

**IMPACTS DES NÉONICOTINOÏDES ET DES FONGICIDES FOLIAIRES SUR LES MALADIES, LES RAVAGEURS
DES SEMIS, LE PUCERON DU SOYA ET LES ENNEMIS NATURELS AINSI QUE SUR LES PARAMÈTRES
AGRONOMIQUES DU SOYA AU QUÉBEC**

PV- 3.2 - 2014 - 020

DURÉE DU PROJET : 05/2015 / 04/2017

RAPPORT FINAL

Réalisé par :

Geneviève Labrie, Annie-Ève Gagnon, Sylvie Rioux, Jennifer de Almeida, CÉROM
Gilles Tremblay et Brigitte Duval, MAPAQ

30 juin 2017

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.

IMPACTS DES NÉONICOTINOÏDES ET DES FONGICIDES FOLIAIRES SUR LES MALADIES, LES RAVAGEURS DES SEMIS, LE PUCERON DU SOYA ET LES ENNEMIS NATURELS AINSI QUE SUR LES PARAMÈTRES AGRONOMIQUES DU SOYA AU QUÉBEC

NUMÉRO DU PROJET : PV- 3.2 - 2014 - 020

RÉSUMÉ DU PROJET (Max. de ½ page)

L'objectif du projet de recherche était d'évaluer les effets des traitements de semences néonicotinoïdes, des fongicides et des insecticides foliaires sur les différents insectes et maladies ainsi que sur les paramètres agronomiques dans le soya au Québec. En 2015 et 2016, un total de 16 sites a été semé au Centre-du-Québec, en Montérégie-Est et Montérégie-Ouest avec des bandes de soya traitées et non-traitées avec un néonicotinoïde (thiaméthoxame, CRUISER®, 250 mg). Une section du champ a été dépistée pour les ravageurs des semis (vers fil-de-fer, hannetons, mouche des semis) à l'aide de pièges-appâts, d'échantillons de sol et pour les maladies racinaires à l'aide de prélèvements de plantules de soya. Dans une autre section de champ, des sous-parcelles ont été installées afin de mesurer l'impact des néonicotinoïdes et des insecticides foliaires sur le puceron du soya, ainsi que des fongicides sur les maladies foliaires et le rendement du soya. Les seuils d'intervention pour les vers fil-de-fer et les hannetons n'ont pas été atteints pour tous les sites et très peu de dommages par la mouche des semis ont été observés, même si les adultes étaient bien présents sur tous les sites. Un site sur 16 présentait une réduction de l'indice de maladie racinaire dans les parcelles traitées avec des néonicotinoïdes. Les traitements de semences ont réduit de 45% les ennemis naturels, principalement les prédateurs. Le puceron du soya était très faible au cours des deux années, mais les traitements foliaires insecticides ont tout de même réduit les populations de 90%. Les fongicides foliaires appliqués sur des pucerons au laboratoire ont réduit leur population de façon significative, particulièrement le *Stratego Pro*, qui aurait visiblement un effet sur le taux de reproduction. Les fongicides foliaires ont eu un impact négatif sur l'abondance des ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes), mais pas d'effet sur les champignons entomopathogènes. Il faut noter toutefois que les champignons étaient observés seulement sur les pucerons au champ, que ces infections pourraient se développer plus tard et que les effets des fongicides pourraient avoir eu un effet sur les infections subséquentes au champ. Un site sur 16 a été très affecté par la pourriture à sclérotés (*Sclerotinia*), mais aucun traitement fongicide n'a permis de réduire son incidence. Aucune différence significative de rendement n'a été observée, que ce soit entre les différents pesticides foliaires, ou entre les parcelles traitées ou non aux néonicotinoïdes. L'analyse agroéconomique montre des résultats variables d'une année à l'autre, avec une perte économique due à l'utilisation des néonicotinoïdes en 2015, mais un gain de 60,32\$/ha en 2016. Dans les sous-parcelles avec traitements foliaires de pesticides, seules 3 et 4 sous-parcelles sur 11 montrent un gain économique en 2015 et 2016 respectivement. Deux années d'essais ne sont probablement pas suffisantes pour réussir à démontrer une conclusion valable quant au gain économique. Dans un contexte de gestion intégrée des ennemis des cultures, où ces produits doivent être appliqués lorsqu'un seuil d'intervention est atteint, l'utilisation de ces produits phytosanitaires n'était pas justifiée dans l'ensemble des sites, puisque la pression phytosanitaire était faible pour l'ensemble des ennemis des cultures suivis, que les impacts sur la faune auxiliaire étaient importants, et que le gain économique n'était pas clair.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE (Max. 20 lignes)

Objectifs

- 1) Évaluer l'impact des pesticides (néonicotinoïdes, fongicides foliaires et insecticide) sur les ravageurs des semis, le puceron du soya et les maladies, ainsi que sur les paramètres agronomiques du soya.
- 2) Évaluer l'impact des pesticides (néonicotinoïdes, fongicides foliaires et insecticide) sur les ennemis naturels (prédateurs, parasitoïdes, champignons entomopathogènes) retrouvés dans le soya.
- 3) Calculer les gains économiques et les risques pour l'environnement et la santé humaine des différents traitements phytosanitaires seuls ou en combinaison.
- 4) Organiser une journée de conférence et une journée de travail à la fin du projet avec des scientifiques experts sur les néonicotinoïdes, les fongicides foliaires et les ravageurs ciblés par ces produits phytosanitaires.

Méthodologie

Du soya RR (Montero, 2600 UTM, même lot de semence) a été semé chez 7 producteurs au Centre-du-Québec et en Montérégie entre le 6 mai et le 4 juin 2015 et chez 9 producteurs entre le 11 mai et le 24 mai en 2016 (voir Tableau 1 en Annexe pour les détails sur les sites) sur trois bandes côte-à-côte traitées ou non avec du CRUISER MAXX® Vibrance® (thiaméthoxame; 250 mg, difénoconazole, métalaxyl-M et sédaxane) (voir Figure 1).

