

**VALIDATION ET IMPLANTATION D'UN MODÈLE PRÉVISIONNEL DE LA SCLÉROTINIOSE DU SOYA
AU QUÉBEC**

PV-3.2-DP-CÉROM-36

DURÉE DU PROJET : 04- 2018 / 01-2023

RAPPORT FINAL

Auteurs :
Tanya Copley (CÉROM)

Collaborateurs :
Francis Allard (IRDA), Mamadou Fall (AAC), Gaétan Bourgeois, (AAC), Anne
Vanasse (U. Laval), Yves Dion et Yvan Faucher (MAPAQ), Valérie Gravel (U. McGill)

1 juin 2022

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

TITRE DU PROJET : VALIDATION ET IMPLANTATION D'UN MODÈLE PRÉVISIONNEL DE LA SCLÉROTINIOSE DU SOYA AU QUÉBEC

NUMÉRO DU PROJET : PV-3.2-DP-CÉROM-36

RÉSUMÉ DU PROJET ET DE SON AVANCEMENT

La sclérotiniose du soya (*Sclerotinia sclerotiorum*) est une maladie importante dans la culture du soya au Québec. Malgré que des cultivars tolérants soient disponibles comme moyen de lutte contre cette maladie, les fongicides foliaires sont souvent appliqués en prévention même si les conditions sont défavorables au développement de la maladie. Des modèles prévisionnels du développement des apothécies dans la culture du soya ont été développés aux États-Unis, mais leur efficacité au Québec doit être validée. Un modèle prévisionnel permettra aux producteurs, conseillers et agronomes de prendre une décision fondée sur le risque de la maladie quant à l'utilisation de fongicides foliaires visant à réprimer la pourriture à sclérotos du soya.

En 2019, 2020 et 2021, des essais au champ ont été réalisés à quatre centres de recherche (CÉROM, IRDA, U. McGill, U. Laval) et chez 18, 20 et 21 producteurs, respectivement, afin d'évaluer l'efficacité des modèles prévisionnels de la sclérotiniose du soya développés aux États-Unis. Des sclérotos préconditionnés ont été déposés dans chaque parcelle (soit de 7, 15 ou 30 pouces d'espacement entre les rangs) chez les producteurs et aux centres de recherche pour estimer la date d'apparition des apothécies. Des données météorologiques ont été recueillies chez six producteurs et aux quatre centres de recherche afin de compléter les données disponibles sur Agrométéo-Québec. Différentes variables telles que la température (TM) et l'humidité relative (RH) maximale, minimale et moyenne, ainsi que la vitesse du vent (WS) maximale et moyenne, ont été évaluées dans le but de déterminer les variables météorologiques qui prédisent le mieux l'apparition des apothécies. Les modèles américains ont été évalués pour déterminer s'ils prédisent bien l'apparition des apothécies sous les conditions québécoises. En plus, les modèles américains ont été modifiés en remplaçant les variables TM, RH et WS maximales avec les moyennes et les valeurs minimales pour déterminer si ces dernières peuvent améliorer les capacités prédictives des modèles pour les conditions québécoises. Les trois modèles prévisionnels américains les plus performants, ainsi que des modèles modifiés ont été testés avec les données colligées en 2019, 2020 et 2021. Des modifications aux trois modèles américains permettent de prédire adéquatement l'apparition des apothécies dans toutes les régions évaluées.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Ce projet vise à évaluer l'efficacité des modèles prévisionnels de la sclérotiniose du soya développés aux États-Unis pour prédire l'apparition des apothécies sous les conditions agricoles du Québec, et à établir un réseau de surveillance pendant la durée de l'étude. En 2019, 2020 et 2021, quatre centres de recherche (CÉROM, IRDA, U. McGill et U. Laval) ont établi des essais en parcelles expérimentales utilisant un dispositif en factoriel à quatre répétitions (quatre répétitions) à différents espacements de rang (7, 15 et 30 pouces) (**Annexe 1**). En parallèle, des producteurs répartis dans les différentes régions du Québec ont participé au projet en collaboration avec des conseillers du MAPAQ en 2019 (18 producteurs), 2020 (20 producteurs) et 2021 (21 producteurs) (**Annexes 2 et 3**). Quatre parcelles ont été mises en place dans chaque champ, et un total de 14 sclérotos ayant des taux de fructification supérieurs à 80% a été mis dans chacune des parcelles (dépôt de sclérotos) afin de suivre l'apparition et le développement des apothécies. Les dépôts ont été dépistés deux fois par semaine pour bien identifier la date de l'apparition de la première apothécie. Suite à l'apparition d'une première apothécie, un suivi par semaine a été effectué. Une analyse de corrélation

