

- PSDAB -

***Étude de l'impact de la cécidomyie des atocas et du sablage hivernal
sur les plants et les rendements dans la culture de la canneberge
biologique***

Projet 07-BIO-11

Réalisé par Isabelle Le Duc, biologiste

**Avec la collaboration de Michèle Roy, Ph.D., agronome-entomologiste
et de Jean-Pierre Deland, M.Sc. agronome**

**Pour le compte du
CETAQ**

**Ce projet a été réalisé grâce à l'aide financière du ministère de l'Agriculture, des
Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre du programme de soutien au développement
de l'agriculture biologique**

**Déposé le 26 février 2010
Fin de projet février 2010**

Table des matières

Description du projet

Déroulement des travaux

- 1) Dépistage de la cécidomyie des atocas
- 2) Marquage et suivi des tiges infestées par la cécidomyie des atocas
- 3) Effets du sablage sur les populations de cécidomyie des atocas et sur les plants
- 4) Effet de la cécidomyie sur les rendements
- 5) Données de température et développement d'un modèle bioclimatique

Résultats obtenus

- 1) Dépistage de la cécidomyie des atocas
- 2) Marquage et suivi des tiges infestées par la cécidomyie des atocas
- 3) Effets du sablage sur les populations de cécidomyie des atocas et sur les plants
- 4) Effet de la cécidomyie sur les rendements
- 5) Données de températures et développement d'un modèle bioclimatique

Difficultés rencontrées

Biens livrés (conclusion)

Références bibliographiques

Liste des figures

Liste des annexes

Description du projet

La culture de la canneberge biologique au Québec a connu une expansion fulgurante au cours des dix dernières années. La répression de la cécidomyie des atocas (*Dasineura oxycoccana* Johnson) constitue un des principaux défis actuels dans cette culture. Cet insecte cause des ravages dont l'incidence sur la production biologique est préoccupante. Les larves de ce ravageur endommagent les bourgeons, causant un impact sur les rendements de l'année suivante. On peut observer dans les champs jusqu'à 50 % des tiges affectées par cet insecte. Il n'existe aucun biopesticide homologué dans cette culture pour lutter contre ce ravageur. Il s'avère essentiel de mettre au point de nouveaux outils et des méthodes de lutte pour que les producteurs en mode de production biologique puissent faire face aux problèmes liés à cet insecte.

Ce projet avait pour but de mieux connaître la phénologie et l'abondance des populations de la cécidomyie des atocas dans la culture de la canneberge au Québec, d'étudier l'impact de cet insecte sur la production et de vérifier l'effet d'une pratique culturale, le sablage hivernal, sur la densité des populations de la cécidomyie et sur les plants.

En parallèle avec cette étude, l'initiation du développement d'un modèle degrés-jours a été mise en place afin d'approfondir nos connaissances sur l'insecte dans le but d'améliorer les méthodes de lutte contre ce ravageur.

Le projet s'est déroulé sur une période de trois ans. L'étude a été réalisée sur deux sites : un premier producteur était à St-Louis-de-Blandford dans la région des Bois-Francs et le deuxième à Notre-Dame-de-Lourdes, dans la région de l'Érable. Huit champs de canneberge en culture biologique ayant un historique d'infestation de cécidomyie des atocas semblable ont été sélectionnés. Il s'agissait tous de champs de cultivar Stevens âgés d'au moins 5 ans et ayant une superficie entre 1,2 et 2 ha. Aucun sablage n'a été effectué dans ces champs à l'hiver 2007.

Description des champs de canneberges étudiés chez deux producteurs biologiques

Producteurs	Champs	Sablage
Producteur A	#1	sablé
	#2	sablé
	#3	non sablé
	#4	non sablé
Producteur B	#5	non sablé
	#6	non sablé
	#7	sablé
	#8	sablé

Déroulement des travaux

(voir figure 1)

Pour réaliser les objectifs de ce projet, les étapes suivantes résumées à la figure 1 ont été réalisées :

1) Dépistage de la cécidomyie des atocas

(voir figure 2)

La figure 2 montre le cycle de vie de la cécidomyie des atocas. Afin de connaître l'abondance et la phénologie des populations de la cécidomyie, nous avons prélevé hebdomadairement 100 tiges au hasard par champ, de la fin mai au début septembre. Les bourgeons sur les tiges ont été observés au binoculaire afin de noter leur statut¹ (sains, infestés, endommagés²) ainsi que les stades larvaires de développement de l'insecte présents (œufs, larves de stades 1 à 3 et pupes). En 2007 et 2008, tous les champs ont été observés. En 2009, après révision du protocole à la suite d'une sous-estimation du temps de travail, quatre champs ont été échantillonnés.

Photo 1. Canneberges biologiques à maturité



¹ Les bourgeons non sains, endommagés autres que par la cécidomyie ont été dénombrés mais non indiqués dans les figures et annexes.