Volet 1.1. Dans une première section de champ (200m de long), trois stations d'échantillonnage ont été installées dans chaque parcelle avec des pièges-appâts (18/champ), des bols jaunes avec attractif (3/champ) et des pièges-fosses (6/champ). À chaque visite, 5 échantillons de sol étaient prélevés dans chaque parcelle (30/champ). Trois visites ont été effectuées au printemps et les insectes dans les différents pièges étaient récupérés et ramenés au CÉROM pour identification. Une observation visuelle des dommages foliaires était effectuée à chaque visite sur les 2 rangs du centre de chaque station d'échantillonnage. Une récolte de 3 plantules de soya par station a été effectuée au stade V2-V3, sur lesquelles les dommages causés par les insectes étaient observés. Ces plantules étaient par la suite expédiées au laboratoire de Sylvie Rioux (CÉROM) pour l'évaluation de l'état de santé des racines (indice racinaire) et la détection dans les racines et le collet, à l'aide de mises en culture sur milieux sélectifs, de champignons pathogènes responsables de maladies racinaires. Les analyses statistiques ont été effectuées sur l'abondance des insectes et sur les indices de dommages foliaires à l'aide d'ANOVA.

Volet 1.2. Dans la seconde section de champ, 6 parcelles de six mètres de long par quatre mètres de large ont été délimitées dans l'ensemble des sites. Six traitements insecticides et fongicides ont été appliqués (Tableau 2). Les parcelles expérimentales étaient disposées en blocs complets aléatoires et répétés trois fois (Figure 1). Les dépistages hebdomadaires des insectes foliaires ont été effectués entre la première semaine de juillet et la dernière du mois d'août (ou jusqu'à l'atteinte du stade R6), pour en moyenne sept semaines consécutives. Pour ce faire, cinq plants par parcelle étaient observés méticuleusement et tous les insectes rencontrés y étaient notés. Le décompte des insectes était réparti parmi les classes suivantes : pucerons aptères, pucerons ailés, coccinelles adultes, larves de coccinelles, punaises

anthocorides adultes, stades immatures de punaises anthocorides, larves de cécidomyies, larves de *Leucopis*, larves de syrphes, larves de chrysopes, larves d'hémérobes, momies de *Aphelinus certus* (noires), momies de *Aphidius ervi* (beige), champignons entomopathogènes.

Pour les analyses statistiques, l'abondance moyenne de pucerons au courant de la saison de croissance a été comparée entre les traitements. Puisque l'abondance des populations du puceron du soya était très faible en 2015 et 2016, les traitements foliaires 5 et 6 (impliquant un traitement insecticide au seuil d'intervention de 675 pucerons par plant, voir Tableau 10) n'ont pas été considérés dans l'analyse. Par ailleurs, seuls les sites ayant une abondance moyenne de plus de 75 pucerons/plant dans les parcelles témoin ont été considérés dans l'analyse. Les traitements de semences et les traitements foliaires (fongicides et insecticides) ont été analysés de façon indépendante. Une ANOVA mixte a été utilisée sur la plate-forme SAS pour comparer les populations de pucerons en fonction des traitements foliaires en considérant les sites et les blocs comme facteurs aléatoires. Un test de Dunnett a été effectué suite à un test significatif afin de comparer l'effet des traitements par rapport au témoin. Un test de t a été effectué pour comparer les abondances de pucerons en fonction des traitements de semences (traité vs non traité).

Les maladies ont été évaluées de façon visuelle sur les rangs centraux des parcelles lors d'une visite effectuée entre le 1^{er} et 10 septembre 2015, et les 18 août et 25 août 2016 pour les maladies foliaires, et pour *Sclerotinia* et autres maladies de tiges, 2 sites ont été revisités les 15 et 16 septembre 2016. L'intensité des maladies foliaires, notamment les taches brunes (*Septoria glycines*), a été notée selon une échelle de 0 à 10 où 0 = 0 % de la surface foliaire atteinte par la maladie et 10 = 100 % de la surface foliaire atteinte. Pour une forte infestation de *Sclerotinia*, chacune des 25 plantes observées par parcelle était classée dans une des quatre catégories d'intensité de symptôme suivantes : 0 = aucun symptôme, 1 = symptômes sur les branches latérales seulement; 2 = symptômes sur la tige principale seulement, mais la plupart des gousses bien remplies; 3 = symptômes sur la tige principale, gousses peu ou pas remplies, ou mort de la plante. Un indice de sévérité de la maladie, le DSI (Disease severity index) exprimé en pourcentage, a ensuite été calculé de la façon suivante : $DSI = \frac{\text{Somme}(\text{catégorie} \times \text{nb. plantes de la catégorie})}{(\text{nb de plantes} \times \text{nb de catégories avec symptôme})} \times 100$. Une ANOVA avec les traitements pesticides comme facteur de comparaison a été effectuée sur chaque site séparément.

La récolte a été effectuée sur les deux rangs du centre de chaque parcelle (volet 1.1) et de chaque station (volet 1.2) à l'aide de la batteuse expérimentale du CÉROM. Le site de Roxton Pond n'a pas été récolté en 2015, ayant subi de trop grands dommages par l'accumulation d'eau à la surface au cours de l'été. Le rendement en soya a été corrigé en fonction de l'humidité du grain et le poids en grain a par la suite été rapporté en Kg/ha.

Volet 2.1. Ennemis naturels dans les grandes parcelles traitées ou non avec un néonicotinoïde. Les insectes prédateurs récoltés dans les pièges-fosses installés dans chaque champ étaient identifiés à l'espèce au laboratoire.

