

**ÉVALUATION D'UN MODÈLE PRÉVISIONNEL POUR LA GESTION DE LA POURRITURE
SCLÉROTIQUE DANS LE BLEUET SAUVAGE AU QUÉBEC.
CCBL-1-16-1803**

DURÉE DU PROJET : 2017-03/ 2020-03

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Charles-A. D. Bouchard, Club Conseil Bleuets

Révisé par :
Vicky Perron

juillet 2021

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.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	2
LISTE DES FIGURES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	4
RÉSUMÉ DU PROJET.....	5
OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE	6
Objectifs.....	6
Méthodologie.....	6
1. Génération des indices de risques.....	6
2. Sélection des sites et la prise de données météorologique.....	7
3. Évaluation au champ des stades phénologiques (susceptibilité à la maladie) et des symptômes de maladie dans des parcelles expérimentales.	8
4. Mise en place de parcelles d'apothécie et leurs suivis	9
5. Comparaison entre les incidences de pourriture sclérotique au champ et les prédictions générées par le modèle prévisionnel intégré dans le logiciel CIPRA.....	9
6. Formation des conseillers et utilisation de l'outil pour le RAP (Agrométéo);	10
RÉSULTATS NOTABLES OBTENUS	11
<i>Modèle basé sur les tableaux exprimant la sévérité de l'infection en fonction de la température et de la durée de mouillure du feuillage.....</i>	11
<i>Nouveau modèle créé à partir des données épidémiologiques sur la pourriture sclérotique du bleuet nain (Hildebrand et Braun 1991).....</i>	11
DIFFUSION DES RÉSULTATS	16
TYPES D'APPLICATION POSSIBLES DANS L'INDUSTRIE.....	17
POINT DE CONTACT POUR INFORMATION	18
REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS	19
RÉFÉRENCES	20
ANNEXES	21
Annexe 1 : Schéma synthèse des sites entre 2017 et 2019.....	21
Annexe 2 : Photo des différents organes affectés par la pourriture sclérotique en 2018.....	22
Annexe 3 : Tableaux de la sévérité d'infection de la pourriture sclérotique du bleuet nain.....	24

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Sortie du modèle prévisionnel de la pourriture sclérotique développé à partir du tableau de sévérité de l'infection exprimée en fonction de la température et la durée de mouillure des feuilles (Annis 2009; Annis et al. 2010; Martel 2015).	11
Figure 2 : Incidence de l'infection par <i>Monilinia vaccinii-corymbosi</i> sur les bourgeons végétatifs des bleuets nains en fonction de la durée de mouillure et de la température durant la période de mouillure. Adaptation de la Figure 5 de l'article publié par Hildebrand et Braun (1991).	12
Figure 3 : Sortie du modèle prévisionnel de la pourriture sclérotique développé à partir des informations épidémiologiques de l'article de Hildebrand et Braun (1991) et du modèle de risques d'infection (AAC/INRA) développé par Launay et al. (2014).	13
Figure 4 : Corrélation entre le pourcentage d'infection observé et le risque d'infection prédit par le modèle AAC/INRA pour la pourriture sclérotique du bleuet nain en 2017 à 2018.	14
Figure 5 : Corrélation entre le pourcentage moyen d'infection observé et le risque d'infection prédit par le modèle AAC/INRA pour la pourriture sclérotique du bleuet nain en 2019.	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Sévérité d'infection à différentes températures et durée de mouillure du feuillage, adapté de Martel, 2015.....	24
---	----

**TITRE DU PROJET : ÉVALUATION D'UN MODÈLE PRÉVISIONNEL POUR LA
GESTION DE LA POURRITURE SCLÉROTIQUE DANS LE BLEUET SAUVAGE AU
QUÉBEC.**

NUMÉRO DU PROJET : CCBL-1-16-1803

RÉSUMÉ DU PROJET

La pourriture sclérotique (*Monilinia vaccinii-corymbosi*), est une maladie fongique présente au Québec avec une forte incidence dans certaines régions. Celle-ci nécessite fréquemment des traitements à l'aide de fongicides. Ce pathogène peut grandement réduire le rendement des cultures du bleuet nain. Pour répondre à cette problématique, qui s'étend aussi dans les provinces maritimes et dans le Maine, un modèle prévisionnel a été développé. Celui-ci a été développé par une équipe de l'Université du Maine à partir d'informations des chercheurs d'AAC. Ce modèle est utilisé pour orienter les intervenants et producteurs dans le suivi de cette maladie. Des mécanismes permettant de diffuser aux producteurs et aux intervenants les résultats obtenus par les modèles y ont été adoptés. Ces modèles servent à prédire le développement de la maladie, aident à la prise de décision et mènent ultimement à une diminution d'application de fongicides en diminuant la pratique d'application systématique. Les conditions météorologiques et les spécificités au niveau des types de sols des bleuetières québécoises nécessitent l'adaptation de ce modèle prévisionnel. Il est donc nécessaire de déterminer les dates d'atteintes des différents stades phénologiques à l'aide d'observations au champ et de déterminer les indices d'infection à partir du modèle prévisionnel déjà existant. Il sera alors possible de comparer la sévérité de la maladie calculée avec des observations réelles afin de valider le modèle. Pour finir, le modèle permettra d'assurer une gestion efficace et raisonnée de la pourriture sclérotique dans la culture du bleuet sauvage au Québec.

Une prise de données sur 2 ans des stades phénologiques du bleuet ainsi que de la sévérité de la maladie a été effectuée dans 7 bleuetières du Québec à l'aide de parcelles expérimentales. De plus, lors de la 3^e année (2019), les données globales de 36 bleuetières ont été recueillies afin d'augmenter le nombre d'observations et ainsi augmenter la précision du modèle. Des caméras de type timelapse ont été également utilisées afin d'avoir des données précises sur les stades phénologiques des bleuetières et sur le développement des apothécies.

Les résultats obtenus démontrent que le modèle ne répond pas de façon adéquate à la réalité du terrain. Un nombre très faible de jeux de données et le fait qu'une infection peut survenir uniquement lorsque des apothécies sont présentes pendant la période phénologique sensible du bleuet nain rendent l'évaluation très limitée. Plus d'observations seraient utiles afin de tirer des conclusions plus précises sur le potentiel prévisionnel du modèle. Toutefois, ce projet pourrait servir de base pour une nouvelle initiative en recherche visant une collecte de données supplémentaires et le raffinement du modèle. Lorsque celui-ci sera suffisamment fiable, il pourra servir d'outil complémentaire pour la prise de décision concernant l'application de fongicides et possiblement amener à une diminution de la pratique d'application systématique de ces produits dans la production de bleuet nain au Québec.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Objectifs

L'objectif général de ce projet est **d'adapter le modèle prévisionnel développé à l'Université du Maine pour la gestion de la pourriture sclérotique dans la culture du bleuet**, sous les conditions météorologiques québécoises. Pour ce faire, 3 sous objectifs devaient d'être réalisés :

1.1 Déterminer les dates d'atteintes des différents stades phénologiques sensibles à la maladie à l'aide d'observations au champ.

