

Rapport annuel 2020/21

Août 2021

Eastern Canada Oilseeds Development Alliance

Préparé par : Treasa Pauley, Chef de projet ECODA



**EASTERN CANADA
OILSEEDS DEVELOPMENT ALLIANCE**

MISE À JOUR PAR ECODA

Vision

Favoriser des partenariats au sein de la chaîne d’approvisionnement des oléagineux pour promouvoir l’innovation et tirer parti des valeurs économiques.

Mission

Créer des profits dans le cadre de partenariats et grâce à l’innovation.

La société **Eastern Canada Oilseeds Development Alliance (ECODA)** est une entreprise privée sans but lucratif dont le siège est à Charlottetown, dans l’Île-du-Prince-Édouard (Î.-P.-É.). Créée en 2009, la société a formé un consortium de collaborateurs réputés de la chaîne d’approvisionnement du secteur canadien des oléagineux, englobant le soya, le canola et les cultures nouvelles. ECODA vise à faire profiter les producteurs, les transformateurs et les exportateurs d’oléagineux de l’Est du Canada de la création d’options de culture d’oléagineux adaptées aux conditions régionales et aux besoins du marché et du soutien d’un développement innovateur tout au long de la chaîne de valeur des oléagineux. Lorsqu’un maillon de la chaîne réussit, le reste peut aussi en profiter, amenant la prospérité à tous.

La phase de financement actuelle d’ECODA comprend le soutien du programme AgriScience de l’AAC–PCA (partenariat canadien en agriculture), ainsi qu’une aide provinciale du ministère de l’Agriculture, de l’Aquaculture et des Pêches du Nouveau-Brunswick et du ministère de l’Agriculture et de la Pêche de l’Île-du-Prince-Édouard dans le cadre de leur financement respectif du PCA. Le programme de recherche actuel concerne divers chercheurs et organisations de recherche de l’AAC, des universités et du secteur privé, ainsi que des producteurs et des partenaires sectoriels de tout le Canada, sans oublier les collaborateurs internationaux d’Europe, du Japon, d’Amérique du Sud et des États-Unis. Le programme de recherche PCA d’ECODA concentre ses activités de recherche sur le développement durable de la chaîne d’approvisionnement pour le soya, le canola, la moutarde brune, la caméline et les légumineuses.

Nous avons largement entamé la quatrième année de notre programme de cinq ans, ce qui s’est révélé toute une aventure. Malgré les effets du changement climatique sur les températures saisonnières et sur les conditions d’humidité et ceux de la pandémie globale, notre excellente équipe de chercheurs et de collaborateurs a persisté. L’année 2020 a vu un certain nombre d’ajustements, les conditions obligeant les chercheurs à modifier certains processus et certaines procédures pour assurer la sécurité de tous les intervenants, travaillant souvent avec des équipes réduites. L’AAC a dû

tenir compte des effets de la pandémie sur la recherche et, pour la première fois, a autorisé des révisions de budgets, précédemment interdites. Cette mesure a apporté aux chercheurs un certain allègement étant donné l'effet des restrictions sur l'ensemble des livrables annuels, non seulement en ce qui concerne les activités dans les champs, mais aussi les analyses de laboratoire et surtout les tâches de niveau international.

Cette année, le programme d'ECODA a vu des réductions, mais aussi des ajouts. Du fait de la diminution du potentiel du marché et du changement résultant des priorités des collaborateurs, on a décidé d'abandonner les études prévues concernant le chanvre. ECODA maintient son mandat de soutien à la recherche pertinente au plan commercial, mais il n'y avait tout simplement aucun soutien régional pour cette activité, étant donné l'évolution du marché depuis 2018. On a noté cependant durant l'année 2020 une croissance du programme de recherche sur le canola, avec l'ajout d'évaluations protéomiques aux activités du Dr Smith. Ce soutien nous permet d'approfondir les relations de signalisation entre plantes et microbes, qui indiquent un potentiel de meilleure adaptation des plantes aux facteurs de stress liés au changement climatique

Alors que nous nous approchons de la dernière année de cette phase de financement, non seulement nous examinons de plus près ce que nous avons appris, mais nous préparons nos stratégies d'avenir. Les défis des trois années et demie qui viennent de s'écouler ont rendu certaines choses très claires, mettant en lumière des conditions clés de la survie et de la prospérité de l'agriculture au Canada. La première est l'existence indéniable du changement climatique. Il n'y a plus de saison « normale » se conformant aux conditions de croissance que nous attendons ou prévoyons. Nous devons en tenir compte dans les systèmes de culture de l'avenir, en produisant des cultures et en développant des variétés qui s'adaptent aux divers facteurs de stress tout en conservant une valeur économique pour les marchés actuels. Inversement, nous devons aussi examiner l'impact de l'agriculture sur ce phénomène environnemental et veiller à adopter des pratiques durables pour l'avenir du secteur. Une autre condition ressentie dans tout le pays au plus fort de la pandémie mondiale de la COVID-19 est la sécurité alimentaire. En tant que pays, nous devons examiner nos chaînes d'approvisionnement alimentaires pour les humains et pour les animaux et déterminer en quels points nous pouvons combler nous-mêmes les lacunes. Il n'est plus possible pour le Canada, en tant que pays, de dépendre de l'exportation de produits de base que nous rachetons ensuite sous forme de produits finis à valeur ajoutée. Nous devons commencer à investir temps et argent dans l'innovation et dans la production à valeur ajoutée.

En se préparant à la prochaine phase d'investissement, les responsables de projet communiquent avec les chercheurs et les collaborateurs pour discuter des priorités et des possibilités de la chaîne d'approvisionnement future. Nous incitons tous ceux qui ont des innovations à présenter à communiquer avec l'un des administrateurs d'ECODA pour discuter des projets et des propositions.

Alors que les projets de cette phase de recherche abordent leur dernière année, nous faisons le maximum pour accroître le transfert technologique, afin que les efforts de nos chercheurs soient communiqués à tout le secteur. Les restrictions de la COVID-19 ont suscité beaucoup de créativité dans le développement et le partage des données numériques. Le projet ATC (Application et Transfert des Connaissances) le plus récent est la création d'une série de vidéos (YouTube – ECODATV) qui met en valeur certains de nos chercheurs et leurs projets innovants. Il y a actuellement 3 vidéos à visionner en ligne et une quatrième est prévue pour le début de l'automne. Si vous ne l'avez déjà fait, veuillez « suivre », « aimer » et « partager » les pages d'ECODA (Twitter : @CanadaOilseeds, Instagram : easterncanadaoilseeds) pour nous permettre de faire passer le message.

RAPPORT SUR LE CANOLA

Interactions plantes-microbes pour surmonter les effets néfastes du stress et accroître les rendements de canola

Investigateur principal : Donald L. Smith, Université McGill

L'emploi de produits biologiques dans les systèmes agricoles peut réduire les impacts environnementaux de divers facteurs de stress, y compris ceux qui sont associés au changement climatique (sécheresse, température élevée). L'utilisation des microbes associés aux plantes ou des composés de signalisation produits par ces microbes peut augmenter la résistance des plantes à ces types de stress et améliorer l'adaptabilité de la culture. La thuricine¹⁷ a été identifiée comme un signal entre microbes et plantes produit par une souche de *Bacillus thuringiensis*, isolée dans des nodules de soya dans le sud-ouest du Québec. On a montré qu'elle améliorait la croissance de nombreuses espèces de plantes cultivées, lorsque celles-ci sont soumises à un stress. Or, dans le cas du canola, culture clé au Canada, la capacité de la thuricine¹⁷ à atténuer le stress n'a pas été évaluée pour les températures basses, la sécheresse ou la combinaison de températures élevées et de sécheresse. Le présent projet de recherche d'ECODA vise à remédier à cette lacune. Une grande partie de la recherche faite à ce jour s'est concentrée sur la première phase de la croissance des plantes, la germination, et sur le stress des températures basses, le plus susceptible d'affecter les semences dans les conditions de germination en plein champ. Les travaux effectués jusqu'à présent montrent qu'un traitement par la thuricine 17 améliore à la fois la rapidité de la germination et la proportion des semences soumises au stress des températures basses dont la germination réussit.

Le projet de recherche d'ECODA comporte plusieurs parties : des études en milieu contrôlé, des études en plein champ et une étude protéomique, ajoutée en 2020. La protéomique est utilisée pour

identifier et quantifier l'expression des protéines en un point donné de la croissance, en réponse à un stimulus spécifique. L'étude protéomique vise à évaluer l'utilité de la thuricine 17 pour améliorer la croissance du canola en présence de deux conditions de stress : la sécheresse et la chaleur. Les deux concentrations de thuricine 17 les plus efficaces seront déterminées au moyen d'essais de germination du canola. La ou les meilleures concentrations et le ou les meilleurs niveaux de sécheresse seront utilisés lors d'études protéomiques. Des échantillons de feuilles seront prélevés pour en extraire les protéines et seront envoyées à l'Institut de Recherches Cliniques de Montréal (IRCM) pour analyse protéomique.

Résultats à ce jour :

En **2020**, les données obtenues en plein champ montrent que l'application foliaire de thuricine 17 sur les loams argileux et les loams sableux à la date du premier semis a un effet statistiquement significatif sur le rendement, l'indice de récolte et le nombre de siliques. Ce traitement par la thuricine 17 a augmenté le rendement de 19 % et de 17 %, respectivement, par rapport aux témoins. Les parcelles ayant reçu ce traitement foliaire présentaient les indices de récolte les plus élevés, avec une augmentation de la superficie foliaire de 14 % et de 83 % sur les loams argileux et les loams sableux, respectivement, et un accroissement du poids de la biomasse à la floraison de 11 % et de 65 %, respectivement. Les augmentations de rendement qui accompagnent de telles réponses sont logiques, étant donné qu'une surface foliaire plus élevée entraîne une photosynthèse accrue, une plus grande production de glucides et, en définitive, un rendement plus élevé. À la date du deuxième semis, le traitement ne s'est accompagné d'aucune augmentation statistiquement significative du rendement, quel que soit le type de sol, ce qui peut indiquer que la thuricine 17 est plus efficace dans des conditions plus stressantes. La période du premier semis était plus stressante pour les plantes que la seconde, en raison de conditions précocement très chaudes et sèches.

Il est difficile de tirer des conclusions précises de cette seule année de données en plein champ, indépendamment des quatre sites-années établis, car il faut prendre en compte la date de début tardive de la culture due à la COVID19. Les plants de canola ont de ce fait été soumis à des conditions climatiques difficiles pendant la période d'établissement des semis, ce qui était aussi particulièrement vrai pour les essais à date de semis précoce.

Le début de 2021 a été consacré au lancement des expériences de stress des températures élevées en chambre de croissance. Les données seront recueillies pour évaluer la capacité de la thuricine 17 à améliorer la croissance végétative du canola dans des conditions de stress des températures élevées.

Des études de la thuricine 17 ont illustré son rôle prometteur en tant que stimulateur de croissance des plantes dans des conditions de stress. Nos premiers résultats concordent avec ceux ces

recherches antérieures, qui ont montré une amélioration de la croissance et du développement des plantes dans des conditions de stress par rapport à des plantes témoins, en serre ou en plein champ.

Progression en 2021 :

La deuxième année d'essais en plein champ se poursuit telle que prévue et cette activité progresse avec le minimum d'impact dans le cadre de la COVID-19.

Germoplasme de canola de spécialité avec résistance à la hernie des crucifères pour l'Est du Canada

Investigatrice principale : Sally Vail, AAC, Saskatoon, Saskatchewan

L'objectif de cette recherche est de développer pour l'Est du Canada des variétés de canola de spécialité non GM qui soient résistantes à la hernie des crucifères (HC). L'absence de ce type de variétés de canola a pour effet d'empêcher la production de semences et d'huile de canola non GM à une échelle qui soit concurrentielle. Un secteur qui pourrait facilement dépasser les 2 M\$ s'il disposait de variétés non GM résistantes à la HC est donc actuellement entravé.

Il existe un marché d'exportation d'huile de canola de spécialité non GM potentiellement plus important dans l'Est du Canada, en particulier dans l'Île-du-Prince-Édouard. Cependant, vers 2010, la hernie des crucifères est devenue un problème dans certains champs de canola, réduisant notablement les rendements. À l'heure actuelle, les producteurs de cette région ne trouvent dans le commerce aucune variété de canola non GM qui soit résistante à la HC. Pour cette raison, AAC développe actuellement des lignées de canola de spécialité non GM résistantes à la hernie des crucifères dans le cadre du projet PCA d'ECODA. Malheureusement, en raison de la Covid-19, plusieurs activités de ce projet ont été réduites ou retardées en 2020. Des essais de rendement ont eu lieu dans les Maritimes et en Saskatchewan, mais le développement d'un nouveau germoplasme a été gravement entravé par l'arrêt en mars 2020 des activités en serre et en laboratoire. Heureusement, certaines activités qui contribueront aux livrables des objectifs 2 et 3 de ce projet ont repris à l'automne 2020. Par conséquent, plusieurs livrables ont été changés dans ce projet

Résultats à ce jour :

Des essais de rendement ont eu lieu avec succès dans trois sites de Saskatchewan et dans un site de Nouvelle-Écosse en 2020. Durant l'été 2020, un producteur de l'Î.-P.-É. a cultivé une lignée intéressante, candidate à l'enregistrement, pour en évaluer le potentiel de rendement à la ferme. À Saskatoon, des multiplications isolées de deux lignées, l'une à graines noires et l'autre à graines jaunes, ont produit des semences de bonne qualité pour utilisation future dans ce projet. La pépinière de HC de l'Île-du-Prince-Édouard a été annulée en 2020 en raison des restrictions de la Covid-19.

Lors de l'examen des lignées candidates à graines noires, le rendement de VR234 et de VR233 était le plus élevé, avec une teneur en huile des graines optimale. Le rendement en graines atteignait ou dépassait celui du parent récurrent à graines noires (N99-508) et représentait 79 % et 74 %, respectivement, des rendements

obtenus avec les hybrides témoins commerciaux. Les deux lignées contiennent le gène de résistance à la HC *Rcr1* et on n'a noté aucune formation de galles dans les pépinières de HC de l'Île-du-Prince-Édouard en 2018 et 2019. La lignée VR250 est celle qui a été initialement choisie pour la multiplication des semences en se basant sur les résultats de l'essai de rendement initial et sur la qualité des semences. Une multiplication réalisée à Saskatoon en 2020 a donné environ 450 kg de semences de haute qualité, qui sont maintenant disponibles pour d'autres multiplications s'il y a un marché pour cette lignée en tant que variété enregistrée.

Les lignées à graines jaunes les plus performantes lors de sept essais de rendement sont les VR16-517 et VR16-522, qui contiennent toutes deux le gène *Rcr2* et qui n'ont pas présenté de galles dans les pépinières de HC de l'Î.-P.-É. en 2018 ou 2019. Les caractéristiques agronomiques de ces lignées sont très similaires à celles de la lignée parent récurrente YN01-429, avec des rendements supérieurs représentant 92 % et 91 % de ceux des témoins hybrides, respectivement. La teneur en huile des lignées à graines jaunes est très élevée, avec des valeurs dépassant de près de 3 % celles des témoins hybrides commerciaux. La teneur en protéines des graines des lignées est 2,5 % environ inférieure à celle des témoins hybrides commerciaux, ce qui est un facteur lors de l'enregistrement variétale de ces lignées, selon les exigences régionales. Environ 300 kg de graines de VR17-053, la lignée semblant la plus prometteuse après les essais de rendement de l'année initiale en 2018, ont été produites lors d'une multiplication à Saskatoon en 2020.

Progression en 2021 :

Les essais se poursuivent tels que planifiés, avec les modifications supplémentaires dues aux amendements de 2020.

Apparition de la cécidomyie du chou-fleur et évaluation des mécanismes potentiels de lutte dans la production du canola en Ontario et au Québec

Investigateurs principaux : Rebecca Hallett, Université de Guelph, et Sébastien Boquel, CÉROM

La cécidomyie du chou-fleur (CCF), *Contarinia nasturtii*, est un ravageur envahissant les cultures de crucifères qui peut avoir un effet néfaste sur la production de canola en Ontario et au Québec. Pour améliorer la lutte contre la CCF dans le canola, nous étudions le potentiel de lutte biologique offert par *Synopeas myles*, un parasitoïde de la CCF. On a observé dans les champs un taux relativement élevé de parasitisme de la CCF par *S. myles* au cours des dernières années, suggérant que *S. myles* est bien établi en Ontario et au Québec. Toutefois, avant que *S. myles* puisse être incorporé dans un programme de lutte intégré contre la CCF, il convient de déterminer son abondance, sa distribution, son potentiel de suppression de la CCF et sa compatibilité avec d'autres tactiques de lutte contre les ravageurs.

Le but primordial de cette recherche est d'apprendre à connaître la cécidomyie du chou-fleur (CCF) en Ontario et au Québec et d'étudier le potentiel offert par les agents de lutte biologiques lutte contre ce ravageur du canola.

Résultats à ce jour :

Québec

Chaque année, le Réseau d'avertissements phytosanitaires (RAP), programme de lutte intégrée du Québec, suit les populations de CCF dans un certain nombre de champs de canola des principales régions de culture du canola au Québec. En 2020, 29 champs de canola ont été sélectionnés dans cinq régions : Abitibi-Témiscamingue (AT), Saguenay-Lac-St-Jean (SLSJ), Capitale-Nationale (CN), Chaudière-Appalaches (CA) et Bas-St-Laurent (BSL). Pour chaque champ, on a recueilli les données de régie et de pratiques agricoles, ainsi que les caractéristiques des champs. Chaque champ était doté de pièges à phéromones permettant de suivre les populations de CCF. Les dégâts causés par la CCF étaient évalués deux fois au cours de la saison, au moment de la montée en graines et au début de la maturation. Les grappes de chaque plante étaient inspectées pour détecter les symptômes d'infestation. La plante était jugée saine si aucune des grappes ne montrait de signes d'infestation. Toute grappe montrant des signes d'infestation était considérée comme endommagée. Pour chaque piège, on calculait un taux de capture (nombre de CCF/piège/jour) pour la période précédant la première évaluation et un autre taux pour la période allant de la première évaluation à la deuxième. Le pourcentage de plantes présentant des symptômes d'infestation était alors corrélé au taux de capture précédant l'évaluation.

La **Figure 1** montre le taux de capture global des CCF (CCF/piège/jour) pour tous les champs suivis par le RAP en 2020. Point intéressant, l'abondance des CCF dans le site de la région CN a augmenté année après année, de 0,1 CCF/piège/jour en 2018, à 1,1 CCF/piège/jour en 2019 et à 10,6 CCF/piège/jour en 2020. Soit une multiplication par 10 à chaque année.

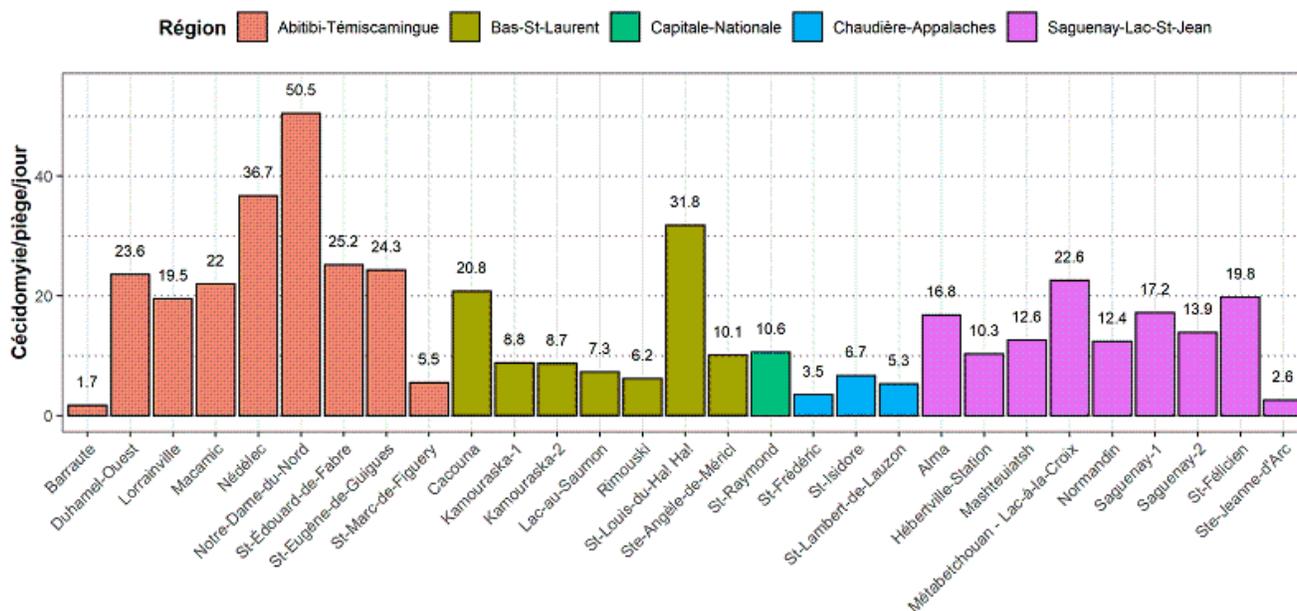


Figure 1. Taux de capture de la cécidomyie du chou-fleur (nombre/piège/jour) dans les champs surveillés par le Réseau d'avertissements phytosanitaires dans différentes régions du Québec en 2020.

