

**ÉVALUATION DE L'UTILISATION DE FILETS D'EXCLUSION CONTRE LA DROSOPHILE À AILES
TACHETÉES DANS LA CULTURE DE FRAMBOISIERS SOUS GRANDS TUNNELS**

PROJET FEOP-1-17-1860

DURÉE DU PROJET : MARS 2018 / AOÛT 2021

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Audrey Bernet, B. Sc.
Marine Marel, M. Sc.
Valérie Bernier-English, M. Sc.
Marianne Lamontagne-Drolet, M. Sc.
Daniel Pouliot, B. Sc
Ferme Onésime Pouliot inc.

1^{er} mars 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.

ÉVALUATION DE L'UTILISATION DE FILETS D'EXCLUSION CONTRE LA DROSOPHILE À AILES TACHETÉES DANS LA CULTURE DE FRAMBOISIERS SOUS GRANDS TUNNELS

PROJET FEOP-1-17-1860

RÉSUMÉ DU PROJET

La drosophile à ailes tachetées (*Drosophila suzukii*, DAT) est un important insecte ravageur observé depuis 2010 dans la culture de la framboise au Québec. Cette mouche possède la caractéristique de pondre ses œufs directement dans les fruits en mûrissement, dans lesquels les larves se développent ensuite. La lutte chimique est actuellement le principal moyen utilisé pour contrôler cet insecte. Toutefois, les œufs et les stades larvaires se trouvant dans les fruits sont difficilement atteignables par les insecticides, ce qui oblige les producteurs à traiter régulièrement leurs framboisiers. Dans un objectif de réduction de l'application d'insecticides en période de fructification, l'étude de moyens de lutte alternatifs contre la DAT devient nécessaire dans cette culture. La solution la plus prometteuse sous grands tunnels est la mise en place de filets d'exclusion protégeant la culture.

De 2018 à 2020, ce moyen de lutte a été mis à l'essai en culture hors-sol de framboisiers de type longues cannes de la variété *Tulameen* à la Ferme Onésime Pouliot inc., à St-Jean-de-l'Île-d'Orléans. Pour ce faire, des parcelles d'expérimentation en régie conventionnelle (témoin), avec des filets d'exclusion incluant un sas à l'entrée et avec des filets d'exclusion sans sas ont été installées. Les deux traitements sous filets n'ont reçu aucune intervention insecticide contre la DAT alors que le traitement témoin a été soumis à une régie conventionnelle d'insecticides de synthèse.

Pour les trois années de l'essai, les fruits du traitement en régie conventionnelle ont été significativement plus infestés par la DAT que ceux des deux traitements sous filets. Toutefois, en 2018 et 2020, une forte infestation des fruits sous filets par le pathogène fongique opportuniste *Cladosporium* sp. a mené, au final, à une proportion de fruits invendables plus élevée dans les traitements sous filets comparativement au traitement en régie conventionnelle. En effet, les filets ont apporté un environnement moins bien aéré et plus humide, plus propice au développement de maladies fongiques s'attaquant aux fruits. Malgré cela, la quantité totale de fruits vendables est demeurée similaire pour les trois traitements. En conclusion, les filets ont permis d'éviter en moyenne quatre traitements insecticides par année tout en étant plus efficace que la lutte chimique pour contrôler la DAT avec ou sans sas à leur entrée.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Le principal objectif de ce projet était d'évaluer la capacité de filets d'exclusion à protéger les cultures de framboisiers sous grands tunnels contre la DAT, afin d'éliminer l'application d'insecticides chimiques contrôlant ce ravageur. Conjointement, la pertinence de l'ajout d'un sas à l'entrée des tunnels, pour réduire davantage l'entrée des DAT, était également à l'étude dans le cadre du projet. L'effet des filets d'exclusion sur le climat sous les tunnels, et de ce fait, sur le développement de maladies et de ravageurs ainsi que sur le rendement fructifère et la qualité des fruits (calibre et indice Brix) étaient aussi des paramètres évalués. Finalement, ce projet avait comme dernier objectif d'effectuer une brève analyse technique et économique afin de déterminer la faisabilité et la rentabilité de cette méthode. Cela consiste à communiquer les détails techniques et les revenus et dépenses associés aux différentes méthodes abordées dans le cadre du projet.

Le dispositif expérimental mis en place comprenait douze grands tunnels de 54 m de long par 8,5 m de large et 4,6 m de haut, comprenant chacun trois rangs de framboisiers de variété *Tulameen* longue canne à une densité de six cannes par mètre linéaire. Les cannes utilisées pour l'essai avaient été implantées en pépinière sur l'entreprise la saison précédente et avaient passé l'hiver dans un réfrigérateur à -1,5°C. Leur plantation au champ a été réalisée autour de la deuxième semaine de juin (plantation dite tardive), pour une production de fruits de la mi-août au début octobre, moment où la pression de la DAT est la plus élevée. Chaque tunnel correspondait à une répétition d'un des trois traitements à l'essai (3 traitements x 4 répétitions = 12 tunnels ou unités expérimentales). Des parcelles de 210 cannes étaient délimitées au centre des tunnels pour la prise de mesures expérimentales (dispositif en annexe 1). Le filet utilisé était de marque *ProtekNet* tricoté, avec des mailles de 0,95 mm x 1,4 mm, 70 gr/m², de *Dubois Agrinovation*. Il était installé et fermé vers la première semaine d'août, juste avant que les premiers fruits verts commencent à rougir et que les DAT commencent à pondre dans ceux-ci. Une ruche commerciale de bourdons *Bombus impatiens* était ajoutée dans chaque tunnel avec filets pour assurer la pollinisation. Les traitements à l'étude étaient 1) culture sous tunnel sans filet avec une régie phytosanitaire conventionnelle (témoin), 2) culture sous tunnel avec filets d'exclusion incluant un sas à l'entrée du tunnel, sans application d'insecticide contre la DAT et 3) culture sous tunnel avec filets d'exclusion sans sas et sans application d'insecticide contre la DAT. Les traitements insecticides appliqués en 2018, 2019 et 2020 sont présentés au tableau 1. Les principales variables suivies hebdomadairement pour chaque parcelle expérimentale étaient :

1- Évaluation de la présence de la DAT:

A) proportion de fruits déclassés, c'est-à-dire le poids des fruits non-vendables divisé par le poids total des fruits produits.