1.2 Déterminer les indices moyens d'infection à partir du modèle prévisionnel déjà existant.

1.3 Comparer la sévérité de la maladie calculée avec des observations réelles afin de valider le modèle.

De plus, le projet avait aussi des objectifs relatifs à la diffusion des informations concernant les résultats et l'utilisation du modèle. Pour ce faire, deux sous objectifs étaient aussi visés :

2. Mettre à profit le réseau d'avertissement phytosanitaire (RAP) avec la diffusion des variables météorologiques et les risques d'infection liés à la pourriture sclérotique.

3. Former les intervenants pour l'interprétation des résultats du modèle pour assurer un accompagnement adéquat des producteurs.

Méthodologie

1. Génération des indices de risques

Afin de faciliter l'utilisation et l'interprétation du tableau de sévérité d'infection intégrée dans le modèle, qui est cité dans plusieurs références (Tableau 1), les valeurs qualitatives de « Aucune », « Faible », « Moyenne » et « Grave » ont été transformées, dans un premier temps, en indices de risque 0, 1, 2 et 3, respectivement. L'objectif était de pouvoir quantifier les indices de risque de façon plus précise à des températures et durées de mouillure intermédiaire, par exemple à une température de 8.4°C et une durée de mouillure de 7 heures. Pour cet exemple, dans le Tableau 1, adapté par Martel, des sévérités qualitatives sont disponibles seulement à des températures de 6 et 10°C, et à des durées de mouillure de 6 et 8 heures (Martel 2015). Il est donc difficile de préciser si la sévérité associée à cet exemple sera « Faible », « Moyenne » ou « Grave ». Des courbes de réponse non linéaires ont été générées pour chacun des niveaux d'indice de risque (0 à 3) et des équations d'interpolation linéaire ont été utilisées pour estimer toutes les valeurs possibles d'indices de risque entre les quatre différentes courbes. Ce modèle permet donc de générer un indice de risque entre 0 et 3 toutes les heures en fonction des températures mesurées et des durées de mouillure estimées à une station météo donnée.

Pour valider les indices de risque calculé par le modèle, la présence de la maladie a été documentée par des collectes de données en bleuetières. En 2017 et 2018, 7 bleuetières ont été sélectionnées afin de couvrir les différentes zones de production au Québec. Une méthode différente a été tentée en 2019 afin d'augmenter le nombre de données recueillies. Ces collectes de données ont été réalisées de la façon suivante:

2. Sélection des sites et la prise de données météorologique

Tout d'abord, une sélection de sept bleuetières avec un historique de pourriture sclérotique et avec une accessibilité à des stations météorologiques dotées d'un capteur de mouillure des feuilles a été réalisée (Annexe 1). Les données météorologiques suivantes sont incluses dans l'analyse du modèle afin d'obtenir un comparatif entre le modèle « température/mouillure et indice de maladie » et le modèle « variables de prédiction de la mouillure à l'aide de variables météorologiques et indice de maladie »:

- a. température (°C)
- b. pluviométrie (mm)
- c. humidité relative (%)

En 2017, quatre sites ont été sélectionnés à Falardeau au Saguenay-Lac-Saint-Jean, à Forestville dans la Côte-Nord, à Nédélec en Abitibi-Témiscamingue et à Saint-Elzéar en Gaspésie. Ces bleuetières ont été choisies pour leur historique de maladie et la disponibilité d'une station météorologique. De plus, cette sélection se voulait représentative des différentes régions productrices de bleuets nains au Québec.

Pour la deuxième année du projet en 2018, deux bleuetières ont été sélectionnées dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean soit à Notre-Dame-de-Lorette et à Saint-Thomas-Didyme. Ces bleuetières ont été choisies pour leur historique de maladie et le fait qu'il n'y avait pas eu d'application de fongicides depuis quelques années. L'important ici était d'avoir des sites présentant des symptômes de la maladie, permettant ainsi d'obtenir des données utilisables pour le modèle.

En 2019, la région du Saguenay- Lac-Saint-Jean a été traitée comme un seul site pour permettre une plus grande prise de données, et ainsi avoir une meilleure vue d'ensemble de l'efficacité du modèle. En effet, des évaluations plus globales ont été effectuées dans 36 bleuetières commerciales. Vu la proximité de plusieurs d'entre-elles, des valeurs moyennes ont été calculées et regroupées en six secteurs distincts: 18 bleuetières dans le secteur de Saint-Eugène-d 'Argentenay, 8 dans le secteur de Normandin, 5 dans le secteur de Saint-Prime, 3 dans le secteur de Saint-Cœur-de-Marie, 1 à Sainte-Monique et 1 à Péribonka. Des données ponctuelles ont été prises dans différentes bleuetières entre la mi-juin et la fin juin, soit la période de développement des symptômes de la maladie.

En 2019, il n'y a pas eu de suivit en parcelles des stades phénologiques du bleuetier ou du développement de la maladie dans le temps. Par contre, une caméra Time Lapse a été installée dans un champ à St-Thomas Didyme où la pourriture sclérotique se développe depuis plusieurs années. Les photos prises par la caméra ont permis d'obtenir des informations sur le stade de la culture à un moment donné. Il est ainsi possible d'avoir une idée de la date d'atteinte des stades critiques et des dates de développement des symptômes.

Les sondes de mouillure des feuilles ont été positionnées sur le feuillage des bleuetiers tels qu'indiqué par le fournisseur de services, soit à la hauteur du feuillage lorsque les feuilles sont assez ouvertes pour éviter l'exposition constante au soleil. En 2017 et 2018, toutes les stations étaient à moins de 5km des sites choisis et étaient munies d'une sonde de mouillure des feuilles. En 2019, les données d'une station météo munie d'une sonde de mouillure des feuilles étaient disponibles pour St-Eugène d'Argentenay.

3. Évaluation au champ des stades phénologiques (susceptibilité à la maladie) et des symptômes de maladie dans des parcelles expérimentales.

Pour l'année 2017 et 2018, du début de mois de mai et une fois par semaine, l'atteinte du stade du débourrement des bourgeons pour 75% des tiges a été évaluée. C'est à partir de ce moment que les bleuetiers deviennent susceptibles à la pourriture sclérotique. Pour ce faire, la méthode suivante a été utilisée: 20 tiges ont été choisies au hasard. Le nombre de tiges étant au stade débourrement a par la suite été ramené en pourcentage.

L'atteinte du stade F2 pour 40 à 50% des bourgeons sur les tiges a été évaluée selon la même méthodologie pour chacune des parcelles. C'est à ce moment que le bleuetier devient plus susceptible d'être infecté par la maladie, car il y a suffisamment de tissus pour qu'il y ait une infection. Deux fois par semaine, le stade des tiges a été évalué selon la même méthodologie en notant le stade des bourgeons les plus avancés. À la suite de l'atteinte du stade F2, de 10 à 14 jours plus tard et 2 fois par semaine jusqu'à la fin juin, une évaluation visuelle du pourcentage de maladie dans les parcelles a été effectuée.