Dans les deux tiers des champs étudiés en 2020, les premières captures de CCF ont eu lieu au cours de la première et de la deuxième semaine de juin, soit un peu plus tôt qu'en 2019.

Étant donné le grand nombre des sites suivis pour la CCF, nous ne présentons ici que la dynamique des populations des neuf sites suivis pour l'émergence des parasitoïdes. Mentionnons qu'on a observé en moyenne 20 CCF/piège/jour au stade le plus sensible du canola. On peut voir deux pics de population au site de St-Raymond (CN), comme aux sites AT et BSL. Le premier a eu lieu le 1^{er} juin et le second, le 18 juin, immédiatement avant le début de l'élongation entre les nœuds. La population de CCF est demeurée sous le seuil d'intervention de 5 CCF/piège/jour durant le reste de la saison. Les populations de CCF aux sites CA étaient les plus faibles de tous les champs. Au moment où le pic s'est produit, le canola était au stade de la floraison, un stade moins sensible à l'infestation par la CCF. Enfin, dans la région SLSJ, la population de CCF a atteint 50 CCF/piège/jour et on a aussi observé deux pics dans les deux municipalités.

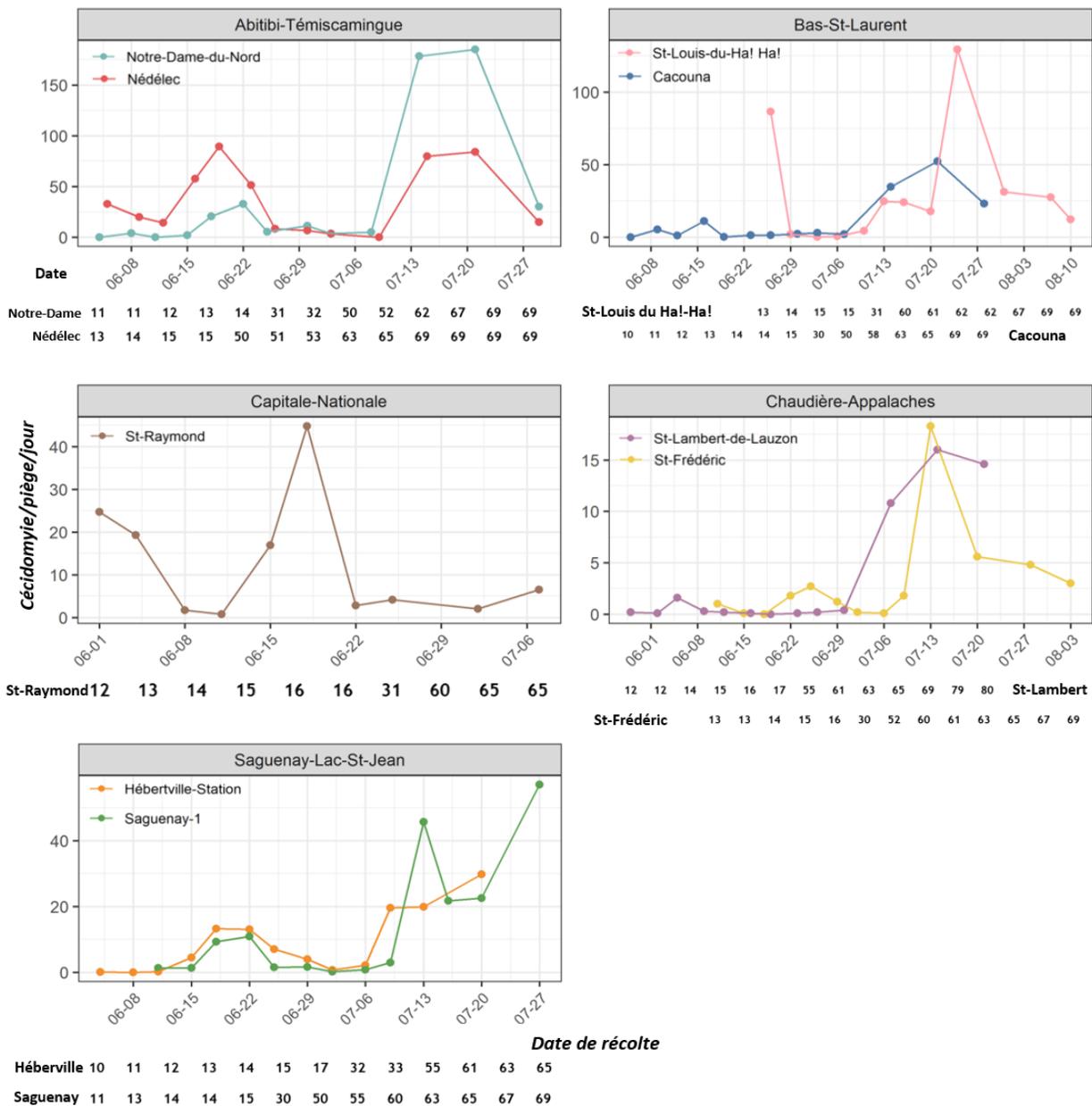


Figure 2. Dynamique des populations de cécidomyie du chou-fleur (CCF/piège/jour) dans neuf champs des cinq principales régions de culture du canola du Québec. Les chiffres sous les graphiques montrent le stade de croissance du canola (code BBCH).

On n'a trouvé aucune corrélation significative entre le nombre de CCF/piège/jour et le pourcentage de plantes présentant des symptômes d'infestation. Toutefois, on a noté une tendance positive au cours de la deuxième période (entre la montée en graine et la maturation) pour les pièges situés à la limite des champs. La même tendance avait été observée en 2019. Plus le nombre de CCF capturées était grand, plus les plantes montraient de dégâts dus aux CCF. Les évaluations des deux prochaines années seront importantes pour pouvoir en tirer des conclusions.

En 2020, des plants de canola ont été récoltés dans 12 champs répartis dans sept régions du Québec : deux dans la région Abitibi-Témiscamingue (AT), deux dans la région Bas-Saint-Laurent (BSL), un dans la région Capitale-Nationale (CN), deux dans la région Chaudière-Appalaches (CA), deux dans la région Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ), deux dans la région Gaspésie (GAS) et un dans la région Montérégie-Est (ME). Les champs ont été échantillonnés quatre fois, sauf deux champs, échantillonnés trois fois seulement. À chaque date d'échantillonnage, 20 plants infestés de CCF étaient prélevés et les parties infestées taillées et placées dans des contenants d'émergence en plastique. Les échantillons étaient envoyés à CÉROM où ils étaient conservés dans des conditions contrôlées et vérifiés tous les 1 ou 2 jours pendant 6 ou 7 semaines environ. Les CCF et les parasitoïdes émergeant dans les contenants étaient recueillis. Toutes les CCF apparues au cours des trois premiers jours et les trois quarts des *S. myles* de chaque site étaient conservés pour identification plus approfondie. Les insectes restants étaient ajoutés aux colonies de CCF et de *S. myles*, respectivement. Les taux d'occurrence des parasitoïdes et les taux de parasitisme étaient établis pour chaque site. Les échantillons de CCF et de parasitoïdes étaient ensuite envoyés aux chercheurs d'AAC en Saskatchewan et à la CNC (Collection nationale canadienne) pour confirmer l'identification. Tous les échantillons prélevés ont également été vérifiés pour déceler d'autres parasitoïdes potentiels des cécidomyidés. Si de tels insectes étaient détectés, ils étaient préservés et envoyés à des experts en taxonomie afin d'identifier tous les spécimens de parasitoïdes.

On a trouvé des CCF et des *S. myles* dans presque toutes régions suivies en 2020, sauf dans la région CN, où aucun *S. myles* n'a été trouvé. Globalement, trois sites des régions CA, CN et GAS ne comportaient aucun *S. myles*. Point à signaler, aucun *S. myles* n'a été observé pendant deux années consécutives dans le même site de la région CA (Saint-Lambert-de-Lauzon). Dans la région CN, neuf *S. myles* ont été recueillis à Saint-Raymond en 2019, mais aucun en 2020. On déduit de ces observations que *S. myles* n'est pas bien établi dans ces régions (CA, CN, GAS), où la culture du canola n'est pas très répandue.

Sur les 920 plants de canola récoltés au cours de la saison, 365 se sont avérés infestés de CCF (40 %). De ces plants infestés, un total de 6 845 CCF et de 1 264 *S. myles* ont émergé des échantillons prélevés et la proportion des plants infestés de CCF montrant un parasitisme était de 0,36, ce qui est inférieur au chiffre de 2019 (0,61). Le nombre moyen de CCF et de *S. myles* par plant était de 18,8 et 3,5, respectivement.

En ce qui concerne l'abondance et le taux de parasitisme, on a observé des différences significatives entre les régions. Un quart des CCF (1835) et 81 % des *S. myles* (1022) provenaient de plants recueillis dans la région AT. La région SLSJ était la deuxième en nombre de *S. myles* recueillis, suivie de la région BSL (137 et 81, respectivement). Très peu de *S. myles* ont été recueillis dans des sites des régions AC et GAS, bien que le nombre de CCF recueillies y ait été important (344 et 695, respectivement). Ces résultats sont similaires à ceux de 2019, où la plupart des parasitoïdes et des CCF ont été trouvés dans la région AT et bon nombre des parasitoïdes restants, dans les régions BSL et SLSJ.

Le taux global de parasitisme était de 15,6 %, ce qui est un peu plus élevé que celui de 2019 (12,7 %). Les taux de parasitisme étaient les plus élevés dans la région AT, avec 42,3 % et 33,9 %. Ils étaient plus faibles dans les régions SLSJ et BSL (allant de 13,4 % à 21,5 %). Ils étaient inférieurs à 5 % dans les autres régions.

En 2019, nous avons pensé que certains des parasitoïdes émergés de plants de canola infestés appartenaient au genre *Inostemma* (*Platygastridae*). Ces spécimens ont été envoyés en 2020 au Musée zoologique de l'Université de Copenhague, au Danemark, pour identification. L'identification a confirmé nos soupçons et le fait que quelque 10 spécimens d'*Inostemma* ont émergé des échantillons recueillis. C'est la première fois, croyons-nous, qu'on détecte des parasitoïdes de ce genre dans les champs de canola du Québec. En 2020, aucun des parasitoïdes qui ont émergé des plants de canola infestés n'a été soupçonné d'appartenir à un autre genre.

Élevage des parasitoïdes

L'élevage de *S. myles* a commencé en août 2019 au laboratoire d'entomologie du CÉROM à partir de spécimens prélevés dans les champs et se continue depuis. Une expérience a été menée sur toute une génération de *S. myles* pour augmenter le nombre des parasitoïdes produits. Tout en maintenant la colonie, quatre sites de ponte étaient offerts aux parasitoïdes dans la même cage afin de déterminer quel était le meilleur. Les sites de ponte consistaient en plantes placées à des moments différents (trois jours et sept jours) après une infestation par des CCF, soit entières, soit taillées et placées dans un pot contenant 1 à 2 cm de terreau humide. Les émergences de CCF et de parasitoïdes étaient suivies quotidiennement jusqu'à ce qu'aucune ne se produise plus pendant 14 jours consécutifs. Le taux de parasitisme était calculé pour chaque site de ponte.

Les *S. myles* qui ont émergé des échantillons recueillis en 2019 ont servi à établir une colonie de laboratoire cette année-là, maintenue depuis lors en installation d'élevage de masse. Au moment de la rédaction de ce rapport, l'élevage avait produit 29 générations de parasitoïdes. Cet élevage permettra de mener des expériences pour mieux comprendre la biologie de *S. myles* et intensifier leur production. Ces expériences formeront le fondement de celles qui seront menées en plein champ dans des cages avec différentes densités de CCF et de parasitoïdes, en vue de déterminer (i) le moment de libération, (ii) l'efficacité du parasitoïde pour différentes densités de CCF, (iii) l'effet de l'utilisation du parasitoïde sur la réduction des dégâts et (iv) l'effet indirect de l'utilisation du parasitoïde sur le rendement. Ces études aideront à déterminer les protocoles optimaux de libération des agents de lutte biologique (moment de la libération, nombre de parasitoïdes par libération, nombre de libérations).

On a constaté que le nombre des émergences totales reflétait une interaction importante entre le nombre de jours après l'infestation par les CCF et le site de ponte. Le plus grand nombre d'insectes émergeait dans les pots infestés par les CCF six jours auparavant, alors qu'on observait un pic d'émergences moindre dans les plantes entières infestées trois jours auparavant. Aucune différence significative d'émergences n'était observée entre les plantes entières et les pots infestés par des CCF trois jours auparavant.

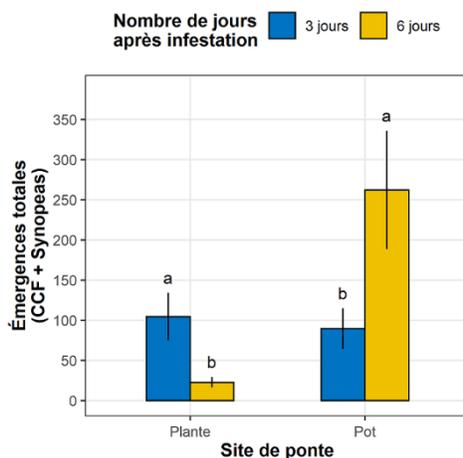


Figure 6. Émergences totales (cécidomyie du chou-fleur et *Synopeas myles*) de plantes entières et de plantes taillées et placées dans un pot préalablement infestées par des CCF (3 ou 6 jours avant d’être placées dans l’élevage des parasitoïdes).

Comme pour les émergences totales, on a constaté que le nombre d’émergences de *S. myles* reflétait une interaction significative entre le nombre de jours après l’infestation par les CCF et le site de ponte (figure 7). Le nombre de *S. myles* produits était notablement plus élevé dans les pots infestés par les CCF six jours auparavant et dans les plantes entières infestées trois jours auparavant.

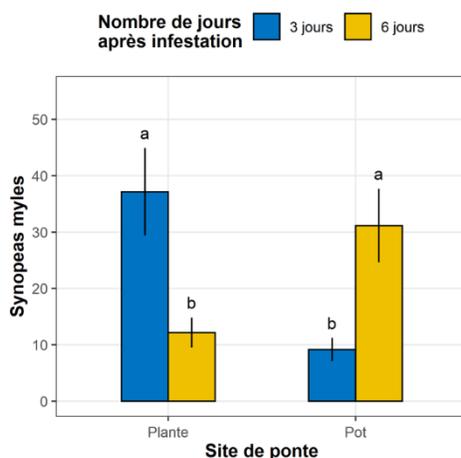


Figure 7. Émergences de *Synopeas myles* de plantes entières ou de plantes taillées et placées dans un pot, préalablement infestées par des CCF (3 ou 6 jours avant d’être placée dans l’élevage du parasitoïde).

On a constaté que le taux de parasitisme reflétait une interaction significative entre le nombre de jours après l’infestation par les CCF et le site de ponte (Figure 8). Le taux de parasitisme était plus élevé dans les plantes entières que dans les pots. Il était en outre plus élevé dans les plantes infestées six jours auparavant que dans les plantes infestées trois jours auparavant. Ces taux de parasitisme élevés peuvent être partiellement liés au nombre inférieur d’émergences d’insectes dans les plantes. Il est également possible que les larves de CCF soient plus accessibles aux parasitoïdes pour y pondre leurs œufs.

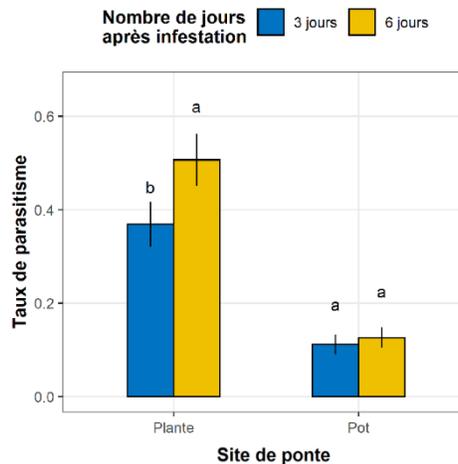


Figure 8. Taux de parasitisme de plantes entières ou de plantes taillées et placée dans un pot, préalablement infestées par des CCF (3 ou 6 jours avant d’être placée dans l’élevage du parasitoïde).

Dans l’ensemble, ces résultats montrent qu’une plante entière infestée par des CCF trois jours auparavant ou qu’une plante infestée par des CCF six jours auparavant, après avoir été taillée en morceaux et placée dans un pot, sont les meilleurs sites de ponte pour produire un nombre élevé de parasitoïdes. Ces résultats confirment que la méthode utilisée au CÉROM pour l’élevage des parasitoïdes est optimale.

Ontario

Durant l’été 2020, la présence des CCF était suivie à l’aide de pièges à phéromones dans 5 sites de culture du canola dans le sud de l’Ontario, quatre sites dans le comté de Dufferin (DU 1 à 4), près de Shelburne, et un site dans le comté de Wellington, à la station de recherche de l’Université de Guelph à Elora. Chaque site comportait quatre pièges, vérifiés deux fois par semaine jusqu’à ce qu’aucun des pièges d’un champ n’ait plus capturé de CCF pendant 2 semaines consécutives. En raison des restrictions liées à la COVID-19, il n’a pas eu d’évaluation des dégâts correspondants dans le canola en 2020.

Le nombre moyen de CCF capturées par piège par jour se situait entre 1,06 et 2,80. Fait intéressant, le nombre moyen de captures de CCF dans la région de Shelburne se situait entre 19,37 et 24,37 par piège par jour en 2019, ce qui indique une baisse d’un facteur supérieur à 8 de la population de CCF en un an. Les résultats des relevés de l’année suivante indiqueront s’il s’agit d’une tendance à la baisse des CCF dans cette région du sud de l’Ontario ou s’il y a un cycle de population accentué de plusieurs années. Le fait qu’un grand nombre de *S. myles* ont été recueillis dans ces mêmes sites en 2020 pourrait indiquer qu’un parasitisme élevé est au moins partiellement responsable du faible nombre des CCF dans les pièges. Les premières captures de CCF ont eu lieu moins d’une semaine (du 2 au 9 juin) après l’installation des pièges dans les 5 sites, plus tôt donc qu’en 2019 (du 11 au 18 juin). Les captures se sont terminées au cours d’une période de 3 semaines (du 25 septembre au 15 octobre), l’un des sites terminant 2 semaines plus tard que les autres, probablement parce qu’il avait été planté 2 semaines plus tard que les autres.

Aux 4 sites DU, on a noté 2 pics d’émergence de la CCF : le premier de la fin de juin au début de juillet et le deuxième de la mi-juillet à la fin de juillet (figure 5). Un troisième pic, plus petit, est visible au site DU3, dû

peut-être à une plantation tardive du site, offrant les hôtes appropriés plus tard dans la saison : il y avait dans ce champ des plants de canola en fleurs jusqu'à la récolte, contrairement aux autres champs, qui ont cessé de fleurir beaucoup plus tôt. Le site WE1 a connu 3 pics d'émergences, un à la fin de juillet, un deuxième au début d'août et le dernier au début de septembre (figure 5).

