Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec

PRIME-VERT
UN PAS DE PLUS. POUR VOUS. POUR VOTRE COLLECTIVITÉ.

UTILISATION DE NÉMATODES ENTOMOPATHOGÈNES CONTRE LES CHARANÇONS EN VERGER DE POMMIERS

18-045-CETAB

DURÉE DU PROJET : MARS 2019 / MARS 2021

RAPPORT Final

Réalisé par :
Noémie Gagnon Lupien, biologiste, M.Sc., CETAB+
Caroline Beaulieu, biologiste, M.Sc., CETAB+

1er février 2021

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

Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture

UTILISATION DE NÉMATODES ENTOMOPATHOGÈNES CONTRE LES CHARANÇONS EN VERGER DE POMMIERS

18-045-CETAB

RÉSUMÉ DU PROJET

Le charançon de la prune (*Conotrachelus nenuphar*) est un coléoptère ravageur considéré par plusieurs experts comme le principal ravageur d'arbres fruitiers dans l'est de l'Amérique du Nord (Hoyt 1983; Duval, 1992). Le charançon de la pomme (*Anthonomus quadrigibbus*) quant à lui est moins répandu, mais de plus en plus fréquent dans les vergers biologiques ou ceux qui font peu de traitements insecticides en début de saison. Les adultes charançons se nourrissent et pondent dans les fruits au printemps où les larves se développent. Les fruits tombent au sol où les jeunes charançons complètent leur nymphose et les adultes émergent du sol à la fin de l'été. En production de pommes conventionnelles, on fait jusqu'à trois applications insecticides contre l'insecte, alors qu'en production biologique, seul le kaolin est utilisé avec une efficacité limitée. Pourtant, plusieurs études principalement réalisées aux États-Unis démontrent l'efficacité en laboratoire (Brossard et Hill 1990; Shapiro-Ilan et co. 2002, Shapiro-Ilan et co. 2004; Alston et al. 2005; Shapiro-Ilan et co. 2008; Shapiro-Ilan et co. 2011) comme sur le terrain de certains nématodes entomopathogènes contre le charançon (Kim et Alston 2008; Pereault et coll. 2009; Shapiro-Ilan et al 2013; Agnello et coll. 2017). Deux espèces semblent avoir le potentiel de tuer le charançon dans nos conditions climatiques plus fraiches : *Steinernema feltiae* et *Steinernema carpocapsae*. Peu d'essais ont néanmoins été réalisés dans les vergers du Québec où les conditions de production diffèrent de nos voisins américains. Ce projet d'une durée de 2 ans avait donc pour but d'évaluer le potentiel des nématodes entomopathogènes pour lutter contre le charançon de la prune en verger de pommiers. L'efficacité de deux espèces de nématodes connues pour leur capacité à infecter le charançon en laboratoire a été testée sur le terrain : *Steinernema feltiae* et *S. carpocapsae*. Nous avons validé à la fois l'efficacité d'applications à la base du tronc au printemps contre les charançons adultes et l'efficacité d'applications au sol contre les larves et les pupes. Quatre stratégies de lutte ont ainsi été comparées : 1) *S. carpocapsae* seul; 2) *S. feltiae* seul; 3) *S. feltiae* et *S. carpocapsae* ensemble, 4) *S. carpocapsae* au printemps et *S. feltiae* après la chute de juin; 5) Témoin sans introduction de nématodes. Nos résultats nous laissent croire à une efficacité de *S. feltiae* et *S.carpocapsae* en combinaison contre les adultes charançons de la pomme et de la prune. Toutefois, ces résultats sont le fruit d'une seule année d'expérimentation sous les conditions inhabituellement chaudes du printemps 2020 et devront donc être validés de nouveau. Pour les deux années de l'étude malgré les faibles taux d'émergence sous nos pièges, on note cette fois une diminution significative de l'émergence d'adultes charançons dans les parcelles traitées à l'été avec *S. carpocapsae* et aussi avec celles traitées avec une combinaison des deux espèces de nématodes comparativement au témoin. Malgré les applications répétées de nématodes entomopathogènes, le taux de survie et l'établissement des espèces semblent très limités dans les conditions de l'étude. Une adaptation de la technique est donc nécessaire puisque bien qu'elle soit prometteuse, elle reste trop onéreuse dans les conditions actuelles.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif principal de ce projet est de développer une nouvelle méthode de lutte biologique contre les charançons ravageurs à l'aide de nématodes entomopathogènes en verger de pommiers. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1) Valider l'efficacité d'applications à la base du tronc de *Steinernema feltiae* ou *Steinernema carpocapsae* ou d'une combinaison des deux espèces pour lutter contre les adultes du charançon de la prune et du charançon de la pomme en verger de pommiers.

2) Valider l'efficacité d'applications au sol de *Steinernema feltiae* ou de *Steinernema carpocapsae* ou d'une combinaison des deux espèces contre les larves de charançon de la prune en verger de pommiers.

Le projet s'est déroulé au verger biologique du Boisé des Frères à Victoriaville au Centre-du-Québec, un verger de recherche et d'enseignement sous la gestion du CETAB+/Cégep de Victoriaville. Les essais étaient localisés dans un secteur de 0,5 ha de pommiers semi-nains comprenant au total 12 rangs d'environ 30 arbres espacés de 3m sur le rang avec une distance de 5m entre les rangs (Annexe : Figure 1). Les variétés présentes sont Honeycrisp, Redfree et Rubi, des variétés de mi-saisons sur lesquelles des dommages de charançon ont été observés dans les années passées. Un dispositif en carré latin avec 5 traitements répétés 5 fois a été mis en place (Annexe : Figure 2). Les traitements sont les suivants : 1) Introduction de *S. carpocapsae* seul; 2) Introduction de *S. feltiae* seul; 3) Introduction de *S. feltiae* et *S. carpocapsae* ensemble, 4) Introduction de *S. carpocapsae* au printemps et *S. feltiae* après la chute de juin; 5) Témoin sans introduction de nématodes. Chaque parcelle traitée était ceinturée d'une zone tampon d'environ 9m de rayon (Annexe : Figure 2).

