

**AMÉLIORATION DE LA PRÉDICTION, DE LA DÉTECTION ET DES STRATÉGIES DE LUTTE
CONTRE LE FEU BACTÉRIEN :
VOLET DÉTECTION ET TRAITEMENTS FLORAUX**

IRDA-1-16-1810

DURÉE DU PROJET SELON LE CALENDRIER INITIAL : MAI 2017 / JANVIER 2020

RAPPORT FINAL

31 août 2021

Réalisé par :
Vincent Philion, agr. IRDA

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.

AMÉLIORATION DE LA PRÉDICTION, DE LA DÉTECTION ET DES STRATÉGIES DE LUTTE CONTRE LE FEU BACTÉRIEN : VOLET DÉTECTION ET TRAITEMENTS FLORAUX

IRDA-1-16-1810

RÉSUMÉ DU PROJET

La recrudescence du feu bactérien au cours des dernières années et notamment dans la région des Laurentides en 2016 a mis en lumière des lacunes importantes dans la stratégie de lutte contre cette maladie. Ce projet s'inscrit dans un programme de recherche appliquée sur le feu bactérien qui couvre plusieurs aspects de la maladie. La plupart des activités de recherche de ce programme ont été réalisées dans le cadre de l'annexe 6 de la convention entre l'IRDA et le MAPAQ 2017-2020 (Développement et diffusion des connaissances sur les stratégies de gestion de la brûlure bactérienne dans les vergers de pommiers). Le présent rapport couvre seulement les activités du projet Prime-Vert IRDA-1-16-1810. Cependant, comme les deux projets partageaient certains objectifs, ils ont été réalisés conjointement et certaines ressources ont bénéficié aux deux projets.

Initialement, le projet visait à évaluer une technique de détection bactérienne mise au point en Autriche qui consiste à quantifier l'inoculum transporté par les abeilles (Volet abeilles). Comme les résultats préliminaires (2017) n'étaient pas encourageants et ont mis en lumière différents problèmes jugés critiques, ce volet a été remplacé par une approche de détection pré florale visant à déterminer si les insectes présents avant les périodes d'infection étaient porteurs de la bactérie pathogène. Ce volet impliquait un piégeage massif des insectes et la détection moléculaire à leur surface. Aucun lien n'a été observé avant la floraison entre la présence d'insectes porteurs de la bactérie responsable du feu bactérien et l'incidence de la maladie plus tard en saison. Le volet « pièges » a donc été abandonné à son tour après la saison 2019. Suite à des modifications au calendrier initial, le projet devait se terminer au cours de l'été 2020. Compte tenu des résultats des objectifs principaux et du contexte particulier de la Covid-19, le projet n'a pas été poursuivi en 2020.

Le projet initial comprenait aussi des volets secondaires, soit des tests d'efficacité de bactéricides en post infection et sur l'effet de l'éclaircissage floral pour réprimer le feu. Les tests ont démontré que le temps écoulé entre l'infection et le traitement, la température et la dose avaient une influence importante sur la sévérité du feu bactérien observé sur fleurs détachées. Retarder le traitement de 6-8 heures avait le même effet sur la maladie que réduire la dose de moitié. Les traitements effectués dans les heures suivant l'infection devraient donc toujours être effectués à la dose la plus élevée permise. Les traitements d'éclaircissage ont confirmé que l'application répétée de bicarbonate de potassium, d'ATS et de bouillie soufrée, appliqués avant la pollinisation d'un trop grand nombre de fleurs, avait un effet positif sur la grosseur des fruits, le nombre de bourgeons à un fruit et diminuaient l'alternance annuelle. Cependant, seule la bouillie soufrée a eu un impact sur la réduction du feu bactérien

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Volet Abeilles

La pollinisation des fleurs est souvent optimisée en production pomicole par la location de ruches d'abeilles. Or, les abeilles transportent aussi les bactéries responsables du feu bactérien des fleurs contaminées vers des fleurs saines. Selon les travaux à l'origine de notre projet, il est possible d'estimer contamination d'un verger par la détection des bactéries portées sur les abeilles au moment de l'entrée dans la ruche. Au cours de la floraison 2017, des

manchons conçus pour l'extraction d'ADN ont été insérés dans des entrées de ruches modifiées de sorte que les abeilles passent par les manchons. La modification aux ruches était mineure et ne devait pas entraver le travail des abeilles. Les manchons étaient remplacés le soir et les populations de bactéries transportées par les abeilles devaient être estimées à partir des manchons.



Prototypes de ruches avec tubes d'entrée pourvus de manchons amovibles. Le manchon conçu pour l'extraction d'ADN est visible dans les tubes de la photo de droite.

