

Rapport final

No projet : 115401

Titre : La répulsion de ponte pour la lutte par exclusion contre les punaises et tordeuses exotiques/résurgentes des vergers en régie conventionnelle et biologique

Responsable scientifique : Gérald Chouinard

Établissement : Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

31 janvier 2019

Section 1 - Chercheurs impliqués et responsable autorisé de l'établissement (ces personnes doivent également faire parvenir un courriel pour attester qu'ils ont lu et approuvent le rapport.)

Chercheurs impliqués :

Gérald Chouinard	IRDA
Daniel Cormier	IRDA
Jacques Brodeur	Université de Montréal

Responsable de l'institution de recherche requérante :

Stéphane Lemay	IRDA
----------------	------

Section 2 – Partenaires

Les partenaires suivants ont participé au projet en fournissant une partie du matériel utilisé pour les essais ainsi qu'en apportant leur expertise et soutien technique tout au long du projet :

- *Dubois Agrinovation*, fournisseur québécois d'équipement agricole;
- *Filpack Agricole*, fournisseur français de produits pour la protection (anti-grêle, anti-insecte, ombrage), le palissage et la récolte;
- *Artes politecnica*, entreprise italienne de fabrication de plastique spécialisée dans la production de filet;
- *AEF Global*, entreprise québécoise spécialisée dans le domaine des biopesticides, des produits de lutte intégrée et des fertilisants naturels

Section 3 – Fiche de transfert (max 2 à 3 pages)

Est-il possible d'optimiser la lutte par exclusion en verger?

Chouinard, G., Pelletier, F., Brodeur, J., Abram, P., Veilleux, J., Larose, M. et Cormier, D.

No de projet : (réservé à l'administration)

Durée : 05/2015 – 12/2018

FAITS SAILLANTS

Ces dernières années, des travaux visant à étendre la lutte par exclusion à la production pomicole québécoise ont montré que cette approche offre une protection contre les principaux ravageurs du pommier. Cependant, un ravageur secondaire du pommier, la tordeuse à bandes obliques, *Choristoneura rosaceana*, a vu son importance augmenter au fil des années d'expérimentation. Une des hypothèses émises est que le filet offre un substrat de ponte acceptable pour cette espèce ce qui permet ensuite aux jeunes stades de traverser les mailles du filet et de causer des dommages. La punaise marbrée, *Halyomorpha halys*, est un autre ravageur représentant une menace potentielle pour la production de pommes sous filet. Dû à son fort potentiel de dispersion, on peut s'attendre à ce que des populations s'établissent en milieu agricole dans les années à venir. Dans les parcelles d'exclusion en vergers, des œufs pondus par diverses espèces de pentatomides sont observés sur les filets. On peut donc appréhender que la même chose soit observé pour la punaise marbrée permettant potentiellement ensuite aux jeunes stades de traverser cette barrière physique. Afin d'augmenter l'efficacité des filets d'exclusion contre ces ravageurs, le projet avait comme objectif de déterminer les paramètres (types de filet, couleurs, répulsifs) qui permettraient de réduire leur ponte sur les filets ainsi que le passage des jeunes stades. Chez *C. rosaceana*, les femelles ont pondu davantage sur les filets tissés et à plus petites mailles alors qu'aucune ponte n'a été observée sur les filets à plus grandes mailles. Chez *H. halys*, la taille des mailles n'a pas eu d'effet sur la ponte mais la proportion de nymphes ayant traversé les filets a varié significativement en fonction de ce paramètre. Parmi les produits testés pour leur effet répulsif, seuls l'ail et la capsaïcine ont eu un effet négatif sur la ponte et ce, uniquement chez *C. rosaceana*. Ces résultats ont permis d'identifier et de tester en verger, les solutions à envisager pour optimiser les systèmes d'exclusion.

OBJECTIF(S) ET MÉTHODOLOGIE

Le premier volet du projet visait à mesurer, en laboratoire, l'effet de la taille des mailles, la couleur des filets et l'utilisation de répulsifs sur la ponte de *C. rosaceana* et *H. halys*. Différents types de filet (tissés ou tricotés) et couvrant une vaste gamme de taille de mailles (entre 0,76 x 0,23 mm et 5 x 3 mm) ont été testés, incluant le filet ProtekNet 60 utilisé actuellement en verger (1,9 x 0,95 mm). Des cages de pontes ont été fabriquées avec une section de filet à l'intérieur desquelles les insectes étaient introduits. Quatre couleurs de filet (jaune, rouge, bleu et blanc) ont été testées ainsi que cinq produits d'origine végétale : huile de pin, capsaïcine, pipérine, ail et huile de soya. L'efficacité de différents filets à prévenir le passage des larves de *H. halys* a été mesurée en utilisant des cages cylindriques séparées au centre par une section de filet.