<u>Efficacité sur les charançons adultes au printemps</u>

Les charançons adultes hivernent dans les débris et feuilles mortes dans les boisés et migrent dans le verger vers la fin mai ou au début juin (Paradis 1956). À leur arrivée au verger, les charançons adultes se regroupent dans le couvre-sol à la base des arbres dans les rangs en périphérie du verger (Chouinard 1991; Lafleur et Hill 1984). Nous souhaitions commencer les applications de nématodes à la base des troncs de pommiers dès l'apparition des charançons dans le verger. Nous avons donc installé 20 pièges Barber (pièges fosses) à la base des arbres dans les 2 rangs de pommiers en périphérie de la parcelle à l'étude, les rangs les plus près d'un site d'hivernation connu (Annexe : Figures 1 et 3). Dès les premières captures dans ces pièges Barber, à la fin mai, nous avons effectué la première application de nématodes dans les parcelles suivies. Les applications devaient être répétées aux 7 jours à partir de cette date à la base des troncs jusqu'à la chute des pommes en juin. En 2019 et 2020, quatre applications ont ainsi été réalisées de la détection des charançons dans les pièges Barber jusqu'à la fin de la ponte. Afin de mesurer l'effet des applications de nématodes à la base du tronc sur les charançons adultes, nous avons utilisé des pièges-troncs, qui sont des pièges circulaires fixés sur le tronc de l'arbre et surmontés d'un entonnoir inversé dans un bocal de collecte (Annexe Figure 4). Les charançons volent très peu et se déplacent principalement du sol vers les branches en montant le long du tronc (Duval 1992), les pièges troncs devaient donc nous permettent de capturer les charançons adultes lorsqu'ils montent le long du tronc se nourrir et pondre dans l'arbre. Ces pièges sont inspirés des pièges circulaires installés sur le tronc qui ont été développés pour le suivi des charançons de la noix de pécan (*Curculio caryae*; Lacey 2012). Lors des deux années d'étude, deux pièges ont été installés dans chaque parcelle de la mi-mai à la fin juin et ils ont été relevés deux fois par semaine. Le taux de captures et donc de survie des adultes dans les pièges des parcelles traitées a été comparé au témoin, afin de déterminer l'efficacité des produits. Au début juillet, une évaluation des dégâts sur les fruits a été réalisée à raison de 20 pommes observées par parcelle. En 2020, nous avons également décidé de capturer des charançons adultes, de les mettre en cage dans les parcelles de deux rangs du projet. Nous avons ainsi installé deux cages par traitement sous lesquelles nous avons introduit un total de 30 charançons piégés par traitement, une seule application a été réalisée pour chaque traitement en juin. Les cages des parcelles témoins ont été traitées avec

un volume d'eau équivalent aux solutions appliquées. Nous avons ensuite évalué la survie des adultes une semaine après le traitement.

Efficacité sur les larves et les pupes de charançon en été

La ponte se fait principalement en juin, une piqûre caractéristique est alors réalisée sur le fruit et la femelle y dépose un œuf qui incubera pendant une période de 3 à 12 jours. Les larves se développent pendant 18 jours environ et au mois de juin, les enzymes libérées par la larve en alimentation entraînent la chute prématurée des fruits attaqués (Whitcomb 1932). Les larves peuvent alors sortir du fruit pour compléter leur cycle dans le sol où elles réalisent leur nymphose (Smith et Salkeld 1964). À la fin juin, des pommettes présentant des dommages de ponte de charançon de la prune (Annexe : Figure 5A) ont été récoltées au sol dans tout le verger, à l'exception de la parcelle à l'étude du verger en 2019. En 2020, au vu des faibles taux d'occupation l'année précédente, nous avons choisi de récolter les pommettes directement dans les arbres. Cinquante de ces pommettes ont été disséquées en laboratoire (Annexe : Figure 5B et 5C) afin d'évaluer la présence de larves de charançon et d'établir le taux d'occupation par les larves, nous permettant d'estimer le nombre de charançons introduits dans chaque parcelle. Les pommettes ont été introduites sous un piège à émergence (Annexe : Figure 6). Ce dernier consiste en un cône fait de moustiquaire et surmonté d'un entonnoir inversé recouvert d'un pot de collecte où sont piégés les insectes qui émergent du sol. Selon la littérature, les pupes se situent près de la surface du sol entre 1 et 8 cm (Racette 1992), les pièges étaient donc initialement enfoncés de 15 cm dans le sol en 2019. Toutefois, ayant vu des pupes plus profondes dans le sol lors de la première année d'étude, ils ont été enfoncés jusqu'à 25 cm dans le sol en 2020, afin d'empêcher les charançons de pouvoir s'échapper. Nous avons installé 25 pièges dans le dispositif en 2019 et ce nombre a été doublé en 2020, pour obtenir deux pièges par parcelle. Les pièges ont été relevés deux fois par semaine jusqu'en septembre où l'on a creusé le sol sous chaque piège à la recherche des charançons restants. Les pièges étaient installés dans les parcelles du dispositif au pied d'un arbre et ils étaient donc traités en même temps que la parcelle avec une dose équivalente à celle appliquée pour un arbre. Les applications de nématodes entomopathogènes ont été réalisées aux 7 jours de la mi-juillet jusqu'en septembre. Nous avions ainsi planifié 9 applications sur les larves et pupes chaque année. Cependant en 2019 nous avons eu des problèmes de moisissures dans les échantillons qui nous ont fait douter de la viabilité des nématodes lors de trois de ces traitements. Des extractions de nématodes dans le sol, à la suite de la troisième application, nous ont confirmé nos doutes sur l'efficacité du produit.

Application et survie des nématodes

Pour l'ensemble du projet, les applications ont été réalisées avec un pulvérisateur sac à dos (Annexe : Figure 7) en fin de journée pour réduire l'exposition aux rayons UV (Shapiro-Ilan et coll. 2007). Les parcelles étaient irriguées avant chaque application sachant que chez le charançon, l'entrée des larves dans le sol et l'émergence des adultes sont influencées par les conditions d'humidité. Un sol humide favorise non seulement la transition des charançons vers ou hors du sol (Racette 1992), mais aussi les déplacements et la survie des nématodes entomopathogènes (Shapiro- Ilan et coll. 2013). Lors de chaque période d'application, nous avons appliqué la dose recommandée par les études de 400 nématodes juvéniles/cm^2 (Shapiro-Ilan et coll. 2013). Pour les traitements où l'on combine les deux espèces de nématodes, nous avons appliqué successivement une demi-dose de *S. carpocapsae* et une demi-dose de *S. feltiae* pour simplifier les opérations de traitement, bien que selon le fabricant, il est aussi possible de mélanger les deux espèces directement dans le pulvérisateur. Pour évaluer la survie et l'établissement possible des nématodes entomopathogènes, nous avons échantillonné les nématodes dans le sol cinq fois par année avant une application et 48h après une application. Trois carottes de sol ont été prélevées dans les 15 premiers cm de sol dans chaque parcelle du rang choisi. Les rangs étant échantillonnés à tour de rôle durant la saison.