B) nombre de larves dans 100 g de fruits soumis à un test de sel, qui permet de dépister les larves de DAT dans les fruits déclassés. Ce test consiste à plonger 800 g de fruits déclassés dans une solution saline 1:16 sel:eau. Les larves de drosophiles flottent alors à la surface de l'eau, facilitant leur décompte.

C) nombre d'adultes émergents suite à l'incubation de 30 fruits vendables dans des cages cubiques fermées par le filet d'exclusion, ce qui permet de dépister les œufs de DAT. Trente fruits sains étaient incubés par cage pendant 14 jours à température de la pièce. Les adultes émergeant des fruits étaient capturés dans un verre de vinaigre de cidre placé dans les cages puis comptés (photos en annexe 2).

D) décompte de drosophiles capturées dans six pièges attractifs par tunnel avec vinaigre de cidre et dans deux pièges supplémentaires par sas. Le décompte des drosophiles visait à valider l'étanchéité des filets seulement, les drosophiles n'ont pas été identifiées à l'espèce en raison de leur grand nombre.

2- Suivi des conditions environnementales et de leur incidence sur le développement des maladies et ravageurs:

A) dépistage visuel des punaises ternes et des tétranyques à deux points (infestation évaluée de 0 à 5 selon le nombre d'individus dénombrés par tunnel¹). Dépistage de la rouille, du blanc et de *Cladosporium* sp. (présence ou absence de la maladie dans chaque tunnel (0 ou 1)). Évaluation du pourcentage de fruits vendables affectés par

¹ Tétranyques : 0 = aucun individu, 1 = quelques individus isolés sur 1-2 feuilles, 2 = quelques individus sur plusieurs feuilles, 3 = petits foyers sur plusieurs feuilles, 4 = grands foyers sur plusieurs feuilles, 5 = présence généralisée. Punaises ternes : 0 = aucun individu, 1 = 1-2 punaise(s) dans une frappe, 2 = 2-5 punaises dans quelques frappes, 3 = 6-12 punaises dans quelques frappes, 4 = présence de punaises dans la moitié ou plus des frappes effectuées, 5 = présence de punaises dans toutes les frappes effectuées.

Cladosporium sp. en 2019 et 2020 à la suite de son observation en 2018 (nombre de fruits atteints/nombre de fruits dans un contenant de 120 g de fruits).

B) suivi de l'humidité relative et de la température dans le feuillage des framboisiers à 1,5 m de hauteur avec des appareils HOBOS.

3- Suivi de la fructification et de la qualité des fruits:

A) rendements fructifères (g/canne) comptabilisés à chaque récolte.

B) calibre de fruit en g/fruit pour 120 g de fruits/répétition à chaque récolte.

C) taux de sucre (indice Brix) des cinq fruits/répétition à chaque semaine.

Tableau 1. Traitements insecticides appliqués en 2018, 2019 et 2020 dans les parcelles du traitement 1 (sans filet) de l'essai.

Date d'application	Nom commercial	Matière active	Groupe
2018-08-09	Entrust SC	Spinosad	5
2018-08-14	Entrust SC	Spinosad	5
2018-08-24	Entrust SC	Spinosad	5
2018-08-31	Delegate WG	Spinétorame	5
2019-08-18	Entrust SC	Spinosad	5
2019-08-27	Entrust SC	Spinosad	5
2019-09-04	Delegate WG	Spinétorame	5
2019-09-15	Delegate WG	Spinétorame	5
2020-07-30	Assail 70 WP	Acétamipride	4
2020-08-08	Assail 70 WP	Acétamipride	4
2020-08-17	Delegate WG	Spinétorame	5
2020-08-27	Success 480 SC	Spinosad	5
2020-09-04	Harvanta 50 SL	Cyantraniliprole	28
2020-09-10	Success 480 SC	Spinétorame	5

En 2020, une infestation importante des fruits par le champignon opportuniste *Cladosporium* sp. a forcé le retrait des filets vers la mi-septembre. Afin de mettre en valeur l'efficacité réelle des filets, la plupart des données ont été analysées en deux temps, soit du début de la saison jusqu'au 15 septembre, ainsi que du début à la fin de la saison, afin de mieux comparer les données pour les trois années du projet.

Ce dispositif expérimental permettait une analyse statistique valide (à l'exception des données HOBOS et de dépistage). Les analyses de variance ont été élaborées avec SAS par le modèle GLIMMIX. Les comparaisons multiples pour évaluer les différences significatives entre les traitements ont été faites par test de Tukey. Les effets ont été considérés significatifs à $\alpha = 0,05$.

RÉSULTATS OBTENUS

1- Évaluation de la présence de la DAT

Tableau 2. Moyennes des pourcentages de fruits déclassés, du nombre de larves comptées avec les tests de sel, du nombre d'adultes émergents des incubations de fruits et du nombre de drosophiles dans les pièges attractifs en 2018, 2019 et 2020 (du début de la saison jusqu'au retrait des filets le 15 sept et du début à la fin de la saison). Les effets sont significatifs au niveau $\alpha = 0,05$.