Dans un deuxième temps, à la suite des résultats obtenus en laboratoire, deux types de filets ont été testés sur le en vergers : le filet de référence (ProtekNet 60) et un filet à plus grandes mailles (Artes 5X4). Tout au long de la saison, les masses d'œufs pondus sur les filets ont été dénombrées et identifiées. Les populations d'insectes ravageurs et bénéfiques présents sous les filets ont été évaluées et comparées à celles présentes dans des parcelles témoins sans exclusion. L'efficacité agronomique (rendement et qualité du fruit) ainsi que les paramètres abiotiques et l'activité photosynthétique ont également été évaluées.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE

Essais en laboratoire

Chez la tordeuse à bandes oblique (TBO), aucune femelle n'a pondu sur les deux filets ayant les plus grandes mailles et c'est sur le filet à plus petites mailles que la ponte a été significativement plus importante. Outre la taille des mailles, le type de maille a également influencé le comportement de ponte de la TBO puisque les femelles ont pondu davantage sur les filets tissés que sur les filets tricotés possiblement parce ce qu'ils offrent substrat de ponte au relief plus uniforme.

Chez la punaise marbrée, les femelles ont pondus sur tous les types de filets. Bien qu'aucune différence n'ait été détectée, les femelles avaient tendance à pondre de façon moins importante sur les filets à plus grandes mailles. Les filets ayant des mailles inférieures à 0,6 x 1,0 mm se sont avérés efficaces à exclure totalement les larves alors qu'un faible pourcentage de larves (13%) ont réussi à traverser le filet ProtekNet 60.

Chez les deux ravageurs, la couleur du filet n'a pas eu d'effet sur l'incidence de ponte. Il ne s'est donc pas avéré pertinent de tester en verger l'utilisation de filets colorés. Parmi les produits testés pour leur effet répulsif, seuls l'ail et la capsaïcine ont eu un effet négatif sur la ponte et ce, uniquement chez *C. rosaceana*. Cependant, compte tenu des limitations mises en évidence lors d'essais préliminaires en verger (difficultés d'application à grande échelle, faible persistance), il fut convenu que l'utilisation des répulsifs ne représentait pas une avenue à poursuivre pour améliorer la lutte contre les ravageurs dans les systèmes d'exclusion.

Les résultats obtenus avec la punaise marbrée suggèrent que, même si les femelles y pondent, le filet actuellement utilisé en verger (ProtekNet 60) offrira une protection contre ce ravageur puisque, en laboratoire, seul un faible pourcentage des larves ont traversé les mailles de ce filet. Pour la TBO, les essais en laboratoire ont permis de réfuter l'hypothèse que des pontes sur le filet soient la cause des dommages causés par cet insecte dans les pommiers sous filets. Les difficultés de lutte rencontrées avec ce ravageur semblent donc principalement être associées au fait que cette espèce puisse compléter tout son cycle de développement sur le pommier et qu'elle soit ensuite protégée des prédateurs et parasitoïdes exclus par les filets. Les essais réalisés en vergers, en parcelles d'exclusion mono-rang, ont donc visé à vérifier si l'utilisation de filet à plus grandes mailles favorisait l'entrée de la faune auxiliaire tout en continuant d'offrir une protection efficace contre les autres ravageurs du pommier, incluant les punaises pentatomides phytophages présentes en vergers.

Essais en verger

Lors des suivis hebdomadaires, un total de 160 masses d'œufs pondus sur les filets a été répertorié. La vaste majorité était des masses pondues par des noctuelles et ont été retrouvées en plus grand nombre sur le filet ProtekNet. Tel qu'anticipé à la suite des essais en laboratoire, aucune masse de tordeuses n'a été observée. Le tiers des masses d'œufs de punaises pentatomides observées étaient des œufs de punaises prédatrices (*Podisus spp*) et ont été retrouvées en nombre similaire sur les deux types de filets. Celles pondues par des punaises phytophages (*Chinavia sp* et *Euschistus sp*) ont été observées exclusivement sur les filets ProtekNet, parfois à l'intérieur du filet. Lorsqu'il fut possible d'observer les jeunes larves, celles-ci avaient traversé le filet dans 45% des cas, pour les punaises prédatrices et 14%, pour les punaises phytophages. Par ailleurs, les évaluations effectuées à la récolte ont montré que, même si un certain nombre d'individus (adultes ou larves) réussissent à contourner cette barrière physique, les deux types de filet ont offert une protection adéquate contre les dommages de pentatomides (<1,1%).