Nous avons ensuite procédé à l'extraction des nématodes dans ces échantillons en utilisant des entonnoirs de Baerman au laboratoire. Les nématodes entomopathogènes récoltés ont ensuite été quantifiés avec un microscope inversé.

Conditions de l'étude

Au printemps 2019, nous avons fait un diagnostic d'irrigation dans la parcelle et avons corrigé le débit des buses pour avoir une uniformité au niveau de l'irrigation dans tous les rangs malgré les pentes. Une période d'irrigation par jour a été ajoutée à la séquence habituelle d'irrigation, avant les applications et dans les 48 heures suivant pour tous les rangs du projet, de sorte que les rangs traités recevaient deux fois plus d'eau que les autres durant cette période. Combinés aux données de la station météorologique, nous avons installé quatre tensiomètres dans le dispositif, et avons ajouté un capteur d'humidité du sol durant 2 semaines en août 2020. Finalement, le coût d'application des différents produits a été comptabilisé afin d'avoir une idée des frais reliés à l'utilisation de cette technique.

Analyses statistiques

Pour comparer le nombre de captures dans les pièges troncs et les pièges à émergence entre les traitements, nous avons réalisé une analyse de variance (ANOVA) suivie d'un test de comparaisons multiples de Tukey à l'aide du logiciel R. Pour l'analyse des données d'évaluation des dégâts de charançon sur les fruits, nous avons utilisé un modèle linéaire généralisé sous loi binomiale, afin de comparer la probabilité d'observer un dégât de charançon sur un fruit entre chaque traitement, suivi d'un test de comparaison multiple (LSMEANS) dans R.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Traitements sur les charançons adultes au printemps

La première partie de projet était basée sur un a priori selon lequel les charançons voyagent du sol vers les branches de l'arbre pour pondre et se nourrir en marchant le long du tronc. Souvent mentionné dans la littérature, ce déplacement caractéristique de l'insecte a d'ailleurs inspiré plusieurs techniques de piégeage (Laroche et Provost 2018). Nous avions toutefois sous-estimé les déplacements transversaux d'un arbre à l'autre via le système de palissage et la capacité de vol des charançons adultes qui arrivent en verger au printemps, dans le protocole initial. Pour les deux années du projet, le dispositif initial mis en place nous permet difficilement de valider l'effet des nématodes sur les adultes, puisque les arbres traités ne sont pas isolés. En 2019, nous avons réalisé 33 captures et on n'observe aucune différence significative entre les traitements (Figure 1, $F=0,47$; $p=0,75$). En 2020, la population de charançon de la prune était beaucoup plus faible au verger de sorte que nous avons uniquement réalisé 7 captures dans l'ensemble des pièges installés. Il est à noter qu'aucun charançon n'a été capturé dans les parcelles traitées avec *S. carpocapsae*.

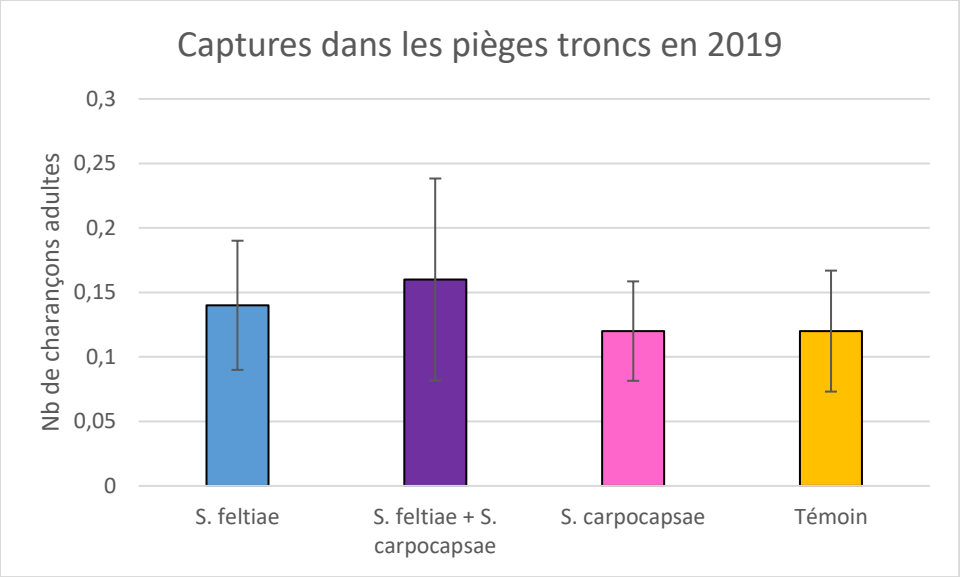


Figure 1. Nombre moyen de charançons adultes capturé par piège au cours de la saison 2019. Au total, 33 adultes ont été capturés. Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements au seuil de 5%.