entre l'apparition des apothécies et les données météorologiques de chaque site a aussi été effectuée. Un indice de sévérité de la maladie (DSI), noté au stade R8, est calculé en faisant le décompte du nombre de plants classés selon quatre niveaux de symptômes sur 30 plants adjacents au dépôt des sclérotés. À maturité, la biomasse (sites de producteurs) de 30 plants ou le rendement en grains (centres de recherche) a été mesuré dans les parcelles inoculées et les parcelles témoins. La biomasse des parcelles a été mesurée chez les producteurs comme méthode rapide et efficace pour estimer les rendements selon une étude de Gilles Tremblay (MAPAQ, communication personnelle). L'humidité du sol et la température du sol ont été prises en 2020 et 2021 aux quatre centres de recherche. Les équations des modèles américains, avec ou sans modifications, sont mises à l'essai avec les données météorologiques et agronomiques obtenues. L'outil CIPRA est mis à contribution par l'équipe pour obtenir des prédictions météorologiques plus précises, ainsi que des paramètres non disponibles avec les stations météorologiques sur site (par exemple la quantité de pluie abondante et bien distribuée (AWDR)).

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

1) Développement des apothécies et indice de sévérité de la maladie (DSI)

Des apothécies sont apparues sur 14 (66,7 %), 18 (90,0 %) et 20 (100 %) des sites de producteurs en 2019, 2020 et 2021, respectivement, et aux quatre centres de recherche en 2019, 2020 et 2021. Très peu d'apothécies ont été observées dans les parcelles commerciales et les parcelles de centres de recherche suivies aux stades du soya à risque (R1 à R3), avec une moyenne de 0,0 et 0,6 apothécies par parcelle, en 2019 et 2020, respectivement, sauf en 2021, où une gamme de 0 à 53 apothécies par parcelle (moyenne de 2,3) ont été observées avec une forte pression au stade R3 (Figure 1 et **Annexe 4**). En général, les premières apothécies sont apparues après les stades vulnérables à l'infection, soit après les stades R1 à R3, sauf en 2021 (**Figure 1**). Davantage d'apothécies sont apparues entre les stades R4 à R6 et ce pour toutes les années du projet. Ceci peut être attribué aux conditions favorables au développement des apothécies, soit des conditions fraîches (<25°C) et humides, qui ne se présentaient que tard en saison (août et septembre, stades R4 à R6) pour la majorité des sites en 2019, 2020 et 2021. Aucune différence significative n'a été observée entre l'apparition des apothécies et les différents espacements de rangs aux quatre centres de recherche.