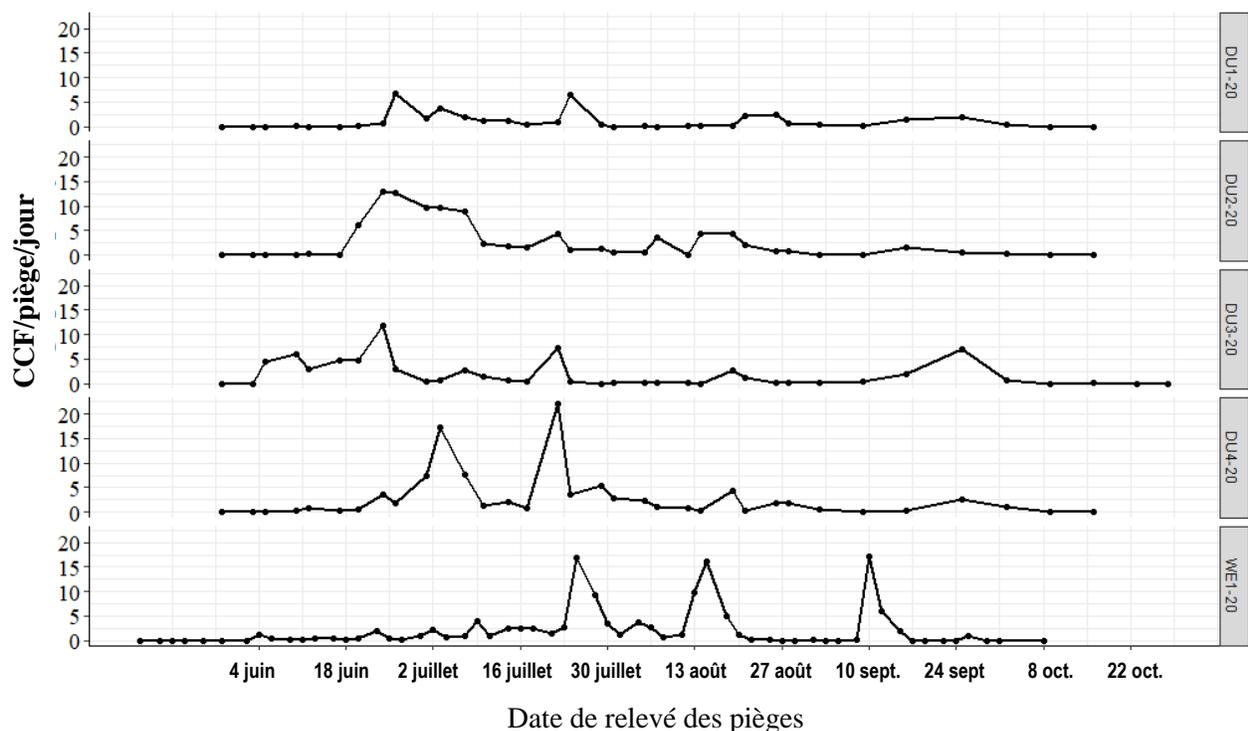


Figure 5. Dynamique des populations de CCF capturées dans des pièges à phéromones dans 4 champs de canola des comtés de Dufferin (DU1 à DU4) et dans un champ du comté de Wellington (WE-1) en 2020.

Au total, douze sites en Ontario ont suivi *S. myles*. Un relevé des pièges a eu lieu chaque semaine de juin à septembre dans les cinq sites de surveillance des CCF des comtés de Dufferin et de Wellington. Aucun des 7 autres sites n'avait jamais été utilisé pour évaluer *S. myles*. Il y avait 3 sites dans le comté de Wellington, près d'Arthur, qui ont fait l'objet de un à trois relevés, et 3 sites dans le comté de Dufferin, près de Shelburne, plus un site au Centre de recherche sur les cultures de l'Ontario de l'Université de Guelph à Winchester, dans North Dundas, qui ont été échantillonnés une fois en juillet.

À chaque échantillonnage, on prélevait entre 50 et 100 plants de canola infestés par les CCF. Au total, 4050 plants ont été recueillis dans les comtés de Dufferin et de Wellington. Les plants échantillonnés ont été envoyés à l'Université de Guelph, taillés jusqu'aux points de croissance actifs et placés dans des contenants d'émergence. L'émergence du parasitoïde dans les échantillons était surveillée pendant 5 semaines. Le nombre de *S. myles* émergés était compté pour chaque site, tandis que le nombre de CCF émergées n'était compté que pour les 7 nouveaux sites, en raison de limitations liées à la COVID-19. Les taux de parasitisme ont été calculés pour les nouveaux sites. Tous les échantillons prélevés étaient examinés afin de détecter toute espèce de parasitoïdes autre que *S. myles*, mais sans résultat. On a aussi recherché dans les échantillons la présence de *Contarinia brassicola* (cécidomyie de la fleur de canola), également sans résultat.

Les CCF des échantillons prélevés dans les sites hebdomadaires du comté de Dufferin n'ayant pas été

comptées, il est difficile de comparer les taux de parasitisme globaux en 2019 et 2020. Cependant, près de 3 fois plus de parasitoïdes ont été recueillis en 2020 qu'en 2019. La plupart des parasitoïdes ont été recueillis dans le comté de Dufferin. Par conséquent, outre la division par 8 des CCF piégées par rapport à 2019, il y a une forte indication d'augmentation des taux de parasitisme dans le comté de Dufferin. Fait intéressant, aucun *S. myles* n'a été observé dans les sites du comté de Dufferin échantillonnés une fois en 2020, malgré le nombre élevé de *S. myles* observés dans les autres sites de la région. En 2020, *S. myles* a été observé dans tous les lieux d'échantillonnage du comté de Wellington, alors qu'en 2019, on en n'a observé aucun. En 2020, aucun des parasitoïdes qui ont émergé des échantillons prélevés dans les champs n'aurait pu appartenir à un taxon différent.

Élevage du parasitoïde

Une colonie de *S. myles* a été amorcée avec succès à l'Université de Guelph en août 2020, en utilisant des adultes provenant d'échantillons prélevés dans les champs. Trois fois par semaine, 4 plants de chou-fleur infestés de larves de CCF âgées de 7 à 9 jours étaient placés dans la colonie pendant 2 ou 3 jours pour permettre à *S. myles* d'y pondre. Les émergences de CCF et de *S. myles* étaient ensuite surveillées pendant 5 semaines. Les émergences de *S. myles* dans des plants infestés par la CCF 7, 9 ou 10 jours avant leur insertion dans la colonie de *S. myles* étaient comparées durant le même cycle de colonie décrit ci-dessus. Deux plantes de chou-fleur infestées de CCF de chaque cohorte d'âge étaient placées dans la cage avec des *S. myles* adultes où ils restaient pendant 2 ou 3 jours. Une fois parasités, les 4 plants étaient enlevés, coupés et placés dans des contenants d'émergence. Les taux de parasitisme étaient calculés pour chaque contenant d'émergence de la colonie depuis le moment de l'établissement de la colonie, pour évaluer leur évolution au fil des générations.

On a constaté dans la colonie, que plus de parasitoïdes émergeaient des plants infestés de CCF 7 jours avant leur exposition à *S. myles* que des plantes infestées 9 ou 10 jours auparavant, montrant une corrélation positive avec les larves de CCF plus jeunes. Ces résultats sont conformes aux observations faites au Québec, où des larves de CCF de 6 jours ont produit le nombre de *S. myles* le plus grand, également 45 individus par plant environ.

Le taux moyen de parasitisme dans la colonie maintenue à l'Université de Guelph est de 40 % environ. Cependant, le taux réel fluctue, avec des maximums dépassant généralement 70 %.

Toxicité des insecticides pour S. myles

On a évalué la toxicité de la lambda-cyhalothrine, du chlorantraniliprole et du spirotétramate pour les adultes de *S. myles* par exposition directe et à des doses résiduelles. La lambda-cyhalothrine et le chlorantraniliprole sont homologués contre la CCF dans le canola et le spirotétramate l'est pour l'utilisation dans les cultures de choux où *S. myles* peut également être présent. Les parasitoïdes utilisés pour ces expériences provenaient d'échantillons de canola prélevés dans des champs.

Pour évaluer l'effet de l'application topique d'insecticide sur les adultes de *S. myles*, ces derniers étaient anesthésiés et arrosés au pulvérisateur d'une solution insecticide. Chaque insecticide était appliqué au taux recommandé pour la CCF, au taux moitié du taux recommandé ou taux double. La mortalité était évaluée au bout de 24 h. Chaque insecticide était également appliqué à ces taux sur un morceau de papier filtre dans une boîte de pétri pour l'exposition des adultes de *S. myles* aux résidus d'insecticide. Des adultes de *S. myles*

étaient anesthésiés et placés dans la boîte de pétri sur le papier filtre traité. La mortalité était évaluée au bout de 24 h. D'autres expériences avec la lambda-cyhalothrine ont servi à évaluer la toxicité de résidus vieillis. En utilisant les méthodes décrites ci-dessus, les adultes de *S. myles* étaient exposés au taux maximum, à la moitié du taux maximum et au quart du taux maximum de résidus de lambda-cyhalothrine vieillis pendant 1, 3, 5 ou 7 jours.

Le chlorantraniliprole et le spirotétramate se sont montrés inoffensifs pour les adultes de *S. myles* lorsqu'ils étaient appliqués sous forme de pulvérisation directe, alors que la lambda-cyhalothrine causait 100 % de mortalité quel que soit le taux d'application. De même, le chlorantraniliprole et le spirotétramate étaient inoffensifs pour les adultes de *S. myles* sous forme de résidus vieillis pendant 24 h.

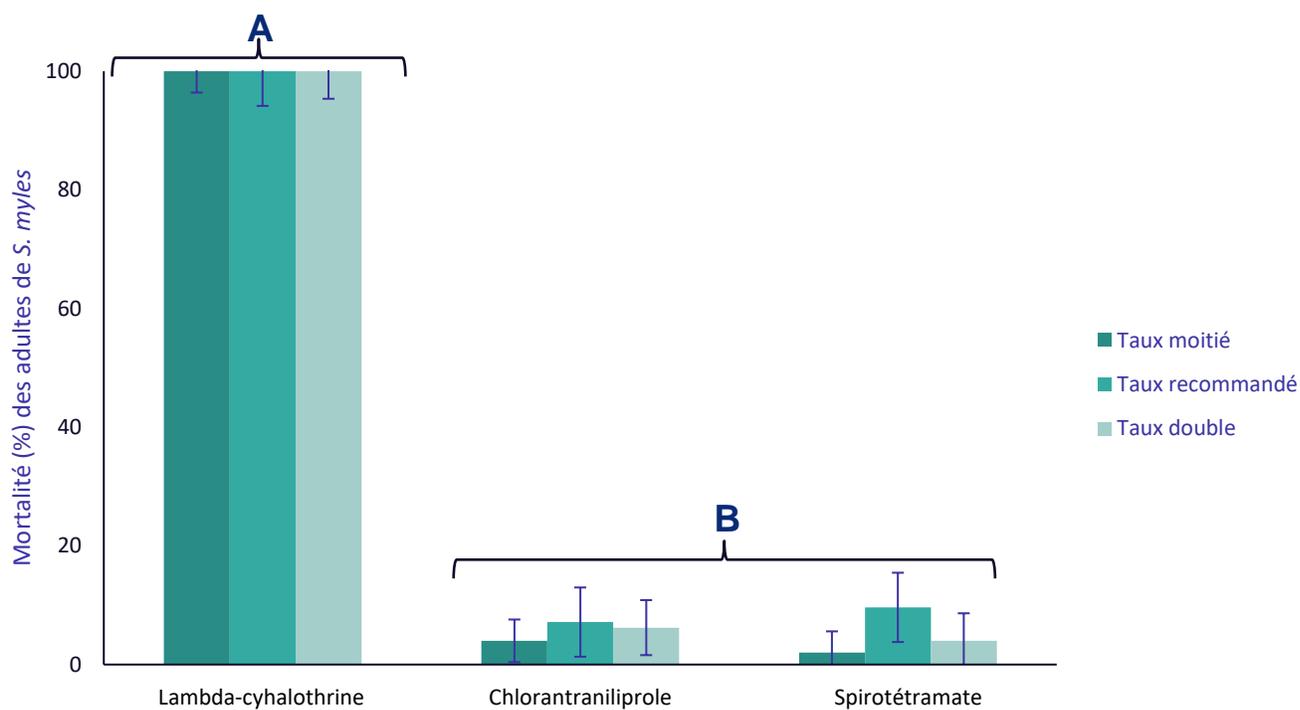


Figure 12. Pourcentage de mortalité ($\pm E-T$) des adultes de *S. myles* exposés à des résidus à aux taux moitié, recommandé et double de lambda-cyhalothrine, de chlorantraniliprole et de spirotétramate. Les barres identifiées par des lettres différentes sont significativement différentes (test de Tukey : $\alpha = 0,05$)

Par contre, l'exposition aux résidus de lambda-cyhalothrine tuait 100 % des *S. myles* à pratiquement tous les taux and âges des résidus testés (Figures 12 et 13).

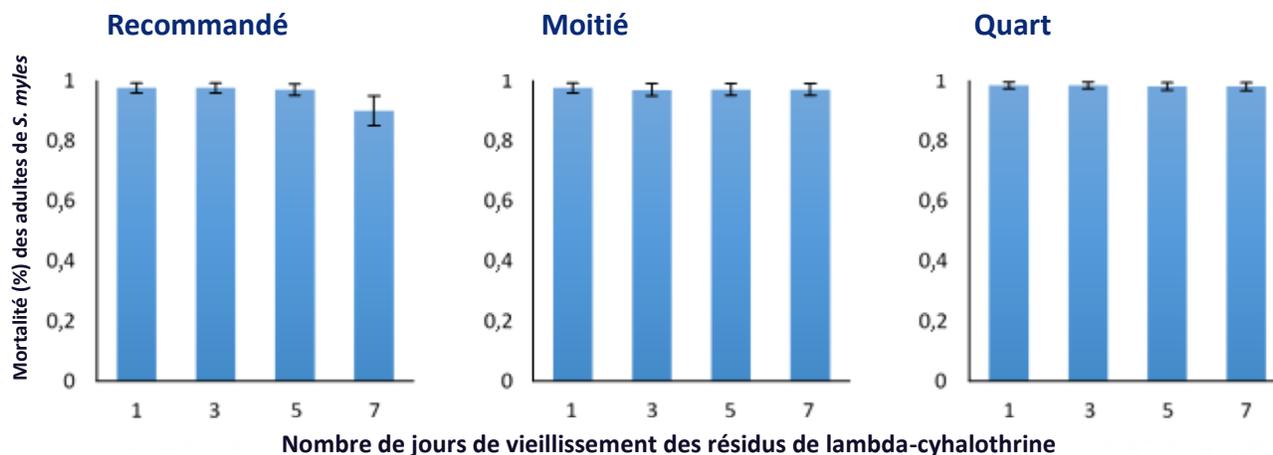


Figure 13. Pourcentage de mortalité (\pm E-T) des adultes de *S. myles* exposés à des résidus de lambda-cyhalothrine vieilliss de 1, 3, 5 et 7 jours, aux taux recommandé, moitié et quart.

D'après ces résultats, le chlorantraniliprole est non toxique alors que la lambda-cyhalothrine est toxique pour les adultes de *S. myles* aux doses utilisées pour la lutte contre la CCF. Ces données suggèrent que le chlorantraniliprole serait préférable à la lambda-cyhalothrine dans un système de lutte intégrée contre la CCF dans le canola favorisant l'établissement de *S. myles*. Toutefois, ces résultats devront être confirmés lors d'essais en conditions semi naturelles ou en plein champ, avec des scénarios d'exposition plus réalistes.

Effet de l'alysson maritime sur le parasitisme par S. myles

Une expérience a été menée en laboratoire pour déterminer si la floraison de l'alysson maritime augmentait la fécondité réalisée de *S. myles*. Cette expérience fait parti d'un programme destiné à déterminer si cette espèce pourrait jouer le rôle de plante de supplémentation appropriée dans le cadre d'une stratégie de lutte biologique de conservation, pour soutenir *S. myles* et augmenter le parasitisme de la CCF dans le canola. Avant l'expérience, des plants de canola en pot étaient infestés de larves de CCF. Cette infestation avait pour but de donner à *S. myles* accès à tous les stades larvaires de la CCF pour la parasiter. Des adultes de *S. myles* étaient placés dans une cage contenant soit 2 plants de canola infestés, soit 2 plants de canola infestés par la CCF et 4 plants d'alysson maritime en fleurs. Après 6 jours, les plants de canola étaient retirés des cages et on laissait les parasitoïdes se développer. Le nombre de larves de CCF parasitées et le nombre d'œufs et de larves de *S. myles* à l'intérieur des larves de CCF de chaque cage étaient ensuite comptés au microscope.

Le nombre de larves de CCF sur les plants de canola parasités par *S. myles* était significativement plus élevé dans les cages contenant de l'alysson maritime en fleurs. De même, le pourcentage de *S. myles* au stade de développement des œufs était plus élevé dans les cages contenant des plants d'alysson maritime et des plants de canola que dans les cages contenant seulement du canola, bien que la différence ne soit pas significative.

Ces résultats suggèrent que l'alysson maritime peut augmenter directement le parasitisme de la CCF par *S. myles*. De plus, étant donné la proportion accrue de *S. myles* au stade de développement de l'œuf dans le canola, en présence du traitement par l'alysson maritime, on pourrait conclure que l'alysson maritime augmente la longévité de *S. myles* et, partant, allonge la période de ponte. La plantation supplémentaire

d'alysson maritime dans le canola pourrait donc constituer une stratégie efficace de lutte biologique de conservation pour soutenir les populations naturelles de *S. myles* et, ce faisant, augmenter le parasitisme de la CCF.

On a trouvé le parasitoïde *S. myles* dans toutes les régions du Québec échantillonnées en 2019 et 2020. On l'a trouvé dans tous les comtés de l'Ontario où se trouve la CCF. La forte augmentation du nombre de *S. myles* et la baisse du nombre de CCF capturées dans les pièges de 2019 à 2020 dans la région d'étude principale du comté de Dufferin indiquent que *S. myles* pourrait s'implanter de plus en plus solidement dans cette région de culture intensive du canola. La détection nouvelle de *S. myles* dans chacun des sites du comté de Wellington en 2020 indique un élargissement de son aire de répartition. De plus, près de 75 % des plants infestés échantillonnés dans les régions Abitibi-Témiscamingue et Saguenay-Lac-Saint-Jean comportaient également *S. myles*, ce qui suggère que *S. myles* est bien établi dans ces régions. Il sera intéressant de suivre l'évolution de la population de *S. myles* en fonction de la superficie de culture du canola et des brassicacées dans les différentes régions du Québec et de l'Ontario.

Enfin, l'élevage de *S. myles* semble stable et régulier. Le protocole a été optimisé en 2020 pour maximiser la production de parasitoïdes. D'autres améliorations et essais en laboratoire au cours des prochaines années les rendront encore plus efficaces et aideront à développer davantage les méthodes d'optimisation de l'élevage en masse de *S. myles*. Les deux dernières années du projet comprendront des expériences de laboratoire et des essais en plein champ.

Progression en 2021 :

Les essais en champ se poursuivent tels que prévus au Québec et en Ontario.

Étude de la concentration critique de soufre et du ratio azote:soufre dans les tissus pour optimiser la production de canola dans l'Est du Canada

Investigateur principal : Bao-Luo Ma, AAC, Centre de recherche et de développement d'Ottawa

La meilleure façon d'augmenter l'efficacité d'utilisation des engrais azotés (NUE) dans le canola est d'établir un équilibre des nutriments tenant compte des interactions synergiques et antagonistes entre macro et micronutriments dans les sols et dans les plantes (*Fageria, 2001*). Si la croissance d'une culture est limitée par un excédent ou par une carence d'un autre nutriment essentiel, le fait de mettre l'accent sur la réponse de la culture à des apports d'engrais azotés seuls n'est guère susceptible d'améliorer l'efficacité d'utilisation de ces engrais (*Subedi et Ma, 2009*). Les principales causes d'un manque d'efficacité des engrais azotés sont un besoin inapparent de micronutriments (*Gao et Ma, 2015*) et un déséquilibre des apports de nutriments (*Ma et al.,*

2017). On s'attend à ce que le canola soit sensible aux concentrations de soufre dans les tissus végétaux, d'une part parce que le soufre est un composant essentiel des acides aminés comme la cystine, la cystéine et la méthionine, et d'autre part parce que les cultures des oléagineux de la famille de brassicacées requièrent une plus grande quantité de soufre que les cultures de céréales à petits grains (Nuttall et al., 1987; Grant et Baily, 1993). Par exemple, les semences de canola ont un ratio N:S étroit de 6:1, contre 16:1 pour les grains de blé récoltés. Par ailleurs, la source de soufre du sol a été considérablement réduite au cours des dernières décennies, en raison probablement (i) de la réduction des dépôts atmosphériques due à l'efficacité de la lutte contre la pollution atmosphérique, (ii) de la réduction de la teneur en soufre des engrais phosphorés (P); et (iii) de l'expansion des cultures exigeantes en soufre et/ou de l'extraction accrue du soufre due aux rendements croissants des cultures (IPNI, 2016). À l'heure actuelle, non seulement on ignore quelles concentrations de soufre aux premiers stades de croissance seraient appropriées comme diagnostics pour corriger une carence en soufre, mais aussi quels ratios N:S à la maturité permettraient d'évaluer l'efficacité d'une stratégie de maintien d'un équilibre des apports de N et de S. L'étude proposée vise à répondre à ces questions.