Dans le même ordre d'idées, l'évaluation des dégâts sur les fruits ne permet pas d'isoler l'effet des traitements sur l'activité des adultes au printemps, puisque ces derniers ne passaient pas obligatoirement par le pied de l'arbre pour atteindre les fruits. Néanmoins, les données recueillies nous permettent tout de même d'avoir un portrait de l'ampleur de la pression exercée par le charançon de la prune dans le verger au début du projet. Sur les 418 pommes évaluées en juillet, un peu plus de la moitié des pommes étaient saines (n=214), alors que 46.7% des pommes avaient des dommages causés par des insectes ravageurs (n=195). Près du tiers des pommes montraient des dommages causés par les charançons (30%), soit 119 pommes ravagées par le charançon de la prune et 8 pommes endommagées par le charançon de la pomme. Les dommages effectués par le charançon de la prune représentent à eux seuls 61% des dommages causés par des insectes ravageurs. À titre d'exemple, les dommages occasionnés par quelques-uns des principaux ravageurs primaires de la pomme, soit le carpocapse de la pomme (n=5), le charançon de la pomme (n=8) et la punaise terne (n=24), n'excèdent pas 10% pour l'ensemble de ces ravageurs en juillet. Ceci soulève bien la problématique liée au charançon de la prune. En 2020, le portrait était bien différent sur les 500 pommes évaluées, nous avons uniquement 16 pommes avec des dégâts de charançon de la prune et 7 pour le charançon de la pomme, donc moins de 5% des pommes étaient endommagées par ces insectes. Dans les deux cas, on n'observe toutefois pas de différence significative entre les traitements (Tableau 1), mais on voit que les arbres des rangs qui bordent la parcelle sont plus affectés. On note aussi surtout cette importante diminution de la population de charançon de la prune entre les deux années, où les dégâts passent de 30% de pommes endommagées en juillet 2019 à seulement 5% en 2020. Nous croyons que l'utilisation de kaolin dans un autre secteur du verger en 2019, mais surtout la récolte des pommettes au sol dans tout le verger a permis de réduire de beaucoup la pression de charançon sur le site.

Tableau 1. Pourcentage de dégâts de charançons de la prune lors des deux années d'étude pour chaque traitement.

Traitement	Pourcentage de dégâts de charançon	
	2019	**2020**
S. feltiae	42%	3%
S. carpocapsae	26%	4%
S. feltiae + S.carpocapsae	33%	0%
S. carpocapsae → S.feltiae	36%	7%
Témoin	15%	9%

Nous avons donc en 2020, malgré trois épisodes de battage, uniquement réussi à capturer 120 charançons. Nous avons ainsi introduit 30 charançons pour chaque traitement, dans deux cages (16 charançons de la pomme et 14 charançons de la prune). Nous n'avons pas pu réaliser d'analyse statistique due au faible de nombre de captures et de répétitions. Néanmoins, les résultats sont très intéressants puisque que le taux de mortalité est nettement plus élevé dans les cages traitées avec une combinaison de *S. carpocapsae* et *S. feltiae,* soit 83%, alors qu'il varie entre 6 et 27% dans les autres traitements (Tableau 2). Le printemps étant exceptionnellement chaud en 2020, cette expérience devra être répétée dans des conditions plus habituelles, mais il n'en reste pas moins que nos résultats tendent à démontrer la capacité d'une combinaison des deux espèces de nématodes à tuer les charançons de la prune et de la pomme adultes en verger.

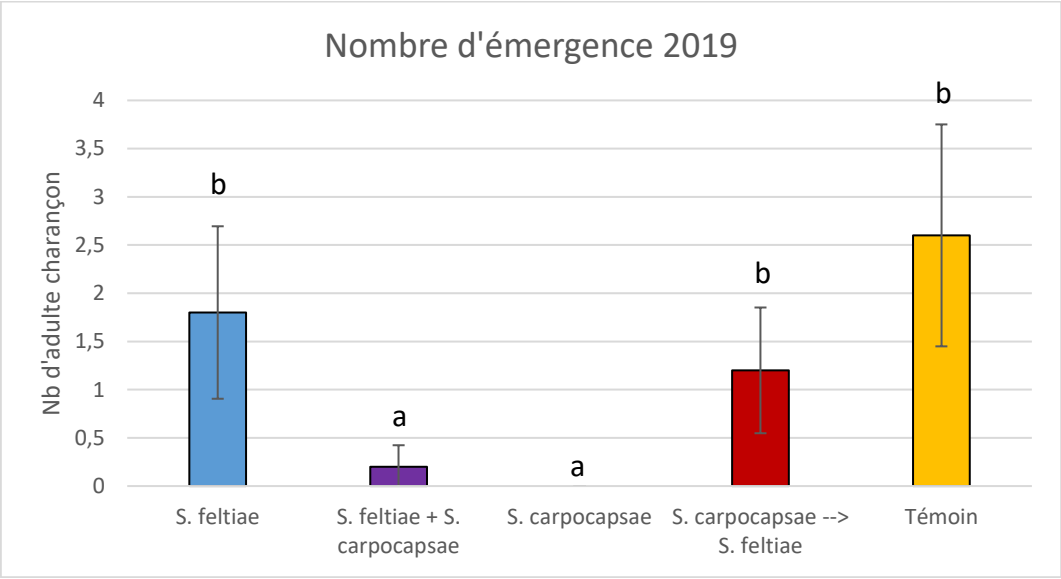
Tableau 2. Taux de mortalité des charançons adultes dans les cages une semaine après l'application pour chaque traitement.

Traitement	Taux de mortalité
S. feltiae	7%
S. carpocapsae	27%
S. feltiae + S.carpocapsae	83%
Témoin	14%

<u>Traitements sur les larves et les pupes de charançon</u>

En 2019, cinquante-cinq pommettes ont été déposées sous chacun des pièges à émergence le 12 juillet avec un taux d'occupation évalué à 12% de larves, en laboratoire. On estime ainsi avoir introduit 7 larves par parcelle en 2019. L'année suivante, en cueillant les pommes directement dans les arbres, le taux d'occupation est passé à 53% d'œufs ou de larves. Nous avons mis trente-trois pommettes par pièges et, comme nous avons doublé le nombre de pièges par parcelle, nous avons introduit l'équivalent de 35 charançons par parcelle. Malgré l'augmentation de nos efforts et un nombre cinq fois plus important de charançons introduits dans les parcelles, nous avons eu un faible taux d'émergence pour les deux années, soit seulement 29 adultes. De nombreux facteurs peuvent expliquer ce faible taux de capture. Premièrement, nous ne connaissons pas le taux de mortalité naturel des larves et des œufs de charançon. Par conséquent, il est possible que malgré l'introduction d'un nombre relativement élevé de larves et d'œufs dans les pièges, seule une petite fraction de ce nombre arrive à maturité, d'où le faible taux d'émergence des adultes. Ensuite, la concentration d'une quantité élevée de pommettes en décomposition dans un piège (Annexe : Figure 6C) peut avoir une incidence sur le taux survie des larves; la moisissure et les conditions du milieu pouvant nuire à leur développement. Par ailleurs, la prédation peut avoir également joué un rôle dans le faible taux de capture; la présence d'araignées confinées dans les pièges a probablement pu contribuer à ce résultat (Annexe : Figure 9). Malgré ce faible taux

