moreau, 2020).

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Sous-objectif 1 : les hôtes alternatifs

Plus de 20 000 fruits sauvages ont été récoltés chaque année (Tableau 1). En 2021, des pupes ont été trouvées dans les fruits de bleuet nain (11 pupes), ainsi que dans les fruits de cerisier de Pennsylvanie (1 880 pupes). Deux pupes ont également été trouvées dans le thé des bois. Cependant, nous croyons que ces dernières proviennent d'une contamination par des fruits de cerisier de Pennsylvanie. En 2022, des pupes ont de nouveau été retrouvées dans les fruits de bleuet nain (sept pupes) et de cerisier de Pennsylvanie (17 pupes), mais également dans les fruits d'aronie à fruits noirs (une pupe). En 2023, des pupes ont encore une fois été retrouvées dans les fruits de bleuet nain (une pupe) et de cerisier de Pennsylvanie (3 129 pupes), mais également dans les fruits de thé des bois (une pupe) et de némopanthe mucroné (une pupe). Le quatre-temps, l'amélanchier, l'aralie hispide, le petit thé et le sorbier ne semblent pas être des hôtes alternatifs de la mouche du bleuet. En effet, aucune pupe n'a été récupérée dans ces espèces.

Des 1 880 pupes récoltées en 2021 dans les fruits de cerisiers de Pennsylvanie, seules 196 adultes ont émergé. Parmi ceux-ci, 107 ont pu être identifiés comme des trypètes noires des cerises (*Rhagoletis fausta* (Osten Sacken, 1877), Diptera : Tephritidae), alors que 89 n'ont pu être identifiés puisque l'adulte n'a pas pu bien sortir de la pupe et déployer ses ailes. En ce qui concerne les pupes d'autres fruits, un adulte a émergé d'une pupe provenant de thé des bois, mais il n'a pu être identifié. Aucune mouche du bleuet n'a émergé des fruits, peu importe l'espèce. Nous avons donc procédé à l'identification moléculaire de certaines pupes (Tableau 2). Ainsi, 41 pupes ont été séquencées en 2021 (30 provenant de cerisier de Pennsylvanie, 10 de bleuet nain et une de thé des bois), 17 en 2022 (neuf provenant de cerisier de Pennsylvanie, sept de bleuet nain et une d'aronie à fruits noirs) et 39 en 2023 (36 provenant de cerisier de Pennsylvanie, une de bleuet nain, une de thé des bois et une de némopanthe mucroné). Sur 18 pupes retrouvées dans du bleuet nain, nous avons identifié 16 mouches du bleuet, mais aussi deux trypètes noires de cerises. Il faut mentionner que la méthode utilisée ne permet pas de différencier la mouche du bleuet de la mouche de la pomme (*Rhagoletis pomonella* (Walsh, 1867), Diptera : Tephritidae), mais il est très peu probable que les pupes retrouvées dans des bleuets soient des mouches de la pomme. Les 16 pupes de mouche du bleuet récoltées dans les bleuets sont les seules que nous ayons trouvées. Les 79 autres pupes, provenant de quatre espèces de plantes que nous avons fait séquencer, étaient des trypètes noires des cerises ou des parasitoïdes. La trypète noire des cerises est une espèce de Tephritidae apparentée à la mouche du bleuet. Elle ne cause cependant pas de dommages aux cultures. Sa présence dans les fruits sauvages sur les bleuetières n'a donc aucun impact, outre rendre plus fastidieux le dépistage de la mouche du bleuet compte tenu de leurs similitudes. Les parasitoïdes retrouvés étaient des *Uteles* sp. et *Diachasmimorpha mellea*, des guêpes parasitoïdes de la famille des Braconidae (Hymenoptera) connues pour s'attaquer aux Tephritidae. Leur potentiel comme agents de lutte biologique mériterait d'être étudié.

Le sous-objectif spécifique 1) étaient de déterminer les hôtes alternatifs potentiels de la mouche du bleuet dans et autour des bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Notre recherche intensive n'a permis d'identifier aucun nouvel hôte alternatif potentiel dans les bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean. Nous concluons que les plantes sauvages ne représentent pas des sources de contamination par la mouche du bleuet et que la gestion de la végétation ne fait pas partie des méthodes de gestion à employer.

Tableau 1 – Récapitulatif des hôtes alternatifs inventoriés en 2021, 2022 et 2023 et des pupes qui y ont été trouvées.

Année	Hôte alternatif	Fruit récoltés	Pupes récoltées	Pourcentage de fruits infestés (%)
2021	Amélanchier	1 005	0	0
	Quatre-temps	23 631	0	0
	Thé des bois	170	2	1,18
	Cerisier de Pennsylvanie	2 615	1 880	71,89
	Bleuet nain	3 292	11	0,33
2022	Amélanchier de Bartram	51	0	0
	Amélanchier sanguin	163	0	0
	Aralie hispide	8 234	0	0
	Aronie à fruits noirs	3 885	1	0,03
	Quatre-temps	6 284	0	0
	Petit thé	119	0	0
	Thé des bois	559	0	0
	Némopanthe mucroné	3 001	0	0
	Cerisier de Pennsylvanie	375	17	4,53
2023	Bleuet nain	10 772	7	0,06
	Amélanchier de Bartram	75	0	0
	Aralie hispide	4 243	0	0
	Quatre-temps	3 343	0	0
	Thé des bois	593	1	0,17
	Némopanthe mucroné	3 282	1	0,03
	Cerisier de Pennsylvanie	7 499	3 129	41,73
	Sorbier	879	0	0
	Bleuet nain	1 413	1	0,07

Tableau 2 – Récapitulatif des pupes de Tephritidae séquencées en 2021, 2022 et 2023 et des résultats des analyses.