		Fruits déclassés (%)	Tests de sel (larves/100 g de fruits)	Incubations (adultes/ 30 fruits)	Pièges (drosos /tunnel/saison)
2018	1) Régie conventionnelle	10,99 ± 0,64 b	2,32 ± 0,15 a	16,67 ± 3,57 a	760,50 ± 54,05 a
	2) Filet avec sas	14,71 ± 1,07 a	0,16 ± 0,15 b	3,83 ± 1,96 b	75,00 ± 5,89 b
	3) Filet sans sas	15,35 ± 0,87 a	0,34 ± 0,20 b	3,08 ± 0,82 b	64,25 ± 14,85 b
	Valeur p	0,0134	0,0001	0,005	0,0001
2019	1) Régie conventionnelle	8,78 ± 0,46 a	2,80 ± 0,92 a	8,00 ± 4,97 a	112,75 ± 18,97 a
	2) Filet avec sas	7,93 ± 0,65 a	0,49 ± 0,13 b	2,00 ± 1,68 a	7,25 ± 1,75 b
	3) Filet sans sas	9,25 ± 0,50 a	0,63 ± 0,13 b	1,25 ± 0,63 a	7,75 ± 2,56 b
	Valeur p	0,2666	0,0251	0,2798	0,0001
2020 jusqu'au 15 sept	1) Régie conventionnelle	7,32 ± 1,05 a	1,45 ± 0,62 a	5,75 ± 3,15 a	552,05 ± 102,90 a
	2) Filet avec sas	8,7 ± 0,61 a	0,16 ± 0,12 b	7,25 ± 5,44 a	26,90 ± 3,02 b
	3) Filet sans sas	9,47 ± 1,19 a	0,09 ± 0,03 b	1,00 ± 0,71 a	19,20 ± 4,61 b
	Valeur p	0,3373	0,047	0,4792	0,0002
2020 total	1) Régie conventionnelle	7,90 ± 1,02 b	-	-	-
	2) Filet avec sas	10,50 ± 0,34 ab	-	-	-
	3) Filet sans sas	11,77 ± 0,99 a	-	-	-
	Valeur p	0,028	-	-	-

Pour les trois années du projet, les fruits ont été plus infectés par la DAT sous la régie conventionnelle en comparaison aux deux traitements avec filets. En effet, en 2018, 2019 et 2020, significativement plus de larves de DAT ont été comptées lors des tests de sels réalisés sur les fruits déclassés provenant du traitement témoin que des deux autres traitements. En 2018, dans les incubations de fruits sains, quatre fois plus de DAT adultes ont également été comptées dans les fruits provenant du traitement témoin comparativement aux traitements avec filets. De plus, bien que les drosophiles n'aient pas été identifiées à l'espèce pour cette variable, entre 10 et 30 fois plus de drosophiles ont été retrouvées dans les pièges attractifs des tunnels du traitement témoin que dans ceux avec filets pour les trois années du projet, ce qui permet de confirmer leur étanchéité. Aussi, seulement de 3 à 10 drosophiles ont été comptées dans les deux pièges installés dans les sas en moyenne par saison. Toutefois, malgré le fait que les DAT étaient plus présentes dans les parcelles du traitement témoin en régie conventionnelle, ce traitement était aussi celui avec le plus faible pourcentage de fruits déclassés en 2018 et 2020. Ces résultats contradictoires s'expliquent par le fait que beaucoup de fruits (voir tableau 3) lors de ces deux années ont été affectés par un champignon noir opportuniste, *Cladosporium* sp. (photos en annexe 3), dans les deux traitements sous filets. Ce serait donc principalement ce champignon qui aurait causé le déclassement des fruits dans les traitements 2 et 3, en 2018 et 2020, et non la présence de larves de drosophiles dans les fruits. Finalement, la présence d'un sas à l'entrée des tunnels avec filets n'a pas diminué significativement le nombre de drosophiles présentes dans les fruits. On peut donc affirmer qu'un simple filet sans sas est suffisant pour empêcher l'infestation des fruits par la DAT.

2- Suivi des conditions environnementales et de leur incidence sur le développement des maladies et ravageurs

Tableau 3. Résultats des dépistages visuels hebdomadaires de punaises ternes (niveau d'infestation évalué de 1 à 5), de tétranyques à deux points (niveau d'infestation évalué de 1 à 5), de rouille (présence ou absence), de blanc (présence ou absence) et de *Cladosporium* sp. (présence ou absence) ainsi que le pourcentage de fruits vendables atteints par *Cladosporium* sp. en 2019 et 2020.

		Punaises (sur 5)	Tétranyques (sur 5)	Rouille (0 ou 1)	Blanc (0 ou 1)	<i>Cladosporium</i> pré-récolte (0 ou 1)	Fruits avec <i>Cladosporium</i> (%)
2018	1) Régie conventionnelle	0,83	0,63	0,13	0,00	0,00	-
	2) Filet avec sas	1,42	0,46	0,00	0,00	0,67	-
	3) Filet sans sas	1,58	0,38	0,04	0,04	0,63	-
2019	1) Régie conventionnelle	1,45	0,40	0,70	0,05	0,00	4,34 ± 0,94 a
	2) Filet avec sas	1,30	0,45	0,80	0,15	0,10	5,77 ± 0,54 a
	3) Filet sans sas	1,75	0,90	0,75	0,15	0,05	4,53 ± 0,71 a
	Valeur p	-	-	-	-	-	0,3805
2020	1) Régie conventionnelle	0,00	1,25	0,88	0,00	0,00	2,14 ± 0,43 b
	2) Filet avec sas	0,00	1,81	0,94	0,00	0,81	14,82 ± 4,24 ab
	3) Filet sans sas	0,00	1,25	0,88	0,00	0,88	18,02 ± 4,56 a
	Valeur p	-	-	-	-	-	0,0283