Les unités sous exclusion en 2018 étaient également sous exclusion lors des années précédentes (2015-2016-2017). Une pression élevée de tordeuses à bandes obliques y était donc présente. Des populations significativement plus importantes de chenilles ont effectivement été observées dans les pommiers sous filets comparativement aux pommiers sans filet. Un faible taux de parasitisme des larves de TBO a été observé dans les parcelles sous filets comparativement à celui observé dans les parcelles témoins (> 70%). Chez les chenilles de la génération d'été, significativement plus de parasitisme a été observé sous les filets Artes (~30%) comparativement aux filets ProtekNet (~3%), les filets à plus grandes mailles ayant notamment permis le passage de la mouche tachinaire *Actia interrupta*. Par ailleurs, le suivi hebdomadaire de colonies de pucerons a montré que le filet Artes favorisait également l'entrée de certains ennemis naturels s'attaquant aux pucerons. En effet, l'abondance de la cécidomyie du puceron sous les filets à plus grandes mailles fut similaire à celle observée dans les parcelles témoins alors que ce prédateur fut significativement moins présent sous les filets ProtekNet,

Le filet à plus grandes mailles (Artes 5x4) a offert une protection similaire à celle obtenue avec le filet de référence (ProtekNet 60) contre les différents ennemis du pommier présents en 2018 (mouche de la pomme, carpocapse, punaise terne, punaise pentatomide, charançon de la prune, pucerons, scarabée japonais, feu bactérien). Le rendement et la qualité du fruit (couleur, taux de sucre, maturité et fermeté) n'ont pas été affectés par la présence ou le type de filet. Peu d'écart de températures ont été observés sous filet dépendamment de la taille des mailles et aucune différence n'a été observée au niveau de l'activité photosynthétique des arbres dans les différents traitements.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