Année	Hôte alternatif	Pupes séquencées	Résultat
2021	Thé des bois	1	1 x parasité : <i>Utetes</i> sp. (Braconidae) 20 x trypète noire des cerises
	Cerisier de Pennsylvanie	30	2 x parasité : <i>Utetes</i> sp. (Braconidae) 6 x parasité : <i>Diachasmimorpha mellea</i> (Braconidae) 2 x échec d'amplification
	Bleuet nain	10	8 x mouche du bleuet 2 x trypète noire des cerises
	Aronie à fruits noirs	1	1 x parasité : <i>Utetes</i> sp. (Braconidae) 3 x trypète noire des cerises
	Cerisier de Pennsylvanie	9	4 x parasité : <i>Utetes</i> sp. (Braconidae) 2 x parasité : <i>Diachasmimorpha mellea</i> (Braconidae)
	Bleuet nain	7	7 x mouche du bleuet
2022	Thé des bois	1	1 x trypète noire des cerises
	Némopanthe mucroné	1	1 x trypète noire des cerises 34 x trypète noire des cerises
	Cerisier de Pennsylvanie	36	2 x parasité : <i>Diachasmimorpha mellea</i> (Braconidae)
	Bleuet nain	1	1 x parasité : <i>Diachasmimorpha mellea</i> (Braconidae)
2023			

Sous-objectif 2 : la phénologie de la mouche du bleuet et les modèles bioclimatiques

En 2021, 304 mouches du bleuet ont été capturées à Dolbeau. De ce nombre, 26 % étaient des mâles et 72 % des femelles (six spécimens n'ont pu être sexés). Malheureusement, le site de Saint-Méthode a dû être retiré de nos analyses et du projet, car une seule capture de la mouche du bleuet y a été faite à l'été 2021. En 2022, 652 mouches du bleuet ont été capturées sur les cinq bleuetières suivies. De ce nombre, 26 % étaient des mâles et 68 % des femelles (36 spécimens n'ont pu être sexés). En 2023, 1 193 mouches du bleuet ont été capturées sur les cinq bleuetières suivies. De ce nombre, 14 % étaient des mâles et 85 % des femelles (10 spécimens n'ont pu être sexés). Peu importe le site ou l'année, la proportion de mâles diminuaient toujours au fil de la saison (Figure 1).

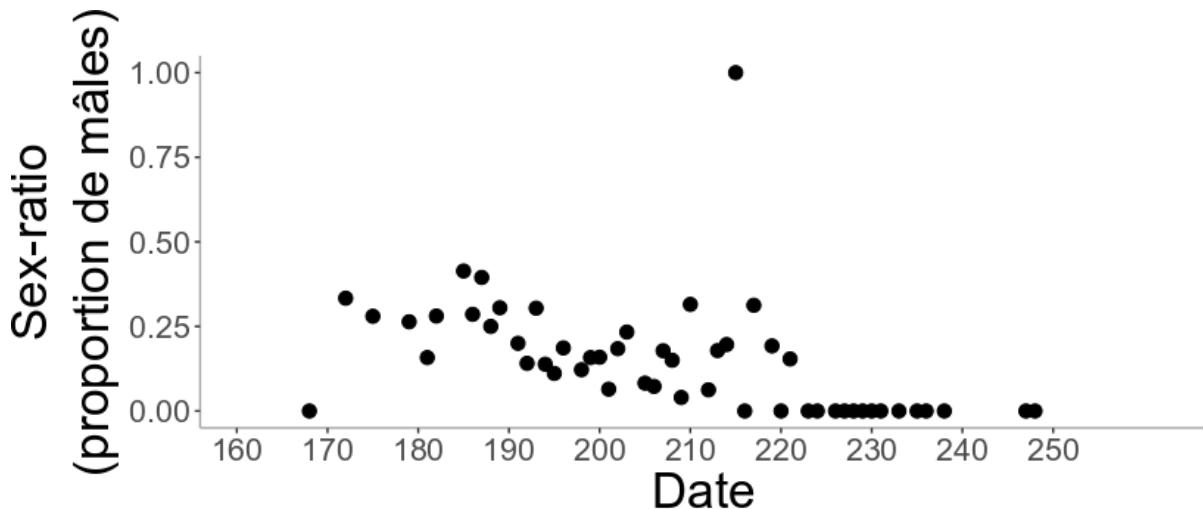


Figure 1 – Sex-ratio (proportion de mâles) en fonction de la date (en jours Julian) pour les mouches du bleuet capturées sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean de 2021 à 2023 (les jours 160 et 250 correspondent respectivement au 9 juin et au 7 septembre).

En moyenne, les captures de mouche du bleuet ont été effectuées de la mi-juin à la fin-août (Figure 2). En 2021, la première capture a eu lieu le 17 juin, alors que la dernière mouche du bleuet a été trouvée le 16 août. Sur les 304 captures, 98 % ont été effectuées en trois semaines, soit du 21 juin au 12 juillet. Cela s'explique par le fait qu'un insecticide ait été appliqué sur l'entièreté du site de Dolbeau le 6 juillet 2021. Ce traitement a visiblement affecté nos captures et ces données doivent être interprétées avec prudence. En 2022, les captures ont eu lieu du 1 juillet au 5 septembre, alors qu'elles se sont échelonnées du 30 juin au 17 août en 2023. Les interventions phytosanitaires effectuées par les producteurs en 2022 (un seul des cinq sites suivis a effectué un traitement insecticide) et 2023 (trois des cinq sites suivis ont effectué un traitement insecticide) n'ont pas été suivis de diminutions aussi marquées dans les captures, ce qui nous a permis d'inventorier les populations de mouches du bleuet sur toute la saison.

Peu importe l'année, les femelles de mouches du bleuet ont majoritairement atteint leur maturité sexuelle, et donc leur capacité à pondre des œufs dans les fruits, en juillet (Figure 3). En 2021, la première femelle mature a été capturée le 28 juin (1,52 % des femelles capturées à cette date). Le pourcentage de femelles matures est passée à 19,44 % le 1 juillet et à 28,57 % le 12 juillet. En 2022, la première femelle mature a été capturée le 8 juillet (2,44 % des femelles capturées à cette date). Le pourcentage de femelles matures est passée à 32,61 % le 15 juillet, à 59,09 % le 22 juillet et à 95,12 % le 2 août. En 2023, la première femelle mature a été capturée dès le 30 juin (29,03 % des femelles capturées à cette date). Le pourcentage de femelles matures est passée en moyenne à 72,71 % en juillet et à 100 % à partir du 8 août.