On peut voir dans le tableau 3 que les filets ont eu peu d'effet sur le niveau d'infestation des plants par les punaises ternes et les tétranyques à deux points. On peut supposer que ces insectes étaient déjà présents sous les filets lors de leur fermeture. Aucun effet direct des filets n'est observable sur le développement de la rouille non plus. En 2019, plus de blanc a toutefois été observé dans les tunnels avec filets que dans les parcelles témoins, bien que les dommages causés par la maladie étaient minimes. Quant à la présence du champignon *Cladosporium* sp., il est très clair que son développement est directement relié à l'utilisation des filets. Son infestation fut particulièrement importante en 2018 et 2020, alors que le champignon était présent dans 63 à 88% des tunnels en moyenne lors des dépistages sur une saison. De plus, on peut mentionner qu'en 2018, le champignon a été observé pour la première fois le 28 août, en 2019, le 27 septembre seulement, alors qu'en 2020, il était présent dès les dépistages du 25 août. C'est probablement cette présence hâtive qui explique le fait que le champignon ait été retrouvé sur plus de 15 à 18% de tous les fruits vendables provenant des parcelles sous filets en 2020. De plus, bien que le champignon n'ait pas été observé lors des dépistages visuels dans les parcelles témoins, 2% à 4% des fruits vendables observés post-récolte provenant de ces parcelles étaient tout de même affectés par le champignon. Ce dernier était donc présent en petite quantité dans la régie conventionnelle en 2019 et 2020, ce qui signifie que la présence des filets ne justifie pas à elle seule son développement sous tunnel, mais qu'elle semble le favoriser grandement. Aussi, il importe de mentionner qu'aucun fongicide n'est actuellement homologué dans la framboise pour lutter contre ce champignon.

Tableau 4. Moyennes de températures (°C) et taux d'humidité relative (%) en régie conventionnelle et sous filets en 2018, 2019 et 2020

		Régie conventionnelle			Avec filets			Régie conventionnelle			Avec filets		
		T° max	T° min	T° moy	T° max	T° min	T° moy	HR max	HR min	HR moy	HR max	HR min	HR moy
2018	08 août au 20 août	31,5	14,8	21,8	32,7	14,8	22,0	97,5	49,9	80,4	97,6	49,9	80,1
	21 août au 31 août	32,5	14,1	20,9	33,6	14,1	21,0	97,8	50,2	82,0	98,5	50,4	83,4
	1er au 10 sept	26,7	10,5	17,1	28,1	10,4	17,3	97,3	52,8	82,1	98,6	54,9	84,5
	Moyenne saison	30,4	13,3	20,1	31,6	13,3	20,3	97,5	50,9	81,4	98,2	51,5	82,5
2019	21 août au 31 août	29,0	11,2	17,9	29,4	11,6	18,1	99,6	50,9	84,1	99,4	54,9	85,4
	1er au 14 sept	23,9	8,9	14,8	23,4	8,7	14,8	95,3	53,7	82,0	95,5	57,9	83,5
	14 sept au 30 sept	20,9	8,8	14,2	21,6	8,7	14,3	96,3	63,3	85,8	96,5	62,7	86,2
	Moyenne saison	24,1	9,5	15,4	24,3	9,5	15,5	96,9	56,7	84,0	96,9	59,0	85,0
2020	26 août au 31 août	21,4	8,4	14,0	23,2	8,0	14,2	98,8	58,3	81,8	98,9	56,7	84,5
	1er au 14 sept	21,8	9,4	15,0	22,8	9,1	15,1	99,9	68,8	90,6	99,8	69,9	91,4
	Moyenne saison	21,7	9,1	14,7	22,9	8,8	14,8	99,6	65,7	88,0	99,6	65,9	89,4

Selon le tableau 4, il a fait en moyenne 0,15°C de plus sous les filets que dans les parcelles témoins. Le pourcentage d'humidité relative, quant à lui, était en moyenne 1,2% plus élevé sous les filets. Il semble donc que pour les trois années du projet, les tunnels avec filets avaient des conditions climatiques légèrement plus chaudes et humides que les tunnels en régie conventionnelle. Aussi, on peut remarquer que l'année 2018 fut la plus chaude des trois, alors que 2020 fut l'année avec humidité relative sous tunnel la plus élevée. Puisque les années 2018 et 2020 furent aussi celles où le champignon *Cladosporium* sp. était le plus présent, on peut supposer que ce dernier se développe particulièrement bien lors des saisons avec des conditions particulièrement chaudes ou humides, mais que la présence des deux conditions n'est pas obligatoire à son développement. Il aurait également été intéressant de mesurer le niveau de circulation de l'air sous les filets afin de le comparer aux parcelles témoins. En effet, on peut facilement supposer que les filets fermés rendent plus difficile l'entrée et la circulation du vent, créant de ce fait un environnement plus propice au développement du champignon.

Une seconde hypothèse serait que les spores du champignon ont peut-être été plus facilement transportées dans les tunnels avec filets par la présence importante des bourdons. En effet, une récente étude menée dans le Maryland (Swett et coll. 2019) mentionne qu'il s'agit d'un champignon épiphyte qui peut se développer avant ou après la récolte des framboises d'automne. Ainsi l'infection peut avoir lieu à la surface des fruits qui ne sont pas blessés, mais le taux de dissémination de la maladie fongique est augmenté lors des pontes de la DAT dans les fruits, tout comme lors de la visite d'autres insectes sur les fruits et fleurs comme les punaises ternes et les pollinisateurs.

Par ailleurs, les concentrations atmosphériques des spores de *Cladosporium* sp. ont été étudiées en relation avec les conditions météorologiques de la Croatie (Peternel et coll. 2004). Les spores de *Cladosporium* sp. se dispersant dans l'air, elles étaient les plus concentrées lors des journées chaudes et sans pluie surtout de 6 à 8h et de 10 à 12h le

matin. On peut aussi penser que les récoltes et les travaux d'entretien des plants de framboises peuvent aussi favoriser la dispersion du champignon dans un endroit confiné tel que retrouvé sous les filets.