L'expérience est en cours dans deux sites de l'Est de l'Ontario : La Ferme expérimentale centrale d'Ottawa (Ontario) et le Collège MacDonald (Université McGill). En chacun de ces sites, les plantations expérimentales occupent deux champs dont les sols ont des caractéristiques différentes. À Ottawa, les sols sont respectivement un loam sablo-argileux et une argile sableuse, tandis qu'au Collège MacDonald, il s'agit d'un loam sableux de la série CHICOT et d'une argile de la série Ste-Rosalie.

Résultats à ce jour :

Les plantations ont été retardées en 2019 et en 2020 : en 2019, à cause du printemps extrêmement pluvieux, en 2020, en raison des restrictions de la COVID-19.

En 2019, les mois d'avril et de mai ont été extrêmement pluvieux, avec des températures plus basses que la normale. Du 1^{er} au 30 mai, il n'y a eu que 250 unités thermiques, alors que la norme de 30 ans est de 350 unités thermiques. À la fin d'avril, une terrible inondation a créé un état d'urgence à Ottawa. En juillet, les précipitations étaient très faibles, avec des températures plus élevées que la normale. Le printemps frais et pluvieux n'a pas permis de travailler les champs, de les fertiliser et de planter suffisamment tôt. Les semis ont pris 2 semaines de retard sur la normale. Aux deux sites d'Ottawa, le compactage par les pneus des tracteurs a eu pour effet de réduire la taille des plants dans les traces de pneu par rapport aux autres plants. En juillet, le sol était si sec qu'il était difficile à échantillonner. Les conditions du printemps et de l'été à Ste-Anne-de-Bellevue étaient similaires.

En 2020, les précipitations ont été extrêmement faibles et les températures supérieures à la normale en mai, juin et juillet. La pluviométrie en juin était de 15 mm, beaucoup plus basse que la normale (93 mm) pour ce mois. Selon Environnement Canada, le mois de juillet était le plus chaud enregistré depuis 1921. Du 21 mai au 1^{er} septembre, il y a eu 31 jours de température supérieure à 30 °C, alors que la normale est de 14 à 15 jours en été. Ces conditions ont affecté la germination et la floraison. La germination était faible, la floraison était courte et les siliques contenaient moins de graines. À McGill, les précipitations étaient aussi inférieures à la moyenne en mai et en juin, mais étaient égales à deux fois celles d'Ottawa en juillet (87,6 mm). En raison des

restrictions liées à la COVID-19, les semis ont eu lieu environ 3 semaines plus tard que le permettaient les conditions météorologiques du site. Les semis tardifs ont également accentué l'effet négatif de la sécheresse sur la croissance et le développement des plantes.

Évolution phénologique

En 2019, les plantes sont sorties et ont poussé normalement dans tous les sites. Les altises n'ont posé de problème en aucun de ces endroits. Ce n'est qu'à Ottawa que le compactage du sol est devenu un problème du fait de la grande humidité du sol au moment des semis. Les semis dans les traces de pneus étaient plus lents à sortir et les plants plus courts que les autres. Pour cette raison, nous avons évité les mesures dans ces endroits.

En 2019, au site argileux d'Ottawa, les plants des parcelles à taux élevé d'azote (160 et 240 kg ha⁻¹) et sans soufre présentaient des signes de carence en soufre au début de leur croissance. Au stade de la rosette, les feuilles commençaient à bomber, les bords tournant au violet (figure 1A). Ces plants étaient beaucoup plus lents à se développer que ceux des autres parcelles. Ils ont fleuri beaucoup plus tard et les fleurs étaient d'un jaune très pâle. Beaucoup de fleurs n'ont pas produit de silique, laissant les plants pratiquement sans silique (figure 1B). Le site argileux d'Ottawa est le seul site à avoir présenté ces signes de carence en soufre. Le soufre, contrairement à l'azote, est immobile dans les plantes et ne passe pas de la matière végétale ancienne à la plus récente. Donc, si le sol ne contient pas suffisamment de sulfates pour alimenter la plante, on observe une carence en soufre dans les feuilles et les fleurs les plus récentes. On sait également que des quantités excessives de nitrates réduisent l'absorption des sulfates disponibles par les plantes, en particulier lorsque le sol est déjà déficient en soufre.

En 2020, à Ottawa, la sortie était médiocre en raison du temps extrêmement sec, en particulier dans le site argileux. On n'a observé de verse dans aucun des sites du fait que les plants étaient courts et portaient très peu de siliques. Les altises ont causé beaucoup de dégâts aux siliques au site sableux, moins au site argileux (figure 2). Il y a eu également une période de sécheresse en mai et en juin après les semis au site de McGill. Il n'y avait pas de verse et on notait une certaine pression des populations d'altises.

A)



B)



Figure 1. Symptômes de carence en soufre dans les plants de canola. A) bombement et coloration violacée des feuilles. B) nombre faible des siliques au moment de la maturité.



Figure 2. Dégâts causés par les altises aux siliques, site sableux d'Ottawa, 2020.

Concentrations des nitrates et des sulfates dans le sol

Des échantillons de sol ont été prélevés avant plantation dans tous les sites et les résultats compilés. En 2020, les échantillons prélevés avant plantation à Ottawa ont été analysés par le laboratoire de chimie du CDR-COO, au lieu d'un laboratoire accrédité à Ottawa, à cause de la COVID-19. Certains paramètres n'ont donc pas été mesurés. La matière organique du sol (%) était très faible au site argileux de McGill en 2020, avec une valeur de 2,4 % seulement (tableau 1B).

Tableau 1 A et 1 B. Résultats des échantillonnages de sol avant plantation (0 à 15 cm) à chaque site d'Ottawa et de Ste-Anne-de-Bellevue aux printemps 2019 (A) et 2020 (B).

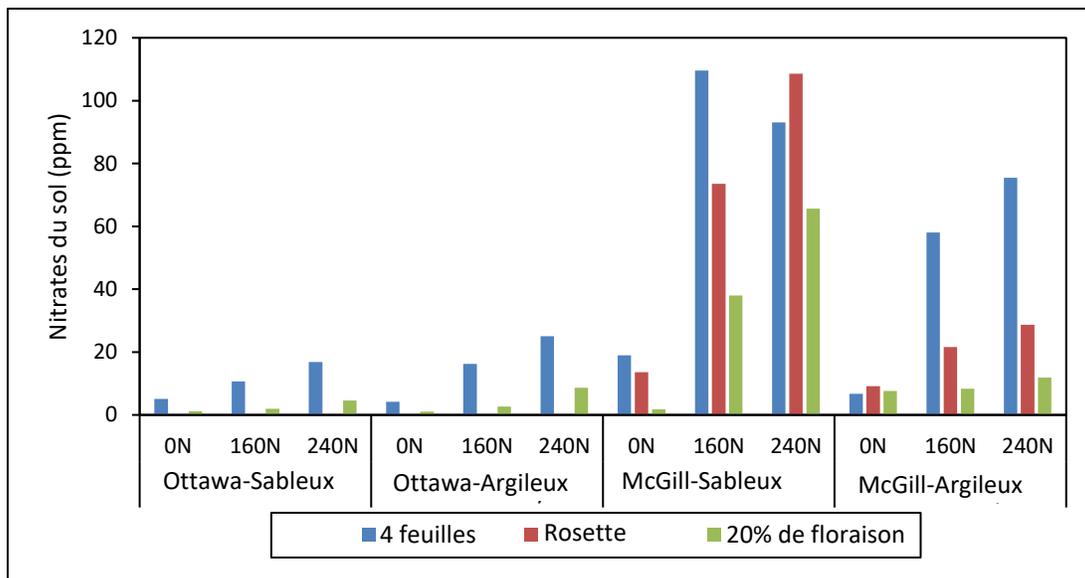
A) 2019

	Ottawa Sableux	Ottawa Argileux	McGill Sableux	McGill Argileux
Culture précédente	Maïs	Maïs	Soya	Maïs
Type de sol	argile sableuse	loam sablo- argileux	loam sableux fin CHICOT	argile Ste- Rosalie
Texture du sol argile, sable, limon (%)	argile 36% sable 49% limon 15%	argile 27% sable 51% limon 22%	argile 8,5% sable 55% limon 36,5%	argile 37% sable 27% limon 36%
MO (%)	3,8	3,6	3,14	6,28
P (ppm)	18	36	57,82	30,19
K (ppm)	100	120	83,7	174,39
pH	5,1	5,6	7,02	7,01
CEC totale (méq/100 g)	10	13	14,3	32

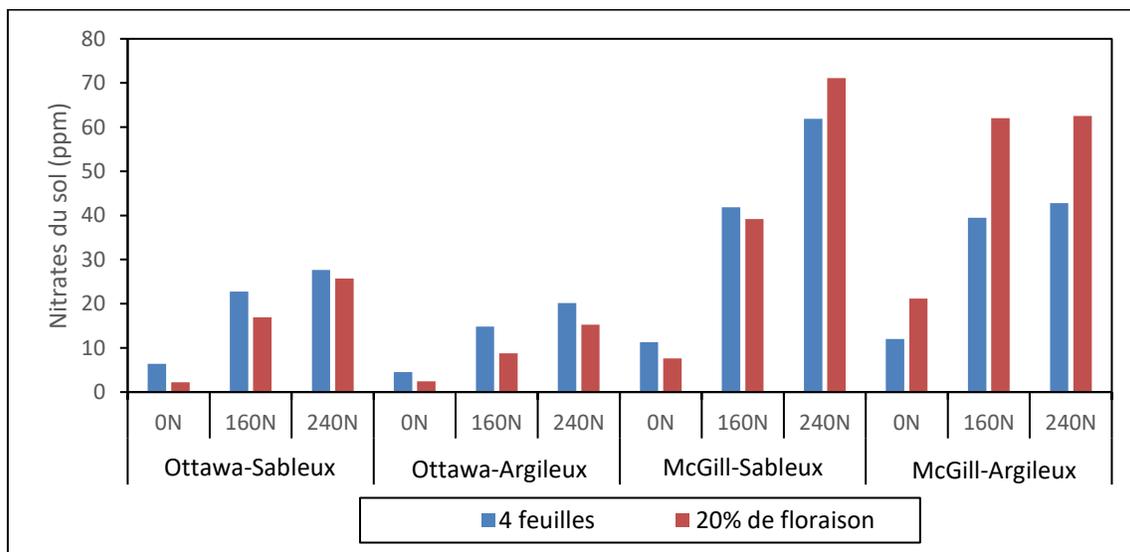
B) 2020

	Ottawa Sableux	Ottawa Argileux	McGill Sableux	McGill Argileux
Culture précédente	Maïs	Avoine	Jachère	Luzerne
Type de sol	Loam sableux	loam argileux	loam sableux fin CHICOT	loam argileux MacDonald
Texture du sol argile, sable, limon (%)	argile 12% sable 62% limon 26%	argile 35% sable 45% limon 20%	-	-
MO (%)	3,6	2,9	2,9	2,4
P (ppm)	9,6	10,1	225 (kg/ha)	157 (kg/ha)
K (ppm)	-	-	280 (kg/ha)	238 (kg/ha)
pH	6,9	6,8	6,6	6,4
CEC totale (méq/100g)	-	-	13,9	15,7

Les sols ont été analysés avant les semis par le laboratoire de la Ferme expérimentale centrale pour déterminer les concentrations de nitrates, d'ammonium et de sulfates disponibles. En 2019, le site argileux d'Ottawa avait la concentration de sulfates pré-semis le plus bas, 3,8 ppm seulement. Pour tous les sites-années et à chaque stade de croissance, les concentrations de nitrates dans le sol augmentaient considérablement avec l'accroissement des quantités d'engrais azoté (figures 5A et 5B).



A



B

Figure 5 A (2019) et 5B. Concentrations de nitrates dans le sol aux stades de 4 feuilles, de la rosette (McGill seulement) et de 20 % de floraison pour les sites argileux et sableux d’Ottawa et de McGill, en 2019 (A) et 2020 (B).

En 2019, sur les huit sites-années, les sites sableux d’Ottawa et de McGill étaient les seuls à ne montrer aucune différence significative de concentration de sulfates dans le sol entre les parcelles ayant reçu 0, 20 ou 40 kg de soufre /ha. Pour tous les autres sites, la concentration de sulfates dans le sol des parcelles n’ayant pas reçu de soufre était la plus faible à chaque échantillonnage, tandis que la concentration dans le sol des parcelles ayant reçu 40 kg de soufre, elle était en général la plus élevée et de loin.

Dans aucun des sites-années, à l’exception du site argileux d’Ottawa en 2019, il n’y a eu d’interaction azote-soufre ayant un effet notable sur les sulfates disponibles dans le sol, quelque soit le stade de croissance. Bien que l’interaction azote-soufre soit faible, les concentrations de sulfates disponibles dans le sol étaient

beaucoup plus faibles au stade de 20 % de floraison dans les parcelles 160N et 240N n'ayant pas reçu de soufre, par rapport à tous les autres traitements, et encore plus faibles par rapport aux parcelles n'ayant reçu ni azote ni soufre.

Il faudra pousser la recherche pour expliquer pourquoi on observe ces résultats dans ce site argileux et non dans les 7 autres sites-années. Mais on sait que des quantités excessives de nitrates réduisent l'absorption des sulfates disponibles. Il convient de noter que ce n'est qu'au site argileux d'Ottawa, en 2019, que l'ajout d'azote a eu un effet modeste sur le soufre disponible dans le sol, l'augmentation de l'azote appliqué le faisant baisser.

Rendements finals

Les rendements ont été beaucoup plus faibles en 2020 qu'en 2019 aux deux sites, en raison des conditions de sécheresse et de chaleur extrêmes de mai, juin et juillet. En 2020, le site sableux d'Ottawa a eu le rendement moyen le plus bas (377 kg ha^{-1}) de tous les sites-années, sans réaction notable du rendement quelque soit les concentrations d'engrais azotés. Dans tous les autres sites, les rendements ont réagi favorablement à l'augmentation des quantités d'engrais azoté appliquées avant la plantation, les parcelles sans engrais azoté donnant caractéristiquement les rendements les plus faibles et, dans la plupart des cas (sauf au site argileux d'Ottawa en 2019), les parcelles 160N et 240N donnant les rendements les plus élevés.

Des 8 sites-années, seuls les rendements du site argileux d'Ottawa en 2019 et du site argileux de McGill en 2020 ont répondu favorablement à l'application pré-plantation d'engrais soufré, les parcelles sans engrais soufré (0S) donnant les rendements les plus faibles et les traitements 20S, 30S et 40S donnant les rendements les plus élevés. Deux raisons peuvent expliquer pourquoi ces sites semblent avoir eu cette réponse favorable du rendement à l'augmentation des taux d'engrais soufré. En 2019, la concentration de sulfates dans le sol était la plus basse au site argileux d'Ottawa (3,8 ppm seulement) avant la plantation, contre 7,1 ppm pour tous les autres sites-années. Étant donné que la concentration initiale de sulfates dans le sol était très faible et n'apportait donc pas suffisamment de sulfates à la plante, il est raisonnable de penser que la culture a répondu à l'application supplémentaire d'engrais soufré. En 2020, la teneur en matière organique du sol était la plus faible (2,4 % seulement) au site argileux de McGill, contre une teneur en matière organique moyenne de 3,7 % pour les 7 autres sites-années. Le soufre est présent dans le sol sous forme de matière organique. Celle-ci doit être décomposée en sulfates pour être utilisé par les plantes. Une teneur en matière organique inférieure à 3 % ne peut pas fournir suffisamment de soufre pour répondre aux besoins des plantes, surtout si les conditions (température optimale du sol, humidité adéquate, micro-organismes, etc.) ne sont pas bonnes. Il est donc possible que la teneur en sulfates du sol ait déjà été très limitative, et que l'ajout d'engrais soufré ait produit une évolution favorable du rendement. Pour tous les autres sites, il est possible que la teneur en soufre du sol n'ait pas été limitative (selon les mesures initiales des sulfates du sol) en raison d'une teneur plus élevée en matière organique, fournissant donc suffisamment de sulfates aux plantes. L'ajout d'engrais soufré ne s'est donc pas traduit par une augmentation du rendement.

Le site argileux d'Ottawa est le seul site où l'interaction azote-soufre a eu un effet notable sur les rendements, ceux-ci étant les plus faibles dans les parcelles n'ayant reçu ni azote ni soufre et augmentant avec des applications croissantes d'azote et de soufre. Toutefois, les rendements dans les parcelles ayant reçu des taux d'azote élevés (160N et 240N), mais pas de soufre, étaient les plus bas, pires encore que ceux des parcelles n'ayant pas reçu d'azote. Ce sont ces parcelles dont les plantes montraient des signes de carence en soufre

avec des feuilles bombées et violacées, parcelles moins vertes, prenant plus de temps à se développer, fleurissant le plus tard et produisant seulement quelques siliques de petites tailles. Le site argileux d'Ottawa était le seul site à présenter ces signes de carence en soufre. La concentration en sulfates du sol de ses parcelles était aussi la plus basse au stade de 20 % de floraison.

Calculs du taux de soufre le plus économique (MERS)

Il n'y a eu aucune réponse positive du rendement aux engrais soufrés au site sableux d'Ottawa en 2019, au site argilo-sableux de McGill en 2019, au site argilo-sableux d'Ottawa en 2020 ni au site sableux de McGill en 2020. Sur les 8 sites-années, seuls le site sableux d'Ottawa en 2019 et le site argileux de McGill en 2020 ont montré une réponse positive du rendement aux engrais soufrés (figure 8).

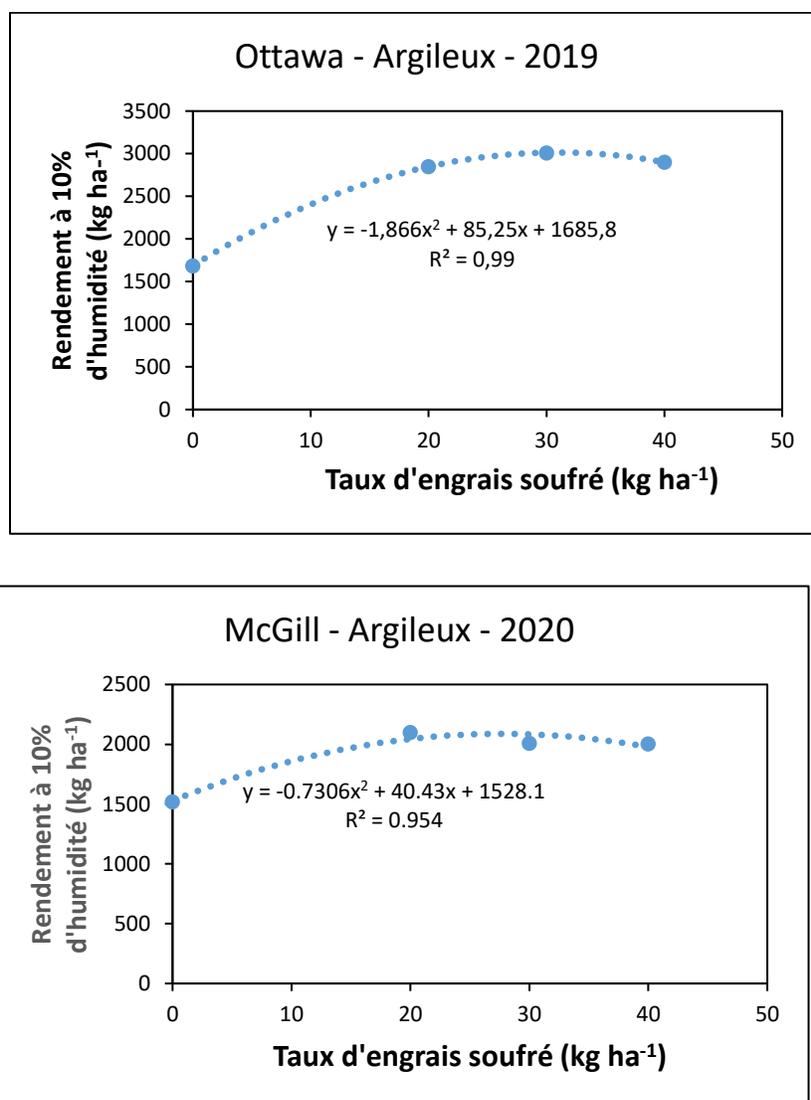


Figure 8. Analyse de régression des rendements en grains en fonction de l'engrais soufré appliqué avant la plantation aux deux sites, montrant une réponse positive du rendement au soufre en 2019 et en 2020.