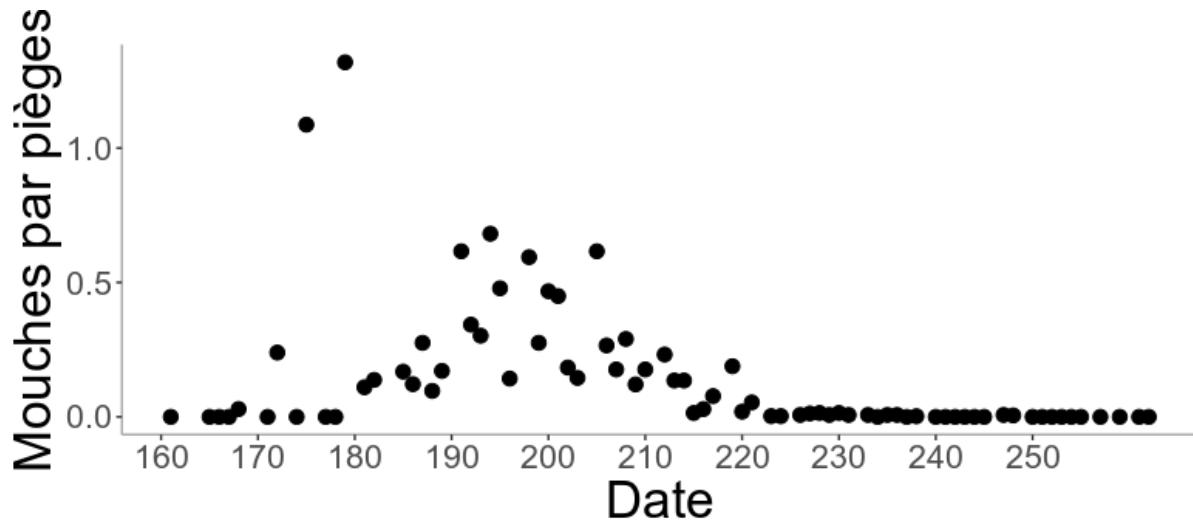


Figure 2 – Nombre moyen de mouches du bleuet par piège en fonction de la date (en jours Julian) pour les mouches du bleuet capturées sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean de 2021 à 2023 (les jours 160 et 250 correspondent respectivement au 9 juin et au 7 septembre).

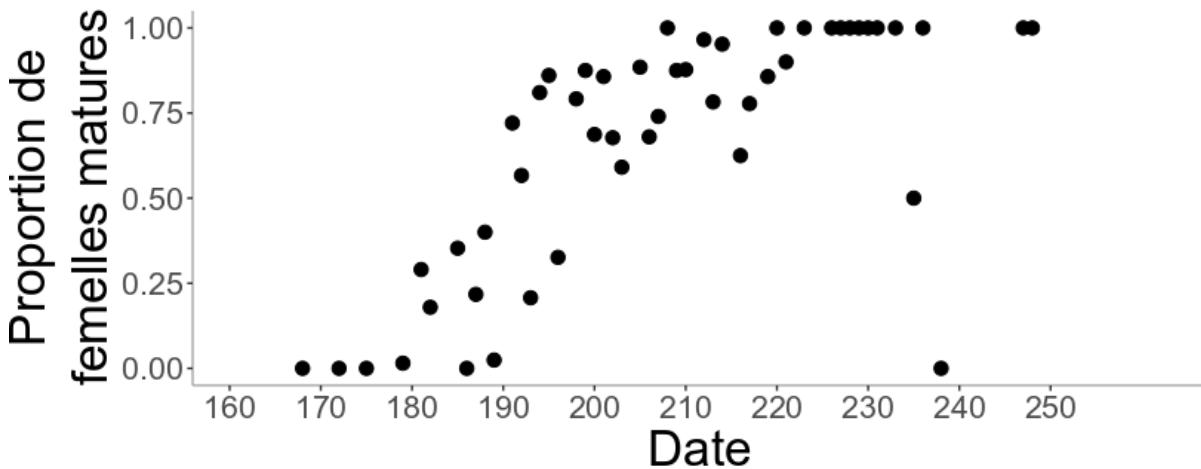


Figure 3 – Proportion de femelles matures en fonction de la date (en jours Julian) pour les mouches du bleuet capturées sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean de 2021 à 2023 (les jours 160 et 250 correspondent respectivement au 9 juin et au 7 septembre).

Les données de captures et de température recueillies ont permis d'évaluer les modèles bioclimatiques en 2022 et 2023. Ces modèles permettent de prédire l'émergence des mouches du bleuet femelles en fonction de l'accumulation de chaleur (degrés-jours ou cumuls thermiques). Le modèle de Teixeira et Polavarapu (2001) a prédit que les premières émergences auraient lieu les 6 juillet 2022 et 4 juillet 2023 respectivement. Nos premières captures n'ont eu lieu que quelques jours plus tôt, soit les 1 juillet 2022 et 30 juin 2023 respectivement. Les pics d'émergence (50 %) ont été prédis 20 juillet 2022 et 15 juillet 2023. Ces jalons ont été atteints respectivement les 22 juillet 2022 et 19 juillet 2023 sur nos sites. Globalement, nos données suivaient assez précisément les émergences prédictes par

le modèle (Figures 4 et 5). Au contraire, le modèle développé par Dill et al. (2001) a prédit des pics d'émergence en juin, avant nos premières captures.