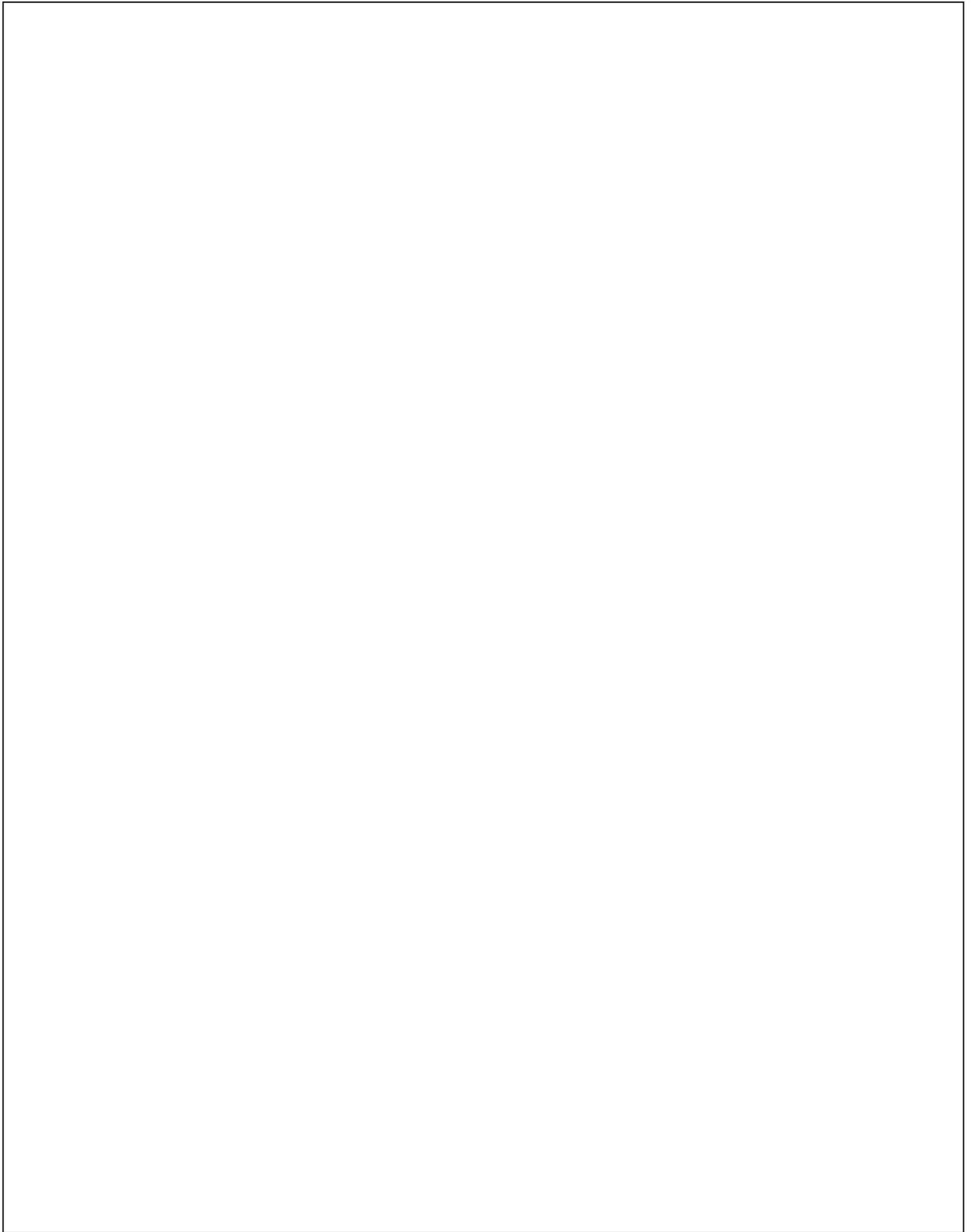
Le projet a permis de préciser les avenues à privilégier pour optimiser la lutte par exclusion en verger et faire face à l'arrivée de nouveaux ravageurs du pommier. Les essais en laboratoire et/ou en verger ont montré que le filet utilisé actuellement permet de protéger les fruits des dommages causés par les punaises pentatomides présentes actuellement en vergers et, éventuellement, par la punaise marbrée. Le projet a également permis d'établir que les filets d'exclusion n'offrent pas un substrat de ponte acceptable pour les tordeuses et que l'utilisation de filets enduits de répulsifs ne permettra pas d'améliorer la lutte contre ce ravageur dans les systèmes d'exclusion. Cependant, l'utilisation de filet à plus grandes mailles, en favorisant l'entrée de la faune auxiliaire, pourrait potentiellement permettre de maintenir les populations de TBO sous des niveaux acceptables tout en continuant d'offrir une protection efficace contre les différents ravageurs du pommier. Un suivi sur une plus longue période permettrait de vérifier si une plus grande abondance de certains ennemis naturels pourrait se traduire par un contrôle naturel adéquat et de s'assurer, à plus long terme, de l'efficacité d'exclusion de ces filets dans les conditions du Québec. Par ailleurs, le projet a également permis de mettre en évidence qu'il est avantageux de retirer les filets dès la récolte pour bénéficier de l'activité de parasitisme des espèces actives à l'automne, d'autant plus que ces parasitoïdes qui passent l'hiver dans l'hôte et qui émergent des larves hibernantes seront confinés sous les filets et parasiteront à leur tour les larves présentes sous filet.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Nom du responsable du projet : Gérald Chouinard
Téléphone : 450-653-7368, Télécopieur : 450-653-1927
Courriel : gerald.chouinard@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.



Section 4 - Activité de transfert et de diffusion scientifique

Se référer à l'annexe 1 pour consulter les résumés et à l'annexe 2 pour consulter la documentation en appui.

Communications scientifiques :

F. Pelletier, G. Chouinard, J. Brodeur, P. Abram, J. Veilleux, M. Larose et D. Cormier. 2017. Effet du type de filet et de l'utilisation de produits répulsifs sur l'efficacité d'exclusion et le comportement de ponte de la tordeuse à bandes obliques (*Choristoneura rosaceana*) et de la punaise marbrée (*Halyomorpha halys*). Réunion annuelle de la société d'entomologie du Québec, Longueuil, Québec, 23-24 novembre.

Chouinard, G., M. Larose, F. Pelletier, J. Veilleux, D. Cormier, V. Phillion. 2017. Production de pommes sans pesticides par exclusion des ravageurs: impacts sur l'entomofaune et quelques surprises après 6 ans d'observations. Présentation donnée dans le cadre du Congrès de la Société d'entomologie du Québec, Longueuil.

Articles scientifiques publiés :

G. Chouinard, J. Veilleux, F. Pelletier, V. Phillion and D. Cormier. 2017.. *Impact of exclusion netting row covers on arthropod presence and crop damage to 'Honeycrisp' apple trees in North America: A five-year study*. Crop Protection 98 : 248-254.

Section 5 - Activités de diffusion et de transfert aux utilisateurs

Se référer à l'annexe 1 pour consulter les résumés et à l'annexe 2 pour consulter la documentation en appui.