En supposant qu'Ottawa et McGill représentent l'Ontario et le Québec, la valeur moyenne du MERS serait de 28,5 kg ha⁻¹ pour le soufre pré-semis (tableau 8). Il en résulterait un rendement moyen de 2550 kg ha⁻¹ avec une augmentation de rendement de 63 kg par kg d'engrais soufré. Il faudra davantage de sites-années d'essais pour obtenir des données représentatives.

Tableau 8. Le taux de soufre le plus économique (MERS) calculé pour l'application pré-semis pour les sites-années montrant la réponse positive du rendement aux engrais soufrés.

Site	Année	MERS (kg N ha ⁻¹)	Rendement estimatif au MERS (kg ha ⁻¹)	Augmentation de rendement estimative (kg de graines / kg S)	Rendement le plus élevé observé (kg ha ⁻¹)	Taux de soufre (kg ha ⁻¹) au rendement le plus élevé
Ottawa Argileux	2019	30,4	3013	85,8	3010	30
McGill Argileux	2020	26,6	2087	40,4	2100	20
		28,5	2550	63,1	2555	25

Hauteur des plants, nombres de branches, de siliques et de graines par silique et poids de mille graines

La hauteur des plants n'a pas été mesurée à Ottawa en 2020 en raison des restrictions liées à la COVID19. Cependant, dans la plupart des autres sites-années, la hauteur des plants a augmenté considérablement avec l'accroissement des taux d'engrais azoté. Les engrais sulfatés n'avaient aucun effet sur la hauteur des plants.

Dans tous les sites, le nombre de branches et le nombre de siliques par plant ont augmenté notablement avec l'accroissement des taux d'engrais azotés. Le nombre des graines par silique a augmenté également avec le taux d'engrais azoté. Dans tous les cas, on a noté que les nombres de branches, de siliques et de graines étaient les plus faibles dans les parcelles ayant reçu le moins d'azote. Dans la plupart des cas, les plants des parcelles qui avaient reçu 240 kg ha⁻¹ avant les semis avaient le plus de branches, de siliques et de graines/silique.

Il est difficile de déterminer l'évolution du poids de mille graines (PMG). Dans 3 sites-années, le PMG a diminué notablement avec l'accroissement de l'application d'azote avant les semis, alors que dans 3 autres sites-années, il a augmenté notablement.

Le soufre n'a eu d'effet ni sur le nombre des siliques, ni sur le nombre des graines par silique, ni sur le poids de mille graines, quelque soit le site. Toutefois, l'ajout d'engrais soufré a influé sur le nombre des branches par plant, bien que de manière inconstante. Pour 5 des 8 sites-années, le nombre des branches a augmenté ou a diminué fortement avec l'accroissement de la quantité de soufre avant les semis.

Le site argileux d'Ottawa est le seul site où l'interaction azote-soufre a eu un effet très important sur le nombre des graines par silique, le nombre des siliques m⁻² et le nombre des graines m⁻².

On a calculé le nombre de siliques m^{-2} et le nombre de graines m^{-2} à partir des densités de peuplement, des siliques/plante et des graines par silique. Le nombre des siliques m^{-2} et celui des graines m^{-2} ont augmenté de manière significative avec l'accroissement des taux d'engrais azoté. Il est à noter que le nombre des siliques à Ottawa en 2020 était extrêmement faible comparé aux autres sites, ce qui correspond aux rendements extrêmement faibles obtenus à Ottawa cette année-là. Les données recueillies sur les siliques m^{-2} et les graines m^{-2} au site de McGill en 2020 ne sont pas concluantes, car le nombre de siliques m^{-2} et le nombre de graines m^{-2} au site argileux de McGill étaient beaucoup plus grands que ceux obtenus au site sableux de McGill en 2020, alors que les rendements étaient plus faibles au site argileux de McGill (1908 kg ha^{-1}) qu'au site sableux de McGill (2330 kg ha^{-1}). L'ajout de soufre n'a eu d'effet sur le nombre des siliques m^{-2} pour aucun des sites-années. Ce n'est que pour le site argileux d'Ottawa en 2019 que l'ajout de soufre a considérablement augmenté le nombre de graines/ m^2 .

L'analyse montre une très forte corrélation positive entre le rendement et la hauteur des plantes pour 5 des 6 sites où celle-ci a été mesurée. Il existe également une très forte corrélation positive entre le rendement et le nombre des branches/plante pour 6 des 8 sites-années et entre le rendement et le nombre de siliques/plante pour 7 des 8 sites-années. Enfin, on a déterminé qu'il y avait une forte corrélation négative entre le poids de mille graines et le rendement.

Huile et protéines

Les teneurs en huile et en protéines sont indiquées à 8,5% d'humidité. L'augmentation des taux d'azote pré-semis a notablement accru la concentration des protéines dans les graines (%), mais elle a diminué la concentration d'huile. Dans tous les cas, les parcelles ayant reçu 240 kg d'azote ha^{-1} présentaient la concentration de protéines la plus élevée dans les graines, mais la concentration d'huile la plus faible. Les graines des plants des parcelles sans application d'azote avaient la concentration de protéines la plus faible, mais la concentration d'huile la plus forte de tous les traitements. L'ajout d'engrais soufré a considérablement augmenté la concentration de protéines et diminué la concentration d'huile dans les sites sableux d'Ottawa en 2019 et 2020.

L'analyse montre que le rendement est positivement corrélé avec les protéines, mais négativement avec l'huile dans 3 des 4 sites en 2019. Le site argileux d'Ottawa est celui qui ne montre aucune corrélation, que ce soit avec les protéines ou avec l'huile. En 2020, seuls les sites d'Ottawa ont été analysés et les résultats concernant l'huile et les protéines vont dans le sens contraire à ceux de 2019.

Réflectance du couvert végétal (indice de végétation - NDVI)

Des mesures de réflectance du couvert végétal ont eu lieu au cours de la saison de croissance au site d'Ottawa seulement, en utilisant un capteur GreenSeeker, pour déterminer la verdure des plantes. Du stade de 4 feuilles à celui de 20% de floraison, le capteur a permis de déceler des différences notables dans les valeurs NDVI entre les plantes des parcelles sans application d'azote (ON) et les plantes des autres parcelles recevant un traitement par l'azote; les valeurs NDVI augmentaient notablement avec les quantités d'azote appliquées. Le site argileux d'Ottawa en 2020 est le seul à n'avoir montré aucune différence notable au stade de 4 feuilles. Ce résultat est probablement dû à la levée inégale et à la petitesse des plants, causées par la période de sécheresse prolongée et le stress thermique. L'ajout de soufre n'a eu aucun effet sur la verdure des plantes.

En 2019, on a noté une corrélation positive très forte entre les valeurs NDVI et le rendement, basée sur le calcul du coefficient de corrélation de Pearson et l'analyse de régression (figure 10A). Par contre, au site argileux d'Ottawa, on a noté au stade de 20 % de floraison une corrélation négative entre le rendement et les mesures du GreenSeeker, probablement due au fait que les plants des parcelles sans application d'engrais soufré (0S) qui ont reçu 160 ou 240 kg d'azote ha⁻¹ étaient très en retard dans leur développement, avec des rendements très inférieurs à ceux des plants exposés aux autres traitements.

En 2020, seul le site argileux d'Ottawa a montré une forte corrélation positive entre le rendement et les mesures du GreenSeeker au stade de 20 % de floraison. On n'a noté aucune corrélation au site sableux d'Ottawa parce que les rendements étaient si faibles et ne montraient aucune différence notable entre les traitements azotés.

Mesures de la teneur en chlorophylle des feuilles (lecteur SPAD)

La chlorophylle des feuilles a été mesurée avec le lecteur foliaire SPAD-502 aux sites d'Ottawa et de McGill. Les lectures ont eu lieu du stade de 4 feuilles au stade de 20 % de floraison. À tous les stades de croissance, le lecteur SPAD pouvait détecter les différences de teneur en chlorophylle des feuilles, les valeurs augmentant considérablement avec les taux d'application d'azote avant les semis.

En 2019, l'analyse de corrélation de Pearson et l'analyse de régression ont montré une très forte corrélation positive entre les mesures SPAD et les rendements finals aux sites d'Ottawa et de McGill. En 2020, seul le site de McGill a montré une corrélation positive entre les mesures SPAD et le rendement.

Accumulation d'azote dans les plantes (kg ha⁻¹)

L'accumulation d'azote (kg ha⁻¹) dans les plants au stade de 4 feuilles, au début de la floraison et dans la paille et les graines à maturité a considérablement augmenté avec l'accroissement des taux d'engrais azoté appliqués aux 4 sites en 2019 et 2020 : la matière végétale à tous les stades de croissance a accumulé la plus grande quantité d'azote au taux d'engrais de 240 kg d'azote ha⁻¹. L'accumulation d'azote dans la matière végétale a augmenté également depuis le stade de 4 feuilles jusqu'à la maturité. En 2019, l'accumulation d'azote à la maturité était plus importante dans les graines que dans la paille aux 4 sites. En 2020, par contre, l'accumulation d'azote était plus élevée dans la paille que dans les graines aux deux sites d'Ottawa.

Si on compare l'accumulation d'azote dans les plants au début de la floraison et dans les plants à maturité, on remarque que la majeure partie de l'azote accumulé dans les plants était utilisée par la floraison. Par exemple, en 2019, au site sableux d'Ottawa, les plants avaient accumulé 135 kg ha⁻¹ d'azote à 20 % de la floraison et 140 kg ha⁻¹ d'azote total à la maturité.

Pour 13 des 40 résultats par stade de croissance par site par an, on note que l'accumulation de soufre a augmenté avec l'accroissement des taux d'engrais azoté. En 2019, au site argileux d'Ottawa, les parcelles 0N présentaient l'accumulation de soufre la plus faible, mais que l'accumulation de soufre diminuait des parcelles 80N aux parcelles 240N. Cette même année, au site sableux de McGill, l'accumulation de soufre a diminué notablement quand on a accru les taux d'engrais azoté à tous les stades de croissance.

En 2020, aux sites sableux et argileux d'Ottawa, l'accumulation d'azote dans les graines était la plus faible, ce qui correspond aux rendements les plus bas de tous les sites-année enregistrés.

Ratios azote:soufre (N:S)

Toutes les cultures ont besoin d'azote et de soufre pour leurs protéines. Les besoins relatifs de soufre et d'azote varient fortement et le ratio N:S dans le produit récolté peut être important. Dans les plants de canola, le ratio N:S optimal est voisin de 6:1, car le canola a des besoins en soufre plus élevés que d'autres cultures.

Les ratios N:S augmentaient considérablement avec l'accroissement des taux d'engrais azoté. Dans cette étude, le ratio N:S final dans les graines variait de 8:1 (site sableux d'Ottawa, 2020) à 15:1 (site sableux d'Ottawa, 2019). Ces ratios indiquent la possibilité d'une insuffisance de soufre ou d'un excédent d'azote. Une culture qui ne trouve pas un équilibre adéquat entre les apports de tous les nutriments dont elle a besoin n'atteindra pas son plein potentiel.

On a noté que le ratio N:S des plants variait largement, dépendant des différents environnements (sites-années). Il est non seulement affecté par les apports de nutriments, mais il dépend aussi des stades de croissance et des tissus végétaux. La relation étroite entre le ratio N:S et le rendement final montre qu'il existe un ratio N:S critique, c'est-à-dire des apports équilibrés d'azote et de soufre, pour réaliser le potentiel de rendement. L'identification de ce ratio optimal nécessite des essais sur plusieurs sites-années.

Quota de remobilisation de l'azote (NRQ) et absorption d'azote après la floraison (PNaU)

Dans tous les sites, à l'exception du site argileux d'Ottawa en 2020, le quota de remobilisation de l'azote (ou l'accumulation d'azote avant la floraison) (NRQ, en kg ha^{-1}) a augmenté considérablement avec l'accroissement des taux d'engrais azoté, tandis que l'absorption d'azote après la floraison (PNaU, en kg ha^{-1}) a diminué considérablement. Dans chaque site, à chaque taux d'application d'azote, l'accumulation d'azote avant la floraison était supérieure à 0, ce qui signifie que les ressources en azote du canola avant la floraison étaient suffisantes pour couvrir les besoins des graines en croissance pendant la période de remplissage.

Ce n'est que dans les parcelles ayant reçu un taux d'azote nul ou faible (80 kg ha^{-1} d'engrais azoté) qu'il s'est produit une absorption de l'azote du sol après la floraison (PNaU) pour le développement des graines. Cependant, dans les parcelles ayant reçu 160 et 240 kg ha^{-1} , les plantes n'ont pas absorbé d'azote supplémentaire du sol après la floraison comme l'indique la valeur négative de la PNaU. Une valeur d'absorption négative après la floraison est un signe que le développement des graines ne nécessite pas d'azote supplémentaire, que la remobilisation de l'azote accumulé avant la floraison dans la matière végétale (feuilles et tige) est suffisante pour le développement des graines.

Le site argileux d'Ottawa en 2020 était différent. L'azote accumulé avant la floraison a diminué avec l'accroissement des engrais azotés et l'absorption d'azote du sol après la floraison a augmenté avec l'accroissement des engrais azotés. Aux taux d'engrais azoté de 160 et de 240 kg ha^{-1} , il n'y avait pas suffisamment d'azote accumulé avant la floraison dans la matière végétale pour soutenir le développement des graines (valeurs négatives), de sorte que la plus grande partie de l'azote destiné au développement des graines était extraite du sol après la floraison. Il se peut que, en cas de sécheresse intense doublée d'un stress

thermique au stade de la croissance végétative, ce qui limite la photosynthèse par le couvert végétal, l'apport de glucides ne soit pas suffisant pour permettre la croissance des racines. L'effet est alors de réduire la taille des racines, de limiter l'exploration de la zone racinaire et donc d'entraîner une réduction de l'accumulation d'azote dans les tissus végétaux avant la floraison. Lorsque la sécheresse s'atténue, la culture peut investir plus d'énergie dans les racines et relancer la ramification, entraînant une repousse non productive (figure 13), un indice de récolte plus faible et des rendements réduits. Cette possibilité nécessite une étude plus approfondie.



Figure 13. Photo montrant la repousse des plants de canola durant le stade de remplissage des siliques une fois le stress de sécheresse atténué par la pluie.

Accumulation du soufre dans les plants (kg ha^{-1})

En 2019 et 2020, l'accumulation de soufre (kg ha^{-1}) dans les plants a notablement augmenté avec l'accroissement des taux d'engrais sulfatés. Les plants ayant reçu $40 \text{ kg de soufre ha}^{-1}$ ont accumulé la plus grande quantité de soufre. Aux deux sites de McGill en 2019, les taux d'engrais soufré n'ont pas eu d'effet notable sur l'accumulation de soufre dans la matière végétale.

L'accumulation de soufre dans les plants a augmenté depuis le stade de 4 feuilles jusqu'au stade de 20% de floraison. Dans la plupart des cas, il y avait plus de soufre accumulé dans la paille que dans les graines. Le ratio N:S de la paille était donc souvent plus petit que celui des graines. Il en résulte qu'au stade post-floraison, le taux de remobilisation du soufre de la matière végétale vers les graines est beaucoup plus faible que celui de la remobilisation de l'azote. Dans la plupart des sites, la moitié au moins du soufre des plants arrivés à maturité s'est accumulée lors de la floraison.

Quota de remobilisation du soufre (SRQ) et absorption du soufre après la floraison (PSaU)

Le quota de remobilisation du soufre (SRQ) avant la floraison et l'absorption du soufre après la floraison (PSaU) étaient très différents suivant le site-année. Au site sableux d'Ottawa en 2019, l'accumulation de soufre avant la floraison (SRQ) a augmenté considérablement avec l'accroissement des taux d'engrais soufré.

L'accumulation de soufre à chaque taux était supérieure à 0, c'est-à-dire que les ressources en soufre dans les tissus végétaux du canola avant la floraison étaient suffisantes pour les besoins des graines en croissance pendant la période de remplissage. Les plants n'avaient pas besoin d'absorber du soufre après la floraison à aucun taux d'engrais soufré, comme l'indiquent les valeurs négatives d'absorption du soufre.

Au site argileux d'Ottawa en 2019, le quota de remobilisation du soufre avant la floraison (SRQ) était négatif dans les parcelles sans ajout de soufre, obligeant les plants à extraire plus de soufre du sol pour le développement des graines. Dans les parcelles ayant reçu un engrais sulfaté, il y avait suffisamment de soufre accumulé dans la matière végétale pour le développement des graines (valeurs positives du SRQ), de sorte que très peu de soufre devait être extrait du sol pendant la période de remplissage des graines. En fait, dans les parcelles ayant reçu 40 kg de soufre ha⁻¹, l'extraction du soufre du sol cessait après la floraison. Dans ce site en 2020, l'accumulation de soufre (SRQ) dans la matière végétale a également augmenté avec les taux d'engrais soufré. Toutefois, l'accumulation de soufre dans la matière végétale avant la floraison des plants des parcelles n'ayant pas reçu d'engrais soufré n'était pas suffisante pour couvrir les besoins des graines en croissance pendant la période de remplissage des graines. Les plantes devaient donc prélever du soufre dans le sol au cours de cette période. Les plants de ces mêmes parcelles prélevaient plus de soufre du sol après la floraison pour le développement des graines. Dans le cas des parcelles ayant reçu 40 kg de soufre ha⁻¹, les plantes n'avaient pas besoin de soufre supplémentaire après la floraison pendant la période de remplissage des graines.

Pour les sites de McGill en 2019 et les sites d'Ottawa en 2020, les valeurs d'accumulation du soufre avant la floraison étaient toutes négatives pour chaque taux d'engrais soufré, la valeur la plus négative concernant les parcelles ayant reçu 40 kg de soufre ha⁻¹. L'accumulation de soufre dans la matière végétale avant la floraison ne permettait donc pas d'assurer la croissance des graines, de sorte que les plants devaient extraire le soufre du sol. Les plants continuaient d'extraire du soufre du sol après la floraison, l'extraction de soufre étant la plus importante dans les parcelles ayant reçu 30 ou 40 kg de soufre ha⁻¹. Il y a plusieurs raisons pour expliquer les quotas négatifs de remobilisation du soufre. Il se peut que les conditions météorologiques aient empêché les plants d'utiliser les sulfates, en raison du lessivage du sol (comme en 2019) ou des températures extrêmement chaudes en l'absence de pluie (en 2020).

Corrélation entre l'accumulation des nutriments, le rendement et l'indice NDVI

L'azote total des plants à la floraison, dans la paille et dans les graines et l'azote total des plants à la maturité étaient tous positivement corrélés avec le rendement. Il y a aussi une forte corrélation positive entre le quota de remobilisation de l'azote et le rendement dans certains sites. Il n'y a pas de corrélation avec le rendement et l'absorption d'azote après la floraison.

Il y avait une forte corrélation positive entre l'accumulation totale de soufre dans les graines et dans les plants à maturité et le rendement. Mais, en général, il ne semblait pas y avoir de corrélation entre le rendement et l'accumulation de soufre avant la floraison ou l'absorption de soufre après la floraison.

Il y avait une forte corrélation positive entre l'indice NDVI et l'azote total des plantes (kg ha^{-1}), depuis le stade de 4-feuilles jusqu'au stade de 20 % de floraison. Cette observation est également vraie pour la valeur SPAD, mais la forte corrélation positive commence souvent plus tard, au stade de la rosette.

Il n'y avait pas de corrélation notable constante, positive ou négative, entre les mesures SPAD ou NDVI et l'accumulation totale de soufre dans des plants (kg ha^{-1}).

Progression en 2021:



Malgré les graves sécheresses qui se sont produites pendant la plus grande partie de la période de croissance végétative, les résultats des essais en plein champ du canola en 2021 (photo) apparaissent bien meilleurs qu'en 2020 et on s'attend à de bons rendements.