d'émergence, il n'en demeure pas moins que nous avons observé un effet significatif des traitements lors des deux années d'étude. En 2019, on n'observe aucune émergence dans les parcelles traitées avec *S. carpocapsae* et, en moyenne, 0,2 adulte dans les pièges traités avec une combinaison de *S. feltiae* et *S. carpocapsae*; une différence significative avec le témoin (Figure 2, X=2,6, F=3,17, *p*= 0,04). En 2020, on observe aussi significativement moins d'adultes qui émergent dans les pièges des parcelles traitées avec *S. carpocapsae* (X=0,1) et avec une combinaison de *S. carpocapsae* et *S. feltiae* (X=0,2) comparativement aux parcelles témoin (Figure 3, X=1,4; F=3,83, *p*=0,01). Pour les deux années, bien qu'on observe moins d'émergence dans les parcelles traitées avec *S. feltiae* seul ou dans les parcelles avec *S. carpocapsae* au printemps et *S. feltiae* sur les adultes, la différence n'est pas significative avec le témoin.



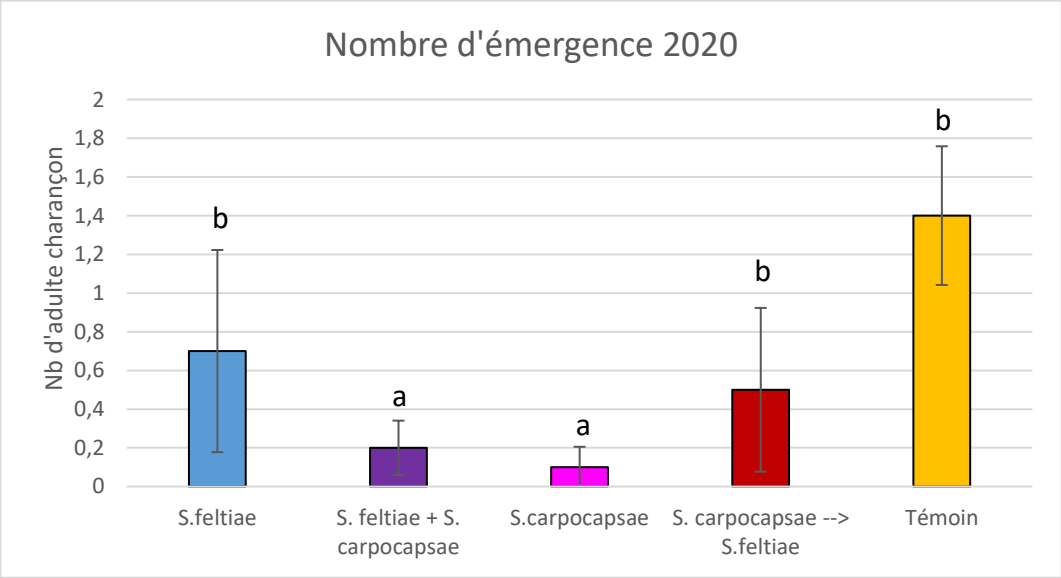


Figure 2. Nombre moyen de charançons adultes ayant émergé par piège dans les différents traitements en 2019 et en 2020. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les traitements au seuil de 5%.

Ces résultats laissent croire à une réelle efficacité de *Steinernema carpocapsae* lorsqu'appliqué au sol contre les larves, les pupes et les jeunes adultes charançon qui émergent à l'été. Contrairement à ce qui a été observé en laboratoire (Shapiro-Ilan et coll. 2002), *S. carpocapsae* seul semble plus efficace que *S. feltiae* seul pour tuer les jeunes charançons dans les conditions d'un verger québécois. Une combinaison des deux espèces demeure intéressante selon nos résultats. D'autres essais sont nécessaires, mais il est possible que leur mode d'action et leur technique de chasse soient complémentaires. L'utilisation de deux espèces pourrait aussi permettre plus de versatilité et de s'adapter à différents contextes. Toutefois, l'efficacité du traitement de *S. feltiae* en combinaison avec *S. carpocapsae* ouvre également la porte à la possibilité d'appliquer une dose réduite de *S. carpocapsae* et d'obtenir un tout de même un bon contrôle des charançons, puisque ce traitement équivaut à une demi-dose de *S. carpocapsae* soit 2 millions de nématodes par arbre.