On peut donc conclure que la présence et l'importance du *Cladosporium* sp. dans les framboisières sous abris et protégées avec filets anti-drosophiles sont associés à différents paramètres climatiques et biologiques qui seraient intéressants d'étudier davantage.

3- Suivi de la fructification et de la qualité des fruits

Tableau 5. Rendements, calibres et teneurs en sucre des fruits en 2018, 2019 et 2020 (du début de la saison jusqu'au retrait des filets le 15 sept et du début à la fin de la saison). Les effets sont significatifs au niveau $\alpha = 0,05$.

		Rendement (g/canne)	Calibre (g/fruit)	Brix (% sucre)
2018	1) Régie conventionnelle	943,44 ± 43,09 a	4,15 ± 0,04 a	12,29 ± 0,21 a
	2) Filet avec sas	864,45 ± 33,27 a	4,23 ± 0,06 a	12,09 ± 0,25 a
	3) Filet sans sas	893,68 ± 43,15 a	4,29 ± 0,26 a	12,08 ± 0,13 a
	Valeur p	0,4081	0,2041	0,6986
2019	1) Régie conventionnelle	1367,51 ± 22,47 a	4,54 ± 0,09 a	11,31 ± 0,11 a
	2) Filet avec sas	1464,51 ± 31,03 a	4,46 ± 0,07 a	11,35 ± 0,12 a
	3) Filet sans sas	1331,23 ± 64,51 a	4,48 ± 0,05 a	11,33 ± 0,13 a
	Valeur p	0,1343	0,7499	0,9688
2020 jusqu'au 15 sept	1) Régie conventionnelle	812,07 ± 8,83 a	4,21 ± 0,04 a	10,45 ± 0,25 a
	2) Filet avec sas	829,5 ± 17,49 a	4,26 ± 0,09 a	10,52 ± 0,17 a
	3) Filet sans sas	818,55 ± 25,84 a	4,35 ± 0,07 a	10,70 ± 0,13 a
	Valeur p	0,8057	0,4155	0,6548
2020 total	1) Régie conventionnelle	1195,76 ± 21,13 a	4,00 ± 0,06 a	10,89 ± 0,39 a
	2) Filet avec sas	1099,61 ± 41,56 a	3,99 ± 0,08 a	11,00 ± 0,23 a
	3) Filet sans sas	1060,39 ± 59,65 a	4,05 ± 0,06 a	10,95 ± 0,06 a
	Valeur p	0,1336	0,7572	0,9548

Pour les trois années du projet, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements quant au rendement des cannes, au calibre des fruits et à leur taux de sucre. On peut donc conclure que la présence des filets n'a pas eu d'effet négatif sur la production de fruits. Au contraire, même si plus de fruits ont généralement été déclassés dans les parcelles avec filets (tableau 2), la quantité totale de fruits vendables est restée similaire pour tous les traitements (tableau 5), signifiant que les cannes dans les parcelles avec filets ont eu une production fructifère totale (vendable et non vendable) plus importante que le traitement en régie conventionnelle.

En résumé, ces résultats sont très prometteurs quant à l'efficacité des filets à significativement diminuer la quantité de DAT retrouvées dans les fruits comparativement au traitement témoin, et ce, sans effet négatif sur la quantité et qualité (calibre et indice Brix) des fruits produits. Cela confirme que les filets d'exclusion sont plus efficaces que l'application d'insecticides pour diminuer leur présence en production de framboises sous grands tunnels. Aussi, l'ajout d'un sas n'est pas nécessaire pour assurer l'étanchéité des filets. En revanche, le principal problème associé à l'utilisation des filets est évidemment le développement plus important du champignon *Cladosporium* sp. Celui-ci était toutefois très peu présent en 2019, qui était une année moins propice à son développement que 2018 et 2020. On peut donc supposer que l'apparition de ce champignon est dépendante de conditions climatiques particulières qui ne sont pas rencontrées chaque année et probablement pas dans toutes les régions. L'analyse des données météorologiques prises dans le cadre de ce projet laisse croire que l'apparition de ce champignon est principalement

due à la circulation de l'air diminuée et à l'humidité relative plus importante retrouvée sous les filets. Les prochaines recherches pourraient donc porter sur les moyens d'aérer davantage les grands tunnels recouverts de filets d'exclusion.

4- Analyse technique et économique du projet

A) Analyse technique

Sommairement, après plusieurs essais et erreurs, une technique finale d'installation des filets sur les grands tunnels a été retenue. Elle consistait à fixer les filets servant à couvrir les côtés des tunnels directement sur la toile de polyéthylène qui recouvre le dessus de l'arche. Le haut des filets était donc fixé avec deux lattes de bois vissées ensemble entre lesquelles le filet et la toile étaient superposés. Ensuite, le bas du filet était enterré dans le sol.

Pour ce qui est des deux extrémités des tunnels, le haut des filets était attaché directement sur l'arche de la structure à l'aide d'un fil en zigzag qui sert également normalement à attacher le plastique de polyéthylène à la structure. Le bas du filet de l'une des deux extrémités du tunnel était simplement tenu en place avec des sacs de sable, puisqu'il devait rester possible de lever le filet pour permettre le passage d'un tracteur effectuant l'application des traitements fongicides. Le bas de l'autre extrémité était quant à lui enterré dans le sol.

Une porte faite de filet avec un contour en bois était installée sur l'extrémité enterrée. Le système de porte avait un contour fait de deux planches de bois entre lesquelles le filet était vissé. La porte était rattachée à un contour en bois avec des charnières et un ressort, ce qui permettait aux cueilleurs d'entrer et sortir facilement dans le tunnel, la porte se refermant aussitôt derrière eux.