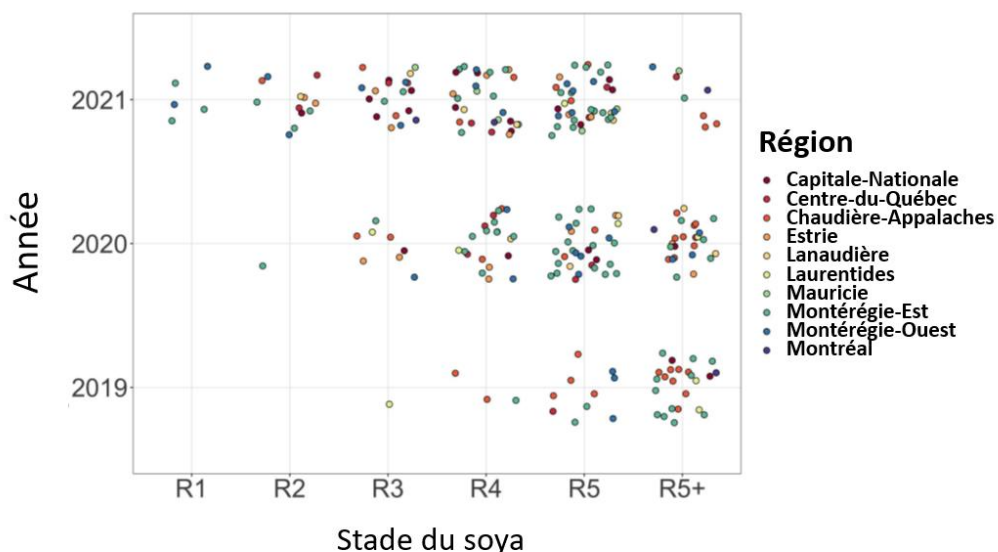


Figure 1. Stade de croissance du soya au moment de la présence d'apothécies pour les sites dans les différentes régions productrices du soya au Québec.

Aux sites tenus chez les producteurs, très peu de plantes ont montré des symptômes de la maladie, avec un indice de sévérité de la maladie (DSI) moyen de 5,1 % en 2019, de 2,3% en 2020 et de 5,3 % en 2021 au stade R8. Pendant les trois années de l'étude, les sites en Chaudière-Appalaches, Capitale-Nationale et Estrie ont eu des DSI importantes (>20%) (**Annexe 5**). La manque de symptômes sur les plantes est attribuable aux conditions climatiques généralement sèches et chaudes avant et pendant la période de floraison pour la majorité des régions et des années.

Aucun symptôme de maladie n'a été observé au stade R8 aux quatre centres de recherche en 2019 ou 2020. En 2021, seulement le centre de recherche de l'IRDA montrait la présence de symptômes de la sclérotiniose. Aucune différence significative n'a été observée pour l'indice de sévérité de la maladie (DSI) et l'écartement des rangs (**Annexe 6**).

2) Rendements

Le rendement en grains (kg/ha) a été mesuré aux centres de recherche en 2019, alors que la biomasse (poids frais de la parcelle) a été mesurée chez les producteurs à tous les sites en 2019. En 2020 et 2021, le rendement et la biomasse ont seulement été pris aux sites présentant des symptômes de maladie. Les rendements des parcelles contenant les dépôts de sclérotés étaient comparables à ceux des parcelles témoins pour tous les sites en 2019, 2020 et 2021, sauf pour le site de Saint-Isidore ($P < 0.05$) en 2019 (**Annexe 7**). Ceci s'explique par les faibles niveaux de maladie observés dans le cadre de l'étude, sauf au site de Saint-Isidore ($P < 0.05$) (**Annexe 7**). Malgré une forte présence de la maladie à d'autres sites en 2019, 2020 et 2021, aucune différence de rendement n'a été observée aux autres sites. Ceci s'explique probablement par un niveau de maladie, notés par les DSI, similaire entre les parcelles inoculées et les parcelles témoins.

3) Modèles prévisionnels

Les trois modèles prévisionnels les plus performants de Willbur et al. (2018) ont été évalués afin de vérifier leur efficacité en conditions québécoises (**Équations 1 à 3**) en utilisant le logiciel R Statistics. Les modèles ont été évalués selon les seuils de probabilité de 0,4, tel que recommandé dans Willbur et al. (2018) et avec des données météorologiques sur site ($n=6$) ou de stations en proximité. Malgré des courbes ROC informatives (**Annexe 8**), les paramètres de performance des modèles indiquaient que les modèles n'étaient pas bien calibrés pour les conditions québécoises et que des modifications aux modèles étaient nécessaires pour améliorer leur calibration (**Annexe 9**). Aucune différence n'a été observée pour l'aire sous la courbe ROC (AUC) quand les modèles ont été évalués avec des données météorologiques de stations sur site versus en proximité (**Annexe 10**). En conséquence, les futures analyses ont été performées avec les données de stations météorologiques en proximité des sites.