Les symptômes indiquant la présence de la maladie comprennent :

- Feuilles molles et brunes-violacées;
- Nervure centrale des feuilles ayant l'apparence d'un duvet blanchâtre;
- Chute des feuilles ne laissant qu'un pétiole blanc recourbé vers le bas;
- Fleurs brunes et flétries;
- Fruits momifiés (ratatinés et de couleur saumon).

Ces symptômes sont tels que décrits dans le guide des Alliés et ennemis du bleuet nain ainsi que dans le guide de production du bleuet nain (Desjardins et al. 2013; Guide de production 2010). Un album photo des symptômes observés en 2018 est présenté à l'Annexe 2.

À la fin de la saison, les bleuets sont récoltés et pesés pour chaque parcelle. En 2017, les rendements par parcelles sont disponibles pour Falardeau, Forestville et St-Élzéar. Au site de Nédélec, le rendement moyen a été utilisé, car l'information par parcelle n'était pas disponible. En 2018, les parcelles de Lorette n'ont pas été récoltées dû à la faible quantité de fruits produits. Pour une raison de logistique similaire au site de Nédélec en 2017, le rendement moyen du champ a été utilisé pour le site de Saint-Thomas-Didyme. En 2019, les rendements n'ont pas été évalués.

De plus, pour aider à l'évaluation des stades phénologiques, 4 caméras timelapse ont été installées sur quatre sites différents, 2 en 2017, 1 en 2018 et 1 en 2019. Ces caméras ont été installées à 30 cm des plants de bleuetiers susceptibles d'être atteint par la maladie. La lentille était positionnée au tiers supérieur du plant de bleuetiers. Tout ce qui aurait pu obstruer la vue de la caméra entre celle-ci et le plant de bleuet a été couvert afin qu'il n'y

ait pas d'autres plants ou mauvaises herbes qui viendraient cacher le sujet. Les photos ont été prises toutes les heures entre 6h et 21h. Cet intervalle a été choisi en fonction de la capacité de l'appareil à stocker les photos. Beaucoup de photos sont donc prises par jour, permettant d'obtenir à coup sûr les informations voulues, tout en évitant une maintenance de l'appareil trop fréquente. En 2017, les pieds de Nédélec et Saint-Élzéar ont été filmés du 27 avril au 26 août et du 14 mai au 11 août respectivement. En 2018, les pieds de Notre-Dame-de-Lorette ont été filmés du 11 mai au 19 juin. Ces dates ont toutes été sélectionnées en fonction des opérations des bleuetières concernées, des informations à obtenir et des ententes avec les producteurs. En 2019, une caméra a été installée à Saint-Thomas-Didyme pour documenter le développement du bleuétier du 23 mai au 13 août.

4. Mise en place de parcelles d'apothécie et leurs suivis

Afin de mieux connaître les moments où les infections primaires de *Monilinia* se produisent, des parcelles d'observations du développement des apothécies ont été implantées. La première étape fut de récolter des bleuets momifiés. Les bleuets atteints sont durs et ratatinés et de couleur variant de saumon à blanc à l'approche de leur maturité, tel que décrit dans le guide des Alliés et ennemis du bleuet nain ainsi que dans le guide de production du bleuet nain (Desjardins et al. 2013; Guide de production 2010).

Dans un secteur plat, plutôt humide et avec présence d'une densité faible à moyenne de bleuétier, des parcelles d'apothécie ont été implantées à l'automne 2017 à Notre-Dame-de-Lorette. Elles ont été installées selon les indications du guide de production du bleuet nain et Mme Seanna Annis spécialiste des maladies fongiques dans le bleuet nain à l'université du Maine. Avant la récolte, 150 bleuets momifiés ont été ramassés dans un champ en récolte ayant une forte présence de pourriture sclérotique. Trois parcelles de 20 cm² ont été délimitées. Pour chaque parcelle, la litière et environ ¼ de pouce de sol ont été retirés et mis de côté. 50 bleuets momifiés y ont été placés, pressés fermement et recouverts du sol mis de côté et pressés de nouveau. Finalement, la litière a été replacée.

Au printemps 2018, un suivi des parcelles a été effectué régulièrement afin d'observer le développement des apothécies (coupoles porteuses de spores) et leur durée de vie. Une caméra timelapse a aussi été installée à 30 cm du sol. La caméra a pris des photos du 7 mai au 19 juin toutes les 15 minutes de 6h à 21h. Cet intervalle a été choisi en fonction de la capacité de l'appareil à stocker les photos. En 2019, une caméra a été installée à Notre-Dame-de-Lorette pour documenter leurs développements selon la même procédure.

5. Comparaison entre les incidences de pourriture sclérotique au champ et les prédictions générées par le modèle prévisionnel intégré dans le logiciel CIPRA

Premièrement, le stade phénologique critique pour l'infection par la pourriture sclérotique chez le bleuet nain est le F2-V2, c'est-à-dire à partir du débourrement des bourgeons, autant végétal que floral, et ce jusqu'à la floraison. C'est lors de cette période de l'année que les interventions phytosanitaires, principalement l'application de fongicides, doivent être effectuées. Selon l'étude de Delbridge et al., il faut que 40 à 50 % des plants aient atteint le stade F2 pour que les risques d'infection augmentent (Delbridge et al. 1995). Cependant, une autre étude indique que le stade F3 est également susceptible (Annis 2009). Les stades F2 et F3 ont donc tous les deux été considérés comme étant sensibles, et ce jusqu'à l'atteinte du stade 50 % F4.

La première étape du développement du modèle était de déterminer les dates d'atteintes des différents stades phénologiques sensibles à cette maladie. Une interpolation entre les dates des jeux de données fournies par les 3 années du projet a été effectuée dans le but de ne pas seulement avoir 4 ou 5 dates d'observations, mais une vingtaine. Pour ce faire, les valeurs observées ont été utilisées comme des points de références et la variation quotidienne moyenne entre deux dates d'échantillonnages a pu être calculée. Ceci a permis d'obtenir des pourcentages pour plusieurs journées et ainsi déterminer des dates précises d'atteintes de stades phénologiques. Puisque la majorité des jeux de données ne contenait pas toutes les informations phénologiques requises, elles ont été complétées avec un modèle de prédiction des stades phénologiques du bleuet nain. Deux modèles sont disponibles dans le logiciel CIPRA et ont pu être utilisés. Un premier modèle calcule les degrés-jours à partir du 1^{er} mars et le deuxième à partir de la date où l'épaisseur de neige est inférieure à 10 cm à la fin de l'hiver. Les deux modèles ont été comparés pour savoir lequel des deux était le plus précis. En comparant les dates observées dans les bleuetières avec les dates de prédiction pour chaque modèle, il a été déterminé que le modèle à partir de la dernière date ayant 10 cm de neige était le plus approprié. Les dates estimées par ce modèle ont été utilisées pour les analyses.

À la suite de cela, les indices moyens d'infection pour les périodes sensibles du bleuet nain ont pu être déterminés pour ainsi les comparer avec le pourcentage de maladie observé dans les parcelles de bleuets nains.