Pour la moitié des tunnels, un sas a été ajouté après la première porte. Il s'agissait d'un espace d'environ deux mètres cubes fait de filet retenu par des planches de bois dans lequel se trouvait une deuxième porte donnant accès au tunnel. Dans le sas, des pièges attractifs avaient été installés afin de capturer les potentielles DAT entrant par la première porte (photos en annexe 4).

Comme les tunnels sont des structures de très grande taille, l'installation des filets a nécessité beaucoup de temps. Pour la première année du projet, le temps d'installation des filets, des sas et des portes était de près de 200 heures au total. Pour les années 2 et 3 du projet, le temps d'installation était plutôt de 180 heures par année.

Les détails complets reliés à l'installation des filets sur grands tunnels sont expliqués dans une fiche technique publiée sur le site de l'Association de producteurs de fraises et framboises du Québec et sur Agri-Réseau (*Détails techniques et économiques liés à l'utilisation de filets anti-insectes en remplacement de la lutte chimique contre la drosophile à ailes tachetées dans la culture de framboisiers sous grands tunnels*, https://www.agrireseau.net/phytoprotection/documents/108782?utm_source=phytoprotection&utm_medium=courriel&utm_campaign=ABO).

B) Analyse économique

D'un point de vue économique, les principaux coûts associés à la régie avec filet étaient les filets, le temps d'installation de ces derniers, les lattes de bois servant à fixer le filet sur le polyéthylène, les planches de bois servant à la construction des portes et des sas, les vis et les ruches de bourdons. Dans les parcelles en régie conventionnelle, les principaux coûts, évités dans la régie avec filet, étaient les traitements insecticides appliqués pour lutter contre la DAT.

Concernant la phytoprotection, les traitements fongicides et acaricides ont été appliqués selon les dépistages autant dans les parcelles témoins que sous filets. Seuls les traitements insecticides visant à contrôler la DAT ont été appliqués uniquement dans les parcelles témoins. Cela représente en moyenne quatre applications de produits insecticides par saison.

Le sommaire des dépenses matérielles associées aux filets et des coûts reliés aux traitements insecticides épargnés sous filets est représenté dans le tableau en annexe 5. Au final, les filets, les portes, les sas, les bourdons et le temps d'installation engendrent des coûts totaux de 20 586,42 \$ pour 5 ans, soit la durée de vie utile des filets. Le coût des quatre traitements insecticides est d'environ 1 006,05 \$ pour 5 ans. Les dépenses nettes associées à huit tunnels (0,37 ha) recouverts de filets pendant 5 ans sont donc de 19 580,37 \$.

La mise en place de filets sur des grands tunnels de 54 m de long par 8,5 m de large et 4,6 m de hauteur n'est donc pas rentable en termes d'investissements en comparaison aux économies en pesticides non-appliqués. Cette structure est tellement haute qu'elle nécessite beaucoup de filet par tunnel pour une petite surface de pesticide à appliquer. Toutefois, pour une structure plus petite, telle une structure de type parapluie qui abriterait le même nombre de pots de framboisiers, mais qui serait plus basse et plus étroite, moins de filets par mètre carré seraient nécessaires et l'installation serait beaucoup plus rapide. Ainsi, l'investissement serait certainement plus intéressant.

Aussi, pour la validité scientifique de l'essai, chaque tunnel était recouvert de filets individuellement avec sa propre porte. Toutefois, en pratique, il serait plus économique et facile de recouvrir seulement les deux côtés d'un ensemble de quatre chapelles, ce qui réduirait de façon très importante la quantité de filets, de portes et de ruches nécessaires, en plus de nécessiter moins de temps d'installation. En effet, le tableau en annexe 6 présente les coûts et économies associées aux filets si, par exemple, les huit tunnels de l'essai avaient été séparés en deux blocs de quatre tunnels comportant chacun deux portes, deux ruches et aucun sas qui s'est avéré peu utile. Dans un tel cas, l'investissement sur 5 ans reviendrait à près de la moitié des coûts de l'essai, soit 10 026 \$ au total. De plus, avec le financement actuellement offert aux producteurs dans le cadre du programme Prime-vert volet 1, l'achat des filets peut être financé à 70%, ce qui diminue le total des dépenses nettes à 7 668,40 \$.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats préliminaires de l'essai ont été présentés le 24 février 2020, après deux ans d'essai, dans le cadre de la journée petits fruits de la Capitale-Nationale et Chaudière-Appalaches du MAPAQ. Une fiche synthèse incluant les résultats finaux du projet sera également disponible sur le site d'Agri-Réseau. Finalement, pour remplacer la démonstration à la ferme prévue initialement qui n'a pu avoir lieu en 2020 en raison des contraintes sanitaires en vigueur liées à la COVID-19, une fiche technique détaillant la technique d'installation des filets sur grands tunnels et leurs coûts associés est disponible pour les producteurs intéressés sur le site d'Agri-Réseau et de l'Association de producteurs de fraises et framboises du Québec (APFFQ).

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

Cet essai a permis de démontrer clairement l'efficacité des filets à empêcher la drosophile à ailes tachetées de pénétrer sous les grands tunnels. Il s'agit d'une alternative très

intéressante pour les producteurs puisqu'elle s'est avérée être plus fiable que la lutte chimique pour prévenir la ponte des DAT dans les fruits.

De plus, en utilisant les filets pour recouvrir plusieurs chapelles de tunnels ensemble, les coûts associés à leur utilisation deviennent plus facilement justifiables, surtout en considérant les sources de financement actuellement offertes pour l'achat de filets anti-insectes.