Impact environnemental et économique du canola en rotation avec la pomme de terre dans l'Est du Canada

Investigateur principal : Aaron Mills, AAC-Charlottetown

Lors de son précédent projet de systèmes culturaux, ECODA a évalué 10 rotations différentes approuvées par des collaborateurs du secteur. Ces rotations couvraient une période de trois ans et ont fourni des données sur les effets de la présence de canola, de soya et de maïs en rotation avec la pomme de terre. Le projet a aussi produit des données sur l'influence de la diversité des cultures dans chacun des systèmes culturaux. Les résultats du projet précédent montrent que la plantation séquentielle de soya et de canola s'accompagne du

pourcentage de rejets de pommes de terre le plus élevé de toutes les rotations. La rotation maïs/canola a donné les rendements de pomme de terre les plus élevés globalement. Nous avons recueilli des données limitées sur les nutriments et l'état des sols, en particulier sur la dynamique des populations de nématodes et sur les profils d'AGPL (acides gras phospholipidiques). Ces mesures montrent que le nombre des mycorhizes est plus élevé dans les rotations contenant des fourrages, des mélanges fourragers et des grains; que le nombre des nématodes parasites des plantes est légèrement plus élevé dans la rotation maïs/canola et est minimum dans la rotation maïs-soya, si on considère la moyenne sur trois ans. Examinées année par année, certaines rotations (canola-canola, orge-fourrage et canola-blé) s'accompagnent d'une augmentation du nombre des nématodes parasites des plantes, mais il ne semble pas y avoir de corrélation négative avec le rendement de la pomme de terre.

L'étude actuelle des systèmes culturaux évalue différentes pratiques de régie des cultures capables d'améliorer tant la viabilité des rotations de pomme de terre que leur rentabilité, avec les objectifs suivants :

1. Agronomie : Compatibilité de la culture de couverture pour chaque système cultural; effets du labour d'automne comparé à la culture de couverture d'hiver; composants du rendement et données agronomiques de toutes les cultures dans toutes les rotations; effets des maladies sur toutes les cultures, y compris la pomme de terre
2. Gestion des nutriments : Crédits d'azote des différentes cultures de couverture; efficacité d'utilisation de l'azote; activités des enzymes du sol associées au cyclage de C, N et P
3. Santé du sol : Ratio des nutriments dans le sol entier et biomasse microbienne; stabilité des agrégats du sol et matière organique particulière pendant la phase de pomme de terre; effets des brassicacées sur la colonisation mycorhizienne des cultures subséquentes; évaluation de l'application d'inoculants mycorhiziens pour améliorer le rendement et la qualité des pommes de terre.

Cette stratégie d'étude de systèmes culturaux a recours aux sursemis et aux sous-semis pour fournir des cultures de couverture en hiver, afin de réduire l'érosion et la lixiviation de l'azote durant l'hiver. Par conséquent, pour mener deux études en parallèle, une moitié de chaque parcelle était labourée à l'automne en laissant le sol exposé et l'autre moitié était labourée au printemps. Le projet appartenant au cycle de financement précédent, 2017 et 2018 étaient les deux premières années de la rotation de trois ans de la pomme de terre. La saison de croissance 2019 était la phase de la pomme de terre, tandis que 2020 revenait à l'évaluation des cultures en rotation (Figure 1).

Rotation	2017		2018		2019	2020		2021		2022
	Culture principale	Couverture	Culture principale	Couverture	Culture principale	Culture principale	Couverture	Culture principale	Couverture	Culture principale
1	orge	trèfle rouge u/s	trèfle rouge	trèfle rouge	pomme de terre	orge	trèfle rouge u/s	trèfle rouge	trèfle rouge	pomme de terre
2	canola/pois	blé d'hiver	blé d'hiver	trèfle rouge	pomme de terre	canola/pois	blé d'hiver	blé d'hiver	trèfle rouge	pomme de terre
3	soya	ivraie o/s	maïs	ivraie o/s	pomme de terre	soya	ivraie o/s	maïs	ivraie o/s	pomme de terre
4	canola	seigle	pois	seigle	pomme de terre	canola	seigle	pois	seigle	pomme de terre
5	canola	trèfle rouge	maïs	ivraie o/s	pomme de terre	canola	trèfle rouge	maïs	ivraie o/s	pomme de terre
6	soya	moutarde	maïs	ivraie o/s	pomme de terre	soya	moutarde	maïs	ivraie o/s	pomme de terre
7	pois	seigle	canola	seigle	pomme de terre	pois	seigle	canola	seigle	pomme de terre
8	maïs	ivraie o/s	canola	seigle	pomme de terre	maïs	ivraie o/s	canola	seigle	pomme de terre
9	canola	blé d'hiver	blé d'hiver	trèfle rouge o/s	pomme de terre	canola	blé d'hiver	blé d'hiver	trèfle rouge o/s	pomme de terre
10	pois	blé d'hiver	blé d'hiver	trèfle rouge o/s	pomme de terre	pois	blé d'hiver	blé d'hiver	trèfle rouge o/s	pomme de terre

o/s = sursemis
u/s = sous-semis

Figure 1 : Systèmes culturaux mis en œuvre dans la présente étude.

En 2020, le projet a été classé comme activité de phase 1 relativement aux restrictions d'accès de l'AAC dues à la COVID-19. L'équipe de recherche a donc pu faire planter cette expérience pour la saison de croissance 2020. En raison de difficultés d'établissement et de survie du maïs lors des années précédentes, les parcelles de maïs ont été remplacées par d'autres cultures en rotation. Les semis ont été légèrement retardés, car la plupart du travail de préparation normalement effectué en avril a été repoussé en raison des restrictions d'accès aux laboratoires. Dans certains cas, les semences étaient pesées dans le champ immédiatement avant les semis. Nous avons pu continuer d'échantillonner régulièrement les sols et les tissus végétaux, sans toutefois pouvoir échantillonner la biomasse, les mycorhizes ni les nutriments des sols. Le traitement de l'arriéré des échantillons 2019 des populations de nématodes du sol et des profils d'acides gras phospholipidiques (AGPL) est en cours, en même temps que les échantillons 2020. On a procédé au labour d'automne dans toutes les parcelles, au lieu des demi-parcelles prévues. Ce point sera éclairci lors de l'analyse globale des données à la fin du projet. Étant donné que 2020 était une année de sécheresse, avec la majeure partie du mois de juillet extrêmement sec, les rendements pour cette activité devraient être très faibles par rapport aux années précédentes.

Résultats à ce jour:

Fin de la 1^{ère} phase

La fin de la première phase est marquée par l'achèvement de la campagne 2019 des pommes de terre. Toutes les données ont été recueillies durant la campagne. Il reste à calculer les gravités spécifiques et à évaluer les taupins (vers fil de fer). Les données agronomiques sont actuellement analysées et les résultats seront utilisés pour l'analyse coûts-bénéfices.

Début de la 2^e phase

L'année 2020 a marqué le début de la deuxième série de rotations de 3 ans au site d'AAC dans l'Î.-P.-É. Malgré un démarrage tardif et des problèmes importants dus aux restrictions liées à la COVID-19, toutes les parcelles ont été ensemencées et récoltées et les données recueillies. L'accès tardif aux champs en raison des restrictions liées à la COVID-19 a entraîné une légère baisse de la vigueur des cultures et des rendements

potentiellement plus faibles cette année. Les données seront traitées en conséquence lors de l'analyse globale. Tous les rendements devraient être inférieurs en 2020 en raison de la plantation tardive.

La division des parcelles relativement au labour d'automne n'a pas eu lieu pour toutes les parcelles, car la première phase de l'expérience a clairement montré que le labour d'automne s'accompagnait d'un avantage de rendement sur le labour de printemps avant de planter les pommes de terre. Bien que les rendements aient été plus élevés, cette option n'est pas la plus durable. La division des « labours » dans le plan de recherche sera maintenue pendant toute la durée de l'expérience, afin de mesurer les effets hérités des labours d'automne précédents sur les cultures ultérieures.

Progression en 2021 :

Les essais en plein champ de 2021 se poursuivent tels que planifiés, avec l'établissement d'un deuxième ensemble de cultures en rotation, qui sera suivi par la récolte finale de pomme de terre en 2022.

RAPPORT SUR LE SOYA

Cinq projets de recherche sur le soya sont en cours dans le cadre du programme actuel PCA d'ECODA, en collaboration avec Sevita Genetics. Trois de ces projets, menés par des chercheurs de Sevita, visent à développer des variétés de soya commercialement viables, à identité préservée (IP) et non GM. Les deux autres projets sont menés par des chercheurs de l'AAC, Malcolm Morrison et Elroy Cober, à la station de recherche d'Ottawa. Noter que pour protéger l'IP en cours de création, aucune donnée n'est publiée.

Empilage de gènes ciblés pour créer un soya à grand rendement et à composition d'huile de grande valeur, riche en acide oléique et pauvre en acides linoléique et palmitique

Investigateur principal : Sevita Genetics / Sevita International

Le développement d'une lignée de soya riche en acide oléique et pauvre en acides linoléique et palmitique, favorisera la croissance économique du secteur canadien du soya en diversifiant les produits destinés au marché mondial. Ce soya de spécialité profitera en outre au Canada et à la communauté internationale grâce à l'empilage de caractères ciblés qui aideront à minimiser l'impact environnemental en réduisant les intrants. De plus, le développement d'une huile de soya utilisée dans les systèmes industriels aidera à compenser l'épuisement des combustibles fossiles dans le monde. Toutes les nations donnent la priorité à l'approvisionnement de la population mondiale en aliments sains. Un soya non transgénique, capable de fournir des rendements similaires à ceux des plantes transgéniques et doté de caractéristiques améliorées, adaptées à l'utilisateur augmentera la confiance du public envers les produits du soya canadiens. Alors que les règlements adoptés et les droits perçus dans le monde deviennent de plus en plus restrictifs, les innovations de Sevita International et d'ECODA se spécialisant dans un soya non GM donneront au Canada un avantage concurrentiel sur le marché mondial.

Utilisation de la population de mutants pour créer une lignée riche en méthionine et en lysine

Investigateur principal : Sevita Genetics / Sevita International

Le soya est une source de méthionine (Met) et de lysine (Lys) et l'une des sources les plus importantes de protéines complètes dans le monde pour la consommation humaine et animale (Mariashibu et al., 2013). L'identification et le développement d'un soya ayant une teneur élevée en acides aminés essentiels seraient

bénéfiques sur le plan économique et aideraient à répondre à certaines préoccupations humanitaires (Galili et Amir. 2013). D'après le rapport de 2016 de l'Alliance canadienne pour la recherche sur les grandes cultures, la découverte d'une lignée de soya comportant une quantité accrue de protéines de haute qualité est l'une des 10 grandes priorités de la recherche.

À ce jour, une combinaison de la sélection traditionnelle par mutation, du génie génétique, de la sélection assistée par marqueurs et de l'analyse génomique a permis d'améliorer la qualité des protéines et la composition des graines, en particulier des graines de soya (Wenefride, I et al 2013). Sevita International, en association avec ECODA, travaille à l'utilisation des mutants existants et des techniques développées précédemment pour identifier et développer une lignée de soya non génétiquement modifiée (non GM) avec une teneur élevée en méthionine (Met) et en lysine (Lys). Grâce au développement de technologies de pointe et à une approche novatrice, les cultivateurs canadiens disposeront à l'avenir d'un autre soya non GM ayant une qualité nutritive améliorée. Cela leur ouvrira de nouveaux marchés (nationaux et internationaux) et stimulera la croissance économique pour l'ensemble de la chaîne de valeur. La diversification des variétés cultivées aidera également à atténuer les risques agronomiques et économiques pour les cultivateurs.

Galili G and Amir R. 2013. Fortifying plants with essential amino acids lysine and methionine to improve nutritional quality. *Plant Biotechnol J*, 11:211-222 doi:10.1111/pbi-12025

Mariashibu T.S, Anbazhagan V.R, Jiang S, Ganapathi A and Ramachandran S. 2013. In vitro Regeneration and Genetic Transformation of Soybean: Current Status and Future Prospects, A Comprehensive Survey of International Soybean Research - Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships, Prof. James Board (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/54268.

Wenefrida J, Utomo HS, and Linscombe SD .2013. Mutational breeding and genetic engineering in the development of high grain protein content. *J Agric Food Chem*. 2013. 61(48):11702-10. doi: 10.1021/jf4016812.

Empilage de gènes ciblés pour créer une lignée productive de soya riche en protéines pour l'alimentation aquacole

L'aquaculture est une industrie de plusieurs milliards de dollars au Canada, les provinces de l'Atlantique contribuant plus de 50 % de la production aquacole totale du Canada. Comme pour tout système de production animale, l'alimentation représente le coût d'exploitation le plus important de tout système de production aquacole. La farine de poisson, source traditionnelle de protéines et de lipides pour les systèmes aquacoles, est progressivement remplacée en raison de ses prix exorbitants et des difficultés d'approvisionnement. Pour réduire les coûts de production, les producteurs d'aliments aquacoles remplacent la farine et l'huile de poisson par des produits à base de plantes et beaucoup utilisent le tourteau de soya comme source de protéines et d'huile de haute qualité (Newkirk, 2010). Le tourteau de soya est une source renouvelable de protéines de qualité et remplace entre le tiers et la moitié de la quantité de farine de poisson utilisée dans la ration alimentaire aquacole, réduisant ainsi la pression de la pêche sur les stocks de poissons sauvages dans le monde (United Soybean Board, 2017).

À l'heure actuelle, tous les ingrédients des aliments pour saumon produits et vendus dans l'UE doivent être totalement libres d'OGM. Il peut être difficile de trouver une source de tourteaux de soya et de concentré de protéines de soya non GM de bonne qualité. La plus grande partie des ingrédients est importée du Brésil.

Disposer d'une source fiable de tourteaux et de concentré de protéines de soya non GM de haute qualité serait très attrayant pour le marché.

Les principaux facteurs antinutritionnels qui sont inhérents au soya et qui limitent son utilisation dans les aliments aquacoles sont la lipo-oxygénase, la stachyose, les phytates, la trypsine et les saponines. Il est possible de remédier à ces inconvénients particuliers des aliments à base de soya en recourant aux nouvelles techniques de sélection végétale sans OGM. L'objectif de la recherche est d'incorporer des protéines riches en acides aminés et de minimiser les facteurs antinutritionnels pour le marché des aliments aquacoles.

Newkirk, R.2010. Soybean: Feed Industry Guide 1st ed. Canadian International Grains Institute. Pp 36-39 <https://cigi.ca/wp-content/uploads/2011/12/2010-soybean-feed-industry-guide.pdf>

United Soybean Board.2018. Approval of aquaculture feed could increase demand for soybean meal. <https://unitedsoybean.org/article/approval-of-aqua-feed-could-increase-demand-soybean-meal> accessed: February 2018

Sélection de variétés de soya pour leur tolérance au stress hydrique et pour la fixation prolongée de l'azote de l'air sous stress hydrique

Le stress hydrique est la principale contrainte abiotique limitant les rendements stables élevés dans l'Est du Canada (Sinclair et al., 2007). Au cours des 16 années qui se sont écoulées depuis le début du siècle, la région a connu 6 étés plus secs que la moyenne établie sur une longue période. C'est une année sur trois sous stress hydrique. Le stress hydrique réduit le rendement du soya pendant les périodes sensibles comme la floraison (Morrison et al., 2006). Les phyto-généticiens ne peuvent pas compter sur des conditions sèches chaque année, il est donc nécessaire d'identifier des lignées à haut rendement dans des conditions sèches et des conditions normales. Une méthode consiste à fournir chaque jour de l'eau aux plants cultivés en plein champ et à comparer leur rendement aux mêmes plants poussant à proximité qui ne reçoivent que la pluie (Lakshmi et al., 2009). C'est ce qu'on appelle le concept du « delta rendement », parce qu'il est basé sur la différence entre le rendement des plants bien arrosés et le rendement des plants arrosés naturellement. Le cultivar dont le delta rendement est le plus faible est le plus tolérant au stress hydrique, mais sans présenter de baisse de rendement en l'absence de sécheresse. Cette méthode a été utilisée aux États-Unis pour développer un hybride de maïs utilisant efficacement l'eau, dont le rendement est 7,4 % plus élevé en cas de stress hydrique et 3,4 % plus élevé en situation normale.

Lakshmi P. et al. 2009. Plant Cell Physiol. 50:1260-1276

Morrison M.J. et al. 2006. Can. J. Plant Sci. 86:1327-1331

Sinclair T.R. et al. 2007. Field Crops Res. 101:68-71.

Incorporation d'un tégument de graine robuste, d'une bonne germination et de racines de bonne qualité dans le soya alimentaire

Les processus de germination et de fermentation du soya ont des avantages pour la santé en raison des protéines et des teneurs accrues en phytostérols et en tocophérols (Shi et al 2010). Par conséquent, si on

ajoute à la croissance de la population des pays asiatiques grande consommatrice de soya, l'accent mis sur une alimentation saine et durable et la fusion des cultures dans le monde, les aliments à base de soya, comme le natto et les germes de soya, ne peuvent que gagner en popularité. Face à l'accroissement de la demande de soya de qualité alimentaire, il est donc essentiel d'améliorer les cultivars de soya capables de produire efficacement des aliments à base de soya de qualité (Murugkar, 2014).

L'objectif de ces travaux est de développer un soya à petites graines pour les marchés spécialisés, comme le natto au Japon et les pousses de soya en Corée. Les deux spécialités comprennent le trempage des graines durant la production. L'absorption d'eau peut jouer un rôle dans la qualité des produits. Les caractéristiques du tégument des graines seront étudiés dans le cadre du processus de trempage.

Murugkar, D.A. 2014. Effect of sprouting of soybean on chemical composition and quality of soymilk and tofu. *J.Food Sci Technol* 51(5):915-921.

Shi H., Nam P.K., Ma Y. 2010. Comprehensive profiling of Isoflavones, Phytosterols, Tocopherols, Minerals, Crude Protein, Lipid, and Sugar During Soybean (*Glycine max*) Germination. *J Agric Food Chem* 58:4970-6. DOI: 10.1021/jf100335j.

RAPPORT SUR LES CULTURES NOUVELLES

Amélioration des profits et de la viabilité des rotations de pomme de terre en utilisant la moutarde brune (*Brassica juncea*) pour promouvoir la santé du sol et produire des graines destinées à l'exportation

Investigateurs principaux : David Bell, Bell Crop Services (N.-B.) et Steven Watts, Genesis Crop Services (Î.-P.-É.) / Dr. Aaron Mills AAC Charlottetown (Î.-P.-É)

Du fait de la prolifération rapide du taupin (ver fil de fer) comme ravageur d'importance économique des pommes de terre et de l'augmentation de la prévalence du syndrome de mort précoce (EDC) de la pomme de terre, les producteurs s'intéressent de plus en plus à l'utilisation des plantes biofumigantes dans le système de production de la pomme de terre. La superficie plantée en moutarde brune (*Brassica juncea*) est en très forte augmentation, les producteurs tentant de tirer parti des propriétés biofumigantes de cette plante. Certaines études ont montré que la biofumigation était également une méthode efficace de lutte contre les ravageurs. Toutefois, les semences de moutarde brune sont coûteuses et la conduite spécifique de cette culture en tant que biofumigante peut nuire à la structure du sol. Ainsi, si la moutarde brune est utilisée comme biofumigant,

le travail secondaire et tertiaire d'incorporation des plants dans le sol nécessite des passages supplémentaires dans le champ, ce qui produit des perturbations physiques qui n'auraient pas lieu normalement. Le but de ce projet est de déterminer s'il est possible d'obtenir les effets biofumigants de la moutarde brune si la plante est régie autrement que par un labour secondaire. Entre autres possibilités, citons l'utilisation de la faucheuse à fléau ou même la récolte des graines de moutarde comme culture commerciale.

Le but de ce projet est de mesurer la diminution des dégâts causés par le taupin dans les pommes de terre et de calculer le rendement global par acre après l'établissement de la moutarde brune (*Brassica Juncea*) pour la récolte des graines comparée à son incorporation dans le sol dans le cadre d'une rotation avec la pomme de terre dans l'Est du Canada.

Cette étude sera menée dans des sites privés de cultivateurs coopérateurs et dans un site de la ferme expérimentale de Harrington par des chercheurs de l'AAC (Dr Mills).