² On dit « bourgeon infesté » lorsque le bourgeon contient un individu de cécidomyie; le terme « bourgeon endommagé » correspond à un bourgeon endommagé par l'insecte, avec ou sans individu à l'intérieur

Photo 2. Observation au champ des tiges infestées par la cécidomyie



2) Marquage et suivi des tiges infestées par la cécidomyie des atocas

(voir annexe 1)

Pendant les trois saisons du projet, des tiges nouvellement infestées par la cécidomyie ont été marquées à l'aide de rubans forestiers après le passage de chaque génération de l'insecte. En 2007, 50 tiges infestées (végétatives ou fructifères) ont été marquées pour chacune des générations de la cécidomyie dans les huit champs étudiés. Ayant observé en 2007 des différences entre les tiges végétatives et fructifères tant qu'à la formation de nouveaux bourgeons, en 2008 et 2009 seulement des tiges végétatives ont été marquées. En 2008, 100 tiges infestées ont été identifiées après chacune des générations dans un champ non sablé chez chaque producteur. En 2009, 100 tiges infestées ont été marquées après chaque génération dans quatre champs (deux sablés et deux non sablés) chez les deux producteurs.

Les tiges ont été observées à la fin de chaque saison afin de vérifier leur statut ainsi que leur potentiel de production de fruits l'année suivante. Des observations du statut des tiges après le passage de chaque génération ont également été effectuées pendant les saisons 2007 et 2008. Le nombre de fruits présents sur ces tiges a été dénombré. Le statut des bourgeons sur chaque tige a été identifié ainsi : bourgeon sain, ou bourgeon endommagé.

Photo 3. Marquage d'une tige de canneberge



3) Effets du sablage sur les populations de cécidomyie des atocas et sur les plants

Un sablage a été effectué à l'hiver 2007-2008 dans la moitié des champs à l'étude (champs #1 et #2 chez le producteur A et champs #7 et #8 chez le producteur B). L'épaisseur de sable appliquée a été d'environ 2 cm, pratique généralement utilisée dans la culture.

Afin de déterminer l'impact du sablage sur les plants et sur les populations de cécidomyie des atocas, les données du dépistage de la cécidomyie (section 1) dans les paires de champs sablés et non sablés ont été utilisées. Le statut des plants a été défini ainsi : bourgeon sain, bourgeon infesté ou bourgeon endommagé. Un échantillonnage au hasard de 1000 tiges par champ a également été effectué après le passage de chacune des générations en 2008 afin de vérifier l'effet du sablage sur les plants.

4) Effet de la cécidomyie sur les rendements

En septembre 2008, 250 tiges végétatives saines et 250 tiges végétatives infestées par la cécidomyie ont été marquées dans chacun des huit champs. À l'automne 2009, les fruits provenant des tiges saines et infestées ont été triés, rapportés au laboratoire et pesés.

Analyses statistiques

Les données d'évaluation de l'effet du sablage sur les dommages occasionnés par la cécidomyie des atocas et les données relatives à l'évaluation des effets de la cécidomyie sur les rendements ont été comparées entre traitements à l'aide d'une analyse de variance. Pour chaque variable dépendante, l'homogénéité de la variance et la normalité de la distribution ont été vérifiées a priori. Certaines variables de l'essai visant l'évaluation de l'effet de la cécidomyie sur les rendements ont dû être transformées (transformation racine carrée) afin de respecter les postulats de base.