Communications vulgarisées :

F. Pelletier. 2019. Insectes ravageurs et insectes bénéfiques présents sous filets d'exclusion en verger – influence de la taille des mailles. Journées annuelles sur la recherche et l'innovation technologique du Réseau-pommier, Jouvence, Québec, 12-13 février.

Gérald Chouinard. 2018. Pentatomides et autres punaises des vergers: bon cop, bad cop IRDA. Journées annuelles sur la recherche et l'innovation technologique du Réseau-pommier, Jouvence, Québec, 1-2 février.

Chouinard G.. 2017. Recommandations pour la production de pommes sous filets au Québec Présentation donnée dans le cadre des Journées annuelles sur la recherche et l'innovation technologique 2017.

Chouinard, G, V. Phillion, F. Pelletier, J. Veilleux, D Cormier, J. Tavares. 2017. Filets d'exclusion pour la production de pommes sans pesticides : 5 années d'essai avec le cultivar Honeycrisp Présentation donnée dans le cadre du Colloque Bio pour tous.

Chouinard, G., D. Cormier. 2017. Confusion, exclusion et intégration : Récentes avancées environnementales de la pomiculture au Québec Présentation donnée dans le cadre du Congrès Cidres, Vins et Alcools d'ici 2017 .

Fiches techniques :

Mikaël Larose, Gérald Chouinard, Francine Pelletier, Jonathan Veilleux, Daniel Cormier, Vincent Phillion et Luc Belzile. 2018. Des filets pour l'exclusion des ravageurs et pour la production de pommes sans pesticides à l'abri des aléas climatiques IRDA. 4 pages

Chouinard, G.. 2018. De nouveaux ravageurs adoptent le Québec IRDA. 1 page.

Portes ouvertes

G. Chouinard. 2016. La lutte contre les ennemis du pommier grâce aux filets d'exclusion. Présentation à l'extérieur lors de la Journée des pommes (portes ouvertes de l'IRDA). Saint-Bruno-de-Montarville, 11 juillet.

J. Veilleux. 2016. La punaise marbrée à nos portes. Présentation à l'extérieur lors de la Journée des pommes (portes ouvertes de l'IRDA). Saint-Bruno-de-Montarville, 11 juillet.

Section 6 – Grille de transfert des connaissances

1. Résultats Présentez les faits saillants (maximum de 3) des principaux résultats de votre projet.	2. Utilisateurs Pour les résultats identifiés, ciblez les utilisateurs qui bénéficieront des connaissances ou des produits provenant de votre recherche.	3. Message Concrètement, quel est le message qui devrait être retenu pour chacune des catégories d'utilisateurs identifiées? Présentez un message concret et vulgarisé. Quels sont les gains possibles en productivité, en rendement, en argent, etc.?	4. Cheminement des connaissances a) Une fois le projet terminé, outre les publications scientifiques, quelles sont les activités de transfert les mieux adaptées aux utilisateurs ciblés? (conférences, publications écrites, journées thématiques, formation, etc.) b) Selon vous, quelles pourraient être les étapes à privilégier en vue de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs.
Les filets d'exclusion utilisés actuellement en verger permettent de protéger les fruits des punaises pentatomides, incluant la punaise marbrée.	Producteurs de pommes et conseillers pomicoles Consommateurs de pommes	Un outil de lutte à faible impact sur l'environnement est disponible pour faire face à l'arrivée de la punaise marbrée Malgré l'arrivée de nouveaux ravageurs, on peut produire des pommes sans insecticides au Québec	Plusieurs activités de transfert aux utilisateurs ont déjà été effectuées et se poursuivront (rencontres du Réseau-pommier, fiche technique et mise à jour du Guide PFI). L'implantation de parcelles de démonstration (projet en cours de réalisation) permettra de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs
Les filets d'exclusion n'offrent pas un substrat de ponte acceptable pour les tordeuses.	Producteurs de pommes et conseillers pomicoles Chercheurs	Utiliser des filets enduits de répulsifs ne permettra pas d'améliorer la lutte contre la tordeuse à bandes obliques dans les systèmes d'exclusion.	Les résultats obtenus en laboratoire ont été présentés à la communauté scientifique (congrès d'entomologie du Québec) et pourront faire l'objet d'une publication scientifique ou d'autres présentations. Les résultats continueront d'être diffusés à travers le Réseau-pommier
L'utilisation de filets à plus grandes mailles peut offrir une protection efficace contre les ravageurs du pommier tout en favorisant la faune auxiliaire	Producteurs de pommes et conseillers pomicoles Chercheurs	Il est possible de favoriser l'entrée des insectes bénéfiques sous filet, ou encore le maintien de ceux qui y sont présents.	Les résultats obtenus sur le terrain pourront faire l'objet d'une présentation ou d'une publication scientifique. Les informations accumulées dans le cadre du projet pourront permettre la mise à jour de plusieurs fiches du Guide de PFI et continueront d'être diffusées via le Réseau-pommier. Un suivi sur plusieurs années serait à privilégier en vue de confirmer les retombées positives potentielles identifiées dans le cadre du projet et de maximiser l'adoption des résultats par les utilisateurs.