Volet pièges

Les bactéries responsables du feu bactérien hivernent dans le bois en bordure des chancres présents sur les pommiers et sur les hôtes secondaires à la périphérie des vergers. Au printemps, des insectes variés dont plusieurs espèces de diptères sont attirés par l'exsudat bactérien sur les chancres et transportent ensuite les bactéries sur les fleurs. Plusieurs espèces sont conjointement responsables de la contamination primaire des fleurs. Comme la période préflorale s'étale sur quelques semaines, il serait possible d'envisager la collecte et le traitement d'échantillons et détecter la présence des bactéries avant les risques d'infection pendant la floraison. La détection précoce des bactéries pourrait faciliter la décision de traiter la parcelle. L'objectif de ce volet était de tester l'hypothèse que la détection des bactéries sur les insectes présents dans les vergers avant la floraison pouvait servir d'indicateur de risque du feu bactérien. Différents pièges non spécifiques ont été comparés pour trapper les insectes pendant la période préflorale dans le but de sélectionner un modèle à la fois efficace pour trapper les insectes et faciliter la détection des bactéries par PCR. Des pièges de carton blanc enduits de colle tanglefoot et des pièges de noyade ont été utilisés. Les pièges de noyade (seau jaune ou piège commercial de type Vane) contenaient du propylène glycol pur et une goutte de détergent à vaisselle pour diminuer la tension de surface. Des pièges ont été déployés dans des vergers de plusieurs régions de production (Estrie, Laurentides, Montérégie, Laurentides, Québec) pour un total de 63 (2018) et 64 (2019) parcelles réparties dans 42 vergers. Dans chaque parcelle, les pièges ont été installés environ au stade débourrement et remplacés une fois par semaines jusqu'à la floraison.



Pièges de noyade comparés lors de l'essai (piège maison à gauche et piège commerciale Vane à droite)

L'incidence du feu bactérien a été notée dans chaque parcelle pour tenter de relier l'activité des insectes et leur population bactérienne à la maladie. Après collecte, les pièges ont été congelés. Au moment du traitement, le liquide des pièges de noyade a été tamisé grossièrement et ensuite filtré sur une membrane avec pores de 0,45 μm . Après lavage avec PBS-Tween, les bactéries à la surface des membranes étaient re-suspendues avec un tampon (TPEB). Un aliquot d'un 1 μl de cette suspension a été utilisé pour l'amplification. Un protocole d'amplification en duplex a été mis au point à partir d'amorces pour *Erwinia amylovora* déjà publiées (Gottsberger, AMY1267; couplé à FAM) et un témoin interne (gBlocks, SEIPC87; couplé à HEX). Le protocole en duplex permettait de confirmer l'absence d'inhibiteurs dans les échantillons.

Volet post infection :

Les applications de bactéricides pendant la floraison sont régulièrement réalisées dans les heures suivant l'infection par le feu bactérien. Différents facteurs peuvent influencer l'efficacité de ces traitements. L'impact du temps écoulé entre l'infection et le traitement, la température durant cette période et la dose de bactéricide utilisée ont été étudiés sur des fleurs détachées inoculées au laboratoire. Des fleurs fraîchement écloses (cv Gala) récoltées sur des pommiers en pots débouffés à la température pièces ont été déposées dans des tubes Eppendorf dans une solution de 10% de sucrose à raison de 25 fleurs par boîte et incubées dans une humidité saturante. Chaque fleur a été inoculée directement dans l'hypanthium avec une suspension de 10 μl contenant 1000 UFC. Chaque hypanthium a été inondé d'une suspension de 32 μl du produit testé à différents moments après inoculation. La streptomycine (Streptomycine 17, Loveland) et la kasugamycine (Kasumin 2L, Arysta) ont été testées à 100 ppm et à 200 ppm (actif).

L'expérience a été répétée pour 5 températures (streptomycine) et 4 températures (kasugamycine) entre 16 et 28°C. La sévérité de l'infection des fleurs individuelles a été notée après incubation avec une cote non paramétrique. La cote de zéro était attribuée en absence de nécrose, 1 = nécrose à peine visible, 2 = jusqu'à la moitié de l'ovaire nécrotique, 3 = Plus de la moitié de l'ovaire nécrotique et 4 = nécrose atteignant le pédoncule de la fleur. La présence d'exsudat a aussi été notée comme indicateur de l'intensité de l'infection. Comme la maladie se développe plus lentement à basse température, la période d'incubation a été ajustée par température pour obtenir un niveau de maladie similaire dans les témoins au moment des observations. Les observations ont été faites après 6 jours à 28 °C et 9 jours à 16°C. Un modèle à lien cumulatif (clm) a été utilisé pour représenter l'effet du moment des traitements et de la dose pour chaque produit à chaque température sur la sévérité de la maladie. La présence d'exsudat a été modélisée par régression logistique.



Fleurs de pommier (cv. Gala) fraîchement écloses et incubées en tubes Eppendorf (photo : Anne-Claire Bouttier) pour tester l'effet des traitements bactéricides après inoculation.