Photo 4. Bourgeon sain

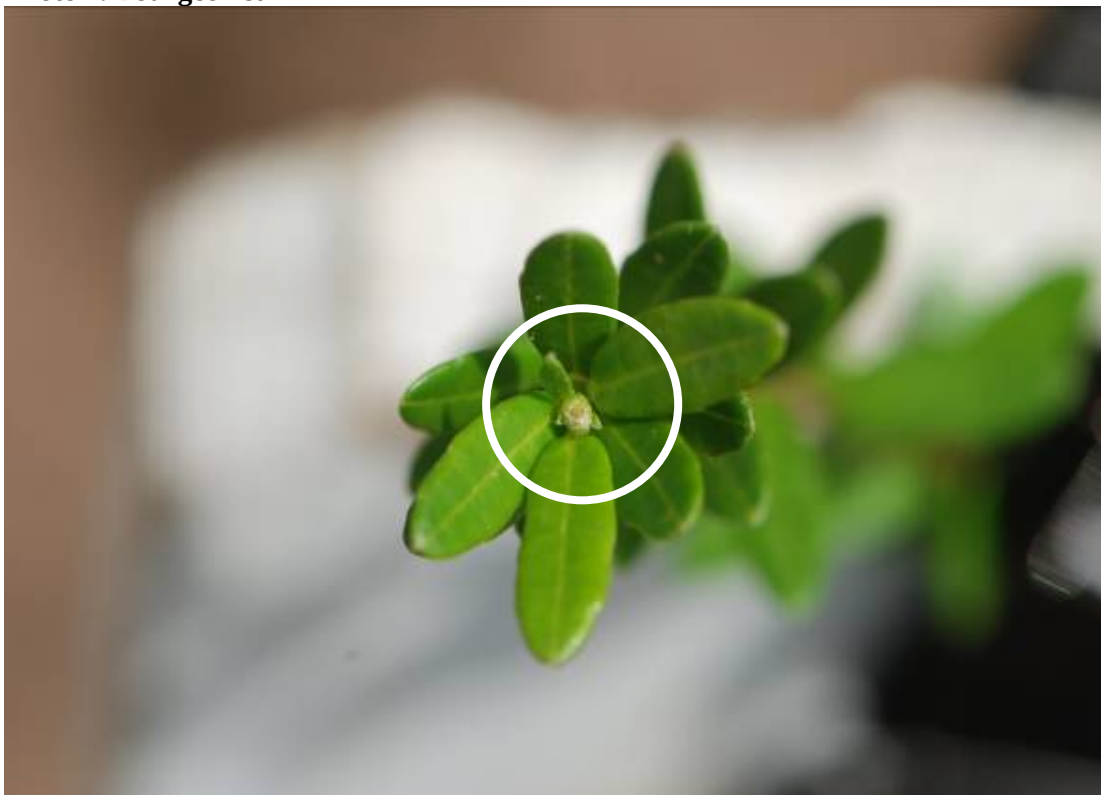


Photo 5. Bourgeon infesté par la cécidomyie des atocas



5) Données de température

Des appareils d'enregistrement des températures (Hobo) ont été installés dans quatre champs pour faire la collecte des données nécessaires afin d'initier le développement d'un modèle degrés-jours pour la prédiction du développement phénologique de la cécidomyie des atocas. Le calcul des degrés-jours, requiert la température moyenne d'une journée. Une fois cette température moyenne calculée, on attribue une unité de degré-jour pour chaque degré supérieur à une température de base correspondant à la température minimale pour laquelle il y a développement de l'insecte.

Deux appareils par champ ont été placés : un en bordure et un au centre, et ce, dans quatre champs à l'étude. Les températures ont été enregistrées automatiquement à toutes les 10 minutes.

Le développement du modèle degrés-jours a été pris en charge par le Dr Gaétan Bourgeois, spécialiste de bioclimatologie et modélisation à Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) au Centre de Recherche & Développement en horticulture.

Photo 6. Installation d'un Hobo au champ



Photo 7. Hobo® au champ



Résultats obtenus

1) Dépistage de la cécidomyie des atocas

(voir figures 3 et 4, annexes 2 à 9)

Les figures 3 et 4 présentent les données phénologiques et l'abondance des populations de la cécidomyie tout au long des saisons 2007, 2008 et 2009. On observe les courbes représentant les œufs, chacun des trois stades larvaires et les pupes, pour chacune des générations présentes. Les œufs pour les années 2008 et 2009 ont été retrouvés en quantité plus élevée que tout autre stade; la prédation et la mortalité naturelle peuvent expliquer la diminution des stades suivants. On a tenu compte des pics d'œufs de la cécidomyie des atocas afin de comparer les données entre les champs, les producteurs, les générations et les années. Le pic d'œufs correspond au moment où l'on observe la plus grande quantité d'œufs. Nous avons considéré que le début d'une génération coïncidait au moment où le nombre d'œufs suivant le pic de la génération précédente était le plus bas. La dernière génération présente est dite complète si on y retrouve des œufs ainsi que tous les stades larvaires. Si le développement larvaire n'est pas complété, la génération est dite partielle.

Le nombre de générations complètes de la cécidomyie des atocas observées a varié de deux à trois (annexes 4 à 9). En 2007, deux à trois générations ont été observées. Une quatrième génération partielle a été observée dans certains champs en 2008 (champs #3 et #4 du producteur A). Comme la troisième génération est asynchrone, il est difficile de conclure si c'est une quatrième génération distincte ou si ce sont les différents stades de la génération précédente qui se retrouvent sur une période plus étalée. En 2009, la troisième génération était présente mais peu abondante dans tous les champs à l'étude. Les dommages causés par les larves étaient presque inexistantes aux champs. La température variant d'une année à l'autre pourrait expliquer les différences dans le nombre de générations de cécidomyie entre les champs. Dans tous les cas, la ponte de la deuxième génération a été plus abondante que celle de la première et troisième génération.

Il existe une grande variation de la phénologie et de l'abondance des populations de cécidomyie entre les champs (annexes 4 à 9). Par exemple, on a obtenu en 2008 chez le producteur A un pic de 126 œufs dans le champ #3, alors qu'il se situait à 29 œufs dans le champ #2. Les pics d'œufs ont été observés à des dates différentes selon le site. En effet, les pics d'œufs pour chaque génération chez le producteur A se sont toujours produits plus tôt que ceux chez le producteur B. Ce résultat peut être attribué au fait que le producteur B est un site où les températures sont toujours un peu plus froides que chez le producteur A.

On a observé une différence entre les deux sites au niveau des densités de populations (figures 3 et 4). En 2007, les niveaux de populations ont été semblables. Toutefois, en 2008, la moyenne d'œufs maximale a été plus élevée chez le producteur A avec 59,2 individus, versus 34,8 individus chez le producteur B. En 2009, l'écart a été moins grand entre les sites avec 18,4 et 11,8 œufs respectivement chez les producteurs A et B.