Section 7 - Contribution et participation de l'industrie réalisées

Pour la réalisation des essais en laboratoire, les échantillons de filets de type ProtekNet ont été fournis par Dubois Agrinovation, et les échantillons de filets de type Alt'Carpo, Alt'Tordeuse et Alt' Droso ont été fournis par Filpack Agricole. Pour la réalisation des essais en vergers, les filets testés ont été obtenus auprès de Dubois Agrinovation (ProtekNet 60) et Artes Politecnica (Artes 4 X 5). Ces partenaires ont également apporté leur expertise spécialisée dans les cultures abritées.

Les échantillons de produits qui ont été testés pour leur effet répulsif ont été fournis par l'entreprise AEF Global. Elle a également participé en apportant son expertise liée à l'utilisation de ces produits.

Section 8 - Rapport scientifique et/ou technique

ESSAIS EN LABORATOIRE AVEC LA PUNAISE MARBRÉE (*Halyomorpha halys*)

Ces essais se sont déroulés durant l'hiver et le printemps 2016 à l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal.

Effet de la taille des mailles sur la ponte

Cinq types de filets ayant différentes tailles de mailles ont été comparés : 1) Ultravent 52 (0,73 x 0,25) mm ; 2) ProtekNet 80 (0,60 x 1,00) mm ; 3) ProtekNet 60 (0,95 x 1,90) mm ; 4) ProtekNet 55 (6,00 x 5,00) mm ; 5) Filpack 5 x 4 (3,40 x 2,20) mm.

Des cages de ponte ont été fabriquées à partir d'une section de 21 cm² de filet, replié et cousu de façon à former une pochette d'environ 6,5 cm de diamètre et 15 cm de hauteur. Un anneau de métal était inséré dans chaque pochette pour servir de support et maintenir la forme cylindrique de la cage de ponte. Un haricot et une femelle gravide âgée entre 14 et 30 jours ont été introduits dans chaque pochette. Le nombre de masses d'œufs et le nombre d'œufs pondus ont été notés quotidiennement ainsi que la localisation des pontes.

Au total, 58 masses ont été pondus par les 108 femelles ayant été exposées aux différents types de filets. Seulement cinq femelles ont pondu plus d'une masse durant la période d'essai. Les femelles ont pondu sur tous les types de filets testés (Figure 1) et aucun effet significatif de la taille des mailles n'a pas pu être observé (Kruskal-Wallis, $\chi^2=9,41$; dl=4; p=0,0516). Cependant, même si les filets à plus grandes mailles n'empêchent pas la ponte, les femelles ont tendance à pondre de façon moins importante sur ces filets avec des résultats qui sont très proches du seuil de signification de 0,05.

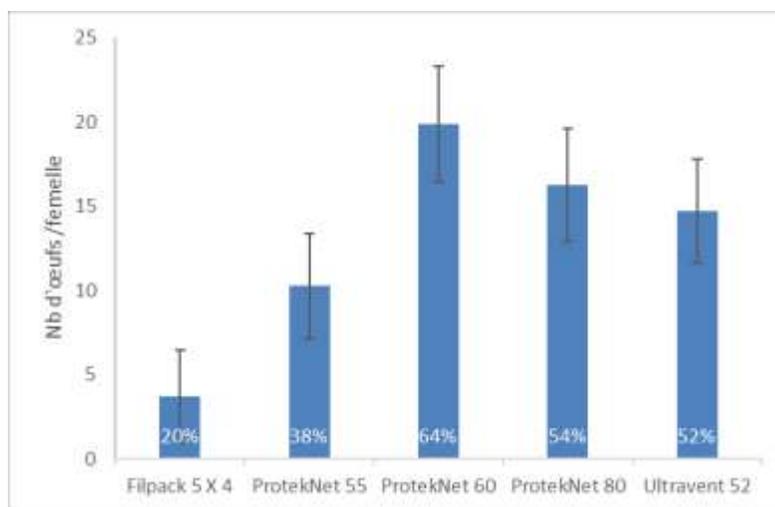


Figure 1 Nombre d'œufs pondus (moyenne ± erreur-type) et incidence de ponte (%) des femelles de punaise marbrée (*Halyomorpha halys*) sur des filets ayant différentes tailles de mailles.