Approche pour la précision des modèles prévisionnels :

De F2 à F4

Cette méthode consistait à déterminer l'indice d'infection maximum pour toutes les journées comprises dans la période durant laquelle il y a un risque d'infection, donc de F2 à F4, et ce pour chaque site. En effectuant la moyenne de ces indices, un indice moyen représentant la prédiction des risques d'infection pour la période phénologique sensible du bleuet nain a été obtenu. Au total, 6 valeurs ont été utilisées pour compléter ces évaluations.

6. Formation des conseillers et utilisation de l'outil pour le RAP (Agrométéo):

L'agronome responsable du projet a été formé à l'utilisation du logiciel CIPRA et du modèle phénologique. Compte tenu des résultats obtenus, l'agronome n'a pas été en mesure de former d'autres conseillers. Ce point sera discuté dans les sections suivantes.

RÉSULTATS NOTABLES OBTENUS

Modèle basé sur les tableaux exprimant la sévérité de l'infection en fonction de la température et de la durée de mouillure du feuillage

Une adaptation mathématique du tableau de sévérité d'infection (Tableau 1) a été implantée dans le logiciel CIPRA (Plouffe et al. 2018) et un exemple de sortie du modèle prévisionnel est présenté à la Figure 1. Ce modèle permet donc de générer un indice de risque entre 0 et 3 toutes les heures en fonction des températures mesurées et des durées de mouillure estimées à une station météo donnée. Un module de développement phénologique du bleuet nain permet, quant à lui, d'estimer la période de sensibilité du bleuet nain à la pourriture sclérotique (zone en jaune, Figure 1).

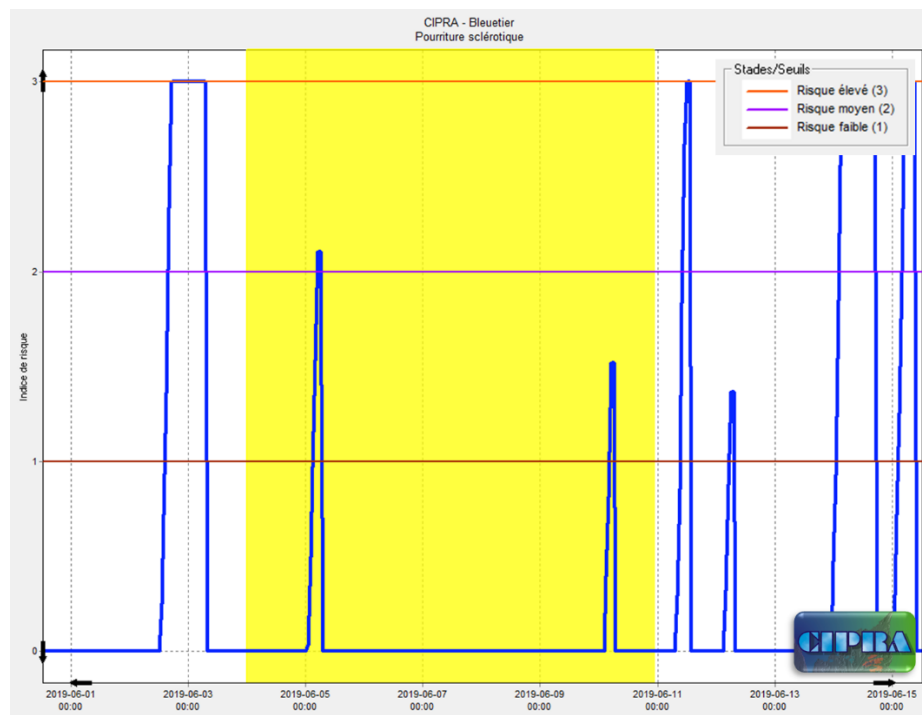


Figure 1 : Sortie du modèle prévisionnel de la pourriture sclérotique développé à partir du tableau de sévérité de l'infection exprimée en fonction de la température et la durée de mouillure des feuilles (Annis 2009; Annis et al. 2010; Martel 2015).

Nouveau modèle créé à partir des données épidémiologiques sur la pourriture sclérotique du bleuet nain (Hildebrand et Braun 1991)

Launay et al. (2014) ont proposé une série d'équations mathématiques relativement simples permettant d'intégrer les effets non linéaires de la température et de la durée de mouillure sur le risque d'infection par les agents pathogènes sur les cultures. Les valeurs des paramètres de ces équations ont été obtenues à partir d'informations disponibles dans la littérature pour cinq maladies fongiques importantes affectant les cultures dans le nord de la France. Depuis la publication de cet article, un nouveau module a été intégré au logiciel CIPRA (Plouffe et al. 2018) pour permettre une implantation plus conviviale de différents modèles prévisionnels des maladies, pour lesquelles des études ont été effectuées sur les effets combinés de la température et de la durée de mouillure. Dans le cadre d'autres études d'évaluation de modèles prévisionnels au Québec, des estimations

des valeurs des paramètres de ces équations ont déjà été effectuées pour trois maladies du fraisier (tache commune, anthracnose et moisissure grise) et pour la fusariose de l'épi du blé. Pour la pourriture sclérotique du bleuet nain, Hildebrand et Braun (1991) ont étudié les effets combinés de différentes températures et durées de mouillure sur l'incidence d'infection des bourgeons végétatifs du bleuet nain par *Monilinia vaccinii-corymbosi* (Figure 2). Grâce à ces informations, il a donc été possible d'estimer les valeurs des différents paramètres requis pour créer un nouveau modèle permettant de prédire les risques d'infection de la pourriture sclérotique du bleuet nain.