Volet 2.2 Ennemis naturels dans les sous-parcelles traitées aux fongicides et insecticides. Les dépistages hebdomadaires des ennemis naturels ont été effectués tel que décrit dans le volet 1.2 pour le puceron du soya. Tout comme pour les analyses du puceron du soya, seuls les traitements de 1 à 4 ont été utilisés afin de comparer les populations d'ennemis naturels. Par

ailleurs, les abondances d'ennemis naturels ont été comparées entre les différents traitements selon les catégories prédateurs, parasitoïdes, champignons entomopathogènes et ennemis naturels (Tableau 3). Pour les traitements foliaires, seuls les abondances d'ennemis naturels lors du dépistage suivant le traitement (moyenne de 12,87 jours après le traitement) ont été utilisées. Des analyses ANOVA mixtes ont été appliquées afin de comparer les différents traitements foliaires, en plus de tests de comparaisons multiples (Dunnnett ou Bonferroni). Un test de t a été effectué pour comparer les abondances d'ennemis naturels en fonction des traitements de semences (traité vs non traité).

Volet 2.3. Champignons entomopathogènes chez des producteurs conventionnels et biologiques. Un échantillonnage de pucerons infectés par des champignons entomopathogènes a été effectué en 2015 chez 5 et 3 producteurs de soya biologiques et conventionnels, respectivement. En 2016, il nous a été impossible de trouver des producteurs conventionnels appliquant des fongicides et les échantillons ont donc été récoltés sur les sites à l'étude (9 sites en 2016). Au champ, une quarantaine de pucerons ont été récoltés 2-3 jours avant les traitements fongicides et 5-7 jours après le traitement. Au laboratoire, 30 pucerons d'apparence saine étaient ensuite transférés sur une feuille de soya placée dans une boîte de pétri munie d'un papier filtre et d'un coton dentaire humecté d'eau pour conserver l'humidité. Les boîtes étaient par la suite conservées dans une chambre de croissance (Conviron) à 25°C; 16:8 h (L:D). Chaque jour, et durant un maximum de 5 jours, des observations étaient effectuées afin de noter la présence de pucerons morts ou présentant des symptômes d'infection (changement de couleur, observation de filaments...). Ces derniers étaient déposés sur une gélose (1% d'agar) et placés dans un incubateur à la noirceur et à 19°C pour une durée de trois jours. Les boîtes étaient par la suite placées au congélateur jusqu'au moment de l'identification. Pour ce faire, les individus étaient alors transférés sur lame et colorés à l'aide d'une coloration à l'orcéine acétique. Les structures du champignon ont été identifiées au microscope à l'aide de critères morphologiques (Samson *et al.*, 1988; Humber, 2005).

Volet 3. Analyse agroéconomique des traitements foliaires et de semence. Un budget partiel a été calculé par le groupe ProConseil pour chacune des deux années du projet séparées et pour les deux années regroupées. Les prix du soya et les coûts des produits étaient les mêmes pour 2015 et 2016 afin de permettre de comparer les deux années et faire une moyenne de rentabilité sur les deux ans du projet. Les détails sont présentés à l'annexe 2.

Volet 4. Une journée de conférence et de travail avait été organisée le 17 mai 2017, avec la chercheuse Margaret Douglas (USDA), Art Schaafsma (U. de Guelph) et Pierre-Olivier Duval (ARLA). Toutefois, cette journée a dû être annulée dû au retard important dans les semis en 2017.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS (Max. de 2 pages)

Objectif 1- Impacts des pesticides sur les ravageurs

1.1 Impact des néonicotinoïdes sur les ravageurs des semis, le puceron du soya et les maladies

Ravageurs des semis

Dans les pièges-appâts, l'espèce principale de **ver fil-de-fer** retrouvée était le taupin trapu, *Hypnoidus abbreviatus* avec 241 spécimens capturés sur un total de 284 (Tableau 4). Le site avec la plus grande abondance de vers fil-de-fer était Nicolet en 2015 (Figure 2) et St-Théodore-d'Acton en 2016 (Figure 3). Aucune différence significative d'abondance n'a été observée entre

les parcelles traitées et non-traitées en 2015 ($\chi^2 = 52.29$; ddl = 1, 84; $P = 0.52$) et 2016 ($\chi^2 = 102.03$; ddl = 1, 118; $P = 0.83$). Dans les échantillons de sol, l'espèce principale de ver fil-de-fer retrouvée était le taupin trapu, avec 63 spécimens capturés sur un total de 73 (Tableau 5). L'abondance était plus élevée dans les parcelles traitées en 2015 ($\chi^2 = 45.95$; ddl = 1, 86; $P = 0.02$), mais similaire entre les parcelles en 2016 ($\chi^2 = 61.03$; ddl = 1, 123; $P = 0.99$). Aucun site n'a dépassé le seuil de 3 vers fil-de-fer/piège.

Seulement deux larves de **hanneton commun** (*Phyllophaga anxia*) ont été retrouvées dans les pièges appâts sur le site de St-Hilaire en 2015, mais aucun dans les échantillons de sol. En 2016, 5 larves de hanneton commun ont été retrouvées sur 2 sites (Drummondville et St-Anicet) et un dans les échantillons de sol à Drummondville. Aucun site n'a atteint le seuil de 2 larves/pi².

Très peu de **dommages d'insectes** de sol ont été observés sur les plantules de soya. En 2015, sur le site de Nicolet, 1,9% des plantules (1/54) présentaient un grain grignoté et 4 vers fil-de-fer (*Hypnoidus abbreviatus*) ont été retrouvés sous les plantules. Sur le site de Roxton Pond, 5,6 % des plantules (3/54) présentaient une tige grignotée par un insecte. En 2016, deux sites présentaient des vers fil-de-fer sous les plantules (Nicolet : 2 *Hemicrepidius* et 1 *Melanotus*; St-Anicet (no 16) : 7 *Hypnoidus abbreviatus*). Toutefois, aucun dommage aux plantules n'a été observé sur aucun site en 2016.