Nous concluons donc que le modèle prédictif de Teixeira et Polavarapu (2001) peut être utilisé au Saguenay-Lac-St-Jean pour déterminer quand débuter le dépistage de la mouche du bleuet. Nous recommandons l'implantation d'un réseau de capteurs de température du sol dans les bleuetières de la région afin que les producteurs aient accès à ces informations facilement.

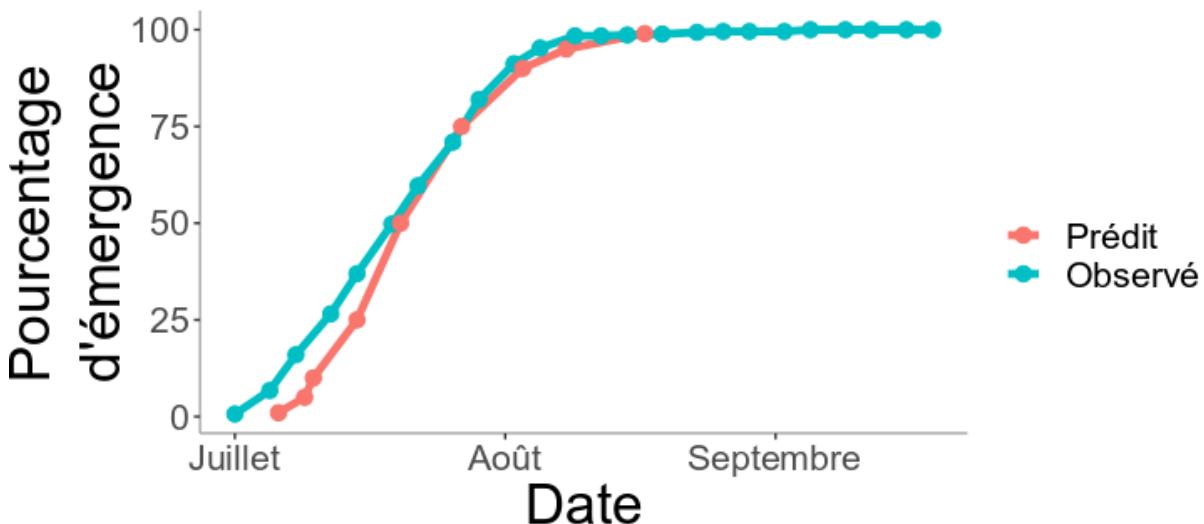


Figure 4 – Pourcentages d'émergence prédits (modèle prédictif de Teixeira et Polavarapu (2001)) et observés des mouches du bleuet femelles en fonction de la date pour les mouches du bleuet capturées sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean en 2022.

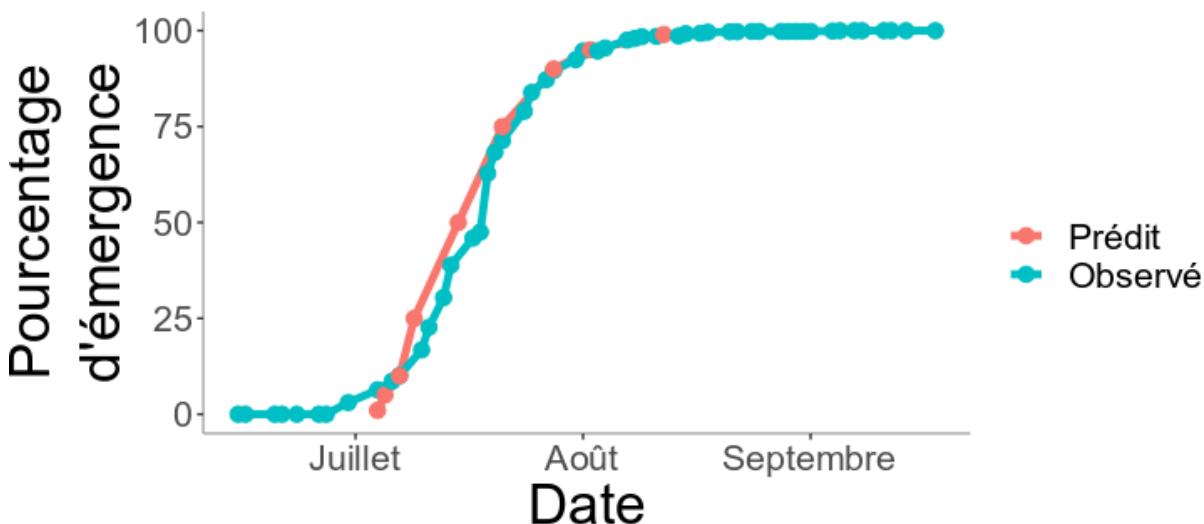


Figure 5 – Pourcentages d'émergence prédits (modèle prédictif de Teixeira et Polavarapu (2001)) et observés des mouches du bleuet femelles en fonction de la date pour les mouches du bleuet capturées sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean en 2023.

Sous-objectif 3 : utilisation des habitats par la mouche du bleuet

Le modèle mixte linéaire généralisé compilé avec les données de capture n'a révélé aucun effet d'interaction (Tableau 3). Cela signifie que l'effet de la jonction d'habitat et de la distance depuis la jonction sur le nombre de mouches du bleuet ne change pas en fonction de la date. Ainsi, l'endroit où davantage de mouches du bleuet sont capturées ne varie pas en fonction du moment dans la saison. Cependant, le jour Julien au carré a un impact significatif sur le nombre de captures. Cela signifie que la relation entre les captures de mouches du bleuet et la date suit une relation quadratique, c'est-à-dire qu'un maximum devrait être atteint en milieu de saison avec des valeurs inférieures au début et à la fin. Cela correspond globalement aux patrons de captures observés (Figure 2). Les effets simples du piège et du sexe étaient également significatifs. Cela indique que certains pièges, dans un certain habitat et à une certaine distance, capturent davantage de mouche du bleuet. Pour ce qui a trait au sexe, ce résultat indique que nous avons capturé davantage de mouches du bleuet d'un sexe que de l'autre. Cela corrobore le sexe-ratio fortement débalancé vers les femelles que nous avons obtenu (Figure 1).