<u>Conditions d'études et rentabilité de la technique</u>

Les extractions de nématodes nous ont permis de constater d'abord qu'il y a des nématodes entomopathogènes naturellement présents dans le verger. Nous n'avions malheureusement pas les ressources pour en faire l'identification malgré l'accompagnement du Laboratoire diagnostique en phytoprotection du MAPAQ. Toutefois, malgré l'application répétée de nématodes, il ne semble pas y avoir un accroissement des populations au fil du temps. Selon nos observations, lorsque les nématodes sont appliqués en période de pluie au printemps (14-20mm, T moy. 15C), le nombre de nématodes reste élevé dans les parcelles traitées même après 48h. En d'autres cas, même en ajoutant une période d'irrigation, on ne voit pas de persistance des nématodes appliqués dans les 10 à 15 premiers centimètres du sol. D'ailleurs, si l'on compare l'augmentation de l'humidité du sol lors d'une période d'irrigation, on parle d'une augmentation de la teneur en eau d'environ 0,002mm^3/mm^3 lors d'une journée sans pluie, contrairement à un épisode de pluie où l'accumulation est d'environ 6mm et où la teneur en eau augmente alors à 0,052 mm^3/mm^3 à 10cm dans le sol (Annexe : Figure 10). Une période d'irrigation n'a donc pas du tout le même effet qu'une pluie abondante sur l'humidité du sol. Les gouttelettes très fines produites par le système d'irrigation par aspersion en place dans la parcelle semblent surtout captées par le couvre-sol enherbé; l'eau restant en surface augmente ainsi très peu l'humidité au-delà de 10 cm. Même si les nématodes ont montré leur efficacité dans le contexte d'étude, l'irrigation de la parcelle ne suffit pas à permettre un établissement à moyen terme de ceux-ci. Pour la santé des arbres, nous allons revoir l'irrigation pour faciliter davantage la percolation de l'eau, mais nous ne pouvons augmenter davantage les périodes d'irrigations. Pour ce qui est de la rentabilité de l'utilisation de nématodes entomopathogènes, plusieurs mises au point restent à faire pour optimiser la technique et réduire le nombre de traitements et/ou la dose appliquée. Notre projet n'avait pas pour objectif d'offrir, au terme des deux années, une solution économiquement viable, car il fallait d'abord démontrer l'efficacité des nématodes dans le contexte de production québécois. Actuellement, chaque traitement coûte au minimum 1000$/ha ou 1,72$/arbre à la dose recommandée. À noter que le prix des nématodes entomopathogènes varie beaucoup d'un fournisseur à l'autre passant de 21,50$ à 99,95$ par sachet de 50 millions. Comme les traitements coûtent cher, nous croyons que nous pourrions optimiser la technique en réduisant le nombre d'applications, mais en maintenant le taux d'humidité très élevé dans le sol uniquement lors des applications et dans les 48h suivantes. Ceci permettrait un déploiement prolongé des nématodes appliqués tout en maximisant l'investissement. Nos résultats laissent aussi croire qu'une application aux 7 jours d'une dose réduite de moitié de *S.* permettrait de réduire l'émergence des charançons de façon considérable.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats du projet ont été présentés aux Journées annuelles sur la recherche et l'innovation technologique du Réseau-Pommier (JARITS) en janvier 2021.Le projet a été présenté dans le cadre de deux cours aux étudiants en production fruitière biologique au Cégep de Victoriaville en 2019 et 2020. Le rapport final et la fiche synthèse seront aussi diffusés sur le site web du CETAB+ et sur Agri-Réseau. Les résultats de ce projet serviront aussi de base à d'autres essais qui se poursuivront dès l'été 2021 au verger du Boisé des Frères et possiblement dans d'autres vergers partenaires.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Les résultats de ce projet laissent entrevoir le potentiel des nématodes entomopathogènes *S. carpocapsae* et *S. feltiae* pour contrôler les charançons en vergers commerciaux. Le manque de solutions contre le charançon de la prune est souvent noté comme le principal frein à la transition vers l'agriculture biologique en verger de pommiers, mais aussi dans la production de cerises, de poires et de prunes. Le fait d'avoir utilisé dans ce projet des produits à base de nématodes qui sont disponibles commercialement et homologués en production biologique permet une application rapide des techniques développées et pourrait favoriser la transition des entreprises vers ce mode de production. Par ailleurs, les nématodes entomopathogènes peuvent aussi être utilisés en production conventionnelle, afin de diminuer les traitements insecticides nocifs pour l'environnement et la santé. On comprend de mieux en mieux les conditions propices à l'utilisation de nématodes entomopathogènes en agriculture. Ce qui fait en sorte que ces derniers sont de plus en plus utilisés en culture maraîchère, particulièrement en serre. Ce projet ouvre à son tour la voie à une utilisation possible en culture pérenne dans un écosystème complexe, et contre un ravageur qui comme bien d'autres complète une partie de son cycle vital dans le sol.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Noémie Gagnon Lupien, biologiste, M.Sc.
CETAB+
475, rue Notre-Dame Est
Victoriaville (Québec) G6P 4B3
Téléphone: 819 758-6401, poste 2782
Courriel: noemie.gagnon.lupien@cetab.org

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du volet 3 du programme Prime-Vert – Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021.

RÉFÉRENCES

Agnello, A., Cox, K., Lordan, J., Francescatto, P., et T. Robinson. 2017. Comparative Programs for Arthropod, Disease and Weed Management in New York Organic Apples. Insects. 8(9): 2-20.

Alston et coll. 2005. Evaluation of novel fungal and nematode isolates for control of Conotrachelus nenuphar (Coleoptera: Curculionidae) larvae. Biological control. 35: 163-171.

Brossard et Hill. 1990. Efficacité de deux espèces d'Heterorhabditis et de Steinernema envers le charançon de la prune Conotrachelus nenuphar Herbst (F: curculionidae). Proceedings of the 36th annual meeting of the Canadian Pest Management Society.Quebec.

Chouinard, G. 1991. Spring field activity and foraging behavior of plum curculio, Conotrachelus nenuphar, (Coleoptera: Curculionidae), in insecticide treated and untreated Québec apple orchards. Ph.D. thesis, McGill University, Montréal, Québec. 238 pp.

Duval, J. 1992. Le charançon de la prune. Ecological agriculture projects. McGill University. AGRO-BIO - 330 – 08.

Hoyt, S.C., Leeper, J. R., Brown, G. C., et B.A. Croft. 1983. Basic biology and management components for insect IPM. Pages 93-151.

Kim, H. G. et D. G. Alston. 2008. Potential of Two Entomopathogenic Nematodes for Suppression of Plum Curculio (Conotrachelus nenuphar, Coleoptera: Curculionidae) Life Stages in Northern Climates. Biological Control. 37(5): 1272-1279.

Lacey, L. A., & Georgis, R. 2012. Entomopathogenic nematodes for control of insect pests above and below ground with comments on commercial production. *Journal of Nematology*, *44*(2), 218.

Lafleur, G. et Hill, S.B. 1984. Étude de la dispersion et du comportement du charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar* (Herbst) (Coleoptera: Curculionidae), à l'aide de traceurs radioactifs au Québec. Pages 25-37

Laroche, M., et Provost, C. 2018. Évaluation de pièges pour le dépistage et le contrôle du charançon de la prune en verger. Rapport final MAPAQ Innov'Action N°216531. 26p.

Paradis, R.O. 1956. Observations sur le cycle évolutif du charançon de la prune, *Conotrachelus nenuphar* sur la pomme dans le Québec. Annales de la Société Entomologique du Québec, 2:60-64.

Pereault, R.J., Whalon, M.E. et D.G. Alston. 2009. Field Efficacy of Entomopathogenic Fungi and Nematodes Targeting Caged Last-Instar Plum Curculio (Coleoptera: Curculionidae) in Michigan Cherry and Apple Orchards. Biological Control. 38(4): 1126-1134.

Racette, G., Chouinard, G. Vincent, C. & Hill, S.B. 1992. Ecology and management of plum curculio, Conotrachelus nenuphar [Coleoptera : Curculionidae], in apple orchards. Phytoprotection. 73(3): 85-100.