La **mouche des semis** adulte était présente dans les bols jaunes sur tous les sites, à des abondances variables, pour un total de 473 et 278 individus en 2015 et 2016 respectivement (Tableau 6). Des **taupins adultes** ont aussi été retrouvés sur certains sites, pour une abondance totale de 14 et 21 individus (Tableau 6), appartenant principalement aux espèces *Limonius* (9 individus) et *Agriotes* (8 individus). Un seul adulte de *H. abbreviatus* a été récolté dans les bols jaunes, tandis que 61 adultes (sur un total de 73 individus) ont été récoltés dans les pièges-fosses.

Puceron du soya

Les traitements de semences ont permis de réduire légèrement les populations de pucerons du soya de l'ordre de $38,5 \pm 5,9$ % pour l'ensemble de la saison de croissance, bien que cette différence ne soit pas significative ($t=-2,22$; $P=0,06$); Figure 6). Aucune différence n'a été observée quant à l'évolution hebdomadaire des populations de pucerons au courant de la saison de croissance entre les parcelles témoin et celles traitées aux néonicotinoïdes (Figure 7).

Maladies

Les champignons pathogènes issus des racines étaient principalement des *Fusarium*, mais d'autres ont été observés, tels que *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Thielaviopsis* ainsi que *Phytophthora* (Tableau 7). Une différence significative ($P < 0,05$) a été observée pour l'indice racinaire pour le site de Nicolet en 2015 et pour des espèces de *Fusarium* sur deux sites en 2016 (Drummondville (*F. solani*, *F. equiseti*) et St-Anicet (*F. solani*)) (Tableau 8). L'état de santé des racines était un peu mieux dans les parcelles traitées aux néonicotinoïdes. En 2015, on a observé un lien entre le nombre de plantules avec *Fusarium* et plus spécifiquement avec *F. oxysporum* et l'indice racinaire; plus de plantules présentant des *Fusarium* correspondaient à des racines en moins bonne santé (Tableau 9). En 2016, on a observé ce même lien avec *F. oxysporum* ainsi qu'avec *R.*

solani, de sorte que globalement pour les champignons totaux ce lien positif avec l'indice racinaire est également observé (Tableau 9). De telles observations étaient attendues puisque ces champignons sont reconnus pathogènes (potentiel de dommages sur les racines) chez le soya. Aucun lien n'a cependant été observé entre l'indice racinaire et le rendement ($P > 0,05$), ce qui peut s'expliquer par la capacité de rétablissement des plantes avec présence de champignons pathogènes en cours de saison ou par la capacité des plantes non-endommagées de compenser la perte de plantes dans les cas où il y a eu une diminution de peuplement.

Rendement

Aucune différence de rendement n'a été observée entre les parcelles traitées ou non en 2015 ($F_{1,26} = 2.77$; $P = 0.11$; Figure 8A) et en 2016 ($F_{1,34} = 0.33$; $P = 0.57$; Figure 8B)

1.2 Puceron du soya (néonicotinoïdes, fongicides et insecticides)

Impact des pesticides foliaires sur le puceron du soya

Parmi les traitements foliaires utilisés, l'insecticide (Matador) a certes été le traitement qui a le plus diminué les populations de pucerons (Figure 9). L'insecticide foliaire était appliqué dès que des foyers d'infestation de pucerons étaient observés sur les parcelles et ont permis ainsi de limiter l'explosion des populations. En moyenne, les populations de pucerons ont chuté d'environ $90,4 \pm 2,4$ % lorsqu'un insecticide était appliqué. Les densités de pucerons sont demeurées très faibles tout au long de la saison dans ces parcelles (Figure 10). Par ailleurs, l'utilisation du fongicide foliaire Priaxor n'a pas eu d'effet significatif sur les densités de pucerons (test de Dunnett; $t=-1,07$; $P = 0,58$), ni pour le traitement incluant le Priaxor et le Stratego Pro (test de Dunnett; $t=-2,22$; $P = 0,0688$; Figure 9). Au cours de la saison de croissance, l'abondance des pucerons dans les parcelles traitées aux fongicides était similaire au témoin, mis à part aux semaines 5 ($F=23,4$; $P < 0,0001$) et 6 ($F=5,77$; $P = 0,004$) où les populations étaient légèrement plus basses (Figure 10).

*****Expérience supplémentaire*****

Impact des applications de fongicides foliaires sur les populations de pucerons en milieu contrôlé

Bien que les populations de pucerons n'étaient pas significativement différentes entre les parcelles témoin et fongicides, une légère tendance à la baisse a été observée (Figure 9) lors de l'utilisation des fongicides foliaires. Afin de valider si cet effet était réel et s'il s'expliquerait par l'aspect toxique du fongicide ou par l'aspect physique de l'application (un jet de liquide pouvant déloger les pucerons sur le plant), des tests en milieu contrôlé ont été réalisés.

Deux traitements fongicides (Priaxor et Stratego Pro) ainsi que deux contrôles (un témoin sans eau et un avec eau) ont été testés au laboratoire. Ces traitements ont été appliqués à l'aide du banc d'essai du CÉROM sur un plateau de huit plants de soya inoculés de pucerons du soya. Pour ce faire, 15 pucerons/plant ont été déposés sur la plus jeune feuille trifoliée des plants de soya (cultivar OAC Wallace) au stade de développement V1. L'inoculation des pucerons a été réalisée 24 h avant l'application des fongicides et les plants étaient conservés en milieu contrôlé (25°C 16:8h L:D). Les doses des produits étaient les mêmes que celles utilisées dans le présent projet (Priaxor en dose unique). Le décompte des pucerons a été réalisé 24 h et 48 h après les traitements. Cet essai a été répété 3 fois, à plus ou moins 1 semaine d'intervalle chacun.

Aucune différence significative quant au nombre de pucerons vivants n'a été observée 24 h après l'exposition aux fongicides ($F=1,42$; $P=0,24$; Figure 11). Après 48 h, des différences s'observaient ($F=5,67$; $P=0,002$), et ce, plus spécifiquement pour le traitement Stratego Pro où les abondances en pucerons étaient moins élevées (Figure 11). Cet effet s'expliquerait principalement par une diminution du taux de reproduction suite à l'application de Stratego Pro et non dû à la mortalité des individus inoculés.