Tableau 3 – Récapitulatif du modèle mixte linéaire généralisé compilé avec les données de capture de mouches du bleuet de 2021 à 2023 sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean.

Termes du modèle	Degrés de liberté	F	X ²	p
Piège	22	3,810	83,820	<,0001
Jour Julien	1	81,164	81,164	<,0001
Jour Julien au carré	1	78,668	78,668	<,0001
Sexe	1	140,108	140,108	<,0001
Interaction entre le piège et le jour Julien	22	-0,433	-9,526	1,0000
Interaction entre le piège et le jour Julien au carré	22	-0,102	-2,244	1,0000
Interaction entre le piège et le sexe	22	0,855	18,810	0,6573
Interaction entre le jour Julien et le sexe	1	0,001	0,001	0,9743
Interaction entre le jour Julien au carré et le sexe	1	0,000	0,000	0,9971
Interaction entre le piège, le jour Julien et le sexe	22	0,026	0,572	1,0000
Interaction entre le piège, le jour Julien au carré et le sexe	22	-0,127	-2,794	1,0000

Afin de préciser l'effet du piège, c'est-à-dire celui de la jonction entre les habitats, et de la distance, nous avons réalisé des contrastes. Ceux-ci ont révélé que davantage de mouches du bleuet ont été capturées dans les champs en production que dans ceux en croissance végétative ($z\text{-ratio} = 2,807$, $p = 0,0050$, Figure 6). Il ne semblait cependant pas y avoir de différences entre les distances à l'intérieur d'un habitat donné. Nous avons également obtenu une tendance très forte pour les transects passant de la forêt vers les champs en production. En effet, davantage de mouches du bleuet semblent avoir été capturées dans la forêt que dans les champs en production, pour les transects à la jonction entre ces deux habitats ($z\text{-ratio} = -1,950$, $p = 0,0512$). Cette différence est attribuable au nombre important de mouches du bleuet capturées sur les pièges situés à 5 m dans les parcelles de forêts bordant des champs en production (Figure 7). Au contraire, nous n'avons pas observé de différences entre la forêt et les champs en croissance végétative ($z\text{-ratio} = -1,482$, $p = 0,1382$, Figure 8).

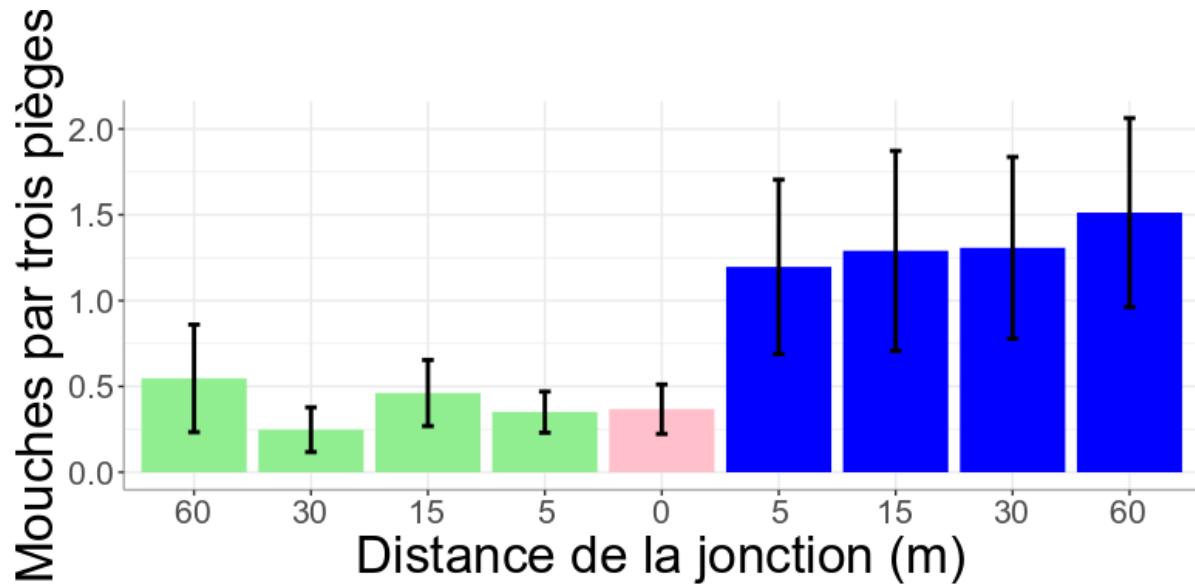


Figure 6 – Nombre moyen de mouches du bleuet par trois pièges (somme de trois transects) en fonction de la distance (en mètres) depuis la jonction entre deux habitats (\pm intervalle de confiance à 95 %) pour les mouches du bleuet capturées à la jonction entre des champs en production (bleu) et des champs en croissance végétative (vert pâle) sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean entre le 20 juin et le 31 juillet de 2021 à 2023 (la distance 0, en rose, correspond à la jonction entre les habitats).