Afin de développer des modèles avec de meilleures performances, on a fait usage de plages de données s'étendant sur un nombre de jours différents pour étudier les corrélations entre la présence d'apothécies et différents facteurs environnementaux. L'utilisation de ces différents paramètres ont été évaluées pour déterminer les facteurs influençant l'apparition des apothécies. Les analyses ont indiqué des corrélations similaires entre l'apparition des apothécies et les moyennes des plages mobiles de 10, 20 et 30 jours (**Annexe 11**). En conséquence, les modèles prévisionnels de Willbur et al. (2018) ont été recalibrés, révisés et élargis avec les moyennes de 10, 20 et 30 jours afin d'améliorer leurs performances. À cette fin, les données de dépistage ont été divisées en jeu de données d'entraînement (70% des cas positifs et négatifs pour la présence d'apothécies, choisi au hasard) et en jeu de données de test (balance des cas, soit 30%, avec une proportion de cas positifs et négatifs similaire au

jeu de données d'entraînement). Au total, il y avait 789 dépistages dans le cadre du projet, dont 273 cas positifs (34,6 %; dépistages avec présence d'apothécies) et 516 cas négatifs (65,4 %; dépistages sans présence d'apothécies). Le jeu de données d'entraînement avait 239 cas positifs (33,5 %) et 475 cas négatifs (66,5 %), tandis que le jeu de données de test avait 104 cas positifs (34,0 %) et 202 cas négatifs (66,0 %).

Afin de sélectionner des modèles qui performant bien avec différentes données, les courbes de calibration ont été comparées avec le jeu de données d'entraînement (70 % des données). Les courbes de calibration ont démontré qu'un simple recalibration de l'intercept et des constants des modèles originaux n'étaient pas suffisant pour bien prédire l'apparition des apothécies (**Annexe 12**) et que des révisions plus importantes étaient nécessaires. Les modèles ont donc été révisés et parfois élargis pour inclure soit l'humidité relative moyenne ou la quantité de pluie (AWDR). Dix modifications aux modèles ont été évaluées avec le jeu de données d'entraînement et les données météorologiques avec des moyennes mobiles de 10, 20 ou 30 jours pour comparer leur performance (**Annexes 13 à 15**). Très peu de différences entre la performance des modèles ont été observées et ce, pour les moyennes mobiles de 20 ou 30 jours. Une faible baisse de performance a été observée pour les modèles utilisant les moyennes mobiles de 10 jours. La performance des modèles était forte quand le jeu de données de test a été utilisé avec les moyennes mobiles de 30 jours (**Annexe 16**) et de 10 jours (**Annexe 17**). Une faible baisse de performance a été observée avec les modèles utilisant les moyennes mobiles de 20 jours et le jeu de données de test (**Annexe 18**). Selon les dix modèles évalués avec les données météorologiques de moyennes mobiles de 10, 20 et 30 jours, seulement six modèles modifiés (modèles 8.30j, 9.30j, 8.20j, 9.20j, 8.10j et 9.10j) étaient bien calibrés et ont bien performé avec les jeux de données d'entraînement (**Annexes 19 à 21**) et de test (**Annexes 22 à 24**). Ces modèles comprenaient des révisions et extensions aux modèles de Willbur avec les moyennes mobiles de 10, 20 et 30 jours et l'humidité relative moyenne au lieu de l'humidité relative maximale, ou le AWDR. Pour les modèles bien calibrés sous conditions québécoises, seul le facteur AWDR pour le modèle 10.10j n'était pas significatif. En conséquent, ce modèle ne devrait pas être retenu.

Pour déterminer si les modèles peuvent bien performer avec des données recueillies en dehors du cadre du projet, des données externes (dépistage sur 12 sites par des conseillers du MAPAQ en 2017 et 2018), ont été utilisées pour évaluer de nouveau les modèles. Les modèles ont bien performé, par contre, les seuils Youden étaient très faible avec les modèles utilisant les moyennes mobiles de 30 jours (**Annexes 25 à 27**). Pour la validation externe (dépistages en 2017 et 2018), les modèles utilisant les moyennes mobiles de 20 jours avaient les meilleures performances quand le seuil Youden étaient utilisé (**Annexe 26**).