Volet éclaircissage

Les pommiers ont naturellement tendance à produire une année sur deux. Ce phénomène de bisannualité a pour effet de produire des fruits trop nombreux et petits en alternance avec une récolte trop faible. Des traitements d'éclaircissage sont réalisés pour éliminer cet effet et régulariser la récolte annuelle. Certaines approches d'éclaircissage pendant la floraison réduisent aussi la probabilité d'infection par le feu bactérien. Le brûlage chimique des fleurs après pollinisation est une méthode éprouvée pour limiter le risque d'infection du feu bactérien. Cette technique est fréquemment utilisée dans l'ouest des États-Unis, surtout en production biologique. L'objectif de ce volet était de confirmer pour les conditions du Québec que les traitements d'éclaircissage durant la floraison peuvent s'inscrire à la fois comme outils d'éclaircissage et pour réprimer le feu bactérien. Des applications de ATS (Ammonium thio-sulfate), de bicarbonate de potassium avec ou sans adjuvant (Bond), ou un mélange de bouillie soufrée mélangée à de l'huile ont été comparés à un témoin non traité (6 traitements incluant le témoin). L'effet des traitements sur le contrôle de charge a été cumulé sur 3 ans (2017 à 2019) sur les mêmes arbres non inoculés du cultivar Empire. Une partie de ces traitements (D,E,F) ont également été évalués en 2018 et en 2019 sur le cultivar Cortland. Chaque traitement était appliqué dans 4 parcelles dans un dispositif en blocs complets aléatoires. Les traitements ont été appliqués selon les prévisions du logiciel de pollinisation RIMpro. La première application a été faite dès que le logiciel prédisait que la fertilisation de la fleur reine était complétée. Des applications additionnelles ont été faites en 2018 et en 2019 au moment

où un maximum de fleurs étaient écloses suivant la première application, mais avant que le tube pollinique soit entièrement germé.

Les traitements ont été réalisés avec un pulvérisateur à jet porté de type tunnel équipé de ventilateurs tangentiels Weber (Bodman, Germany). La vitesse de l'air a été optimisée pour la canopée présente au moment des traitements (Triloff et al. 2013). Les rampes verticales du pulvérisateur traitaient les deux côtés de la rangée avec chacune 10 buses coniques Albus ATR 80 "jaune" dont la pression était ajustée pour un débit individuel de 0.823 L/min pour un total de 460 L/ha à 5.92 km/h.

Tableau 1. Produits testés de 2017 à 2019 comme agent d'éclaircissage floral.

- a) Témoin sans traitement
- b) Adjuvant seul (Bond, 0,75 L/ha)*
- c) Bicarbonate de potassium (15 kg/ha) + Adjuvant (Bond 0,75 L/ha)
- d) Bicarbonate de potassium (30 kg/ha)
- e) ATS (20L/ha)
- f) Bouillie soufrée (20L/ha) + huile sunspray (10L/ha)

*2018 et 2019. En 2017 les arbres de cette modalité ont été traités lors de l'éclaircissage avec du bicarbonate de potassium (une application de 15 kg/ha sans adjuvant)

Volet traitements floraux

Dans un essai distinct du volet éclaircissage, l'efficacité des produits d'éclaircissage contre le feu bactérien a été estimée annuellement. Tous les arbres de la parcelle ont été contaminés à la floraison avec la bactérie *Erwinia amylovora*. En 2018, l'inoculation des parcelles de Cortland a été faite une seule fois à la pleine fleur (23 mai) avec le pulvérisateur réglé à 2.9 km/h, soit 920 L/ha d'une suspension de 1×10^6 UFC/ml. En 2019, les arbres (cv HoneyCrisp) ont été inoculés au stade fleur reine (26 Mai), 50% éclosion (28 Mai), et 90% éclosion (30 Mai) avec 460 L/ha (5.92 km/h) d'une suspension ajustée à 3×10^5 UFC/ml. Les suspensions ont été obtenues à partir de cultures fraîches sur le milieu King B d'un mélange 1 :1 de souches locales. À chaque année, les bouquets des arbres traités ont été énumérés au stade bouton rose pour pouvoir établir l'incidence des bouquets infectés. Les traitements ont été réalisés avec le même pulvérisateur et les mêmes réglages que pour le volet éclaircissage.

En 2018 nous avons adopté les mêmes traitements que l'essai d'éclaircissage (Tableau 1) avec en plus un traitement de streptomycine comme référence. En 2019, les essais d'efficacité contre le feu ont été réalisés en suivant une stratégie optimisée pour l'éclaircissage et la prévention du feu bactérien (Tableau 2). Chaque stratégie comportait jusqu'à 3 applications, réalisées moins de 24h après contamination. Comme pour l'essai d'éclaircissage, les dates ont été choisies de sorte que suivant la pollinisation de la fleur reine, un maximum de fleurs soient brûlées avant que le tube pollinique des fleurs latérales soit entièrement germé. Les traitements des stratégies avec 2 applications ont été faits le 27 et le 29 mai alors que la troisième application a été faite le 31 mai. Pour les stratégies à une application, le traitement a été fait le 31 mai. Pour confirmer que la stratégie de brûlage diminuait réellement la multiplication bactérienne, la population bactérienne a été estimée indirectement par qPCR 24 h après le deuxième traitement (mais avant l'inoculation du 30 mai) et deux jours après le dernier traitement (2 juin). Dès l'apparition des symptômes, les bouquets et les pousses infectées ont été dénombrés et éliminées. Les symptômes ont été cumulés par arbre avant analyse.