Shapiro-Ilan, D.I., Mizell, R.F. et J.F. Campbell. 2002. Susceptibility of the Plum Curculio, *Conotrachelus nenuphar*, to entomopathogenic nematodes. Journal of Nematology. 34(3):246-249.

Shapiro-Ilan, D.I., Mizell III, D.F., Cottrell, T.E. et D. L. Horton. 2004. Measuring field efficacy of Steinernema feltiae and Steinernema riobrave for suppression of plum curculio, Conotrachelus nenuphar, larvae. Biol. Control 30, 496–503.
Shapiro-Ilan et coll. 2005. Orchard crops. CABI Publishing. pp. 215–230.

Shapiro-Ilan D.I., Lacey, L.A & Siegel J.P. 2007. Microbial control of insect pests of stone fruit and nut crops. In: Lacey L.A., Kaya H.K. (eds) Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology. Springer, Dordrecht.

Shapiro-Ilan , D.I., Mizell III, D.F., Cottrell, T.E. et D. L. Horton. 2008. Control of plum curculio, Conotrachelus nenuphar with entomopathogenic nematodes: effects of application timing, alternate host plant, and nematode strain. Biol. Control 44, 207–215.

Shapiro-Ilan, D.I., Leskey, T.C. et S.E. Wright. 2011. Virulence of entomopathogenic nematodes to plum curculio, Conotrachelus nenuphar: effects of strain, temperature, and soil type. J. Nematol. 43, 187–195.

Shapiro-Ilan D.I., Wright, S.E., Tuttle, A.F., Cooley, D.R. & Leskey, T.C. 2013. Using entomopathogenic nematodes for biological control of plumcurculio, Conotrachelus nenuphar: Effects of irrigation andspeciesin apple orchards. Biological Control.67:123–129.

Smith & Salkeld. 1964. Ovary Development and Oviposition Rates in the Plum Curculio, Conotrachelus nenuphar (Coleoptera: Curculionidae). Annals of the Entomological Society of America. 75(6).

Whitcomb, W.D. 1932. The relation of temperature to the activity and control of the plum curculio in apples. Massachussetts Agricultural Experiment Station. Bulletin 285: 1-16.

ANNEXES

Figure 1. Vue aérienne des parcelles à l'étude au Verger du Boisé des Frères (en rose). Les deux endroits marqués d'une épingle correspondent au lieu d'hivernage connu des charançons.

arbres	30	29	rang 28	rang 27	rang 26	rang 25	rang 24	rang 23	rang 22	rang 21	rang 20
1	pommier	pommier	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
2	pom + Barber	pommier	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
3	pommier	pom + Barber	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
4	pommier	pommier	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
5	pom + Barber	pommier	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
6	pommier	pom + Barber	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
7	pommier	pommier	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
8	pommier	pommier	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree
9	pom + Barber	pommier	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
10	pommier	pom + Barber	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
11	pommier	pommier	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
12	pommier	pommier	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
13		pom + Barber	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
14		pommier	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
15		pommier	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree		Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
16		pom + Barber	Rubi	Rubi	Rubi	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp
17		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
18		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
19		pom + Barber	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp		Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
20		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
21		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
22		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp		Rubi	Rubi
23		pom + Barber	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
24		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
25		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
26		pommier	Redfree	Redfree	Redfree	Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
27		pom + Barber	Redfree	Redfree		Honeycrisp	Honeycrisp	Honeycrisp	Rubi	Rubi	Rubi
							5205		Rubi		Rubi
									Rubi		Rubi
											Rubi
											Rubi

Légende

- *S. carpocapsae au printemps, et feltiae à l'été*
- *S. carpocapsae + S. feltiae* en même temps
- *S. feltiae*
- *Témoin*
- *S. carpocapsae*
- Zone tampon

Figure 2. Dispositif en carré latin avec 5 traitements et 5 répétitions mis en place au Verger du Boisé des Frères. Chaque rang traité était ceinturé d'une zone tampon d'environ 9m de rayon.

Figure 3. Installation d'un piège Barber (piège fosse) à la base d'un arbre. Le piège a été installé dans un rang de pommier en périphérie de la parcelle à l'étude, soit un rang plus près du site d'hibernation connu.

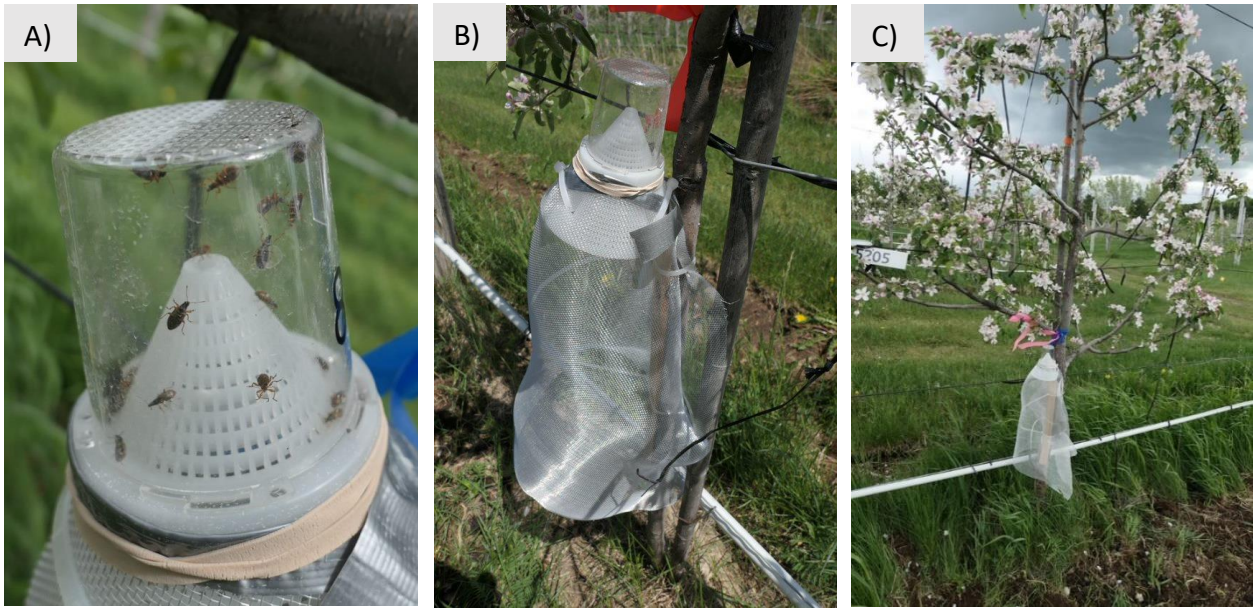


Figure 4. Piège tronc installé pour capturer les charançons adultes sortant d'hivernation au printemps. Le piège est constitué d'une moustiquaire circulaire fixée sur le tronc de l'arbre et surmonté d'un entonnoir inversé dans un bocal de collecte. A) Insectes capturés dans le pot de collecte. B) Piège installé à la base du tronc, empêchant l'accès des insectes qui montent le long du tronc aux fruits. C) Vue globale d'un piège tronc installé sur un pommier.