Équation 1 : $Logit(\mu) = -0,68(MaxT_{30MM}) + 17,19$ (modèle original Willbur 1)

Équation 2 : $Logit(\mu) = -0,47(MaxT_{30MM}) - 1,01(MaxVV_{30MM}) + 16,65$ (modèle original Willbur 2)

Équation 3 : $Logit(\mu) = -0,56(MaxT_{30MM}) + 0,10(MaxHR_{30MM}) - 0,75(MaxVV_{30MM}) + 8,20$ (modèle original Willbur 3)

Équation 4* : $Logit(\mu) = -0,26(MaxT_{30MM}) + 0,31(MoyHR_{30MM}) - 0,34(MaxVV_{30MM}) - 14,74$ (modèle 8.30j)

Équation 5* : $Logit(\mu) = -0,28(MaxT_{30MM}) + 0,30(MoyHR_{30MM}) - 0,33(MaxVV_{30MM}) + 0,006(AWDR_{30MM}) - 13,94$ (modèle 9.30j)

Équation 6 : $Logit(\mu) = -0,24(MaxT_{20MM}) + 0,31(MoyHR_{20MM}) - 0,36(MaxVV_{20MM}) - 15,73$ (modèle 8.20j)

Équation 7 : $Logit(\mu) = -0,26(MaxT_{20MM}) + 0,30(MoyHR_{20MM}) - 0,35(MaxVV_{20MM}) + 0,009(AWDR_{20MM}) - 14,87$ (modèle 9.20j)

Équation 8 : $Logit(\mu) = -0,27(MaxT_{10MM}) + 0,23(MoyHR_{10MM}) - 0,27(MaxVV_{10MM}) - 9,63$ (modèle 8.10j)

*Modèles prévisionnels avec les meilleures performances avec les données internes (2019 à 2021) et externes (2017 à 2018)

Afin d'évaluer le seuil optimal pour la prédiction des apothécies, la performance des différents modèles sélectionnés a été évalué avec les données de jeu de données de test (2019 à 2021) et de l'externe (2017 à 2018) avec des seuils variant de 0,15 à 0,4, soit entre les seuils Youden et le seuil de 0,4 suggéré par Willbur et al. (2018). Pour le jeu de données de test, plus le seuil augmente, plus l'exactitude et la spécificité augmentaient, mais au prix de la sensibilité (**Annexes 28 à 30**), ce qui impliquerait plus de champs mal classés, soit classés non à risque, mais qui développent cependant la maladie. Pour le jeu de données externe (2017 et 2018), on a observé une tendance de plus faible exactitude et de plus faible spécificité des modèles avec des seuils plus élevés (**Annexe 31 à 32**). Les modèles de 30 jours, soient les 8.30j et 9.30j (**équations 4 et 5**) avaient de meilleures performances pour les deux jeux de données et sont recommandés comme les modèles à poursuivre. Pour maximiser la performance des modèles tout en réduisant le nombre de faux négatifs (cas de maladie avec une prédiction de faible risque), un seuil de $\geq 0,2$ est recommandé pour qu'un champ soit considéré à haut risque et de 0,15 à $< 0,20$ pour qu'un champ soit considéré à risque moyen. Ces seuils permettront d'optimiser l'exactitude et la sensibilité, soit l'identification de vrais positifs ou présence d'apothécies, laquelle constitue une condition qui met la culture du soya à risque, au prix d'une spécificité réduite (identification de vrais négatifs ou absence d'apothécies), ce qui est à dire une augmentation de faux positifs, entraînant un « diagnostic » de risque plus élevé que le risque réel. Autant que ceci implique plus d'applications inutiles de fongicides foliaires (par 2 % à 10 % selon l'année, les conditions météorologiques et le modèle), ce seuil permettra de réduire les pertes associées avec une mauvaise classification de champs à risque.