Tableau 2. Stratégies comparées en 2019 pour leur efficacité contre le feu bactérien

- a) Témoin sans traitement
- b) Streptomycine (0.6 kg/ha) (3 applications)
- c) Bouillie soufrée (20L/ha) + huile sunspray (10L/ha) (2 applications)
- d) ATS (20L/ha) (2 applications)
- e) Bicarbonate de potassium (30 kg/ha) (2 applications)
- f) Stratégie « c » suivie d'une application de Blossom Protect (1.5 kg/ha)
- g) Stratégie « c » suivie d'une application de Streptomycine (0.6 kg/ha)
- h) Blossom Protect (1.5 kg/ha) (3 applications)
- i) Streptomycine (0.6 kg/ha) (1 application)
- j) Streptomycine (0.6 kg/ha) en mélange avec Captan (2 kg/ha) (1 application)

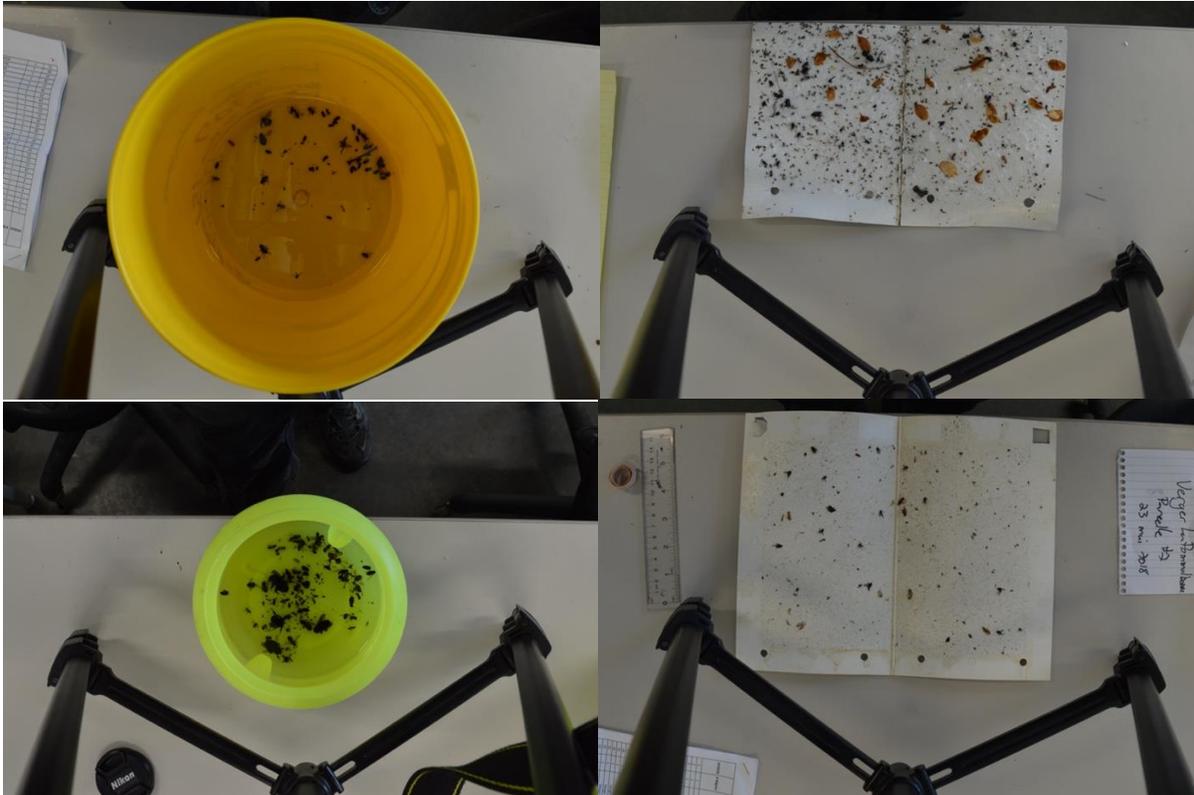
RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Volet Abeilles