2) Suivi des tiges marquées infestées par la cécidomyie des atocas

(voir figure 5)

La figure 5 illustre les pourcentages des bourgeons sains et infestés par les différentes générations de cécidomyie à la fin de chaque saison lors des trois années d'étude chez les deux producteurs. À noter que lors des saisons 2008 et 2009, seules les tiges végétatives ont été marquées. En 2007, des tiges végétatives et fructifères ont été marquées mais seules les tiges végétatives ont été présentées à la figure 5. Nous avons remarqué que parmi les tiges infestées par la cécidomyie, les tiges végétatives produisent un bourgeon visible en fin de saison en plus grand pourcentage que les tiges fructifères. Ceci peut s'expliquer par une allocation différente de l'énergie et des nutriments par ces deux types de tiges, ou par le fait que les plus gros bourgeons, les bourgeons fructifères, sont principalement produits par les tiges

végétatives (DeMoranville, 2009). Il est donc possible que les bourgeons végétatifs principalement produits par les tiges fructifères n'aient pas été assez gros en septembre pour être facilement visibles.

Pour les trois années d'étude, la santé des bourgeons endommagés par la première génération a présenté le même scénario : la majorité des tiges ont pu refaire de nouveaux bourgeons. L'année 2008 a été plus favorable à la formation de nouveaux bourgeons par les tiges infestées. Les données 2009 sont semblables à celles de 2007.

Pour les pousses endommagées par la deuxième génération de la cécidomyie, on a observé à l'automne 2007 chez les producteurs A et B que 61,9 % et 48,8 % des pousses avaient produit de nouveaux bourgeons. En 2008 et 2009, le pourcentage de pousses ayant pu refaire un nouveau bourgeon à l'automne était plus élevé, soit 95,5 % et 94,1 % en 2008, puis 74,7 % et 72,4 % en 2009 pour les producteurs A et B respectivement.

À la fin de la saison 2007, on a constaté peu de bourgeons sains sur les tiges endommagées par la troisième génération : 24,6 % et 11,20 % chez les producteurs A et B respectivement et 74,8 % et 88,8 % de bourgeons infestés. En 2008, des résultats similaires ont été observés chez le producteur B alors que chez le producteur A, 83,2 % des tiges infestées par la troisième génération ont pu refaire un nouveau bourgeon. Les températures plus chaudes observées dans le champ à l'étude chez le producteur A sont probablement en cause.

Les données 2007 et 2008 montrent que les dommages effectués par la cécidomyie des atocas à la troisième génération ont un plus grand impact sur les rendements. En 2007, la deuxième génération a également causé des dommages importants chez le producteur B. La troisième génération n'a pas été marquée en 2009 chez ni l'un ni l'autre des deux producteurs puisqu'aucune tige infestée n'a été observée. On suppose que les températures plus froides de cette saison ont défavorisé le développement de la troisième génération de la cécidomyie.

3) Effets du sablage sur les populations de cécidomyie et sur les plants (voir figures 6 à 10) (voir annexes 10 à 13)

Les figures 6 à 9 illustrent les pourcentages de bourgeons sains, infestés et endommagés, ainsi que le nombre de larves retrouvées sur les 100 pousses prélevées hebdomadairement dans des champs sablés et des champs non sablés. Le suivi a été fait de 2007 à 2009 alors que le sablage a eu lieu à l'hiver 2007-2008.

Le sablage a eu un effet important sur le pourcentage de bourgeons infestés et endommagés observés la saison suivante (2008). Là où les infestations de cécidomyie l'année avant le sablage étaient similaires entre les champs (40 % de bourgeons infestés en 2007 dans les champs #1 et #3 du producteur A), les infestations ont été de beaucoup inférieures dans les champs sablés : 40 % de bourgeons infestés en 2008 dans le champ sablé #1 comparativement à 60 % dans le champ #3 non sablé (figure 7).

Chez le producteur B, le champ sablé #7 présentait en 2007 un plus haut taux de bourgeons infestés (40 %) que le champ non sablé #6 (30 %). L'année suivant le sablage, les infestations ont diminué à 20 % dans le champ sablé alors qu'elles ont augmenté à 40 % dans le champ non sablé (figure 7).

Dans certains champs, les infestations des bourgeons avant le sablage étaient un peu plus élevées dans les champs qui n'allaient pas être sablés (champs #2 et #4 du producteur A, champs 5 et #8 du producteur B). En 2008, le nombre de bourgeons endommagés par la cécidomyie a été de 20 à 40 % dans les champs sablés alors qu'il atteignait 60 % dans les champs non sablés (figures 6 et 9).

Le développement des populations en 2009, semble avoir été plus lent dans le champ sablé #2 chez le producteur A que dans le champ non sablé #4 (figure 7), laissant supposer un effet du sablage sur deux

années. Cette différence n'a par contre, pas été observée dans les champs #6 et #7 chez le producteur B (figures 7 et 8).