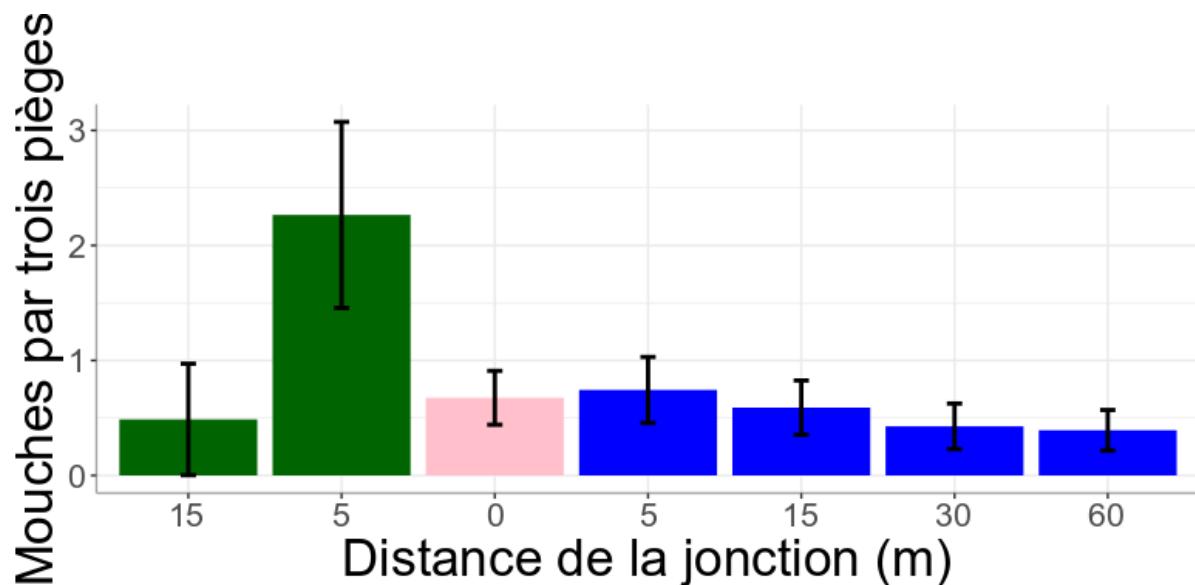


Figure 7 – Nombre moyen de mouches du bleuet par trois pièges (somme de trois transects) en fonction de la distance (en mètres) depuis la jonction entre deux habitats (\pm intervalle de confiance à 95 %) pour les mouches du bleuet capturées à la jonction entre des champs en production (bleu) et des parcelles de forêt (vert foncé) sur cinq bleuetières du Saguenay-Lac-St-Jean entre le 20 juin et le 31 juillet de 2021 à 2023 (la distance 0, en rose, correspond à la jonction entre les habitats).

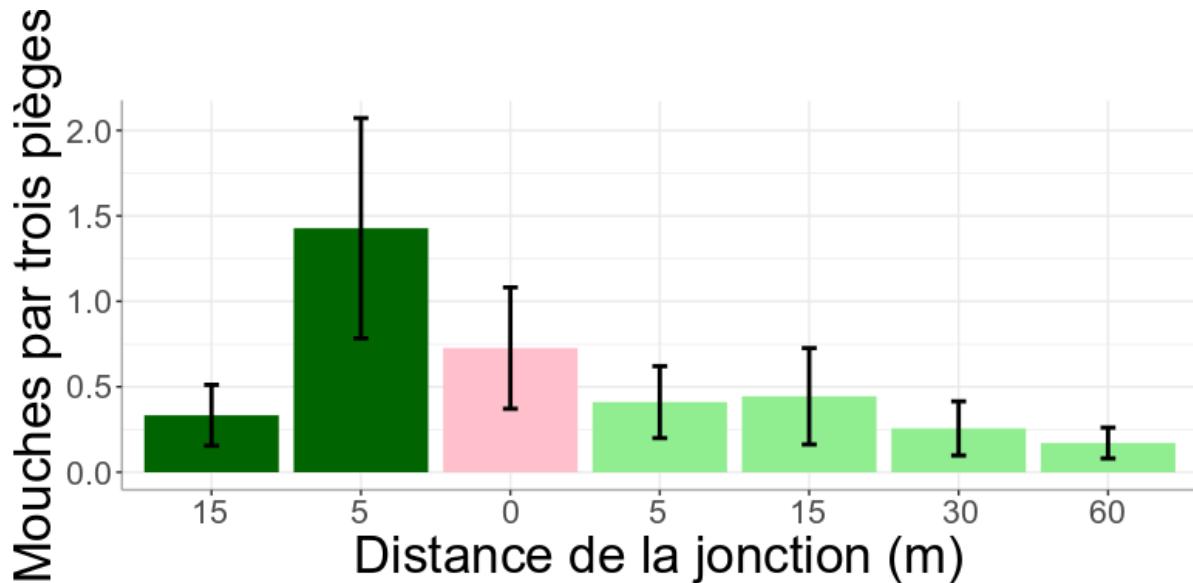


Figure 8 – Nombre moyen de mouches du bleuet par trois pièges (somme de trois transects) en fonction de la distance (en mètres) depuis la jonction entre deux habitats (\pm intervalle de confiance à 95 %) pour les mouches du bleuet capturées à la jonction entre des champs en croissance végétative (vert pâle) et des parcelles de forêt (vert foncé) sur cinq bleuetières du 20 juin au 31 juillet Saguenay-Lac-St-Jean de 2021 à 2023 (la distance 0, en rose, correspond à la jonction entre les habitats).

Ces résultats indiquent que les parcelles de forêt autour des bleuetières agissent probablement comme des sources pour la mouche du bleuet. En effet, l'espèce peut y réaliser toutes les étapes de son cycle de vie et y trouver des bleuets années après années qui lui permettent de pérenniser ses populations. Il est aussi probable que la forêt offre de meilleures conditions d'hivernement pour les pupes de mouche du bleuet, avec un couvert de neige plus important comparé aux champs. Cependant, et contrairement à ce qui était attendu (Collins et Drummond, 2004; Renkema et al., 2014; Drummond et al., 2020), nous n'avons pas observé la migration lente des mouches du bleuet vers l'intérieur des champs en production, ni leur agrégation dans les premiers mètres des champs. Nos résultats ne supportent donc que partiellement les traitements de bordure tels qu'ils sont employés ailleurs dans le nord-est du continent. Nous illustrons que la mouche du bleuet trouve un habitat de prédilection dans les parcelles d'habitat naturel et que celles-ci pourraient agir comme des sources pour les populations qui infestent les champs en production. Ces bordures sont ainsi un endroit crucial dans la lutte contre la mouche du bleuet et les efforts de dépistage doivent y être plus importants. Nos résultats ne permettent cependant pas d'identifier la largeur qu'un éventuel traitement de bordure devrait avoir au Saguenay-Lac-St-Jean. Une recommandation intéressante pour les producteurs et productrices de bleuets pourrait être d'éviter de laisser le bleuet pousser dans les bordures et brise-vent afin d'éviter d'offrir un habitat de prédilection pour la mouche du bleuet.