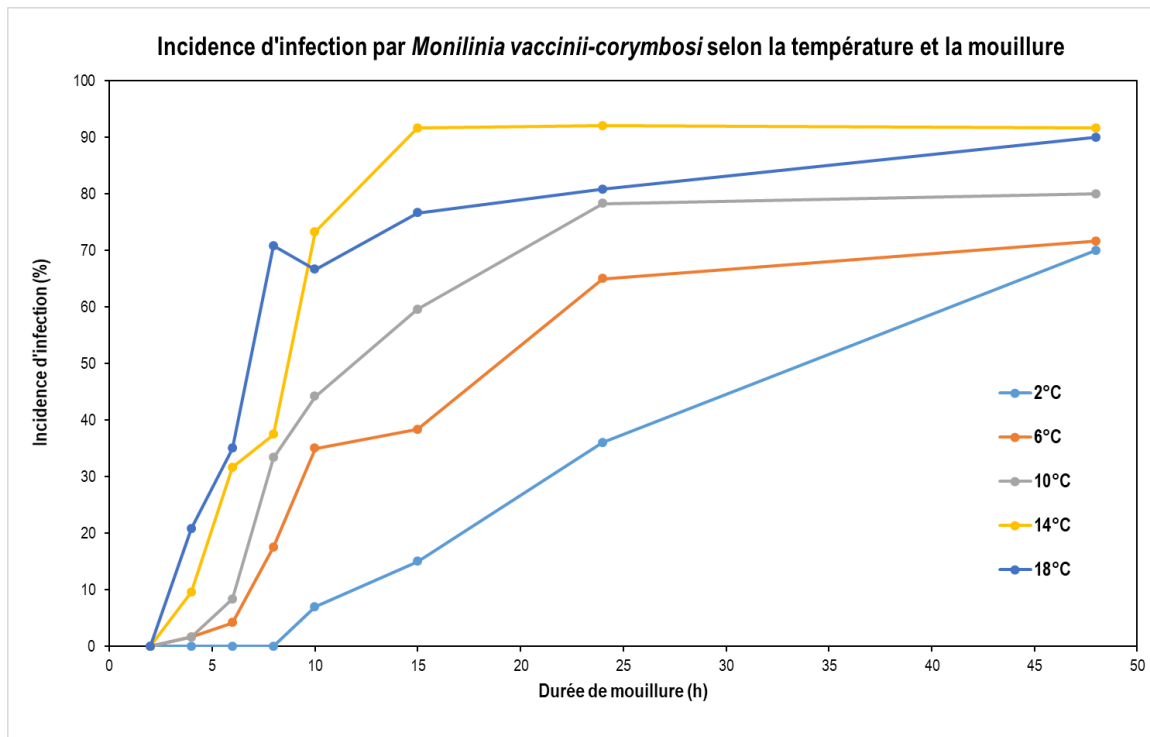


Figure 2 : Incidence de l'infection par *Monilinia vaccinii-corymbosi* sur les bourgeons végétatifs des bleuets nains en fonction de la durée de mouillure et de la température durant la période de mouillure. Adaptation de la Figure 5 de l'article publié par Hildebrand et Braun (1991).

Ce nouveau modèle, nommé AAC/INRA, a aussi été implanté dans le logiciel CIPRA (Plouffe et al. 2018) et un exemple de sortie du modèle prévisionnel est présenté à la Figure 3. Ce modèle permet donc de générer un risque d'infection entre 0 et 100 % toutes les heures en fonction des températures mesurées et des durées de mouillure estimées à une station météo donnée. Les seuils de risque d'infection faible, moyen et élevé ont été établis à 8, 15 et 23 % respectivement à partir des seuils suggérés dans le Tableau 1. Comme on peut le constater, les indices d'infection de ce nouveau modèle sont comparables aux indices de risque prédits par l'adaptation mathématique des tableaux de sévérité (Annexe 3). Le même module de développement phénologique du bleuet nain permet, quant à lui, d'estimer la période de sensibilité du bleuet nain à la pourriture sclérotique (zone en jaune, Figure 3).

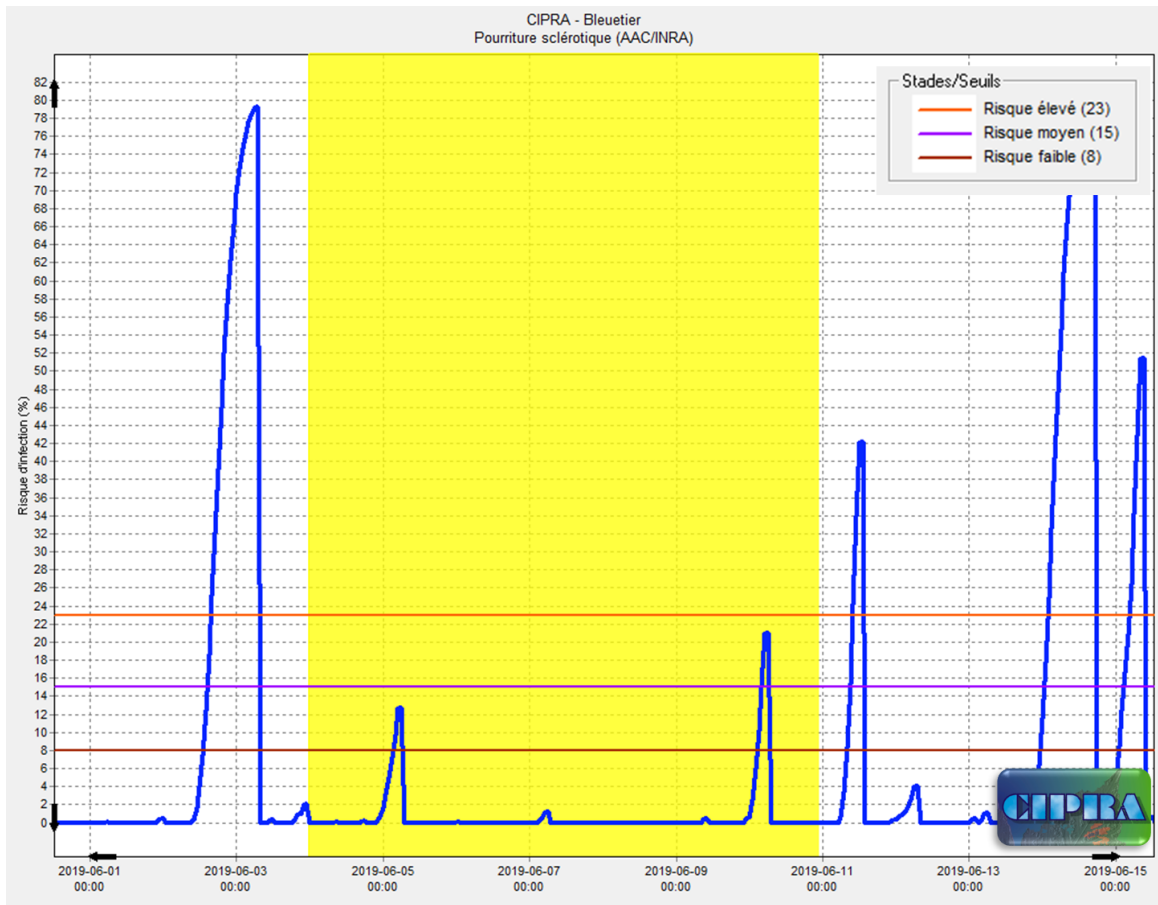


Figure 3 : Sortie du modèle prévisionnel de la pourriture sclérotique développé à partir des informations épidémiologiques de l'article de Hildebrand et Braun (1991) et du modèle de risques d'infection (AAC/INRA) développé par Launay et al. (2014).

Pour 2017 et 2018, un total de six sites avec des parcelles expérimentales en bleuetières ont été suivis de façon détaillée. Pour ces deux années, les sévérités observées en bleuetières ont varié de 0 à 20 % (Figure 4). En termes de prévisions des risques d'infection par le modèle AAC/INRA, des risques nuls, faibles, moyens et élevés (Seuils 0, 7, 15 et 13 %) ont été obtenus pour 2, 1, 0 et 3 sites (Figure 4). En général, les prévisions ont été adéquates pour 5 des 6 sites. Le manque de correspondance est pour le site de Forestville en 2017, pour lequel le risque d'infection prédit fut de 41 % alors que la sévérité observée en bleuetière fut seulement de 5 %.