Au cours de la mise en place de l'essai en 2017, différentes contraintes logistiques ont été mises en lumière. Il était connu avant de débiter ce volet que la logistique en temps réel du transport des échantillons et de détection des bactéries serait compliquée. Cependant, nous avons aussi sous-estimé d'autres facteurs. Les apiculteurs étaient très réticents à l'idée qu'on installe des entrées temporaires avec tubes. De plus, leur conception n'était pas optimale et malgré différentes améliorations, d'autres modifications seraient nécessaires pour éviter des problèmes de ventilation ou d'entrave au passage des abeilles. Finalement, même si la récolte des manchons n'est pas techniquement compliquée, les utilisateurs impliqués dans le projet étaient très réticents à s'approcher des ruches pour cette manœuvre, même en soirée. Par ailleurs, nous avons appris en cours de projet que la méthode n'était pas assez sensible et que le lien entre la population bactérienne et l'apparition du feu bactérien n'était pas assez prononcé pour justifier la suite du projet en Autriche. Compte tenu des limites de l'approche identifiées par les concepteurs en lien avec la logistique et la sensibilité de l'essai (qPCR) et des difficultés additionnelles rencontrées par nos essais, nous avons abandonné ce volet. À moins de pouvoir effectuer l'amplification directement chez le producteur (équipement portable), il nous apparaît illusoire d'essayer d'implanter un système de détection des bactéries pendant la floraison.

Volet pièges

Des insectes ont été capturés sur tous les pièges déployés. Sur la plupart des pièges, des diptères étaient nettement visibles. En 2018, des symptômes de feu bactérien ont été observés seulement dans 2 parcelles réparties dans deux régions (3% des parcelles). En 2019, des symptômes ont été aperçus dans 8 parcelles (6 vergers), soit 9% des parcelles. L'application de streptomycine ou d'autres traitements dans 12 des vergers échantillonnés (26%) ont vraisemblablement diminué le nombre de sites où des symptômes auraient pu être visibles.



Insectes capturés par des pièges de noyade (gauche) et par des pièges collants (droite). Le nombre et la diversité des insectes était très variable entre pièges, sites et dates de capture.

Malgré différents essais préliminaires qui nous ont permis d'établir une bonne linéarité entre la population bactérienne et le signal PCR sur des pièges inoculés et des tests pour démontrer que le signal demeurerait stable pour des pièges laissés à l'extérieur plusieurs jours, aucun lien n'a pu être établi entre les populations bactériennes détectées sur les pièges avant floraison et l'écllosion de symptômes dans les vergers. Malgré les expériences préliminaires concluantes, des tests approfondis ont révélé que l'exposition extérieure des pièges pendant une semaine affectait notre capacité à détecter les bactéries. Malgré les difficultés techniques, une conclusion s'impose : La détection des bactéries sur les insectes avant la floraison n'est actuellement pas une avenue réaliste pour prédire les risques de feu bactérien. Quelques chancres par hectare peuvent suffire pour relancer une épidémie de feu bactérien pendant la fleur. Le nombre d'insectes requis pour transporter les bactéries des chancres aux premières fleurs ouvertes est donc probablement faible et l'effort requis pour les détecter est grand. Le nombre élevé de pièges requis augmente les problèmes de logistique. La manipulation d'un grand volume d'insecte et la nécessité de traiter les échantillons avant la dégradation de l'ADN rendent l'application pratique difficile. À moins d'imaginer un système de capture et de détection en temps réel (pièges avec systèmes d'amplification PCR), l'estimation des risques de feu bactérien à partir des insectes avant la floraison ne semble pas une voie prometteuse.

Volet post infection :