À chaque saison des années 1 à 4 du projet, des champs sont choisis pour y établir des bandes de culture de moutarde brune. Tous les champs choisis sont cultivés dans une rotation avec la pomme de terre, après une culture de céréales, d'oléagineux ou de fourrage, pour l'établissement avec la moutarde (*B. Juncea*), suivie de la pomme de terre. Trois parcelles (bandes) de dimensions approximativement égales sont établies dans chaque champ pour comparer : 1) la moutarde parvenue à maturité pour la récolte des graines, 2) la moutarde incorporée au maximum du stade de la floraison, avant le développement complet des graines, et 3) un traitement témoin de céréales de printemps. Toutes les parcelles et toutes les sections sont identifiées et repérées par leurs coordonnées GPS pour permettre leur identification exacte l'année suivante lors de l'étude de la qualité des pommes de terre.

Cet essai a été fortement handicapé par l'incapacité des chercheurs à trouver des cultivateurs coopérateurs adéquats. Il s'est avéré difficile, dans les conditions économiques et environnementales actuelles, de convaincre des producteurs de réserver des terres et du temps pour la recherche, alors que les conditions météorologiques extrêmes amenuisaient leurs revenus annuels et que la pandémie mondiale, tout en stimulant la demande locale, réduisait la capacité d'embauche de travailleurs pour mener les activités quotidiennes et répondre à la demande. La première année, 2018, certains sites en plein champ ont pu être établis, sans beaucoup de résultats. Pour la saison 1, des sites de moutarde ont été établis en trois endroits de l'Î.-P.-É. et en un endroit du Nouveau-Brunswick. Tous les champs choisis étaient cultivés en rotation avec la pomme de terre, après une culture de céréales, d'oléagineux ou de fourrage pour l'établissement avec la moutarde (*B. juncea*), suivie de la pomme de terre. En 2019, aucun site n'a pu être établi avec succès pour la saison 1 dans l'Île-du-Prince-Édouard en raison du manque de producteurs participants et de la mauvaise régie des parcelles par les producteurs. Par contre, 2 sites ont été établis au Nouveau-Brunswick. Toutes les évaluations de la saison 2 (pomme de terre) ont été achevées en 2019. L'année 2020 a vu un changement dans la gestion de ces essais, les sites des producteurs de l'Île-du-Prince-Édouard étant supervisés par Steven Watts et son équipe de Genesis Crop Services. En 2019, les sites du Nouveau-Brunswick ont été confiés à David Bell, de Bell Crop Services, qui continue de superviser les essais et de rendre compte.

Résultats à ce jour :

Rapport sur les sites du N.-B. – Bell Crop Services

Riverview Farms

Des parcelles de moutarde et des parcelles témoins y ont été établies, cartographiées et entretenues en 2019. Les cultures comprenaient : maïs, ivraie, moutarde hachée et incorporée et moutarde récoltée puis incorporée. Des pommes de terre y ont été plantées en 2020 et ont fait l'objet d'une étude agronomique. Le plan du projet prévoyait que le collaborateur, McCain Foods Ltd, procéderait à la récolte des parcelles, au calcul des rendements et à l'analyse des données qualitatives.

Des échantillons de sol, prélevés le 22 mai avant de planter les pommes de terre, ont été envoyés au laboratoire du *PEI Potato Quality Institute* et les résultats communiqués le 17 juin. Il n'y avait pas de différence significative entre les traitements dans les évaluations des *Verticillium* (champignons), le nombre des nématodes des lésions racinaires (NLR) était significativement moins élevé dans les parcelles de moutarde incorporée que dans toutes les autres parcelles et le seigle s'est révélé la deuxième meilleure méthode de lutte. Le traitement au maïs était associé aux populations de NLR les plus importantes.

Tableau 1 : Résumé des mesures d'essai de sol pour le site de Riverview – printemps 2020, *ECODA N.-B. 2020*

Site de recherche - traitement	<i>V. dahliae</i> *	<i>V. albo-atrum</i> *	Nématodes des lésions racinaires (NLR)
Riverview – moutarde-récolte	2,5	0,75	19 301
Riverview - moutarde incorporée	2,5	0,5	5842
Riverview - seigle – témoin	2,5	0,75	8650
Riverview - maïs – témoin	2,6	0,87	22 259

*score moyen 1 à 3

Une fois la pomme de terre établie, les champs étaient visités régulièrement pendant la saison de croissance. On a constaté que des parcelles précédemment dans une rotation de maïs semblaient les plus saines (couvert vert complet), suivies par l'ivraie, puis la moutarde récoltée et incorporée. Le couvert dont l'aspect était le moins sain était celui de la moutarde hachée au milieu de l'été et incorporée. Le manque de précipitations a causé une maturation des traitements plus précoce que la normale.

Le producteur participant a récolté le champ d'essai avant l'échantillonnage des bandes de 10 pieds, de sorte que l'analyse de qualité n'a pas pu avoir lieu. Heureusement, le producteur a accès aux données de rendement de la récolteuse de pommes de terre, ce qui a permis d'extrapoler les rendements totaux pour tous les traitements, sauf pour la parcelle de maïs. Les données de rendement disponibles n'ont révélé aucune différence notable de rendement entre les traitements.

Tableau 2 : Résumé des rendements de pomme de terre au site Riverview en 2020 – *ECODA N.-B. 2020*

Site de recherche - traitement	Rendement (quintal/acre)
Riverview – moutarde-récolte	239
Riverview - moutarde incorporée	240
Riverview - seigle - témoin	235

Brennan Farms

Des parcelles de moutarde et des parcelles témoins ont été établies, cartographiées et entretenues en 2019. Ces cultures comprenaient : semis d'orge combiné au trèfle rouge, caméline, moutarde hachée et incorporée, moutarde récoltée puis incorporée. Des pommes de terre plantées en 2020 dans les mêmes sites ont fait l'objet d'une étude agronomique. Le collaborateur du projet, McCain Foods Ltd., a procédé à la récolte des parcelles, au calcul des rendements et à l'analyse des données qualitatives.

Des échantillons de sol, prélevés le 22 mai avant de planter les pommes de terre, ont été envoyés au laboratoire du *PEI Potato Quality Institute (PQI)* et les résultats communiqués le 17 juin.

Tableau 3 : Résumé des mesures d'essai de sol pour le site de Brennan, printemps 2020 - ECODA N.-B. 2020

Site de recherche - traitement	<i>V. dahliae</i> *	<i>V. albo-atrum</i> *	Nématodes de lésions racinaires (NLR)
Brennan – moutarde-récolte	2,3	1,2	6304
Brennan - moutarde incorporée	2,25	2,0	4843
Brennan - orge témoin	2,3	1,87	12 239
Brennan - caméline	2,1	0,8	10 354

*Score moyen 1 à 3

Il n'y avait pas de différence notable dans les évaluations de *V. dahliae* entre les traitements. Par contre, les évaluations de présence de *V. albo-atrum*, étaient nettement inférieures, avec une absence totale dans 2 des 4 parcelles échantillonnées. Le nombre des nématodes était notablement moins élevé dans les deux parcelles de moutarde par rapport à la parcelle d'orge témoin et à la parcelle de caméline.

Le champ Brennan où l'essai a eu lieu est situé dans un endroit généralement bien drainé et est considéré comme un champ sec même lorsque l'humidité est élevée. Cette saison de croissance a évolué en une période très sèche et les cultures de pommes de terre n'ont pas donné de bons résultats. Il était difficile de déterminer quel était le couvert le plus sain, mais les parcelles d'orge semblaient légèrement plus vertes que les parcelles de moutarde récoltée et incorporée ou que les parcelles de moutarde hachée au milieu de l'été et incorporée. Les peuplements de pommes de terre les plus pauvres étaient ceux qui avaient été plantés précédemment en caméline.

L'équipe de McCain Foods a récolté les pommes de terre des bandes d'échantillonnage de 10 pieds le 25 septembre. Elle a également procédé à une analyse de la qualité et au classement de tous les échantillons de pommes de terre, selon les normes de friture.

Tableau 4 : Résumé des rendements de pomme de terre au site Riverview 2020 - ECODA N.-B. 2020

Site de recherche – traitement	Plantes (nombre moyen)	Tubercules (nombre moyen)	Rendement total (quintal/acre)	Poids marchand (quintal/acre)	Valeur (\$/acre)
Brennan – moutarde-récolte	8	61	181,7	152	1562
Brennan - moutarde incorporée	7	70	176,3	131	1329
Brennan - orge - témoin	7	60	176,8	152	1618
Brennan - caméline	6	47	114	86,5	874

L'augmentation de rendement attendue de la réduction des Verticillium et des NLR ne s'est pas produite dans ce champ, mais les conditions excessivement sèches de la saison pourraient être un facteur plus important. Les rendements et la valeur marchande des parcelles de caméline étaient considérablement réduits par rapport à tous les autres traitements, indépendamment de l'impact environnemental.

Les traitements à la moutarde de l'année 1, parallèlement aux témoins du producteur, ont été établis en 2020 dans 3 nouveaux champs, qui seront plantés en pommes de terre au printemps 2021. Des parcelles ont été établies dans les exploitations de producteurs participants suivantes : Riverview Farms, Matt Brennan et Vince Kilfoil. Les exploitations Riverview Farms et Brennan Farm ont toutes deux établi les mêmes rotations de cultures qu'en 2020, mais dans des champs différents. L'exploitation Vince Kilfoil a ajouté un mélange multi-espèces à incorporer ainsi qu'une parcelle de chanvre pour 4 rotations différentes.



Figure 1 : Couvert de pommes de terre d'un traitement de moutarde incorporée - ECODA N.B. 2020



Figure 2 : Couvert de pommes de terre d'un traitement de moutarde-récolte - ECODA N.-B. 2020

Rapport des sites de l'Î.-P.-É. – Genesis Crop Systems Inc

Deux exploitations productrices de pommes de terre commerciales de l'Î.-P.-É. qui utilisent la moutarde brune (MB) dans leurs programmes de rotation des cultures ont accepté de participer au projet : l'exploitation Linden Lea (LL) Farms, à Meadowbank, et l'exploitation MWM Farms, à Middleton (2 sites). Les deux exploitations produisent des pommes de terre commerciales pour les industries de transformation de produits frais et/ou congelés et ont eu à affronter les dégâts causés par le taupin (WW) dans leurs récoltes de pommes de terre.

Le site LL comparait des bandes de MB plantées pour la biofumigation (BMbio), de bandes MB plantées pour la récolte des oléagineux (BMH) et des pois plantés pour la récolte des graines (P). Les sites MWM comportaient tous deux de la MB plantée comme ci-dessus, plus une bande d'orge plantée pour la récolte des graines (BH) et un hybride sorgho-Soudan (SSH) planté comme engrais vert incorporé. Des échantillons de sol ont été prélevés dans des zones identifiées par GPS pour chaque programme de culture dans les sites respectifs, après la plantation des cultures au début de juin à une profondeur de 8 po à l'aide d'une sonde pédologique (tarière hollandaise).

Les échantillons de sol ont été soumis au laboratoire d'analyse *PEI Analytical Laboratory* pour une analyse de sol S3 et au *PEI Potato Quality Institute* pour la quantification du nématode des lésions racinaires (NLR)

Pratylenchus penetrans, et des *Verticillium dahliae* et *albo-atrum* (flétrissure verticillienne VW), deux des principaux agents associés au complexe de mort hâtive (PED) de la pomme de terre.

Tous les champs ont fait l'objet d'une surveillance régulière pendant la saison de croissance. Lorsque la MB a atteint un stade approprié pour la biofumigation – développement précoce des gousses (figure 1), une bande sélectionnée a été coupée avec une faucheuse à fléau, immédiatement incorporée dans le sol et tassée avec le meilleur équipement de l'exploitation. Les figures 2 et 3 illustrent cette opération.



Figure 1 : Stade de la croissance de la MB immédiatement avant la biofumigation – ECODA Î.-P.-É. 2020



Figure 2 : Coupe de la MB par faucheuse à fléau - ECODA Î.-P.-É. 2020



Figure 3 : Incorporation de la MB fraîchement coupée et tassement - ECODA Î.-P.-É. 2020

Après la biofumigation, les bandes pouvaient rester en jachère pendant deux semaines au minimum. Une culture d'engrais vert était ensuite plantée pour protéger le sol pendant le reste de la saison de croissance (figure 4).



Figure 4 : Réensemencement d'une bande après biofumigation par la MB le 6 août - ECODA Î.-P.-É. 2020

Au delà de cette activité, les sites ont été soumis aux pratiques standards des cultivateurs et les récoltes rentrées une fois arrivée à maturité.

RÉSULTATS

Le tableau 1 ci-dessous contient les données d'analyse des sols au printemps. Noter que les données sur la flétrissure verticillienne (VW) dans les échantillons de sol du site MWM 2 ont été analysées par le Laboratoire des Services de certification agricole de Fredericton, au Nouveau-Brunswick. Ce laboratoire présente les résultats d'analyse sur la flétrissure verticillienne en nombre de cellules/gramme de sol, alors que le *Potato Quality Institute (PQI)* utilise une échelle de 0 à 4, où 0 = absence de flétrissure; 4 = concentration élevée d'ADN de *Verticillium*.

On a noté une certaine variation entre les valeurs obtenues à chaque site. Cela n'est pas inhabituel si on considère les résultats des études antérieures concernant les variations dans les champs de pommes de terre de l'Î.-P.-É.

Tableau 1 : Résumé des mesures des sols dans les sites MWM et LL au printemps 2020 - ECODA Î.-P.-É. 2020

<u>Site</u>	<u>MO</u>	<u>pH</u>	<u>NLR</u> <u>par kg de sol sec</u>	<u>VW</u> <u>Cellules/g de sol</u>	<u>VW</u> <u>Score 1 à 3</u>
MWM 1 Barley	3,3	6,1	0		2,5
MWN 1 BMbio	3,2	6,5	908		3
MWN 1 BMH	3,2	5,7	602		3
MWM 2 BM	2,6	6,5	593	4519	
MWM 2 BarH	2,5	6,6	1777	6850	
LL BMH	2,8	5,5	2399		3
LL BMbio	2,9	6,1	1197		2,5
LL Peas	3,1	5,2	9691		2,5

La saison de croissance 2020 a été marquée par une accumulation d'unités de chaleur supérieure à la moyenne, doublée, malheureusement, de précipitations nettement inférieures à la moyenne, en particulier dans les sites de MB. Bien qu'il n'y ait pas eu de pluviomètres sur les sites, les précipitations à l'endroit où se trouvaient les auteurs (Hampton - à mi-chemin entre les sites) ont totalisé 21 mm, 36 mm et 48 mm pour les mois de juin, juillet et août, respectivement. Cette période de sécheresse prolongée s'est non seulement traduite par une faible production de biomasse et par une baisse des rendements de culture, mais a aussi posé un défi, celui d'essayer d'exécuter un programme de biofumigation efficace alors qu'il était difficile de bien tasser le sol lors de la phase d'incorporation de la MB. Il était également difficile d'obtenir une bonne germination et un bon développement des cultures réensemencées après la période de jachère - *figure 5*.

Dans la plupart des régions de l'île, les précipitations sont redevenues plus « normales » en septembre (79 mm à Hampton), ce qui a permis aux cultures réensemencées de former une bonne couverture végétale à la fin de l'automne (*figure 6*). Le rendement des cultures (tableau 2) a été affecté par les conditions sèches observées tout au long de la saison de croissance.



Figure 5 : Conditions de sol sec une semaine après le réensemencement - *ECODA Î.-P.-É. 2020*



Figure 6 : Radis oléagineux réensemencé/labour, site LL, 27 octobre - *ECODA Î.-P.-É. 2020*

Tableau 2 : Résumé des rendements de récoltes d'après les cultivateurs - ECODA Î.-P.-É. 2020

<u>Site</u>	<u>Culture</u>	<u>Rendement en lb/acre</u>
LL	Pois	2200
	MB	900
MWM 1	Orge	3520
	MB	770
MWM 2	Orge	3520
	MB	770

DONNÉES DE L'AAC :

L'année 2020 a fortement freiné ce projet. Les responsables ont réduit l'importance du projet dans les conditions de la COVID-19 par rapport à d'autres projets à plus long terme. Il n'a reçu le feu vert que beaucoup plus tard dans la saison. Le retard des semis a entraîné une réduction de la vigueur des plants, les rendant plus sensibles aux stress biotiques et abiotiques. Du fait aux restrictions d'accès liées à la COVID-19, les cultures n'ont pas été surveillées autant qu'elles auraient dû l'être pour lutter contre les ravageurs et les maladies en temps opportun. En conséquence, les altises ont décimé ces cultures déjà stressées, réduisant à rien ou presque les rendements en graines dans la plupart des parcelles.

En ce qui concerne les analyses phytochimiques, la méthodologie d'analyse des glucosinolates (GSL) a été affinée et l'équipe travaille actuellement sur les échantillons de 2019 et 2020. Des échantillons prélevés tout au long de la saison de croissance 2019 ont été congelés dans l'azote liquide et stockés à -80° C. Les tissus végétaux (prélevés au-dessus du sol et dans le sol) et les échantillons de sol ont été traités séparément, pendant le développement phénologique des plantes et en réponse aux traitements agronomiques. Treize solutions standards analytiques différentes, représentant les glucosinolates les plus souvent signalés, ont été fournis pour l'analyse quantitative. Des échantillons de racines et de sols prélevés dans les parcelles expérimentales de moutarde brune en 2020, ont été congelés dans l'azote liquide et stockés à -80° C en attendant l'extraction et l'analyse. À son retour au laboratoire (octobre 2020), le personnel technique a été affecté à l'optimisation des paramètres d'extraction (séchés par opposition à humides; extraction séquentielle par solvants par opposition à extraction mono solvant; composition des solvants). Des méthodes très sensibles, utilisant la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en mode MRM (Multiple Reaction Monitoring) ont été développées et optimisées utilisant des solutions standards commerciales. Des échantillons d'essai ont été évalués pour étudier la diversité des glucosinolates et leurs concentrations.

Progression en 2021 :

Sites de l'Î.-P.-É. – 1 seul des 3 sites établis pour la saison 1 (moutarde + témoin) en 2020 a été planté en pommes de terre à la saison 2 en 2021 du fait d'un changement de stratégie des exploitations agricoles. Pour compenser la perte de sites-années, 5 sites de saison 1 ont été établis en 2021, qui passeront ensuite à la pomme de terre à la saison 2, lors de l'année final de l'étude (2022).

Sites du N.-B. – Tous les sites continuent à se conformer au plan; 3 nouveaux sites de saison 1 ont été établis pour l'étude de rotation finale.

AAC – Les fonds de 2020 non dépensés ont été transférés aux saisons de croissance de 2021 et de 2022 pour permettre l'inclusion d'une deuxième variété de moutarde brune (AAC Brown 18). Cette variété augmente en popularité dans l'Ouest du Canada et les Maritimes ont besoin de données de production régionales.

Amélioration de la santé des sols et efficacité d'utilisation des terres par alternance avec des légumineuses

Investigateur principal : **Claude Caldwell, Université Dalhousie**

L'un des défis de la culture de certaines de ces légumineuses à grains dans notre région, en particulier les pois secs et les haricots, est le degré plus élevé d'humidité dans l'air et dans les sols, qui entraîne une incidence accrue de maladies et de verse. La verse peut causer une perte importante de qualité et de rendement à la récolte et une augmentation du taux de maladie. Une façon d'atténuer certains de ces problèmes est d'intercaler la culture avec une culture de céréale ou d'oléagineux dressé. Les cultures intercalaires sont de plus en plus intéressantes, car elles peuvent réduire les pertes de récolte dues à la verse et augmenter la rentabilité à l'acre. En particulier, l'alternance avec des légumineuses qui fixent l'azote peut permettre d'augmenter la productivité de chaque culture individuellement grâce à l'optimisation des nutriments, de la lumière et de l'eau, et de réduire l'incidence des ravageurs et des maladies. Bien que les légumineuses soient généralement intercalées avec des céréales ou des graminées, les brassicacées réagissent plus rapidement aux engrais azotés, produisant un effet plus important en alternance avec les légumineuses (Genarda et al., 2016). Des études antérieures d'alternance de légumineuses et de brassicacées montrent qu'il se produit un transfert substantiel d'azote entre légumineuses et brassicacées, représentant 30 à 50% de la rhizodéposition (Cortes-Mora et al., 2010). Cette même étude montre que les cultivars de brassicacée et de légumineuse intercalés utilisent des sources d'azote différentes, ce qui renforce la séparation des niches fonctionnelles (Cortes-Mora et al., 2010). La capacité des deux plantes à maximaliser les éléments nutritifs disponibles dans sol pourrait de son côté diminuer la quantité d'engrais requise, réduisant ainsi les coûts d'engrais pour les producteurs. L'azote est également important si on considère l'huile et les protéines d'une culture, qui sont de la plus haute importance pour la commercialisation des légumineuses et des brassicacées pour les marchés à fort rapport économique comme les aliments pour les humains et les animaux et les carburants.