Effet de la couleur des filets sur la ponte

Les résultats obtenus lors des essais précédents ont montré que la taille des mailles n'avait pas d'influence sur l'incidence de ponte ou le nombre d'œufs pondus par *H. halys*. Le choix du filet ProtekNet 80 pour la poursuite des essais a donc été basé sur sa capacité à exclure les nymphes. Quatre différentes couleurs de filet ont été comparées : 1) bleu ; 2) rouge ; 3) jaune 4) blanc. Pour s'assurer de la disponibilité de ces couleurs sur des filets ayant la taille de mailles désirée, les filets de couleurs ont été obtenus en utilisant une teinture à tissus (Tintex Dye, Ingleside, Ontario). Des cages de ponte en filet comme celles décrites précédemment ont été utilisées et les mêmes types de données ont été mesurés. Aucune différence n'a été observée sur l'incidence de ponte parmi les différentes couleurs de filets testées (Kruskal-Wallis, H= 4,27, dl=3; p= 0,23). Les résultats détaillés ont été présentés dans le rapport d'étape 1.

Effet de la taille des mailles sur l'exclusion des larves

L'efficacité de quatre filets de type ProtekNet à prévenir le passage des larves de la punaise marbrée a été testée. Des cylindres d'exclusion ont été construits en assemblant deux contenants de plastique (longueur : 10 cm; diamètre :

5 cm) par leur extrémité ouverte. Une section de filet était positionnée entre les contenants de façon à diviser le tunnel en deux enceintes égales. Des tunnels sans filet ont également été utilisés comme témoins. Les tunnels ont été placés horizontalement. Une section de feuille de soya portant une masse de 15 œufs a été positionnée à l'intérieur d'un des contenants et un haricot a été inséré dans le contenant opposé. Chaque traitement a été répété trois fois. Le nombre et le stade des larves ainsi que leur localisation ont été notés deux fois par jour jusqu'à ce que toutes les larves aient atteint le stade III.

La proportion maximale de larves ayant traversé la partie centrale des tunnels d'exclusion a varié significativement en fonction du traitement que ce soit pour les larves de stade I ($\chi^2 = 35,9$; dl = 4; $p < 0.0001$) que pour les larves de stade II ($\chi^2 = 118,5$, dl = 4; $p < 0.0001$) (Figure 2). Environ 30% des larves de stade I ont traversé le tunnel dans le témoin sans filet alors qu'environ 25% ont traversé le filet à plus grandes mailles (ProtekNet 55). Aucune larve de stade I n'a été observée traversant les autres types de filet. Les larves de stade II étaient beaucoup plus mobiles et, dans le témoin sans filet et le filet ProtekNet 55, près de 100% des larves ont traversé le tunnel d'exclusion pour atteindre la source de nourriture. Un faible pourcentage (~13%) de larves de stade II ont également traversé le filet ProtekNet 60.