Impact des applications de fongicides foliaires sur les maladies

Les principales maladies des parties aériennes retrouvées étaient la tache brune (*Septoria glycines*) et la pourriture à sclérotés (*Sclerotinia sclerotiorum*). La tache brune était faiblement présente quels que soient le site et l'année, la cote du témoin sans pesticide foliaire variant de 0,3 à 3,8 selon une échelle de 0 à 10 (Tableau 12 et Tableau 13). Néanmoins, l'incidence de la maladie était moindre lors de l'utilisation des fongicides foliaires pour l'ensemble des champs, à l'exception de deux sites en 2016, et ce, peu importe le produit utilisé (Tableau 12 et Tableau 13). La pourriture à sclérotés était présente sur 2 sites en 2016 et 4 sites en 2015. À l'exception d'un champ en 2015 avec une intensité de symptômes assez élevée (DSI du témoin A = 54,0 %), tous les autres présentaient une intensité de symptômes assez faible (DSI du témoin A < 10 % ou une cote < 2 sur une échelle de 0-10). Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour cette maladie incluant le site le plus touché et ce, malgré une intensité de symptômes plus faible observée dans les traitements fongicides par rapport aux traitements sans pesticide foliaire. Des symptômes de brûlure phomopsienne (*Phomopsis phaseoli* [*Diaporthe phaseolorum*]) sur tiges ont également été observés à un site en 2016 (Tableau 13); l'intensité des symptômes était cependant très faible (cote < 1 sur une échelle de 0-10) et non différente entre les traitements.

Impact des applications de pesticides foliaires sur le rendement

Le rendement en soya n'a pas été affecté dans les parcelles ($F = -0,12$; $P = 0,98$; Figure 12). Aucun gain de rendement lié à l'utilisation de ces traitements phytosanitaires n'a été observé.

Objectif 2 – Impacts des pesticides sur les ennemis naturels

2.1 Ennemis naturels dans les parcelles traitées aux néonicotinoïdes

Une abondance très variable de carabes, araignées et staphylins a été observée sur 5 des 7 sites à l'étude en 2015 (Tableau 11). Le carabe *Pterostichus melanarius*, un prédateur généraliste qui s'attaque aussi aux limaces, était le plus abondant sur deux des sites échantillonnés.

2.2 Ennemis naturels dans les sous-parcelles traitées aux fongicides et insecticides

Impact des traitements de semences sur les ennemis naturels

Les traitements de semences ont eu un impact négatif sur les populations d'ennemis naturels ($t = -2,87$; $P = 0,02$, et ce, plus particulièrement sur les prédateurs ($t = -3,28$; $P = 0,01$; Figure 13). L'abondance des prédateurs a été réduite d'environ $45,1 \pm 8,9\%$ en utilisant les traitements de semences. Bien que pour les deux autres groupes d'ennemis naturels, les parasitoïdes et les champignons entomopathogènes, les différences ne soient pas significatives, la tendance à la baisse avec les traitements de semences demeure la même.

Impact des pesticides foliaires sur les ennemis naturels

L'application de traitements foliaires a eu un impact sur l'abondance des ennemis naturels ($F=9,02$; $p < 0,0001$), et ce, de façon plus marquée chez les prédateurs ($F=14,28$; $P < 0,0001$), et les parasitoïdes ($F=4,71$; $P < 0,003$; Figure 14). Pour les prédateurs, les traitements fongicides Priaxor et Priaxor+StrategoPro ont tous les deux eu un impact négatif sur leurs populations. Pour les parasitoïdes, seul le traitement fongicide Priaxor+StrategoPro a eu un effet négatif sur leurs populations. Pour les champignons entomopathogènes, aucun impact négatif n'a été observé.

Par ailleurs, la proportion des espèces rencontrées dans chacun des traitements foliaires différait grandement (Figure 15). Par exemple, la proportion de parasitoïdes (*Aphelinus certus*) dans les parcelles traitées aux insecticides était beaucoup plus grande que dans les parcelles témoin et fongicides. Il est possible que les momies soient protégées de ces applications foliaires, favorisant ainsi leur population comparativement aux autres groupes d'ennemis naturels. Par ailleurs, une très faible proportion de champignons entomopathogènes se retrouvaient dans les parcelles insecticides, probablement dû à l'absence de pucerons. Les coccinelles adultes semblaient avoir délaissées les parcelles traitées aux fongicides, comparativement aux parcelles témoin et insecticide. Les populations de cécidomyies du puceron ne semblent pas avoir été affectées par les traitements foliaires.

2.3 Champignons entomopathogènes chez des producteurs conventionnels et biologiques

En 2015, l'échantillonnage des champignons entomopathogènes s'est déroulé sur 8 sites externes dont 5 en régie biologique et 3 en régie conventionnelle. Le nombre de champignons entomopathogènes retrouvé à la première date était faible dans l'ensemble avec en moyenne 19,8 champignons pour les sites biologiques et 10,3 champignons pour les sites conventionnels. La deuxième date d'échantillonnage (suite au traitement fongicide) a révélé à peine quelques champignons. Les espèces rencontrées étaient des *Neozygites* sp. ou des spores dormantes d'espèces non identifiées.

En 2016, la quantité de champignons entomopathogènes récoltés était trop faible pour pouvoir évaluer cet objectif.

3. Analyse agroéconomique

Impact des traitements de semences néonicotinoïdes

Les deux années ont été opposées dans les résultats concernant les semences traitées et non-traitées. En 2015, il y avait un gain de rendement de 24,73 kg/ha avec la semence traitée, ce qui équivaut à 11,87\$/ha à un prix de 480\$/tonne. Par contre, le traitement de semences coûte 25,71\$/ha. L'utilisation des semences traitées n'était donc pas rentable en 2015. En 2016 par contre, un gain de 60,32\$/ha (gain de rendement de 173,22 kg/ha pour l'utilisation de la semence traitée) a été calculé pour l'ensemble des sites de cette année-là. Globalement, pour les deux années, un gain économique de 23,24\$/ha a été calculé pour l'utilisation de la semence traitée. Les coûts environnementaux ne sont toutefois pas calculés et les indices de risques sont plus élevés avec la semence traitée (IRS 257, IRE de 398) que la semence non-traitée (IRS 36; IRE 310).