L'observation des 1000 tiges après chaque génération de la cécidomyie dans les quatre champs sablés et non sablés en 2008 a permis d'observer une diminution significative ($P = 0.050$) des dommages occasionnés par la première génération dans les champs sablés. Alors qu'en moyenne 45 % des bourgeons étaient endommagés dans les champs non sablés, seulement 22 % des bourgeons étaient endommagés dans les champs sablés (figure 10). Les dommages occasionnés par la deuxième et troisième génération étaient beaucoup moins importants et n'étaient pas significativement différents entre les traitements. En fin de saison, sur les 1000 tiges observées par champ, une moyenne de 31 % des tiges étaient endommagées par la cécidomyie dans les champs non sablés alors qu'elle était de 17 % dans les champs sablés ($P = 0.059$).

4) Effet de la cécidomyie sur les rendements

(voir figure 11 et annexe 14)

La comparaison des rendements provenant de tiges infestées par la cécidomyie ou non l'année précédant la récolte démontre un effet important de l'infestation sur les rendements. Alors qu'en moyenne les tiges saines ont produit 1,07 g de fruit chacune, les tiges infestées n'ont produit que 0,54 g de fruit ($P = 0,0022$) (figure 11). L'effet de la cécidomyie sur les rendements a varié grandement d'un champ à l'autre, dans certains champs elle n'a entraîné qu'une diminution de 16 % des rendements alors que dans d'autre, la diminution était de 99 %. Mais en moyenne, les tiges endommagées par la cécidomyie l'année précédant la récolte, ont produit près de 50 % moins de fruits que les tiges saines. C'est la première fois, à notre connaissance, qu'une telle démonstration est faite.

Cette diminution de rendement peut être expliquée par la diminution du pourcentage de tiges fructifères. Ce pourcentage moyen diminue, en effet, de moitié pour les tiges infestées (21 %) par rapport aux tiges saines (43 %) (Figure 11). On a observé une diminution des tiges portant 1, 2 ou 3 fruits similaire à la diminution des tiges fructifères, soit près de 50 % chacune. Le poids moyen par fruit n'était pas significativement différent entre traitements ($P = 0,284$).

Ces résultats nous permettront d'estimer une baisse de rendement probable, occasionnée par la cécidomyie, basée sur le pourcentage de bourgeons infestés l'année précédant la récolte. Si, par exemple, nous évaluons que 50 % des tiges d'un champ sont endommagées par la cécidomyie des atocas à l'automne, ces dommages risquent d'entraîner une réduction de rendement de 25 % l'année suivante.

Photo 8. Comparaison des fruits provenant des tiges infestées et des tiges saines



5) Données de températures et développement d'un modèle bioclimatique (voir annexe 15)

Dans le processus de modélisation de la canneberge initié par l'équipe de Gaétan Bourgeois, les données météorologiques provenant des thermomètres HOBO ainsi que de la station d'Environnement Canada de Villeroy ont été recueillies et analysées.

La comparaison des données de température enregistrées par la station météorologique de Villeroy et les thermomètres HOBO[®] a mené à l'exclusion de ces dernières. En effet, de très grands écarts de température, de l'ordre de plusieurs degrés Celsius, ont été observés lors de la comparaison faite à l'aide de divers graphiques (annexe 15). De plus, certaines températures enregistrées par les HOBO[®] semblent invraisemblablement élevées. Par exemple, plusieurs températures supérieures à 35 °C ont été enregistrées et même, quelques fois, des valeurs près des 50 °C, comme le démontre la figure 1 de la page 8 (annexe 15). L'utilisation des températures de la station météorologique de Villeroy a été privilégiée pour la suite des analyses.

L'utilisation du logiciel DJPheno a permis de déterminer une température de base de 10 °C pour la cécidomyie des atocas. À l'aide du module de comparaison du logiciel DJPheno, il a pu être déterminé que les prédictions offertes par la méthode des degrés-jours constituaient une meilleure représentation de la réalité. Une fois les valeurs de degrés-jours calculées pour chacun des seuils, on a utilisé le logiciel CIPRA pour obtenir le modèle de la cécidomyie basé sur l'accumulation de degrés-jours. Il a suffi de choisir les paramètres désirés quant au type de modèle voulu, au choix de la date de début des calculs, à la méthode de calcul des degrés-jours ainsi que d'inscrire la température de base définie auparavant. Par la suite, l'intégration des valeurs de degrés-jours associées avec le seuil en pourcentage de dénombrement d'œufs correspondant a été réalisée. Lorsque toutes ces données sont entrées dans le logiciel, celui-ci fournit un graphique représentant les dates de prédictions d'atteinte des différents seuils en pourcentage de dénombrement d'œufs, comme le montre la figure 8 de l'annexe 15. Le modèle bioclimatique de la cécidomyie des atocas est maintenant réalisé et peut être utilisé en y intégrant les données météorologiques de l'année en cours. Les prédictions quant à l'atteinte des seuils de dénombrement d'œufs de 5 %, 50 % et 95 % pour les trois générations peuvent être mises en marche et ainsi permettre à de nombreux producteurs de canneberge d'avoir accès à un outil supplémentaire. Pour plus de détails sur cet aspect du projet, voir *La canneberge au Québec – développement de 3 modèles bioclimatiques* à l'annexe 15.