Pour continuer à améliorer les modèles, de maximiser le niveau de leur performance dans toutes les régions et selon différentes conditions climatiques, et d'optimiser les seuils de recommandation pour les applications de fongicides, il est approprié et recommandé de continuer à faire des dépistages de dépôts de sclérotés. Les modèles prévisionnels seront utilisés par le sous-réseau Grandes cultures du Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP-GC) pour faire des avertissements phytosanitaires, tout en prenant en compte les dépistages d'apothécies qui continueront avec le RAP-GC. Les données obtenues par dépistage dans les prochaines années dans le cadre du RAP-GC seront également utilisées pour raffiner les modèles et pour ajuster les seuils quand une intervention est recommandée. Il est également recommandé de suivre et d'investiguer l'importance et les effets de pratiques agronomiques, tels que la densité de population du soya, le type de travail du sol et l'utilisation d'engrais, de fumier ou de lisier. L'information sur de tels facteurs permettraient aux producteurs de prendre des décisions éclairées quant au niveau de risque selon leurs pratiques agricoles et non seulement sur les risques de présence de l'inoculum.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats d'apparition des apothécies ont été diffusés de façon hebdomadaire à travers le Réseau d'avertissements phytosanitaires pendant les mois de juin et juillet afin de permettre aux conseillers et aux producteurs de prendre des décisions fondées sur des niveaux de risque objectifs quant à l'utilité de l'application de fongicides foliaires. En 2020 et 2021, les résultats des réunions annuelles ont permis de transférer les résultats aux collaborateurs et aux conseillers du MAPAQ participant au projet et aux Réseau d'avertissements phytosanitaires des grandes cultures- équipe maladies.

En 2021, les résultats ont été diffusés lors de quatre congrès, soit le Congrès Annuel de la Société de protection des plantes du Québec, la Journée du Centre SÈVE, les Conférences scientifiques en phytoprotection du CRAAQ et la Conférence virtuelle des trois sociétés : La

Société canadienne de phytopathologie, la Société canadienne de science horticole, et la Société canadienne d'agronomie. L'étudiante aux études supérieures participante au projet a été lauréate d'un prix pour sa présentation d'affiche à la réunion annuelle du Centre SÈVE en 2020.

Un article scientifique est prêt à être soumis pour publication dans une revue arbitrée. Les résultats seront également partagés lors de la Journée en phytoprotection 2022.

TYPES D'APPLICATION POSSIBLES DANS L'INDUSTRIE

La sclérotiniose du soya est une des plus importantes maladies dans la culture du soya, mais les épidémies sont sporadiques. En conséquence, des applications de fongicides foliaires inutiles sont fréquentes et impliquent des pertes économiques pour les producteurs. Les conditions météorologiques favorables au développement des apothécies, soit un sol humide et des températures fraîches pendant la période de floraison, soit aux stades R1 à R4, favorisent le développement de la maladie. Les modèles prévisionnels développés dans le cadre de ce projet utilisent des facteurs environnementaux pour prédire l'apparition des apothécies dans la culture du soya, permettant de mieux évaluer le niveau de risque associé au développement de la maladie. En utilisant les modèles en collaboration avec le RAP-GC, les conseillers et producteurs auront à leur disposition un outil de plus pour prendre des décisions éclairées quant à la nécessité ou non d'appliquer des fongicides foliaires, et d'optimiser le moment d'application en fonction du niveau de risque et du stade de la culture. Ceci permettra une meilleure utilisation de fongicides dans la culture du soya, et aidera à réduire le nombre d'applications inutiles.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Tanya Copley, Ph.D., chercheuse en phytopathologie
Centre de recherche sur les grains, inc. (CÉROM)
740, chemin Trudeau
Saint-Mathieu-de-Beloeil, Québec, Canada J3G 0E2
Courriel : tanya.copley@cerom.qc.ca
Téléphone : 1-450-464-2715 poste 219

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES

Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 3.2 du programme Prime-Vert – Approche interrégionale avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Nous remercions également les conseillers régionaux du MAPAQ des 10 régions participantes pour le dépistage, la collecte de données, la coordination des essais et leur contribution à l'élaboration des protocoles et à la réussite du projet. Nous tenons aussi à souligner la participation de plus de 20 producteurs participants.

Nous remercions aussi l'Université Laval (station de recherche Saint-Augustin-de-Desmaures), l'Université McGill (station de recherche de Sainte-Anne-de-Bellevue), l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (station de recherche de Saint-Lambert-de-Lauzon), ainsi que le CÉROM pour leur contribution à l'élaboration des protocoles, le dépistage et la collecte de données. Nous remercions aussi le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP) pour la diffusion des connaissances acquises dans le cadre de ce projet. Et dernièrement, nous remercions également Mme. Césarée Moirier-Gxoyiya pour sa contribution importante aux analyses et aux modifications des modèles prévisionnels américains.