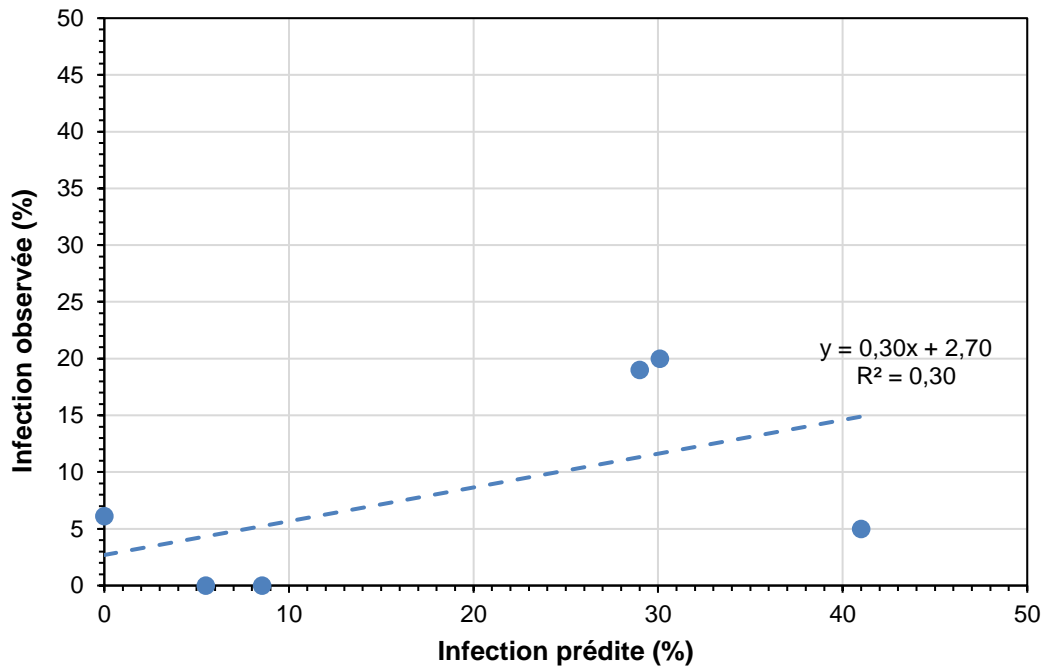


Figure 4 : Corrélation entre le pourcentage d'infection observée et le risque d'infection prédit par le modèle AAC/INRA pour la pourriture sclérotique du bleuet nain en 2017 à 2018.

En 2019, des évaluations plus globales ont été effectuées dans 36 bleuetières commerciales. Vu la proximité de plusieurs d'entre-elles, des valeurs moyennes ont été calculées et regroupés en six secteurs distincts: 18 bleuetières dans le secteur de Saint-Eugène-d'Argentenay, 8 dans le secteur de Normandin, 5 dans le secteur de Saint-Prime, 3 dans le secteur de Saint-Cœur-de-Marie, 1 à Sainte-Monique et 1 à Péribonka. Pour 2019, les moyennes de sévérités observées en bleuetières ont varié de 6 à 40 % selon les secteurs (Figure 5), alors que les sévérités spécifiques à chacun des 36 sites ont varié de 0 à 75 %. Une variabilité très importante a donc été obtenue par cette évaluation plus globale des bleuetières visitées par rapport à l'approche utilisée en parcelles expérimentales en 2017 et 2018. En termes de prévisions des risques d'infection par le modèle AAC/INRA, des risques nuls, faibles, moyens et élevés (Seuils 0, 7, 15 et 13 %) ont été obtenus pour 3, 3, 0 et 0 secteur (Figure 5). Pour les jeux de données de 2019, on peut considérer que les prévisions ont été adéquates pour seulement 3 des 6 secteurs. Les manques de correspondance sont principalement liés aux sévérités élevées et variables en bleuetières dans les secteurs couverts par les stations météo de Saint-Prime

(Municipalités de Saint-Félicien et Saint-Méthode), de Chute-du-Diable (Municipalité de Sainte-Monique) et de Sainte-Jeanne-d'Arc (Municipalité de Péribonka).

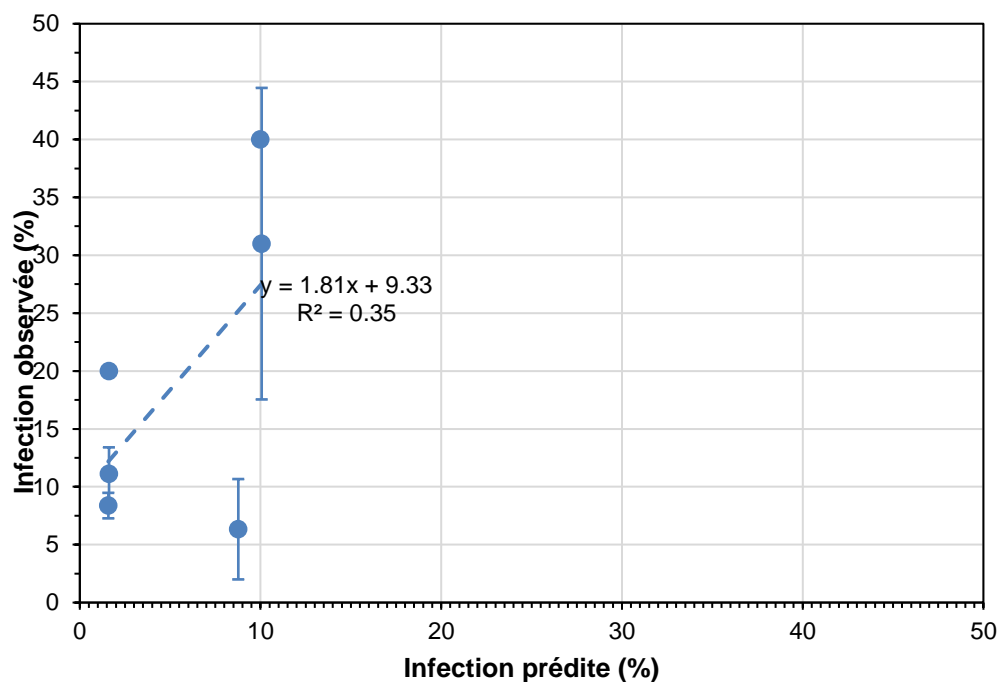


Figure 5 : Corrélation entre le pourcentage moyen d'infection observé et le risque d'infection prédit par le modèle AAC/INRA pour la pourriture sclérotique du bleuet nain en 2019.