Lors des tests de larves effectués le 4 août 2021 sur le site de Dolbeau, une seule larve a été récupérée dans les fruits frais. En 2022, sur 150 tests de larves effectués, seulement 14 étaient positifs, alors qu'entre une et quatre larves ont été trouvées. De façon similaire, en 2023, sur 138 tests de larves effectués, seulement 14 étaient positifs, alors qu'entre une et trois larves ont été trouvées. Avec si peu de larves trouvées, il n'a pas été possible d'établir de corrélation entre le niveau d'infestation des fruits et les captures effectuées sur les pièges, et ce peu importe l'année. Nous ne sommes donc pas en mesure de juger de l'applicabilité du seuil d'intervention développé dans le Maine pour la région du Saguenay-

Lac-St-Jean. Nos résultats de tests de larves, de même que ceux concernant les pupes dans les fruits de bleuet provenant de parcelles naturelles, indiquent somme toute que les niveaux d'infestation dans les fruits sont encore très faibles au Saguenay-Lac-St-Jean.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats de ce projet ont été présentés aux trois dernières réunions annuelles de la Société d'entomologie du Québec : des affiches scientifiques y ont été présentées en 2021 (édition virtuelle, titre : Biologie et phénologie de la mouche du bleuet au Lac Saint-Jean) et 2022 (27 octobre 2022, à Granby, titre : Préparatifs pour la lutte intégrée contre un nouveau ravageur : la mouche du bleuet dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean), alors qu'une présentation orale intitulée « Phénologie et biologie de la mouche du bleuet dans le contexte du Saguenay-Lac-Saint-Jean » a été faite à Montréal le 19 octobre 2023. Finalement, une présentation a également été donnée à la Journée bleuet du Saguenay-Lac-Saint-Jean à Dolbeau-Mistassini le 27 février 2024.

Outre ce rapport et la fiche technique du projet, ces résultats ont servi à la rédaction d'un guide technique détaillant les méthodes de luttes culturelles et les stratégies de luttes intégrées contre la mouche du bleuet. Tous ces documents seront disponibles sur Agri-Réseau. Un article scientifique devrait finalement être publié en 2024 ou au début 2025.

Estimer le nombre d'entreprises touchées par les résultats du projet	378
--	-----

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Cette étude apporte des connaissances importantes sur la biologie et la phénologie de la mouche du bleuet au Saguenay-Lac-St-Jean. Ces connaissances aiguilleront les producteurs de bleuet nain dans la gestion de ce nouveau ravageur. Le sous-objectif 1), sur les hôtes alternatifs de la mouche du bleuet, a mis en lumière que la gestion de la végétation ne contribue pas à la lutte contre ce ravageur. En effet, aucun hôte alternatif sauvage n'a pu être identifié au Saguenay-Lac-St-Jean. Le sous-objectif 2), sur la phénologie et les modèles bioclimatiques, donne un portrait détaillé de la phénologie de la mouche du bleuet. Nous recommandons l'utilisation du modèle prédictif développé par Teixeira et Polavarapu (2001) afin de prédire la date d'apparition de la mouche du bleuet en début de saison. Nous recommandons que ce modèle serve pour établir un calendrier de dépistage de la mouche du bleuet. L'amélioration du dépistage de la mouche permettra de mieux cibler les applications phytosanitaires et d'éviter les applications d'insecticides non essentielles. Le sous-objectif 3), sur l'utilisation de l'habitat, a permis d'observer que la mouche du bleuet se trouve en grand nombre dans les parcelles de forêt et que ces habitats peuvent servir de source pour les populations du ravageur. Nous recommandons que le dépistage de la mouche du bleuet soit réalisé en priorité près de ces parcelles. Nous n'avons cependant pas pu décrire sa migration dans les champs en production, ni son agrégation en bordure de ceux-ci. Cela limite donc notre capacité à recommander des traitements de bordure ou à établir la largeur nécessaire pour de telles interventions phytosanitaires. Néanmoins, la stratégie de traitement n'impliquant de ne traiter que les bordures des champs pourrait permettre une réduction importante des quantités d'insecticides utilisées pour lutter contre ce ravageur. Les risques pour la santé et l'environnement s'en verrait également réduits, étant donné la réduction des superficies traitées.

PERSONNE-RESSOURCE POUR INFORMATION

Valérie Fournier, Centre de recherche et d'innovation sur les végétaux (CRIV), Université Laval; valerie.fournier@fsaa.ulaval.ca; 418-656-2131 p.404629

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 3.1 du programme Prime-Vert – Appui au développement expérimental, à l'adaptation technologique et au transfert technologique des connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021. Ce projet a également bénéficié d'une importante aide financière du Syndicat des Producteurs de Bleuets du Québec (SPBQ), ainsi que du programme Accélération de Mitacs. Nous remercions le Club Conseil Bleuet (CCB) et Charles Déry-Bouchard pour leur soutien important et leur collaboration. Nous remercions l'équipe du Laboratoire d'expertise et de diagnostic en phytoprotection du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (LEDP-MAPAQ) pour l'identification des pupes de mouches. Nous remercions également Pierre-Olivier Martel, conseiller en horticulture fruitière à la Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec pour sa contribution importante au projet. Nous remercions finalement les étudiants et auxiliaires ayant contribué à la réalisation du projet : Aurélie Demers, Louis-Mathis Demay De Goustone, Arthur Thompson de la Chenelière, Julie-Anne Daumas, Michaël Tessier et Gabrielle Bibeau.