Évidemment, une étude plus approfondie des conditions exactes menant au développement plus important de pathogènes fongiques sous les filets serait à effectuer avant de pouvoir recommander sans inquiétude ce moyen de lutte en culture sous grands tunnels. Par contre, l'utilisation de filets permet une récolte de fruits similaires à la régie conventionnelle même lors de saisons plus favorables à un fort développement de maladies fongiques.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Valérie Bernier-English

Responsable R&D, Ferme Onésime Pouliot inc.

5354 chemin Royal, Saint-Jean-de-l'Île-d'Orléans, G0A 3W0

Tel. (418) 809-0649

Courriel : vbernier-english@onesimepouliot.com

Collaboratrice externe

Stéphanie Tellier

Conseillère régionale petits fruits et arbres fruitiers

Experte provinciale dans le secteur des petits fruits

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ)

Direction régionale de la Capitale-Nationale

1685, boul. Wilfrid-Hamel, local 140, Québec, G1N 3Y7

Tél. (418) 643-0033 poste 1719

Courriel : stephanie.tellier@mapaq.gouv.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

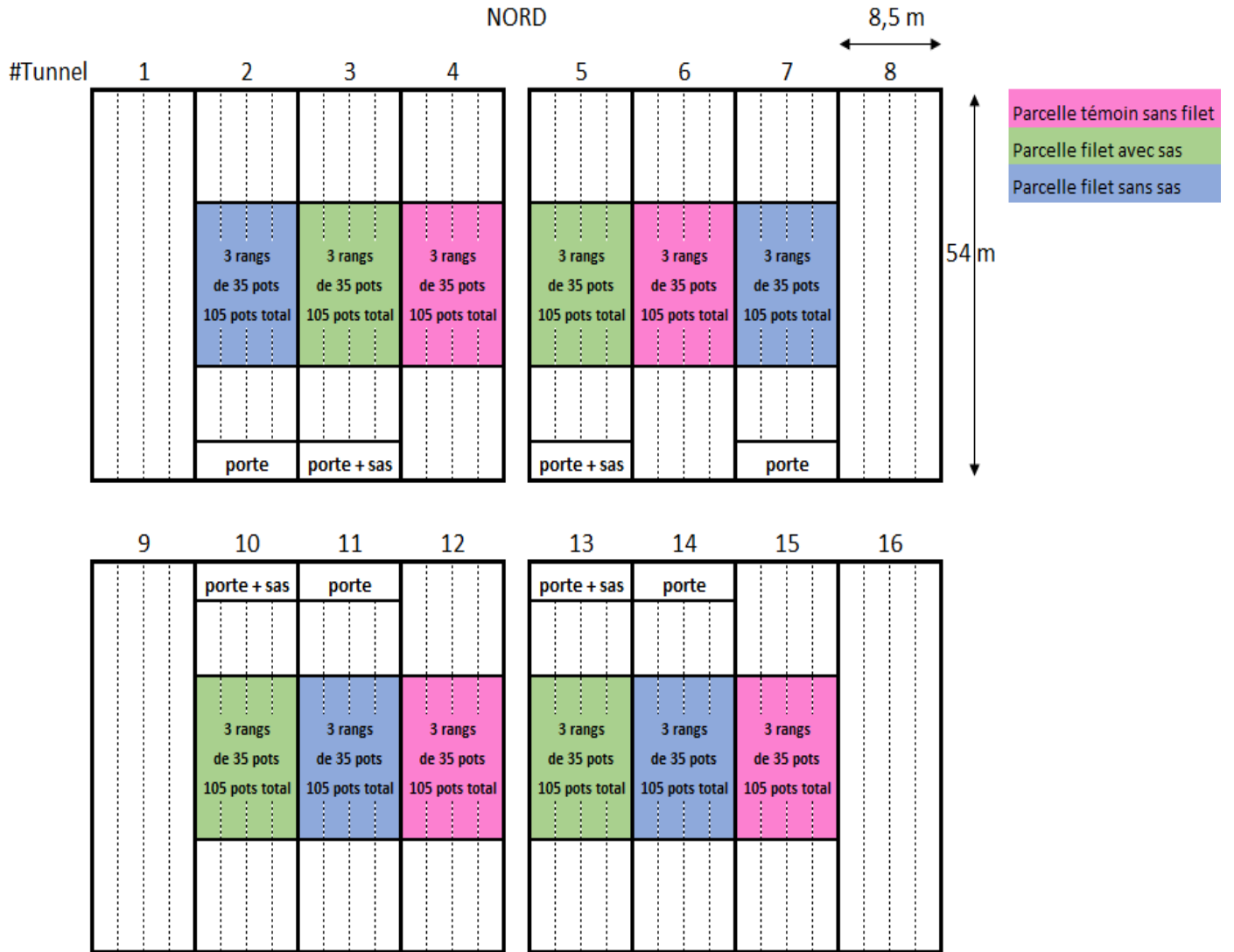
Ce projet a été réalisé en vertu du volet 4 du programme Prime-Vert 2013-2018 et il a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture 2011-2021.