La moutarde et la caméline, deux brassicacées, représentent de petits marchés émergents pour notre région. À l'heure actuelle, la plupart des cultures de moutarde dans les provinces de l'Atlantique sont incorporées comme engrais vert pour la lutte contre les nématodes et les taupins. La moutarde cultivée dans l'Ouest du Canada est une plante à fort rapport économique, vendue dans le monde entier comme ingrédient alimentaire, biopesticide et huile bioactive ou industrielle. L'huile de caméline a plusieurs utilisations et avantages, en particulier dans les cosmétiques de grande valeur ajoutée (lotions, crèmes, savons, soins capillaires), le remplacement des huiles marines (de poissons) par des acides gras similaires, les bio-carburants, les nutraceutiques, les aliments pour animaux et aquacoles et les huiles destinées à la consommation humaine.

Le rapport équivalent des terres (RET) est la principale référence pour la détermination de l'utilité et du rendement d'une culture intercalaire. Il est calculé comme la somme des parties des rendements des cultures intercalaires divisées par le rendement de la culture pure, pour chacune des cultures intercalaires. Un RET supérieur à un indique que l'intercalaire est plus productive que la culture pure. Le résultat anticipé pour cette activité est une recommandation d'intercalaire de pois offrant aux producteurs de l'Est du Canada un RET supérieur à un et donc un rendement plus élevé par acre par rapport à une culture pure, pour une seule année de rotation. Cette recommandation sera également fondée sur un potentiel de marché et une valeur d'exportation élevés, ainsi que sur l'amélioration de la santé des sols pour toute la rotation de nos terres agricoles.

Les essais expérimentaux sont menés par le Dr Caldwell dans plusieurs sites de champs au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, choisis pour la variété des types de sol et des conditions climatiques.

L'expérimentation en petites parcelles permettra d'évaluer la réponse de deux espèces de brassicacées, la caméline (*C. sativa*) et la moutarde (*B. juncea*), avec des intercalaires de pois. Les parcelles témoins de chaque culture ont été établies aux taux recommandés, puis ensemencées à des taux différents en cas d'association avec une autre culture. Les parcelles ont d'abord été ensemencées en pois au semoir, puis, par-dessus, ensemencées en brassicacée, soit en rangées au semoir entre les pois, soit ou à la volée. Les engrais azotés étaient appliqués au taux de 60 kg d'azote ha⁻¹ dans les parcelles intercalaires, au taux de 20 kg d'azote ha⁻¹ seulement dans les parcelles de pois purs, et au taux de 100 kg d'azote ha⁻¹, dans les parcelles de brassicacée.



Figure 1 : Champ du site de la vallée de l'Annapolis, N.-É., 2020

Résultats à ce jour :

Culture intercalaire caméline-pois

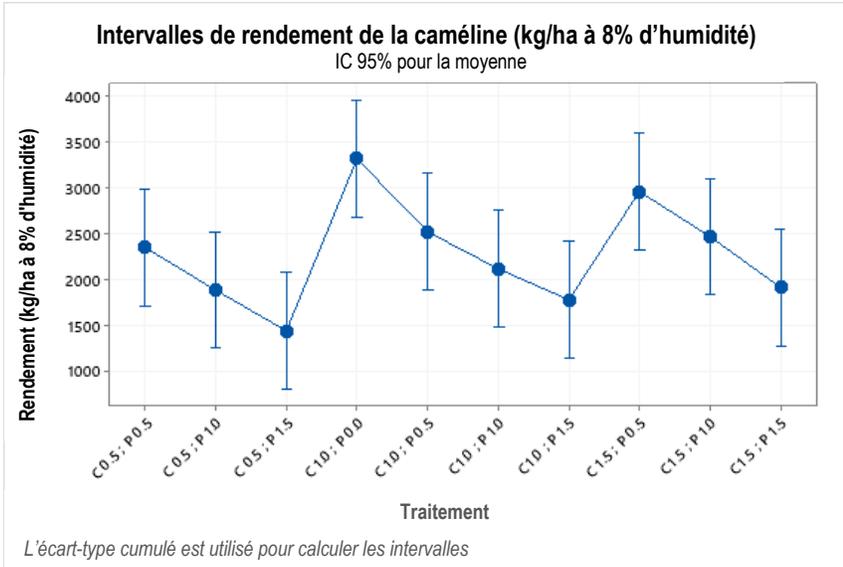


Figure 2 : Réponse de rendement de la caméline en culture intercalaire avec les pois

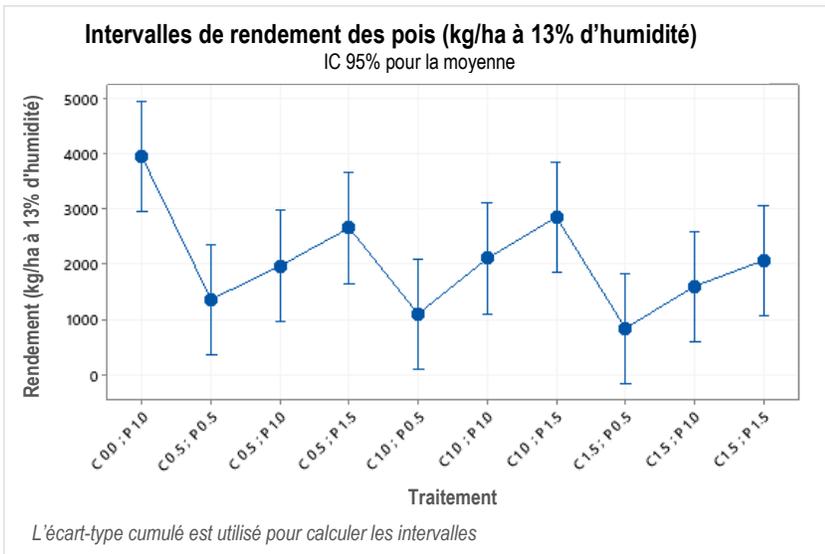


Figure 3 : Réponse de rendement des pois en culture intercalaire avec la caméline

Tableau 1 : Tableau des RET pour une culture intercalaire caméline-pois

Traitement	Rendement de la caméline (kg/ha à 8% d'humidité)	Rendement des pois (kg/ha à 13% d'humidité)	RET
C 1,0; P 0,0	3314	0	1
C 0,0; P 1,0	0	3951	1
C 1,0; P 0,5	2518	1104	1,04
C 1,0; P 1,0	2115	2111	1,17
C 1,0; P 1,5	1777	2859	1,26
C 0,5; P 0,5	2348	1367	1,05
C 0,5; P 1,0	1881	1976	1,07
C 0,5; P 1,5	1440	2662	1,11
C 1,5; P 0,5	2957	846	1,11
C 1,5; P 1,0	2465	1605	1,15
C 1,5; P 1,5	1910	2075	1,1

Le but de cet essai était de trouver le ratio optimal d'ensemencements de caméline et de pois pour produire le RET le plus élevé pour l'huile, les protéines et la rentabilité par hectare. Les résultats de rendement montrent que le rapport RET le plus élevé, 1,26, correspondait aux taux d'ensemencement de 600 graines/m² pour la caméline et de 150 graines/m² pour les pois.

L'utilisation de cultures intercalaires de pois et de caméline a notablement changé le rendement et la densité de peuplement des deux cultures. Dans chaque cas, les taux d'ensemencement recommandés de 600 et de 100 graines/m² respectivement pour la caméline et les pois, s'accompagnaient du rendement moyen le plus élevé, mais sans être statistiquement différent de la majorité des autres traitements aux taux de 1,0 et 1,5. Tout ceci est conforme au tableau des RET, qui montre que plusieurs combinaisons de pois et de caméline peuvent produire un RET supérieur à 1.

Au cours de ces essais, le traitement n'a eu **aucun effet significatif sur la verse**. Toutefois, l'entrelacement des deux cultures a tendance à maintenir les plants verticaux.



Figure 4: Parcelle intercalaire caméline-pois

Culture intercalaire moutarde-pois

On s'attend à ce qu'une culture intercalaire de pois et de moutarde entraîne une amélioration de la santé du sol en raison des besoins différents en nutriments de chaque culture, des différents types d'enracinement, ce qui réduit la concurrence et accroît le fractionnement du sol, et des effets des exsudats des racines de brassicacées sur les agents pathogènes du sol.



Figure 5 : Parcelle de culture intercalaire moutarde-pois, fin juin



Figure 6 : Photo montrant la croissance d'une culture intercalaire de pois dans la moutarde et d'une culture pure de pois. La concurrence de la moutarde l'emporte sur les pois durant la saison. Les mauvaises herbes posaient un problème majeur durant la saison de croissance et il fallait désherber à la main pour l'atténuer.

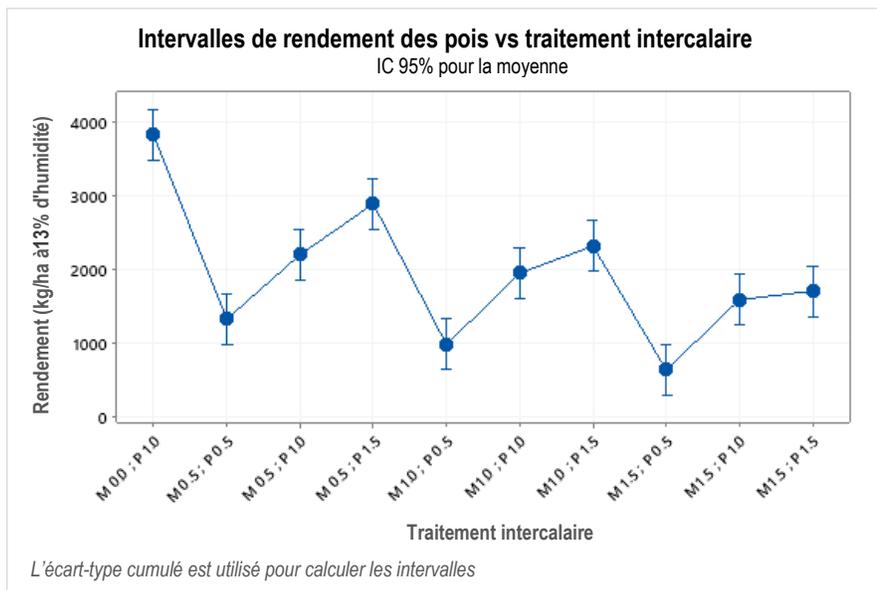


Figure 7 : Réponse du rendement des pois au traitement par intercalaire de moutarde en 2020

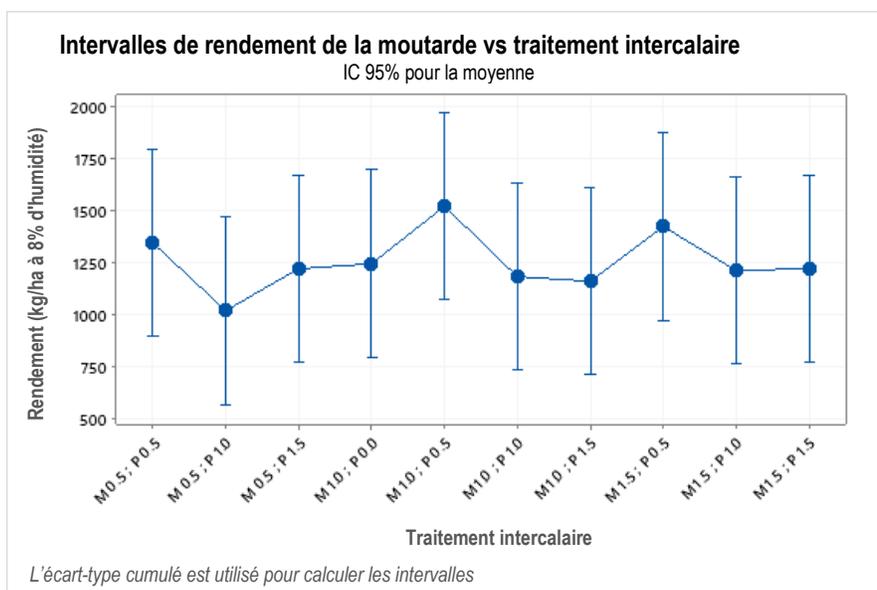


Figure 8 : Réponse du rendement de la moutarde en intercalaire avec les pois en 2020

La moutarde avait un effet notable sur le rendement des pois; les pois n'avaient pas d'effet notable sur le rendement de la moutarde.

En ce qui concerne le rendement, les données montrent que 50 graines de moutarde/m² et 150 graines de pois/m² donne le RET optimal.

Tableau 2 : Tableau des RET pour les cultures intercalaires moutarde:pois

Traitement	Rendement de moutarde (kg/ha à 8% d'humidité)	Rendement des pois (kg/ha à 13% d'humidité)	RET
m 1,0; P 0,0	1331	0	1
m 0,0; P 1,0	0	3191	1
m 1,0; P 0,5	1628	813	1,4
m 1,0; P 1,0	1265	1622	1,4
m 1,0; P 1,5	1243	1929	1,5
m 0,5; P 0,5	1434	1101	1,4
m 0,5; P 1,0	1099	1830	1,3
m 0,5; P 1,5	1307	2406	1,7
m 1,5; P 0,5	1526	527	1,2
m 1,5; P 1,0	1287	1321	1,3
m 1,5; P 1,5	1308	1419	1,4

Globalement, le meilleur rapport d'ensemencements pour obtenir le RET total optimal était de 600 graines de caméline/m² et 150 graines de pois/m² pour l'intercalaire caméline/pois et de 50 graines de moutarde/m² et

150 graines de pois/m² pour l'intercalaire moutarde/pois. Le travail d'analyse se poursuit concernant le RET pour l'huile, les protéines et la rentabilité par hectare. Les derniers calculs utiliseront des données pluriannuelles après la récolte de 2021.

Progression en 2021 :

Deux sites sont établis en Nouvelle-Écosse, l'un à Truro et l'autre dans la région de la vallée de l'Annapolis. Les défis de l'ensemencement se sont accompagnés d'une levée irrégulière dans certaines parcelles dont il sera tenu compte dans l'analyse. Aucun site n'a été établi au Nouveau-Brunswick en raison des problèmes dus à la COVID-19 au printemps.

Évaluation de divers germoplasmes de caméline pour accroître les profits et la durabilité des rotations dans l'Est du Canada

Investigateur principal : Dr Claude Caldwell, Université Dalhousie

Des études agronomiques canadiennes ont démontré que la caméline peut être utilisée avec succès dans tout le Canada, tant dans l'Est que dans l'Ouest, avec des variétés similaires, performantes dans les deux régions. Le rendement de la caméline sera légèrement plus élevé dans l'Ouest (1500 à 2000 kg/ha), mais des essais récents de nouvelles lignées en Nouvelle-Écosse ont donné un rendement bien supérieur à 1000 kg/ha. Dans des conditions de sécheresse, la caméline donnera un rendement plus élevé que le canola et des études ont montré que la caméline avait une efficacité d'utilisation de l'azote plus grande, en particulier en cas de stress. L'huile de caméline a plusieurs avantages et utilisations potentielles, en particulier dans les cosmétiques de haute valeur (lotions, crèmes, savons, soins capillaires), le remplacement des huiles marines (poissons) dans les aliments aquacoles, les bio-carburants, les nutraceutiques, les aliments pour animaux et l'huile destinée à la consommation humaine. La caméline est apparue plus récemment sur les marchés des biofumigants agricoles, car de nombreuses variétés sont riches en glucosinolates qui contribuent à la lutte contre les ravageurs terrioles. Des études récentes, menées depuis l'Espagne, ont démontré son efficacité dans la lutte contre plusieurs espèces de nématodes. Elle est appliquée en mélanges biofumigants dans toute l'UE.

La recherche est importante pour maximiser les rendements et améliorer la qualité des produits de caméline par une sélection et une diversification appropriées des variétés, si nous voulons innover et développer l'industrie de la caméline dans notre région. La caméline ne peut sûrement pas remplacer nos systèmes de culture les plus performants, mais elle offre certainement des possibilités de maximiser le rendement de nos rotations établies en particulier celles des pommes de terre.

L'objectif principal de cette recherche est d'identifier les variétés de caméline les plus performantes pour l'Est du Canada, afin d'améliorer le sol et de maximiser le rendement en rotation.

Résultats à ce jour :

Résultats/Observations :

**Les moyennes ne partageant aucune lettre sont significativement différentes.*

Tableau 1 : Tableau des moyennes de rendement (kg/Ha à 8% d'humidité)

Variété	Moyenne	Fisher
CCE117	1603	A
CCE26	1413	A
CCE32	1008	B
CDI005	1004	B
CCE27	995	B

Tableau 2 : Tableau des moyennes de verse (échelle belge)

Variété	Moyenne	Fisher
CCE27	4,9	A
CDI005	4,7	A
CCE32	0,7	B
CCE117	0,5	B
CCE26	0,4	B

Tableau 3 : Tableau des moyennes de hauteur des plantes (cm)

Variété	Moyenne	Fisher
CCE117	85	A
CDI005	82	A B
CCE26	78	B C
CCE27	78	B C
CCE32	74	C

Tableau 4 : Tableau des moyennes et comparaison Fisher pour les protéines (%)

Traitement	Moyenne protéines (%)	Comparaison Fisher*
3 – CCE 32	30,33	A
4 – CDI 005	29,95	A B
2 – CCE 27	29,79	A B C
1 – CCE 26	28,88	A B C
5 – CCE 117	28,58	C

Tableau 5. Tableau des moyennes et comparaison Fisher pour l'huile (%) – différence variétale

Traitement	Moyenne huile (%)	Comparaison Fisher*
4 – CDI 005	33,96	A
1 – CCE 26	33,15	A B
2 – CCE 27	33,12	A B
5 – CCE 117	32,33	B C
3 – CCE 32	32,16	C

Dans l'ensemble, la saison de croissance de 2020 a été plus chaude et plus sèche que celle de 2019, au cours de laquelle on n'a noté aucune différence significative entre les lignées testées. En 2020, les CCE 117 et CCE 26 ont présenté des rendements notablement plus élevés que les autres participants à l'essai, y compris le participant canadien CDI 005. Cela peut indiquer l'adaptation à la sécheresse et/ou au stress thermique. Les deux lignées ont montré une excellente résistance de paille par rapport au contrôle canadien. Les plants de CCE 117 était plus grands, sans que cela n'entraîne plus de verse. Les deux lignées semblent être bien adaptées aux conditions de croissance de l'Est du Canada, d'autant plus que nous vivons des conditions plus chaudes et plus sèches.

Les analyses dans le proche infra-rouge indiquent qu'il existe des différences notables entre les lignées en ce qui concerne les protéines, la teneur en huile des graines et les principaux acides gras. Malgré son rendement élevé, la lignée CCE 117 a la teneur en protéines la plus basse et la teneur globale en huile faible. Ce résultat peut être l'effet d'une dilution due au rendement plus élevé. La lignée CDI 005 avait une teneur élevée en protéines et en huile. Quant à la composition des acides gras, la lignée CCE 117 avait des taux élevés d'acide palmitique, d'acide oléique et d'acide linoléique. Par conséquent, comme on pouvait s'y attendre, les taux

d'acide linoléique et d'acide éicosadiénique étaient réduits. La lignée CDI 005 avait des taux relativement élevés d'acide oléique et d'acide linoléique.

Progression en 2021 :

Deux sites ont été établis en Nouvelle-Écosse, l'un à Truro et l'autre dans la région de la vallée de l'Annapolis. L'établissement et la croissance des cultures étaient bonnes. Des pluies régulières (parfois excessives) ont éliminé toute sécheresse et créé certains problèmes de lutte contre les mauvaises herbes.

2021 DÉBUT D'ESSAIS

Valeur nutritionnelle et fonctionnalités des oléagineux non GM pour l'application dans les aliments utilisés en aquaculture

Investigateur principal : **CENTER FOR AQUACULTURE TECHNOLOGIES CANADA (CATC)**

Progression en 2021 :

Du fait de problèmes imprévus en matière d'approvisionnement en semences pertinentes pour les essais, l'étude Aquafeed a été repoussée à la fin de 2021 et devrait être terminée à la fin de l'année civile 2022.