Impact des pesticides foliaires

En 2015, dans les 11 sous-parcelles (excluant témoin NT), il y a eu seulement 4 sous-parcelles qui présentaient des résultats concluants (Annexe 2, tableau p. 9), i.e. que le rendement supplémentaire obtenu permettait de couvrir les frais liés aux traitements pesticides (produits, application, pertes liées au passage de la machinerie). En 2016, dans les 11 sous-parcelles (excluant le témoin NT), il y a eu seulement 3 sous-parcelles qui présentaient des résultats concluants (Annexe 2, 1^{er} tableau p. 10). De façon globale pour les deux années, il y a eu 4 sous-parcelles qui présentaient des effets concluants, principalement avec les deux fongicides appliqués (Annexe 2, 2^{ème} tableau p. 10). Il faut noter toutefois que les indices de risques sont très élevés avec ces traitements (IRS = 504; IRE = 574) et que le risque de devoir appliquer un insecticide contre le puceron du soya si les fongicides diminuent les champignons entomopathogènes est plus élevé.

Discussion

Impact des traitements de semence insecticides sur les ravageurs des semis

La pression par les insectes ravageurs des semis a été très faible au cours des deux années d'étude, aucun site n'a atteint le seuil d'intervention pour les vers fil-de-fer ou les hannetons et très peu de dommages par la mouche des semis ont été observés, malgré une présence importante d'adultes sur plusieurs sites. Le soya est une culture non-hôte pour les vers fil-de-fer, et permet même de réduire les populations de ces ravageurs lorsque cette culture est en rotation avec des graminées, telles que le maïs et les céréales (Willis et al. 2010, Labrie 2016). Les hannetons dommageables aux grandes cultures sont aussi très peu présents dans les champs au Québec (Labrie 2016). Quant à la mouche des semis, ses dommages dans cette culture peuvent être importants, mais sont sporadiques. Certaines caractéristiques doivent être réunies pour qu'il y ait des dommages majeurs dans un champ, tels que l'émergence des adultes de mouche en même temps que le semis et lorsque de la matière organique en décomposition est présente dans le champ et/ou que les températures au printemps sont fraîches et pluvieuses, retardant l'émergence de la culture et favorisant la ponte et les dommages par ces insectes (Hammond 1984; Hammond et Cooper 1993; Miller et McLanahan 1960). Les deux années où le projet a été effectué n'ont pas réuni toutes ces conditions. Dans un contexte de gestion intégrée des ennemis des cultures (GIEC), l'utilisation des traitements de semences insecticides n'était pas justifiée sur l'ensemble des sites au cours des deux années d'étude au regard des ravageurs des semis.

Impact des fongicides foliaires sur les maladies

Les résultats ont montré qu'en général l'application de fongicides foliaires réduisait l'intensité des taches brunes, même lorsque les intensités de symptômes étaient faibles. Au Canada, bien que cette maladie se manifeste fréquemment, elle est considérée peu dommageable (Bailey et al., 2004). Les infestations doivent être assez importantes pour qu'un gain de rendement soit observé suite à l'application de fongicides et lorsqu'il y a gain de rendement il est rarement économiquement rentable (Dorrance et Mills, 2010; Esker et Conley, 2009; Filion et al., 2009; MAAARO, 2009).

Au Québec, c'est la pourriture à sclérotés (*Sclerotinia*) qui est la maladie la plus dommageable. Elle cause des pertes de rendement pouvant aller jusqu'à 20 % (Filion et al., 2009). Or, au cours des deux années de l'étude, un seul site a été touché fortement par la maladie. Bien que

l'application de fongicides foliaires ait réduit l'intensité des symptômes à ce site, cette réduction n'était pas statistiquement significative. L'utilisation de fongicides foliaires peut être justifiée, notamment lorsqu'un cultivar sensible est ensemencé dans un champ où la maladie a déjà causé des pertes de rendement (Dorrance et Lipps, 2008; Hughes et Esker, 2009). Dans une optique de GIEC, Fillion et al. (2009) et Duval et al. (2015) prônent, quant à eux, l'utilisation de cultivars de soya plus résistants et recommandent aussi, l'année suivant une infestation, de travailler le sol superficiellement (< 5 cm) et d'ensemencer une espèce non-hôte comme une graminée avant de revenir avec du soya.

Le complexe brûlure phomopsienne-pourriture des graines (*Phomopsis longicolla*) est considéré comme la maladie du soya la plus grave en Ontario (MAAARO 2009). Au Québec, des pertes de rendement sont possibles, mais la maladie affecte surtout la qualité et la viabilité des graines (Fillion et al., 2009). En 2015 et 2016, cette maladie n'a pas été un grave problème parmi les sites à l'étude. Elle n'a touché que faiblement un seul site et aucune différence significative d'intensité des symptômes n'a été observée entre les traitements.

Impact des fongicides foliaires sur les pucerons

L'application de fongicides foliaires au champ n'a pas eu d'effet significatif sur les populations de pucerons du soya. Toutefois, au laboratoire, l'application du fongicide Stratego Pro a eu un impact négatif sur le taux de reproduction du puceron. Ainsi, des effets sublétaux peuvent être observés lors de l'utilisation de certains fongicides foliaires. Nos résultats sont similaires aux autres études réalisées au champ où l'abondance des populations du puceron du soya suite à une application de fongicide n'était pas différente des parcelles témoin (Koch et al., 2010; Ritson et al., 2013). Il faut toutefois noter que ces résultats ont été obtenus avec de faibles densités de pucerons, bien souvent en deçà des seuils économiques d'intervention. Des densités plus fortes auraient peut-être menées à des résultats différents, tels qu'observés dans d'autres systèmes. Par exemple, dans les cultures de la pomme de terre et du coton, l'application de fongicides a mené à une augmentation des populations de pucerons due à l'effet répresser de ces produits sur les champignons entomopathogènes (Nanne and Radcliffe, 1971; Wells et al., 2000; Ruano-Rossil et al., 2002).