RÉFÉRENCES

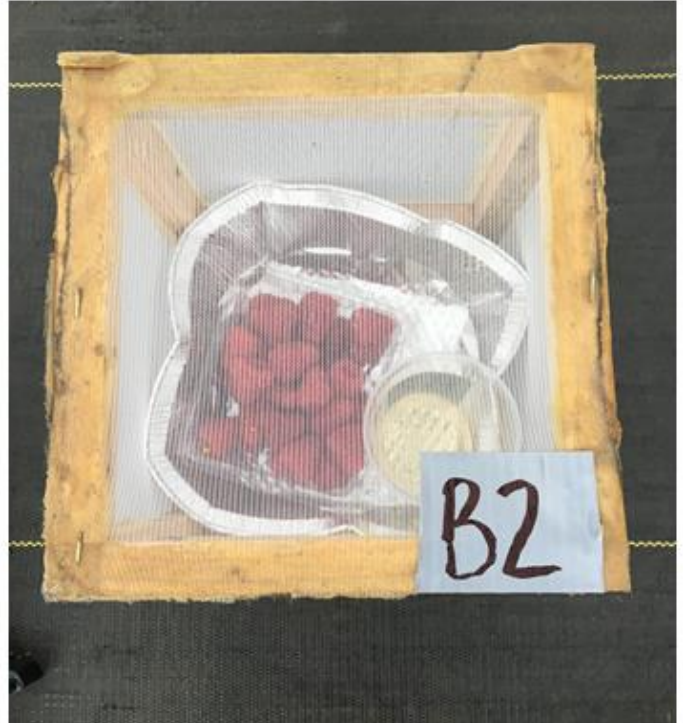
Swett, C. L., Hamby, K. A., Hellman, E. M., Carignan, C., Bourret, T. B., et Koivunen, E. E. (2019). Characterizing members of the *Cladosporium cladosporioides* species complex as fruit rot pathogens of red raspberries in the mid-Atlantic and co-occurrence with *Drosophila suzukii* (spotted wing drosophila). *Phytoparasitica*, 47 (3), 415-428.

Peternel, R., Culig, J. et Hrga, I. (2004). Atmospheric concentrations of *Cladosporium* spp. And *Alternaria* spp. spores in Zagreb (Croatia) and effects of some meteorological factors. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 11 (2), 303-307.

ANNEXE 1 : Dispositif expérimental pour les trois années du projet



ANNEXE 2 : Cages pour incubation de fruits



Photos 1 et 2 : Cages cubiques recouvertes de filets servant à l'incubation de fruits pendant 14 jours à température ambiante afin que les œufs de DAT se transforment en adultes, qui sont attirés vers le verre de vinaigre de cidre. Ferme Onésime Pouliot 2019.

ANNEXE 3 : Dommages de *Cladosporium* sp.



Photos 3, 4, 5 et 6: Dommages de Cladosporium sp. sur feuillage, fruits verts et fruits rouges de framboises. Photos prises par Ferme Onésime Pouliot en 2019 et 2020.

ANNEXE 4 : Mise en place des filets et des sas



Photos 7, 8, 9 et 10 (de gauche à droite et de haut en bas : 7) Filets de côté enterrés dans le sol pour l'étanchéité, 8) Extrémité de tunnel dont le filet peut être relevé afin de permettre le passage du tracteur pour application de fongicides. Voir aussi comment le filet était fixé au toit sur le côté. 9) Tunnel avec filet et sas vu de l'extérieur et 10) Sas vu de l'intérieur d'un tunnel. Ferme Onésime Pouliot 2018-2019.

ANNEXE 5 : Dépenses et économies associées aux filets sur huit tunnels individuels (parcelles expérimentales)

Dépenses associées aux filets

Filets d'exclusion pour huit grands tunnels individuels + quatre sas	9 x 3,1m x 100m pour les côtés et 2 x 6,3m x 100m pour les extrémités = 4050 m ² , durée de vie de cinq ans	6 056,00 \$
Planches de bois, vis et tournevis	Pour la mise en place des filets et la fabrication des sas	417,24 \$
Bois, vis et charnières	Pour la construction des huit portes pour les tunnels et quatre portes pour les sas (douze portes total)	439,23 \$
Ruches de bourdons pour pollinisation	Une ruche/tunnel/an x huit tunnels x cinq ans	6 154,75 \$
Temps d'installation des filets	14,46 \$/heure x 6,5 heures/tunnel x 8 tunnels x 2 personnes x cinq ans	7 519,20 \$
Total dépenses		20 586,42 \$

Économies associées aux filets

Une application de <i>Entrust SC</i> par année	435,67 \$/L x 0,44 L/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-354,65 \$
Une application de <i>Success 480 SC</i> par année	722,03 \$/L x 0,22 L/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-293,85 \$
Une application de <i>Harvanta 50 SL</i> par année	29,24 \$/L x 1,6 L/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-86,55 \$
Une application de <i>Delegate WG</i> par année	348,80 \$/kg x 0,42 kg/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-271,00 \$
Total économies		-1 006,05 \$
Coût net associé à 8 tunnels individuels pour 5 ans		19 580,37 \$

ANNEXE 6 : Dépenses et économies associées aux filets sur deux ensembles de quatre tunnels groupés (situation commerciale)

Dépenses associées aux filets

Filets d'exclusion pour deux ensembles de quatre grands tunnels	3 x 3,1 m x 100 m pour les côtés et 2 x 6,3 m x 100 m pour les extrémités, durée de vie de cinq ans	3 368,00 \$
Bois, vis et charnières	Pour la mise en place des filets et la fabrication des portes	248,65 \$
Ruches de bourdons pour pollinisation	Deux ruches par ensemble de tunnels x 2 = quatre ruches x cinq ans	3 077,40 \$
Temps d'installation des filets	14,46 \$/heure x 15 heures/ensemble de 4 tunnels x 2 x 2 personnes x cinq ans	4 338,00\$
Total dépenses		11 032,05 \$

Économies associées aux filets

Une application de <i>Entrust SC</i> par année	435,67 \$/L x 0,44 L/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-354,65 \$
Une application de <i>Success 480 SC</i> par année	722,03 \$/L x 0,22 L/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-293,85 \$
Une application de <i>Harvanta 50 SL</i> par année	29,24 \$/L x 1,6 L/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-86,55 \$
Une application de <i>Delegate WG</i> par année	348,80 \$/kg x 0,42 kg/ha x 0,37 ha pour les huit tunnels x cinq ans	-271,00 \$
Total économies		-1 006,05 \$
Coût net associé à 2 ensembles de 4 tunnels pour 5 ans		10 026,00 \$
Coût net associé si filets subventionnés à 70%		7 668,40 \$