Les difficultés rencontrées

Afin de vérifier les dommages sur les plants par la cécidomyie des atocas, le protocole initial prévoyait l'installation de multiples parcelles de un pied carré. Toutes les tiges de canneberges des parcelles devaient être étudiées. Pour faciliter les observations du statut des tiges, des rubans d'arpentage ont plutôt été utilisés afin d'identifier un nombre déterminé de tiges saines et infestées.

Les rubans servant à identifier les tiges se sont détériorés au fil du temps. Plusieurs ont dû être remplacés à la fin de chaque saison. Malgré tout, de nombreuses tiges n'ont pas été retrouvées. Les manipulations mécaniques (taille, glace hivernale, battage lors de la récolte) ont brisé dans certains cas les rubans. L'épaisseur importante de la canopée a rendu également difficile la recherche des rubans, malgré une cartographie des tiges dans chaque champ. La quantité de tiges possibles d'analyser a donc été réduite considérablement dans certains cas.

Photo 9. Rubans camouflés dans la canopée



Toutes ces manipulations ont été très fastidieuses et le temps nécessaire pour les réaliser avait été sous-estimé. Ainsi, au cours des deux premières années du projet, les heures travaillées par la chargée de projet et par les étudiants ont dépassé de beaucoup ce qui avait été planifié. C'est pourquoi en 2009 le protocole a été révisé afin d'investir les efforts sur les aspects les plus prometteurs du projet.

Comme expliqué précédemment (voir section 5), les données de température des Hobo n'ont pu être utilisées à cause de variations extrêmes. Toutefois, la station météorologique de Villeroy a fourni des données relativement représentatives de ce que l'on retrouve aux champs.

Malgré ces difficultés, les objectifs du projet de trois ans ont été atteints.

Les biens livrés (conclusion)

Les données recueillies pendant les trois saisons de l'étude ont permis de mieux connaître la dynamique des populations de la cécidomyie des atocas ainsi que son impact sur le plant de canneberge, sous les conditions du Québec. L'étude a permis d'établir que l'insecte produit selon les saisons, de deux à trois générations, possiblement quatre dans certains cas. Les tiges infestées par la première et la deuxième génération ont la capacité de reformer de nouveaux bourgeons. Les tiges dont les bourgeons sont infestés par la troisième génération de la cécidomyie ne peuvent généralement pas former de nouveaux bourgeons avant la fin de la saison. Il faut noter que les bourgeons sains sont difficiles à observer en septembre. Ils sont parfois présents seulement plus tard en fin de saison, dépendamment de facteurs telles la température accumulée et la fertilisation.

Il n'a pas été possible d'étudier les dommages occasionnés par la troisième génération en 2009, les dommages de troisième génération étant pratiquement absents. C'est pourquoi, il est plus difficile d'établir une conclusion quant à la capacité des plants infestés à la troisième génération de produire de nouveaux bourgeons. Sur six champs où les dommages de troisième génération ont été observés, une bonne régénération des plants infestés ne s'est produite qu'une seule fois (champ #4 du producteur A en 2008), et ce, dans un champ où prévalaient des températures plus chaudes.

Selon une étude effectuée au Massachusetts (DeMoranville et Averill, 1994), les bourgeons reformés en début de saison seraient des bourgeons latéraux ayant le potentiel de devenir des bourgeons floraux en août. Par contre, la majorité des bourgeons reformés en fin de saison seraient végétatifs et ne pourraient former de fleurs l'année suivante. Ainsi, on peut en déduire que plus les plants sont infestés tardivement en saison, plus l'effet sur les rendements est grand.

Le sablage a diminué le nombre de pousses endommagées par la cécidomyie des atocas lors de la saison de culture suivante. Cette différence peut être principalement expliquée par la diminution des dommages occasionnés par la première génération de la cécidomyie. Cette pratique peut donc être recommandée pour le contrôle de cet insecte chez les producteurs biologiques. Il serait probablement préférable, lors de l'utilisation de cette pratique, d'effectuer le sablage sur une grande section de la ferme à la fois ou encore dans tous les champs de la ferme afin de diminuer les risques de réinfestations des champs sablés dues à la migration des individus de cécidomyie provenant des champs non sablés.

L'effet de la cécidomyie sur le rendement a clairement été démontré dans ce projet. Les tiges infestées par la cécidomyie n'ont produit en moyenne que 50 % du rendement des tiges saines, l'année suivant l'infestation. Par contre, nous avons constaté que les écarts de diminution de rendement variaient beaucoup entre les champs expérimentaux observés.

Dans le processus de modélisation de la canneberge initié par l'équipe du Dr Gaétan Bourgeois, l'ébauche d'un modèle degrés-jours a été réalisée. Cependant, avant que les producteurs puissent utiliser ce modèle, une validation au champ devra être effectuée afin de vérifier son niveau de précision.