Impact des fongicides foliaires sur les ennemis naturels

Les fongicides foliaires ont eu un impact négatif sur l'abondance des ennemis naturels, et ce, plus particulièrement chez les prédateurs et les parasitoïdes. Le traitement aux fongicides Priaxor et StrategoPro a été celui pour lequel les effets étaient les plus marqués. Ces résultats sont en accord avec ceux d'autres travaux qui ont démontré de faibles réductions de populations ou des effets sublétaux chez les prédateurs (Roger et al., 1994; James, 2004; Desneux et al., 2007) et chez les parasitoïdes (Heunis and Pringle, 2003) suite à l'application de fongicides foliaires. Pour les champignons entomopathogènes, aucun impact négatif n'a été observé, alors que pour d'autres études, des réductions au niveau de leur abondance avaient été observées (Nanne and Radcliffe, 1971; Wells et al., 2000; Ruano-Rossil et al., 2002). Il faut toutefois mentionner que ces données représentent uniquement l'observation directe au champ de cadavres de pucerons infectés par les champignons entomopathogènes. Or, l'apparition de symptômes peut survenir après quelques jours suivant l'infection par le champignon entomopathogène. Par ailleurs, les coccinelles adultes semblaient avoir délaissé les parcelles traitées aux fongicides, comparativement aux parcelles témoin et insecticide. L'application de fongicides foliaires pourrait éventuellement réduire l'efficacité de contrôle des populations de pucerons par ce groupe d'ennemis naturels.

Impact des traitements de semences et insecticides foliaires sur les pucerons

Selon des études réalisées dans le Midwest américain, les traitements de semences néonicotinoïdes n'ont pas d'effet constant et durable sur le contrôle des populations du puceron du soya (Magalhaes et al. 2009; Seagraves and Lundgren, 2012; Krupke *et al.*, 2017; Regan *et al.*, 2017). Ces résultats sont similaires à ceux observés dans le présent projet, c'est-à-dire que les populations de pucerons n'étaient pas contrôlées par les traitements de semences aux néonicotinoïdes. Seuls les traitements insecticides foliaires ont permis de réduire significativement les populations de pucerons.

Impact des traitements de semences sur les ennemis naturels

Au cours de nos essais, les prédateurs ont été affectés négativement par les traitements de semences. Les populations de ces derniers étaient réduites de 45 % lorsque des traitements de semence aux néonicotinoïdes étaient utilisés. La même tendance a été observée pour les deux autres groupes d'ennemis naturels, les parasitoïdes et les champignons entomopathogènes. Les traitements de semences seraient autant dommageables pour les ennemis naturels que le sont les pyréthroïdes de synthèse (Douglas and Tooker, 2016). Une étude réalisée sur le parasitoïde *Aphelinus certus* a démontré que le taux de parasitisme était réduit de 69 à 88 % lorsque les pucerons du soya étaient exposés à des plants traités à l'imidaclopride ou au thiaméthoxame (Frewin *et al.*, 2014).

Les prédateurs sont souvent plus touchés par les traitements de semences que les autres groupes d'ennemis naturel. Une étude menée dans la culture du soya a démontré que les populations de la punaise prédatrice *Nabis americanoferus* et des chrysopes sont diminuées lorsqu'elles sont en contact avec des plants traités au thiaméthoxame ou à l'imidaclopride (Seagraves and Lundgren, 2012). La survie des nymphes et des adultes de la punaise prédatrice *Orius insidiosus* est affectée négativement par les traitements de semences, et ce, de façon plus marquée par le thiaméthoxame que par le chlorantraniliprole (Gontijo *et al.*, 2015). Deux espèces de coccinelles (*Coleomegilla maculata* et *Hippodamia convergens*) seraient affectées négativement en consommant le nectar des fleurs de tournesols traités au chlorantraniliprole ou au thiaméthoxame (Moscardini *et al.*, 2015). Un délai de développement est observé lorsque les larves sont exposées à ces traitements de semences. Une autre étude démontre des effets négatifs sur le temps de développement des larves, la longévité et la fécondité des adultes de la coccinelle *Harmonia axyridis* exposée au chlorantraniliprole (Nawaz *et al.*, 2017). L'usage des traitements de semences a donc le potentiel de mettre en péril le contrôle naturel des ravageurs (Douglas *et al.*, 2014).

Impact des traitements de semences et des pesticides foliaires sur le rendement et les gains agroéconomiques

Aucune différence significative de rendement n'a été observée au cours des deux années d'études, que ce soit dans les parcelles traitées avec des insecticides de semence, ou dans les parcelles avec utilisation de pesticides foliaires. Ces résultats rejoignent ceux d'autres études qui ne démontrent aucun impact sur le rendement dans le soya (McCornack et Ragsdale 2006; Johnson et al. 2008; Seagraves et Lundgren 2012). Une étude qui regroupe 170 sites d'essais entre 2005 et 2014 aux États-Unis, montrent toutefois un gain de rendement significatif de l'utilisation d'insecticide de semence entre 70 et 203 kg/ha, avec une moyenne de 132 kg/ha et un gain économique moyen de 33 \$/ha (North et al. 2016). Toutefois, dans cette étude, un gain économique n'est observé que 4 années sur 10, et principalement dans les régions du sud des