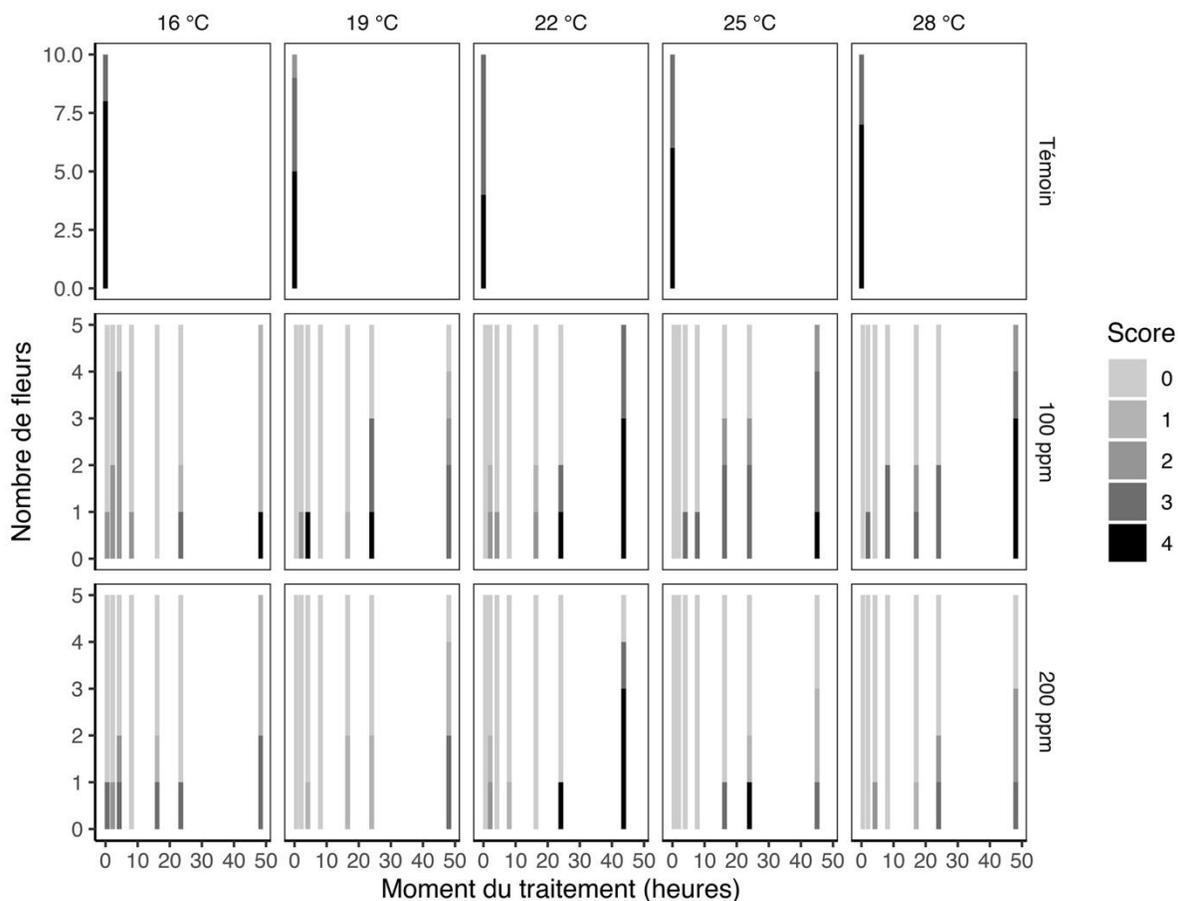
La quantité de fleurs disponibles lors des essais n'a pas permis de répéter l'expérience à chaque température. Les conclusions sont donc basées sur un seul essai par température et par produit. Pour les deux produits testés et pour toutes les températures, toutes les fleurs inoculées et non traitées présentaient des symptômes de feu bactérien. Pour les tests faits avec la streptomycine, la sévérité des attaques augmentait avec la température, mais la relation n'était pas linéaire. La production d'exsudat était maximale aux températures supérieures à 19°C. La cote de sévérité était maximale à 22°C. Aucune interaction n'a été

détectée et donc l'effet de la dose était indépendant du moment de l'application pour toutes les températures et les deux produits testés. Aux températures supérieures à 16°C, la dose plus élevée de streptomycine diminuait la production d'exsudat davantage que la dose la plus faible. Même si la sévérité de la maladie était toujours moindre à la dose la plus élevée, les différences de sévérité importantes entre les deux doses de streptomycine n'étaient visible qu'à partir de 25°C.

En général, retarder le traitement augmentait la probabilité que la fleur soit plus sévèrement atteinte par le feu. La relation entre le moment de l'application et la sévérité des symptômes était approximativement linéaire, mais la relation était différente selon la température. Ainsi, retarder le moment du traitement à 16°C n'avait aucun effet sur l'efficacité. À 16°C, le moment du traitement n'avait aucun effet sur la production d'exsudat ou la sévérité de la maladie. Pour les expériences à 19°C et plus, retarder le traitement d'approximativement 8 heures doublait la proportion de fleurs avec exsudat par rapport à la proportion de fleurs sans exsudat. L'effet du moment des traitements sur la sévérité de la maladie augmentait avec la température jusqu'à un optimum à 22°C. À la température optimale, la probabilité que la sévérité des atteintes soit augmentée doublait pour chaque 6 heures de décalage du traitement. À 28°C, retarder le traitement n'avait pas plus de conséquences qu'à 25°C et la probabilité que la sévérité soit augmentée doublait à chaque 9 heures de délai.

Pour les températures supérieures à 19°C, la différence d'efficacité entre les deux doses de streptomycine était équivalente à la perte d'efficacité observée lorsque le traitement était retardé de 16 heures pour l'exsudat et de 6 heures pour la sévérité.

Pour la même quantité de matière active, la kasugamycine était plus efficace à réprimer le feu bactérien que la streptomycine. Cependant, la dose homologuée (5 L/ha) contient 3x moins d'ingrédients actifs que la streptomycine à la pleine dose homologuée pour les traitements en dilué. Les dosées testées étaient trop élevées pour calculer la dose équivalente entre la streptomycine et la kasugamycine. Cependant, nous avons observé le même comportement pour les deux ingrédients actifs. Nous avons observé que l'effet du temps était légèrement plus prononcé pour la kasugamycine que pour la streptomycine. Ces résultats devront être confirmés.