La grande variabilité des résultats de sévérité de la maladie obtenus dans cette étude en 2019 n'a pas permis de raffiner le modèle prévisionnel de la façon escomptée. En effet, des données supplémentaires seraient requises afin de poursuivre ce raffinement et ainsi d'obtenir des prévisions ayant une plus grande précision. Les résultats obtenus ont été comparés avec des modèles similaires existant dans la littérature, afin de déterminer si le modèle peut être utilisé tout de même comme outil décisionnel. Le nombre d'observations adéquates ainsi que le R^2 peut servir à comparer les modèles entre eux. Cette analyse a permis de déterminer que comparé aux modèles existants, celui développé dans le cadre de ce projet demeure trop imprécis pour être utilisé. En effet, Carrisse et al. en 2009, avait obtenu un R^2 entre 0,76 et 0,97 pour un modèle concernant le mildiou. Harteveled et al en 2015 avait obtenu jusqu'à 78% de résultat adéquat de leur modèle concernant la prédiction de libération des spores de la pourriture sclérotique, dans le bleuet. Pour finir, une étude de Drummond et al., en 2019, avait obtenu un R^2 de 0,953 pour un modèle concernant les stades phénologiques du bleuet nain. Il est à noter que plusieurs autres études consultées n'avaient pas obtenu de résultats satisfaisants. Ce qui met en lumière la difficulté de développer ce genre de modèle et le grand nombre de données requises afin d'avoir un modèle utilisable.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

La conseillère responsable du projet a été formée à l'utilisation du logiciel CIPRA. Celle-ci devait ensuite former d'autres conseillers ainsi que ceux responsables du RAP. Malheureusement, compte tenu des résultats, les formations suivantes n'ont pas eu lieu. Le rapport final et la fiche synthèse seront toutefois produits et celle-ci sera disponible en ligne sur le site d'Agri-Réseau. Pour finir, le Club Conseil Bleu et demeurera disponible pour toutes organisations voulant poursuivre le développement du modèle.

TYPES D'APPLICATIONS POSSIBLES DANS L'INDUSTRIE

Selon les résultats obtenus sur l'évaluation du modèle prévisionnel AAC/INRA, il est possible de conclure que le modèle ne répond pas de façon adéquate à la réalité du terrain et qu'il faudrait envisager des modifications. Toutefois, un nombre très faible de jeux de données et le fait qu'une infection peut survenir uniquement lorsque des apothécies sont présentes pendant la période phénologique sensible du bleuet nain rendent l'évaluation très limitée. Plus d'observations seraient utiles afin de tirer des conclusions plus précises sur le potentiel prévisionnel du modèle. Par conséquent, dans son état actuel, le modèle n'est pas assez fiable pour aider à la gestion des applications de fongicides, et donc de réduire la pratique d'application systématique de ces produits. Le Club Conseil Bleuet demeure toutefois disponible pour collaborer avec toute organisation voulant raffiner le modèle dans le futur.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Pour obtenir de l'information supplémentaire relativement au projet, veuillez contacter Mme Marie-Ève Moreau, directrice générale du Club Conseil Bleuet.

Marie-Ève Moreau, agr.
Directrice générale
Club Conseil Bleuet
112, avenue de l'Église, suite 202
Dolbeau-Mistassini, Qc G8L 4W4
Téléphone : 418-239-0080 poste 23
marie-eve.moreau@clubbleuet.com

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du volet 4 du programme Prime-Vert – Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation 2013-2018 par l’entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021. En collaboration avec Agriculture et Agroalimentaire Canada. Merci à monsieur Gaétan Bourgeois, au Syndicat des Producteurs de Bleuets du Québec et aux employés du Club Conseil Bleuets qui ont collaboré sur le projet. Merci aussi à Adrien Douelle et Caroline Letendre pour leur aide précieuse. Pour finir, merci à tous les producteurs impliqués dans le projet.

RÉFÉRENCES

- Annis, S. 2009. Forecasting Mummyberry Fungus Infection. The University of Maine. Coopérative Extension. [Site Web] : <https://extension.umaine.edu/blueberries/factsheets/disease/mummyberry/> (Fichier PDF consulté le 23 janvier 2020).
- Annis, S., K. McGovern, D. Yarborough. 2010. Mummy Berry Disease Forecasting Method. The University of Maine. Coopérative Extension. [Site Web] : <https://extension.umaine.edu/blueberries/factsheets/disease/mummyberry/> (Fichier PDF consulté le 23 janvier 2020).
- Carisse et al. 2009. A degree-day model to initiate fungicide spray programs for management of grape powdery mildew (*Erysiphe necator*). *Canadian Journal of Plant Pathology*, Vol. 31.
- Delbridge, R. et P. Hildebrand. 1995. Monilinia blight of lowbush blueberry. Lowbush Blueberry Fact Sheet, Government of Nova Scotia. 5 p.
- Desjardins, É. et Néron, R. 2013. *Guide d'identification - Alliées et ennemis du bleuët nain*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec., 252 pages.
- Drummond, 2019. Reproductive biology of wild blueberry. *Agriculture*, 9(4):69
- Guide de production du bleuët sauvage dans une perspective de développement durable, 2010. Document produit en collaboration par : Agrinova, le Club Conseil Bleuët, le MAPAQ, et le CRAAQ, Disponible en ligne <http://perlebleue.ca/regie-de-production/l-amenagement>.
- Harteveled et al. 2015. Predicting Ascospore Release of *Monilinia vaccinii-corymbosi* of Blueberry with Machine Learning. *Phytopathology*, Vol 107.
- Hildebrand, P.D. et P.G. Braun. 1991. Factors affecting infection of lowbush blueberry by ascospores of *Monilinia vaccinii-corymbosi*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 13(3): 232-240.
- Launay, M., J. Caubel, G. Bourgeois, F. Huard, I. Garcia de Cortazar-Atauri, M.O. Bancal et N. Brisson. 2014. Climatic indicators for crop infection risk: Application to climate change impacts on five major foliar fungal diseases in Northern France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 197: 147-158.
- Martel, V. 2015. Pourriture sclérotique. Réseau d'avertissements phytosanitaires, Bleuët nain, Bulletin d'information no.1. 7 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Schéma synthèse des sites entre 2017 et 2019.