RÉFÉRENCES

Perkins et Schisterman (2006). The inconsistency of “optimal” cut-points using two ROC based criteria. *American Journal of Epidemiology* 163:670-675

Willbur et al. (2018). Weather-based models for assessing the risk of *Sclerotinia sclerotiorum* apothecial presence in soybean (*Glycine max*) fields. *Plant Disease*: <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-17-0504-RE>

Youden (1950). Index for rating diagnostic tests. *Cancer* 3:32-35.

ANNEXE(S)

Annexe 1 : Protocoles pour les centres de recherche pour l’année 2021

Annexe 2 : Protocoles pour les sites chez les producteurs pour l’année 2021

Annexe 3 Carte des sites chez les producteurs et centres de recherche, et les stations météorologiques à proximité pour l’année 2019, 2020 et 2021

Annexe 4 : Quantité maximale d’apothécies par dépôt lors de chaque dépistage

Annexe 5 : Indice de sévérité de la maladie (% DSI) aux sites commerciaux en 2019, 2020 et 2021

Annexe 6 : Indice de sévérité de la maladie (% DSI) au centre de recherche IRDA en 2021

Annexe 7 : Biomasse des parcelles inoculées et témoins aux sites commerciaux en 2019, 2020 et 2021

Annexe 8 : Courbes ROC des trois modèles américains avec les données québécoises de 2019 à 2021

Annexe 9 : Courbes de calibration des trois modèles américains avec les données québécoises de 2019 à 2021

Annexe 10 : Comparaison de l’aire sous la courbe ROC (AUC) des trois modèles américains en utilisant des données météorologiques de stations sur site versus en proximité

Annexe 11 : Corrélations entre l’apparition des apothécies et les moyennes mobiles de différents facteurs environnementaux

Annexe 12 : Courbes de calibration des trois modèles américains recalibrées avec les données québécoises de 2019 à 2021

Annexe 13 : Statistiques de validation avec le jeu de données d’entraînement pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 30 jours

Annexe 14 : Statistiques de validation avec le jeu de données d’entraînement pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 20 jours

Annexe 15 : Statistiques de validation avec le jeu de données d’entraînement pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 10 jours

Annexe 16 : Statistiques de validation avec le jeu de données test pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 30 jours

Annexe 17 : Statistiques de validation avec le jeu de données test pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 10 jours

Annexe 18 : Statistiques de validation avec le jeu de données test pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 20 jours

Annexe 19 : Courbes de calibration pour les trois modèles américains révisés et élargis avec les données de jeu d’entraînement avec des moyennes mobiles de 30 jours

Annexe 20 : Courbes de calibration pour les trois modèles américains révisés et élargis avec les données de jeu d'entraînement avec des moyennes mobiles de 20 jours

Annexe 21 : Courbes de calibration pour les trois modèles américains révisés et élargis avec les données de jeu d'entraînement avec des moyennes mobiles de 10 jours

Annexe 22 : Courbes de calibration pour les trois modèles américains révisés et élargis avec les données de jeu de test avec des moyennes mobiles de 30 jours

Annexe 23 : Courbes de calibration pour les trois modèles américains révisés et élargis avec les données de jeu de test avec des moyennes mobiles de 20 jours

Annexe 24 : Courbes de calibration pour les trois modèles américains révisés et élargis avec les données de jeu de test avec des moyennes mobiles de 10 jours

Annexe 25 : Statistiques de validation avec des données externes pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 30 jours

Annexe 26 : Statistiques de validation avec des données externes pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 20 jours

Annexe 27 : Statistiques de validation avec des données externes pour les modèles révisés et élargis avec des moyennes mobiles de 10 jours

Annexe 28 : Comparaison de la performance des modèles modifiés avec le jeu de données de test et différents seuils

Annexe 29 : Comparaison de la performance des modèles modifiés avec le jeu de données externe (2017 et 2018) et différents seuils