En conclusion, la réalisation de ce projet de recherche aura plusieurs retombées auprès des producteurs de canneberge. D'abord, il permettra de mieux les sensibiliser à l'impact de la cécidomyie des atocas sur leur production et d'optimiser la pratique du sablage dans cette culture. L'acquisition des connaissances sur la phénologie et l'abondance des populations de la cécidomyie leur permettra également de mieux cibler le dépistage et le suivi des populations. Le développement d'un modèle de prédiction basé sur l'accumulation des degrés-jours apportera aux producteurs un outil profitable pour faciliter la gestion de la production de canneberge. Il permettra d'anticiper l'atteinte des différents stades de croissance et de mieux cibler les interventions tout en minimisant les impacts sur l'environnement.

Liste des figures

- Figure 1 : Calendrier du déroulement des travaux de l'étude de l'impact de la cécidomyie des atocas et du sablage hivernal sur les plants et les rendements de la canneberge biologique.
- Figure 2 : Cycle de vie de la cécidomyie des atocas.
- Figure 3 : Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas pour les années 2007, 2008 et 2009, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans des champs de canneberges biologiques chez le producteur A. En 2007 et 2008, les données représentent des moyennes des quatre champs (#1, #2, #3 et #4) alors qu'en 2009, les données représentent des moyennes de deux champs (#2 et #4).
- Figure 4 : Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas pour les années 2007, 2008 et 2009, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans des champs de canneberges biologiques chez le producteur B. En 2007 et 2008, les données représentent des moyennes des quatre champs (#5, #6, #7 et #8) alors qu'en 2009, les données représentent des moyennes de deux champs (#6 et #8).
- Figure 5 : Évaluation du pourcentage de tiges infestées par les différentes générations de la cécidomyie des atocas ayant reformé des bourgeons sains en fin de saison. 50 tiges (2007) et 100 tiges (2008-2009) nouvellement infestées ont été sélectionnées après chaque génération de la cécidomyie dans chacun des champs. La figure représente les observations effectuées sur tiges végétatives marquées. Les histogrammes sont des moyennes de quatre champs en 2007 (#1, #2, #3 et #4) et deux champs en 2009 (#2, #4, #6 et #8) chez chacun des producteurs A et B, alors qu'en 2008, un seul champ chez chaque producteur est représenté (#4 et #6). Les barres d'erreurs représentent les erreurs types.
- Figure 6 : Comparaison du niveau d'infestation par la cécidomyie des atocas dans un champ sablé (#2) et un champ non sablé (#4) chez le producteur A pour les années 2007, 2008 et 2009. Le niveau d'infestation a été évalué en observant 100 tiges prélevées au hasard hebdomadairement dans chacun des champs. Le sablage a eu lieu à l'hiver 2007-2008.
- Figure 7 : Comparaison du niveau d'infestation par la cécidomyie des atocas dans un champ sablé (#1) et un champ non sablé (#3) chez le producteur A pour les années 2007 et 2008. Le niveau d'infestation a été évalué en observant 100 tiges prélevées au hasard hebdomadairement dans chacun des champs. Le sablage a eu lieu à l'hiver 2007-2008.
- Figure 8 : Comparaison du niveau d'infestation par la cécidomyie des atocas dans un champ sablé (#7) et un champ non sablé (#6) chez le producteur B pour les années 2007, 2008 et 2009. Le niveau d'infestation a été évalué en observant 100 tiges prélevées au hasard hebdomadairement dans chacun des champs. Le sablage a eu lieu à l'hiver 2007-2008.
- Figure 9 : Comparaison du niveau d'infestation par la cécidomyie des atocas dans un champ sablé (#8) et un champ non sablé (#5) chez le producteur B pour les années 2007 et 2008. Le niveau d'infestation a été évalué en observant 100 tiges prélevées au hasard hebdomadairement dans chacun des champs. Le sablage a eu lieu à l'hiver 2007-2008.
- Figure 10 : Comparaison du pourcentage de bourgeons endommagés par chacune des générations de la cécidomyie des atocas entre les champs sablés et non sablés chez deux producteurs biologiques. Les pourcentages ont été calculés à partir de 1000 tiges prélevées au hasard, après chaque génération de la cécidomyie dans chacun des champs en 2008. Le sablage a eu lieu à l'hiver 2007-2008.
- Figure 11 : Évaluation des tiges et des fruits provenant de pousses ayant ou non été infestées par la cécidomyie l'année précédant l'évaluation, en 2008. Les pousses sélectionnées en 2008 étaient végétatives. Les moyennes proviennent d'observations sur 200 à 250 tiges infestées et non infestées par champ, dans chacun de 8 champs. Les moyennes sont suivies des erreurs types.