BIBLIOGRAPHIE

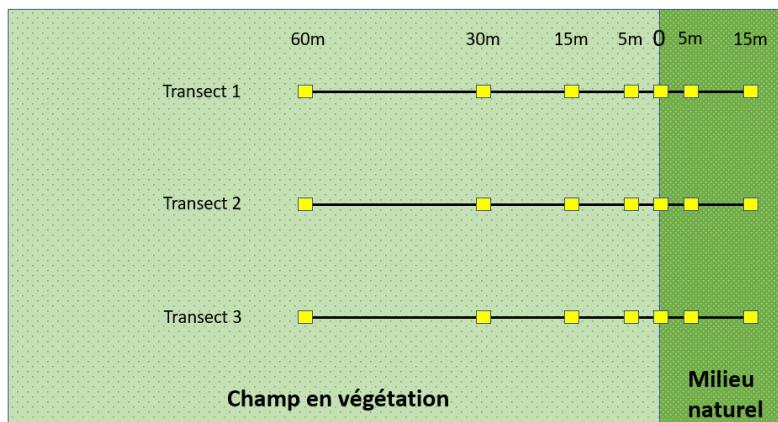
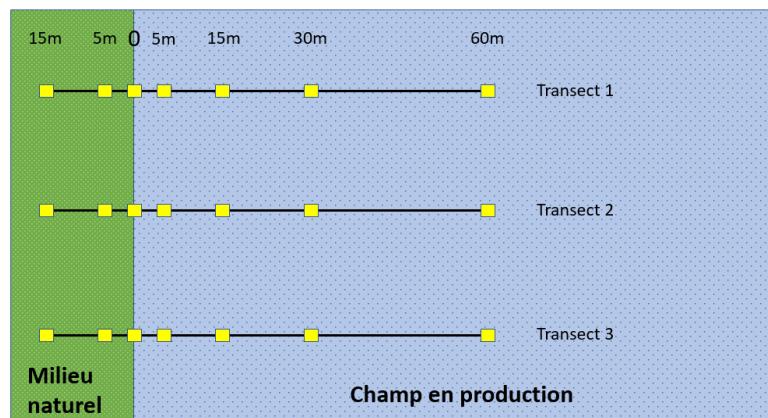
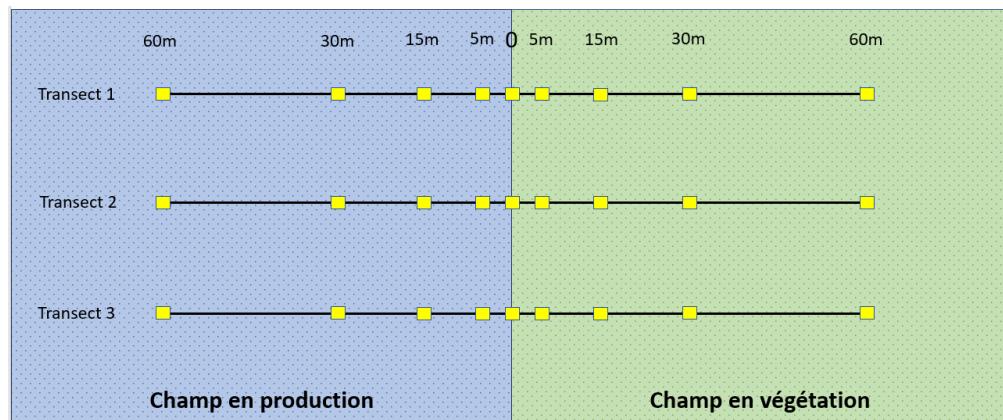
- Brooks, M.E., Kristensen, K., van Benthem, K.J., Magnusson, A., Berg, C.W., Nielsen, A., Skaug, H.J., Maechler, M., Bolker, B.M., 2017. glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal* 9, 378-400. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-066>.
- Collins, J., Drummond, F., 2004. Field-edge based management tactics for blueberry maggot in lowbush blueberry. *Small Fruits Review* 3, 285-293.
- Dill, J., Yarborough, D., Drummond, F.A., 2001. Monitoring for the blueberry maggot (*Rhagoletis mendax* Curran). *Wild Blueberry Fact Sheet No. 201*. University of Maine.
- Drummond, F.A., Collins, J.A., 2020. Dispersal from overwintering sites, action thresholds for blueberry maggot fly (Diptera: Tephritidae), and factors that can influence variation in predicted fruit infestation levels in Maine wild blueberry: Part I. *Journal of Economic Entomology* 113, 851-859. <https://doi.org/10.1093/jee/toz333>.
- Drummond, F.A., Collins, J.A., Bushmann, S.L., 2020. Movement of *Rhagoletis mendax* (Diptera: Tephritidae) in fruit-bearing wild blueberry fields. Part II. *Journal of Economic Entomology* 113, 1323-1336. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa046>.
- Folmer, O., Black, M., Wr, H., Lutz, R., Vrijenhoek, R., 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial Cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular marine biology and biotechnology* 3, 294-299.
- Martel, P.-O., Moreau, M.-È., 2020. La Mouche du Bleuet, Bulletin d'information N° 2. RAP Bleuet nain 2020.
- R Core Team 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Renkema, J.M., Cutler, G.C., Gaul, S.O., 2014. Field type, trap type and field-edge characteristics affect *Rhagoletis mendax* captures in lowbush blueberries. *Pest Management Science* 70, 1720-1727. <https://doi.org/10.1002/ps.3714>.

Teixeira, L.A.F., Polavarapu, S., 2001. Postdiapause development and prediction of emergence of female blueberry maggot (Diptera: Tephritidae). Environmental Entomology 30, 925-931. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-30.5.925>.

ANNEXE(S)

ANNEXE 1 – Dispositif de piégeage

Le dispositif était composé de trois jonctions de types d'habitats (champs en production / champs en croissance végétative, parcelles de forêt / champs en production, champs en croissance végétative / parcelles de forêt) et inclus 69 pièges au total par bleuetière. Chaque transect était placé à un minimum de 20 mètres les uns des autres.



ANNEXE 2 – Localisation des bleuetières suivies durant le projet