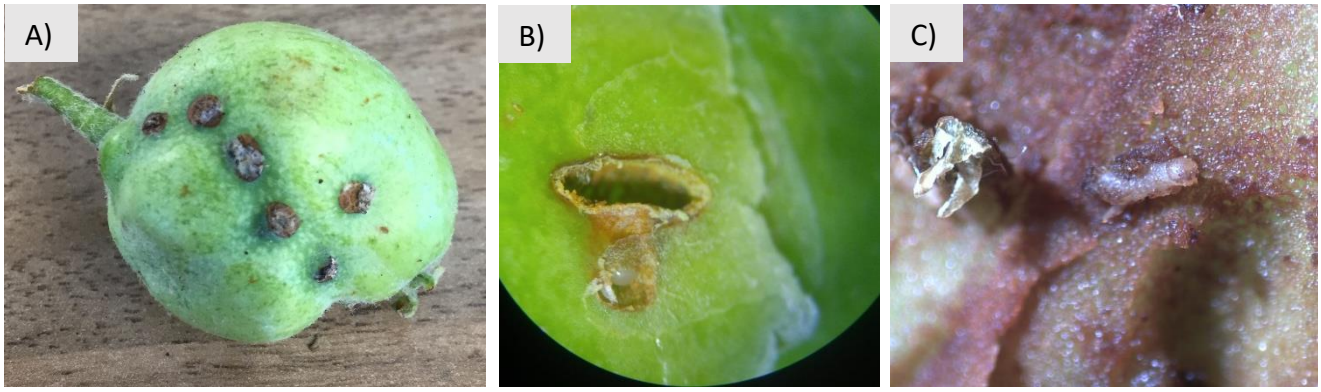


Figure 5. Pommette infestée par des larves de charançon. A) Cicatrices caractéristiques du lieu de ponte de la femelle sur les fruits. B) Observation au laboratoire : œuf déposé dans un trou réalisé par la femelle dans la pelure du jeune fruit. C) Observation de fruits au laboratoire : la larve qui s'alimente dans la chair du fruit.

Figure 6. Piège à émergence dans lequel on a introduit des pommettes infestées de larves de charançon pour évaluer l'efficacité des nématodes sur les larves et les pupes. A) Dispositif complet. B) Pommettes infestées de larves introduites sous les pièges. C) Pommettes en décomposition dans le piège à émergence à la fin de la saison.

Figure 7. Application de nématodes à la base des troncs de pommiers au printemps contre les charançons adultes à l'aide d'un pulvérisateur sac à dos.

Figure 8. Araignée capturée dans un pot de collecte d'un piège à émergence. En tant que prédateur, l'araignée peut être responsable d'une diminution du taux de capture des charançons adultes.

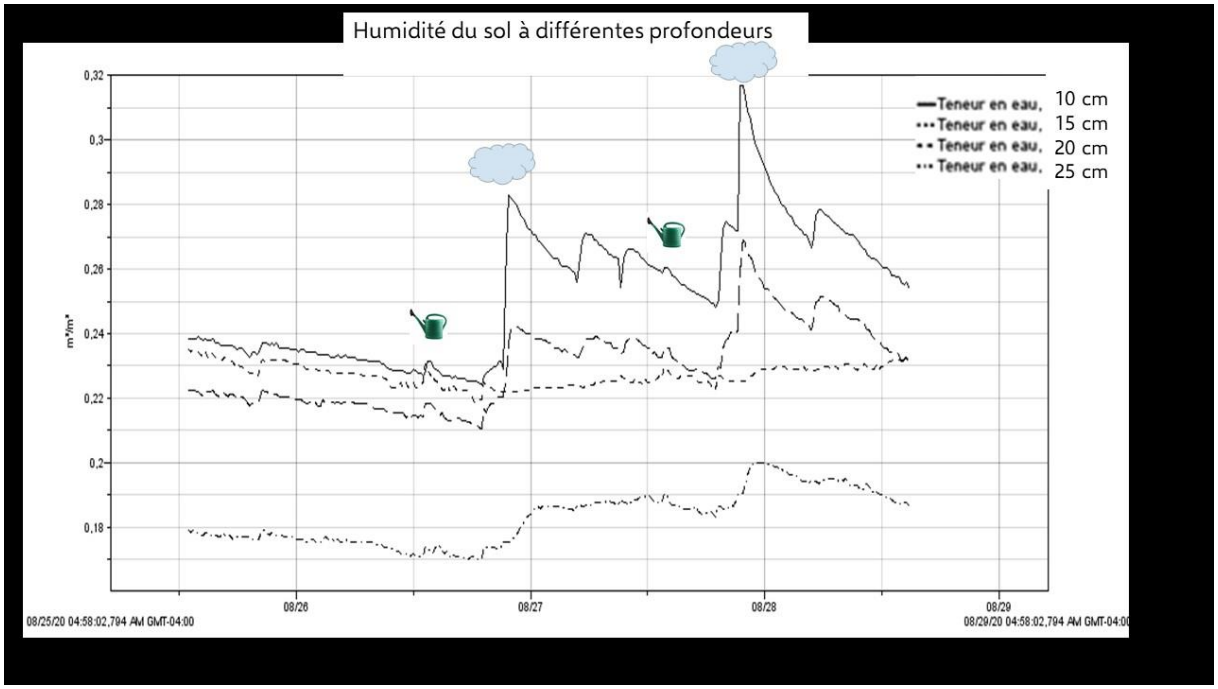


Figure 9. Humidité du sol à différentes profondeurs lors de période d'irrigation (arrosoir) et de pluie (nuage) en août 2020.