Effet de la dose et du moment de l'application de la streptomycine à différentes températures sur la sévérité du feu bactérien. Score de sévérité = absence de nécrose (0), nécrose à peine visible (1), ovaire partiellement nécrotique (2), ovaire nécrotique (3) et nécrose pédonculaire (4).

Volet Éclaircissage

En 2017, une seule application a été faite pour tous les traitements. L'ouverture des premières fleurs a eu lieu le matin du 18 mai et un seul traitement de brûlage a été fait le 19 mai vers 9h30. En 2018, l'éclosion a débuté le 19 mai simultanément dans Cortland et Empire et le premier brûlage a été effectué le matin du 23 mai. Une deuxième application a été faite le 24 mai en après-midi pour atteindre les dernières fleurs écloses. En 2019, l'éclosion a débuté le 25 mai. Comme la floraison était étalée, les applications des traitements de brûlage des fleurs ont été faites le 27 mai et 29 mai dans les deux cultivars et un traitement additionnel a été appliqué dans la parcelle de Empire le 4 juin.

En général les traitements de brûlage de fleurs ont eu peu d'effet sur les paramètres normalement associés à l'éclaircissage. Les traitements d'éclaircissage floral s'inscrivent dans un programme d'éclaircissage et sont complémentaires aux autres approches post florales.

Pendant les trois années du projet, les traitements n'ont eu aucun effet sur le rendement global des arbres ajusté pour le nombre de bouquets. Les fruits des arbres traités avec le bicarbonate à 30 kg/ha avaient une tendance à être légèrement plus gros (voir rapport détaillé). Le bicarbonate de potassium, l'ATS et la bouillie soufrée ont augmenté la proportion de bourgeons à un fruit par rapport à celle observée dans les arbres du témoin. Finalement, tous les traitements ont diminué la fluctuation de production liée à l'alternance.

Volet traitements floraux

En 2018 un seul traitement a été appliqué durant la floraison pour réprimer le feu. Le traitement a été fait le matin sur feuillage sec, quelques heures avant l'inoculation (23 mai). La météo pendant la floraison était favorable à la multiplication des bactéries (température généralement entre 18 °C et 24 °C). À l'exception de la période d'humectation provoquée par l'inoculation, le temps sec n'était pas favorable à l'infection du 23 au 25 mai. Une période d'humectation le 26 mai a permis l'infection des fleurs écloses le 23 mai (selon RIMpro). Les premiers signes et symptômes de la maladie ont été constatés le 4 juin, soit à la date prévue par RIMpro pour une infection le 26 mai. L'incidence cumulée de bouquets atteints par le feu observée pendant la durée de l'expérience était très élevée dans le témoin (61%). Par contre, le traitement de référence (streptomycine) a été relativement peu efficace (risque relatif de 0.58x, incidence de 33%) et aucun traitement avec les produits d'éclaircissage n'a montré un effet. Il est vraisemblable qu'une partie des fleurs a été infectée directement par l'inoculation du 23 mai et que les traitements en place aurait pu prévenir en partie cette infection. Cependant, l'apparition plus tardive de la majorité des symptômes et la faible efficacité de la streptomycine suggèrent que l'infection du 26 mai a fortement contribué aux résultats observés. La forte incidence de feu dans les traitements s'expliquerait par la contamination des fleurs écloses dans la journée du 23 mai, après le traitement. La possibilité d'une application streptomycine commune à tous les traitements entre le 25 et le 27 mai a été considérée, mais le risque de réprimer tous les symptômes (qui aurait empêché les comparaisons entre traitements) a été jugé trop grand. De plus, nous avons observé un nombre élevé de pousses végétatives infectées (11% à 21% de tous les symptômes observés) et une absence de lien entre le nombre de bouquets infectés et le nombre de bouquet par arbre. Il est possible que l'inoculation ait pu infecter directement des pousses ou que des pousses soient contaminées par des insectes. Comme le nombre de pousses en croissance est inversement proportionnel au nombre de bouquets sur des arbres de dimension similaire, l'infection des pousses a vraisemblablement noyé le poids de l'infection florale. Comme les traitements d'éclaircissage n'avaient pas d'effet direct attendu sur l'infection des pousses, le dispositif n'a pas permis de détecter leur effet. Cependant, nous avons observé plus de foyers d'infection sur les arbres traités avec le bicarbonate que sur les arbres témoin.