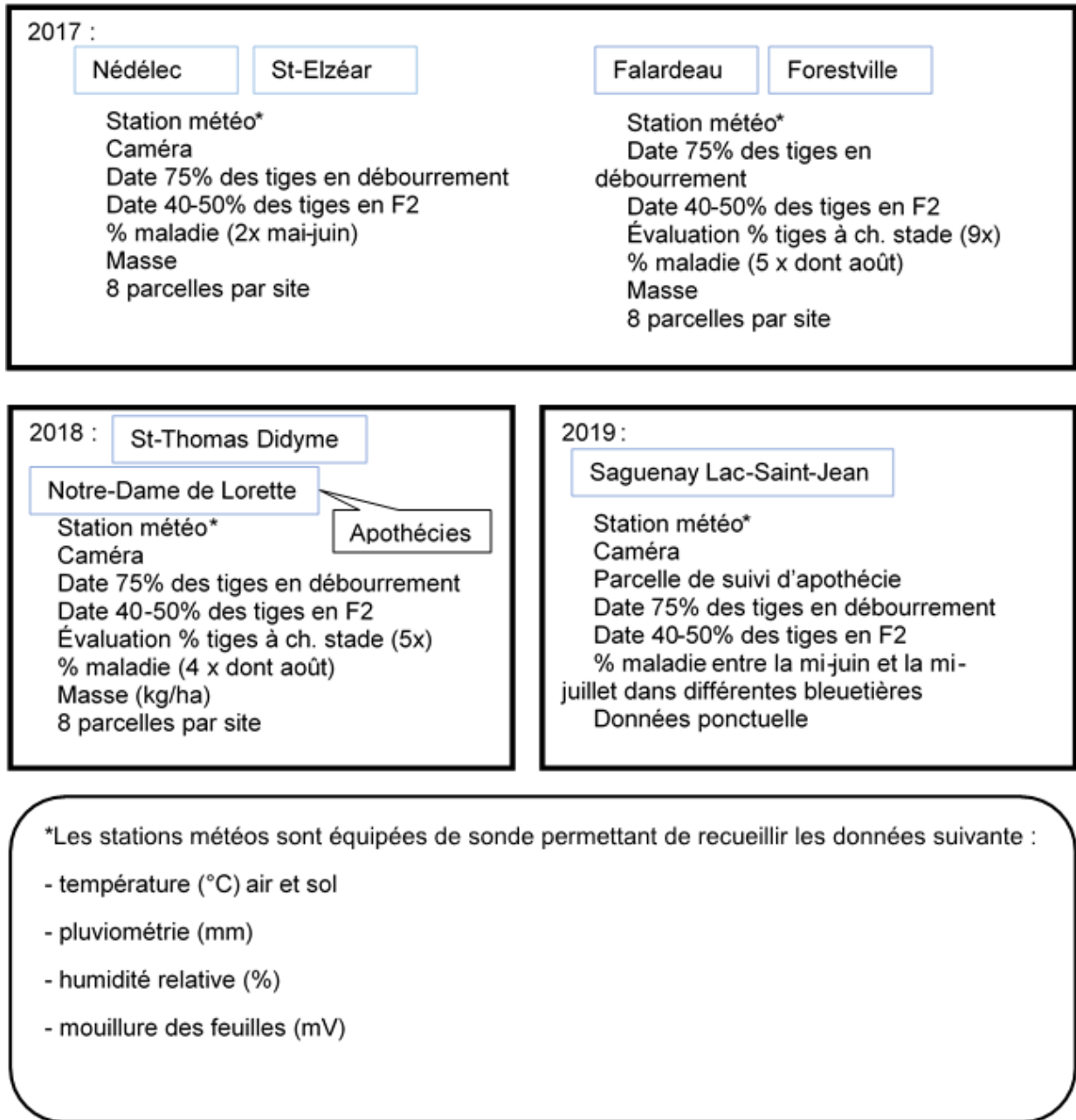


Figure 6 : Schéma synthèse des sites entre 2017 et 2019.

Annexe 2 : Photo des différents organes affectés par la pourriture sclérotique en 2018.

Photo des feuilles en juin



Figure 8 : Photo prise à Saint-Thomas-Didyme le 6 juin 2018 dans la parcelle 7. Feuilles flétries avec nervures centrales brun violacé, environ 6% de maladie.

Photos des feuilles et pétioles en juin



Figure 9 : Photos prises à Saint-Thomas-Didyme le 11 juin 2018. A : Parcelle 2, feuilles flétries avec nervures centrales brun violacé ainsi que pétioles recourbés vers le bas de gris à blanc, environ 6% de maladie. B : Parcelle 6, feuilles et pétioles présentant les mêmes symptômes.

Photo des pétioles et des fleurs en juin



Figure 10 : Photos prises à Saint-Thomas-Didyme le 19 juin 2018, environ 6% de maladies. A : Parcelle 6 plusieurs pétioles recourbés vers le bas de gris à blanc. B : Parcelle 1 fleurs brunes et flétries qui gardent leur corolle.

Photo des bleuets en août

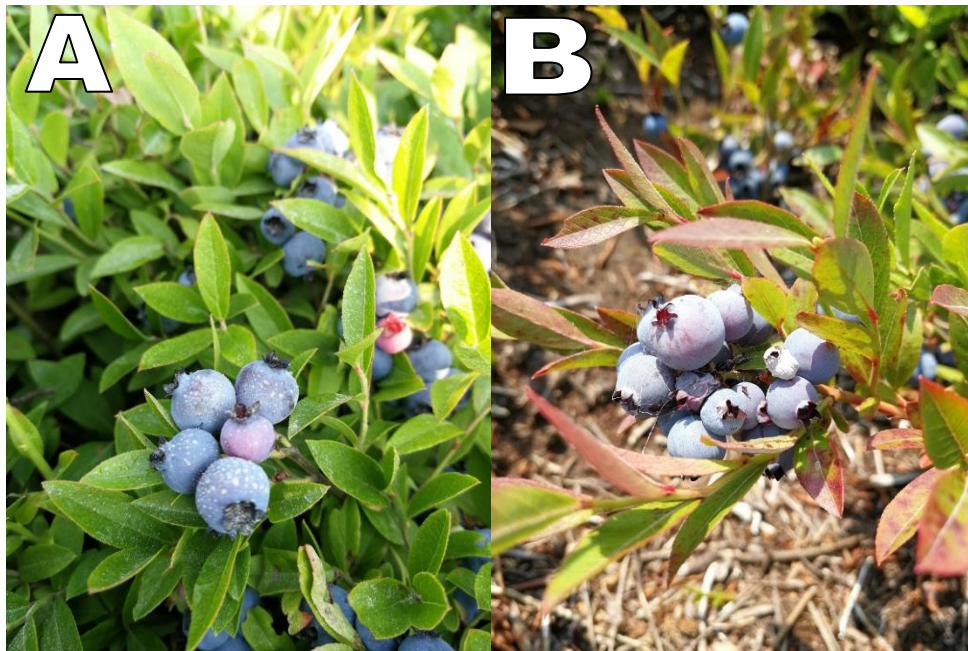


Figure 11 : Comparaisons entre les fruits des deux sites. Notre-Dame-de-Lorette 0% de maladies et Saint-Thomas-Didyme environ 6%. A : Parcelle 1 Notre-Dame-de-Lorette bleuets sains 15 août 2018. B : Parcelle 1 Saint-Thomas-Didyme bleuets momifiés 15 août 2018.

Annexe 3 : Tableaux de la sévérité d'infection de la pourriture sclérotique du bleuet nain

Période de mouillure* des feuilles	TEMPÉRATURE MOYENNE PENDANT LA PÉRIODE D'INFECTION				
	2 °C	6 °C	10 °C	14 °C	18 °C
2 heures	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
4 heures	Aucune	Aucune	Aucune	Faible	MOYENNE
6 heures	Aucune	Faible	Faible	GRAVE	GRAVE
8 heures	Aucune	MOYENNE	GRAVE	GRAVE	GRAVE
10 heures	MOYENNE	GRAVE	GRAVE	GRAVE	GRAVE
15 heures	MOYENNE	GRAVE	GRAVE	GRAVE	GRAVE
24 heures	GRAVE	GRAVE	GRAVE	GRAVE	GRAVE

* La période de mouillure inclut les conditions de pluie, de brume ou de neige fondante, mais exclut les conditions de rosée. Une période est considérée comme « sèche » si l'humidité relative reste inférieure à 85 %.

Tableau 1: Sévérité d'infection à différentes températures et durée de mouillure du feuillage, adapté de Martel, 2015.