États-Unis, où plusieurs espèces d'insectes s'attaquent au soya en début de saison. Dans notre étude, les traitements de semence néonicotinoïdes et les traitements fongicides et insecticides foliaires ont démontré quelques gains agroéconomiques, mais de façon variable. Deux années d'essais ne sont probablement pas suffisantes pour réussir à démontrer une conclusion valable quant au gain économique d'utiliser ces produits dans le soya contre différents ravageurs. Ces données pourraient être mises en commun éventuellement avec d'autres données déjà existantes afin de faire l'objet d'une analyse plus poussée. L'effet positif sur le gain économique de l'application des deux fongicides pourrait toutefois être expliqué par la présence de *Sclerotinia* sur quelques sites, dont un à un très grand niveau d'infection. Les indices de risque à la santé et à l'environnement montrent toutefois que l'utilisation de façon systématique de ces deux produits ne devrait pas être recommandée puisqu'ils sont très élevés. Il est aussi clair que la pression faible par les insectes dans tous les sites au cours des deux années d'étude n'aurait pas justifié l'utilisation d'aucun insecticide (traitement de semences ou en application foliaire) au regard d'une utilisation raisonnée des pesticides dans un contexte de GIEC.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Gagnon, A.-È., Labrie, G. et Brodeur, J. (2016) Précarité de l'équilibre entre ennemis naturels et ravageurs des grandes cultures. Lors des journées du Centre SÈVE, Bromont, Qc, 24 et 25 novembre 2016.

Gagnon, A.-È., Labrie, G. et Brodeur, J. (2016) Les fongicides foliaires dans la culture du soya nuisent-ils au contrôle du puceron du soya? Lors de la réunion annuelle conjointe SEQ-SPPQ, Nicolet, Qc, 4 novembre 2016.

Gagnon, A.-È. (2016) La biosurveillance des insectes ravageurs des grandes cultures au Québec, Canada. HEPIA, Genève, Suisse.

Labrie, G. (2016) Les traitements de semence insecticides sont-ils compatibles avec la lutte intégrée? Symposium du congrès conjoint de la SEQ-SPPQ, Nicolet, 4 novembre 2016.

Labrie, G. (2016) Bilan des études sur les néonicotinoïdes en grandes cultures au Québec. Séminaire des sous-ministériats du MAPAQ. Québec, 9 juin 2016.

Labrie, G. (2016) Les néonicotinoïdes en grandes cultures au Québec: portrait de la situation et résultats de recherche. Symposium sur les alternatives aux insecticides systémiques, Montréal, 21 avril 2016.

Labrie, G. (2016) Portrait de la situation sur les néonicotinoïdes en grandes cultures au Québec. UPA, Longueuil, 13 avril 2016.

Labrie, G. (2016) Portrait de la situation sur les néonicotinoïdes en grandes cultures au Québec. Joliette, 7 avril 2016.

Labrie, G. (2016) Portrait de la situation sur les néonicotinoïdes en grandes cultures au Québec. Club Techno-Champ 2000, Napierville. 5 avril 2016.

Labrie, G. (2016) Portrait de la situation sur les néonicotinoïdes en grandes cultures au Québec. Les Agro-conférences de PleineTerre, Napierville. 24 mars 2016.

Labrie, G. (2016) La lutte intégrée et les néonicotinoïdes. Souper-conférence OAQ Sections de Montréal - Rive sud et de Saint-Hyacinthe. Beloeil. 16 mars 2016.

Labrie, G. (2016) Récents suivis d'impacts des traitements de semences néonicotinoïdes. Journée technique d'hiver Coopérative agricole des beaux-champs, 15 mars 2016.

Labrie, G. (2016) Les ravageurs des semis en grandes cultures et les néonicotinoïdes : portrait de la situation. Journées agroalimentaires des Laurentides, 26 février 2016.

Labrie, G. (2016) Ravageurs des semis et néonicotinoïdes: résultats de projets de recherche et portrait de la situation. Journée Inpacq, Drummondville, 11 février 2016.

TYPES D'APPLICATIONS POSSIBLES DANS L'INDUSTRIE

Les résultats obtenus dans ce projet, qui englobait tous les ennemis du soya que l'on peut observer au cours d'une saison de croissance, démontrent qu'en général, la pression phytosanitaire au Québec est faible. Le puceron du soya est un ravageur bien contrôlé par les ennemis naturels. Puisque l'application de pesticides réduit l'abondance des ennemis naturels, un risque accru de briser l'équilibre entre ces deux niveaux trophiques est présent. Au cours des dernières années, cet équilibre a permis à de nombreux producteurs de réduire considérablement les traitements phytosanitaires contre ce ravageur. L'utilisation systématique de produits phytosanitaires, que ce soit en traitement de semences ou en application foliaire, ne devrait pas être recommandée sous nos conditions québécoises puisque la rentabilité de ces traitements est aléatoire et que les effets négatifs sur l'environnement sont importants.

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Nous remercions **les producteurs** (Semences Nicolet, Ferme des rêves, Ghislain Pion, Les cultures Dubreuil, Bourg-Joie, Léoflora, Ferme Courdo, Miboulay, Gustave Michon, Patrick Heine et Chatrac) et **les clubs-conseils** (Durasol, ProConseil, Gestrie-Sol, FBE) ainsi que les **responsables régionaux du MAPAQ** (Brigitte Duval, André Rondeau, Yvan Faucher, Stéphanie Mathieu) qui ont accepté de participer à ce projet. Merci à tous les employés du CÉROM : Carolanne Audette, Patrice Hamelin, Alexis Latraverse, Guillaume Trépanier, Matthieu Toullec, Mélisane Lafrenaye, Simon-Pierre Tchang, Thierry Boislard, Mathieu Neau, Gabrielle Chevrier, Nathalie Gagné et Nicole Bourget, qui ont participé au dépistage, au tri et à l'identification des insectes et des maladies, ainsi qu'au support agronomique.

Ce projet a été réalisé dans le cadre du volet 3.2 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.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Geneviève Labrie, CÉROM, genevieve.labrie@cerom.qc.ca, 450 464-2715 poste 230