En 2019, seule la stratégie de référence (3 applications de streptomycine) a été assez efficace pour réprimer la maladie à un niveau acceptable (2.4% de bouquets infectés). Comme l'incidence de la maladie dans le témoin dépassait 90% de bouquets infectés, l'essai n'était pas représentatif des conditions commerciales normales où l'incidence est normalement plus faible. Ce résultat était inattendu compte tenu des conditions météorologiques durant l'essai. La température maximale entre le 26 mai et le 2 juin (24°C) a eu lieu seulement au moment de la première contamination (26 mai à 17h00). Par la suite, la température s'est généralement maintenue sous 16°C, à l'exception du 30 mai (22°C). Comme les températures froides sont peu favorables au feu bactérien, l'indice de risque calculé par RIMpro est resté bas pendant toute la durée de l'essai. En principe, la séquence d'infection commence par l'éclosion des fleurs, la contamination graduelle, la multiplication des bactéries à la surface des stigmates et finalement l'infection lorsque la population est suffisante et qu'un film d'eau transporte les bactéries aux nectaires. Notre objectif était d'imiter cette séquence en contaminant les fleurs à un niveau faible tout au long de l'éclosion de traiter les fleurs régulièrement avant que l'infection n'ait lieu. Comme les conditions météorologiques étaient trop froides pour une multiplication bactérienne importante, il semble vraisemblable qu'une proportion non négligeable des nectaires a été infectée directement au moment de chaque inoculation, sans qu'une multiplication bactérienne soit nécessaire. Cette hypothèse est confirmée par la faible population bactérienne échantillonnée le 30 mai dans le témoin (équivalent à environ 1000 UFC/fleur) et la faible augmentation observée 3 jours plus tard (équivalent à 10000 UFC/fleur). Comme les traitements de Blossom Protect (BP), de bouillie soufrée (LLS), d'ATS et de

bicarbonate (B2K) n'ont pas d'activité systémique ou d'effet en post infection, les traitements n'ont pas pu contrer l'infection directe des fleurs qui a eu lieu avant chaque traitement. Nous avons anticipé que les traitements auraient pu brûler (LLS, ATS, B2K) ou coloniser (BP) un nombre suffisant de fleurs avant l'inoculation subséquente, mais l'infection directe était trop importante pour que cette stratégie fonctionne bien. L'efficacité faible des traitements (BP, LLS, ATS et B2K) doit être interprétée dans le contexte de l'expérience. Si cette stratégie expérimentale est adoptée à nouveau, il faudrait que les traitements précèdent toujours la contamination et que la concentration bactérienne soit encore plus faible pour éviter l'infection directe des fleurs

Néanmoins, comme près de 99% de tous les symptômes observés étaient des bouquets, l'essai a permis de confirmer différents résultats sur l'efficacité des traitements floraux. Même si la streptomycine a démontré une excellente efficacité avec 3 applications, les stratégies avec une seule application de streptomycine n'ont eu qu'un effet faible, voire nul contre la maladie (I). Des applications ciblées contre les infections sont donc nécessaires. Le mélange de streptomycine et de Captan (J) était plus efficace que la streptomycine utilisée seule, ce qui confirme que ce mélange n'a pas d'impact sur l'efficacité. En fait, il est même vraisemblable que le Captan ait pu faciliter la pénétration de la streptomycine dans la fleur puisque la population bactérienne dans ce traitement était réduite, ce qui n'était pas le cas en absence de Captan. Malgré l'infection des nectaires avant les traitements, les stratégies à base de LLS (C,F,G) et de BP ont réduit la population bactérienne et baissé le nombre de bouquets infectés. Par contre, l'effet de l'ATS et du B2K s'est avéré plus faible. L'effet négatif du B2K sur le nombre de foyers d'infection observé en 2018 n'a pas été confirmé en 2019, mais les résultats pour ce traitement étaient très variables. La stratégie sans streptomycine la plus efficace (3 applications de BP, traitement H), était comparable au traitement avec 2 applications de LLS. Les résultats détaillés sont en annexe.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats préliminaires ont été présentés à la réunion annuelle du comité des maladies du pommier en 2018 et 2019. Ce comité issu du groupe d'experts en protection des pommiers réunit les conseillers pomicoles publics et privés. Les résultats ont également été présentés aux journées de la recherche en pomiculture (JARIT) organisées par l'IRDA. Une présentation auprès des producteurs a eu lieu lors de la journée Agropomme.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

- 1) Comme la détection des bactéries n'est actuellement pas possible pour estimer le risque de feu bactérien, les producteurs doivent adopter une approche plus conservatrice, soit de considérer l'historique de la parcelle et maintenir une vigilance pour identifier les foyers d'infection à proximité de leurs vergers.
- 2) Comme l'efficacité des traitements floraux contre le feu bactérien dépend du moment de l'application et de la dose, les producteurs n'ont pas intérêt à réduire la dose de streptomycine lors des traitements en post infection et intervenir le plus rapidement possible après les infections prédites.
- 3) Comme les traitements floraux répétés de bouillie soufrée et de bicarbonate ont un impact modeste mais positif sur l'éclaircissage, incluant le retour à la fleur, il devient intéressant de les inclure dans les stratégies de répression du feu bactérien. La bouillie soufrée s'est avérée plus polyvalente, alors que l'ATS n'a montré aucun effet contre le feu.
- 4) Bien utilisée, la levure Blossom Protect est efficace pour réprimer le feu bactérien.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Vincent Phillion, agr. M.Sc.
450-653-7368 poste 350
vincent.phillion@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre 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 par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021.