Liste des annexes

- Annexe 1 : *Dates des marquages et des suivis des tiges infestées par la cécidomyie des atocas pour les années 2007, 2008 et 2009 dans des champs de canneberges biologiques chez deux producteurs.*
- Annexe 2 : *Données des suivis hebdomadaires des populations de la cécidomyie des atocas dans des champs de canneberge biologique chez le producteur A lors de trois années d'étude.*
- Annexe 3 : *Données des suivis hebdomadaires des populations de la cécidomyie des atocas dans des champs de canneberge biologique chez le producteur B lors de trois années d'étude.*
- Annexe 4 : *Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas en 2007, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans quatre champs chez le producteur A.*
- Annexe 5 : *Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas en 2008, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans quatre champs chez le producteur A.*
- Annexe 6 : *Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas en 2009, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans deux champs chez le producteur A.*
- Annexe 7 : *Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas en 2007, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans quatre champs chez le producteur B.*
- Annexe 8 : *Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas en 2008, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans quatre champs chez le producteur B.*
- Annexe 9 : *Abondance et phénologie des populations de la cécidomyie des atocas en 2009, telles qu'évaluées par l'observation de 100 tiges prélevées au hasard chaque semaine dans deux champs chez le producteur B.*
- Annexe 10 : *Évaluation du pourcentage de bourgeons sains et infestés provenant des tiges infestées par les différentes générations de la cécidomyie des atocas ayant reformé des bourgeons sains en fin de saison, marquées en 2007 chez le producteur A.*
- Annexe 11 : *Évaluation du pourcentage de bourgeons sains et infestés provenant des tiges infestées par les différentes générations de la cécidomyie des atocas ayant reformé des bourgeons sains en fin de saison, marquées en 2007 chez le producteur B.*
- Annexe 12 : *Évaluation du pourcentage de bourgeons sains et infestés provenant des tiges infestées par les différentes générations de la cécidomyie des atocas ayant reformé des bourgeons sains en fin de saison, marquées en 2008 chez deux producteurs de canneberges biologiques.*
- Annexe 13 : *Évaluation du pourcentage de bourgeons sains et infestés provenant des tiges infestées par les différentes générations de la cécidomyie des atocas ayant reformé des bourgeons sains en fin de saison, marquées en 2009 chez deux producteurs de canneberges biologiques.*
- Annexe 14 : *Représentation graphique de l'évaluation des tiges provenant de pousses ayant ou non été infestées par la cécidomyie l'année précédant l'évaluation, en 2008. Les pousses sélectionnées en 2008 étaient végétatives. Les moyennes proviennent d'observations sur 200 à 250 tiges infestées et non infestées par champ, dans chacun de 4 champs par producteur. Les barres d'erreur représentent les erreurs types.*
- Annexe 15 : *La canneberge au Québec : développement de 3 modèles bioclimatiques*

Références bibliographiques

- Averill, A.L. et M.M. Sylvia. Cranberry Insects of the Northeast. University of Massachusetts, Cranberry Experiment Station, P.O. Box 569, East Wareham, MA 12538, 1998, 112 p.
- Cockfield, S.D. et D. L. Mahr. 1994. Phenology of oviposition of *Dasyneura oxycoccana* (Diptera: Cecidomyiidae) in relation to cranberry plant growth and flowering. The Great Lakes Entomologist. 27 (4): 185-188.
- DeMoranville, C. et A. Averill. 1994. Tipworm study : final report. University of Massachusetts, Cranberry Experiment Station. Wareham, MA. 20 p.
- Dernisky, A. K., R.C. Evans, O. E. Liburd et K. MacKenzie. 2005. Characterization of early floral damage by cranberry tipworm (*Dasineura oxycoccana* Johnson) as a precursor to reduced fruit set in rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade). International Journal of Pest Management. 51 (2): 143-148.
- Dittl. T. The effects of sanding on cranberry tipworm *Dasineura oxycoccana* (Johnson) (Diptera : Cecidomyiidae) in Wisconsin.
- Eck, P. 1990. The American Cranberry. Rutgers Univ. Press, New Brunswick, NJ.
- Landry, J.-F. , M. Roy et C. Turcotte. Insectes ravageurs de la canneberge au Québec. Club d'encadrement technique Atocas Québec inc., 898, Principale, N-D de Lourdes, Québec, 2000, 188 p.
- Lasota, J.A. Cranberry Tipworm In Massachusetts – 1986 damage. Cranberries – The National Cranberry Magazine, 1988, 52:3-11.
- Le Duc, I. et Turcotte, C. Manuel de lutte intégrée de la canneberge de l'est canadien. Club Environnemental et Technique Atocas Québec, Santé Canada, 2004, 136 p.
- Mahr, D.L. Cranberry Tipworm: Preliminary Results of 1990 Sanding Studies. Wisconsin Cranberry School Proceedings, 1991.
- Mahr, D.L. and R. Kachadoorian. Cranberry Tipworm. Wisconsin Cranberry School Proceedings, 1990.
- Sampson, B.J., S. J. Stringer. et J.M. Spiers. 2002. Integrated Pest Management for *Dasineura oxycoccana* (Diptera: Cecidomyiidae) in Blueberry. Env. Entomol. 31(2): 339-347.
- Sarzynski, E. M. et O. E. Liburd. 2003. Techniques for Monitoring Cranberry Tipworm (Diptera : Cecidomyiidae) in Rabbiteye and Southern Highbush Blueberries. Entomol. Society of Am. 96 (6): 1821-1827.