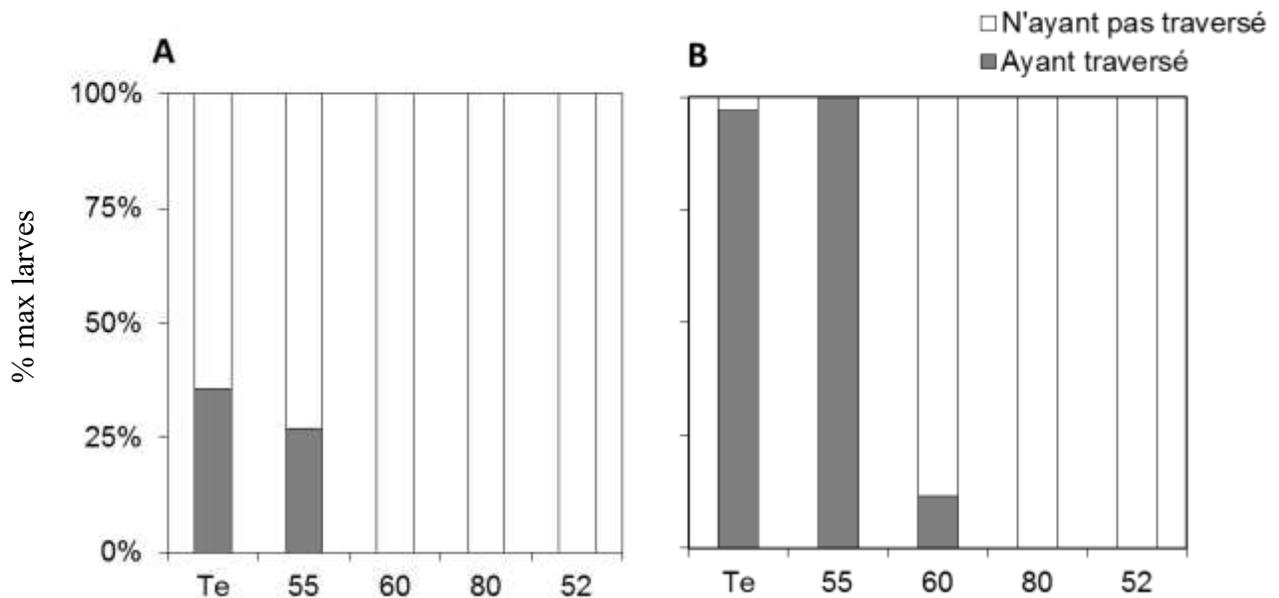


Figure 2 Pourcentage maximal combiné des larves *Halyomorpha halys* de 1^{er} stade (A) et de 2^e stade (B) ayant traversé la partie centrale des tunnels d'exclusion pour rejoindre la source de nourriture. (Te : Témoin; 55 : ProtekNet 55; 60 : ProtekNet 60; 80 : ProtekNet 80; 52 : Ultravent 52)

Effet des répulsifs sur la punaise marbrée

L'effet répulsif des trois produits suivants a été testé sur la punaise marbrée : 1) Huile de pin ; 2) Capsaïcine ; 3) Pipérine. Les filets ont été enduits par trempage (durée : 1 heure) dans une solution de répulsif correspondant au double de la dose maximale recommandée pour une application sur les cultures (Tableau 1). Des filets sans enduits ont été utilisés comme témoin. Afin de tester l'effet répulsif des différents produits sélectionnés, dix femelles ont été placées dans un contenant fermé en présence de haricots insérés à l'intérieur d'une pochette de filet enduit ou non de répulsifs. Les femelles ayant à entrer en contact avec le filet pour se nourrir, l'alimentation des punaises a été évaluée pour mesurer l'effet répulsif des filets. Des pré-tests réalisés dans des contenants avec et sans punaises ont permis de confirmer que le pourcentage de perte de poids des haricots par suite des piqûres permettait de mesurer la prise de nourriture par les punaises.

Aucun des extraits testés n'a montré effet répulsif sur *H. halys*. Pour tous les traitements, des individus ont été observés se nourrissant des haricots insérés dans les pochettes de filets et des piqûres d'alimentation ont été observées. Des femelles ont également été observées se nourrissant directement de résidus de capsaïcine. Aucune différence n'a été détectée entre les traitements quant à la quantité de nourriture ingérée telle que mesurée par le pourcentage de perte de poids des haricots (Kruskal-Wallis, $H=1,97$; dl = 4; $p=0,74$). Des œufs ont également été pondus à l'intérieur des contenants dans tous les traitements. Les résultats détaillés ont été présentés dans le rapport d'étape 1.

Tableau 1 Liste des produits testés pour leur effet répulsif et doses d'utilisation

Produits	Composés actifs	Dose recommandée sur les cultures	Dose utilisée pour le trempage des filets
Huile de pin	Pinolène	1 à 2%	4%
Extrait de capsicum (piment)	Capsaïcine	15 à 30L/ha ^a	6%
Extrait de poivre noir	Pipérine	7,5 à 15L/ha ^a	3%
Extrait d'ail *	Ail	10 kg/ha ^b	2%
Huile de soya *	Huile de soya	1 à 2%	4%

^a pour un volume de bouillie de 1000L/ha* produits testés sur *C. rosaceana* uniquement^b pour application sèche (poudrage)**ESSAIS EN LABORATOIRE AVEC LA TORDEUSE À BANDES OBLIQUES (*Choristoneura rosaceana*)**

Ces essais se sont déroulés durant l'été 2016 à l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA).

Effet de la taille et du type de mailles sur la ponte

Six types de filets ont été comparés ayant différentes tailles et différents types de maille (tricoté ou tissé) Un godet de plastique (Solo-cup) reconnu pour être un substrat de ponte accepté par *C. rosaceana* a été utilisé comme témoin positif. Trente répétitions de chaque traitement ont été réalisées. Des cages de ponte ont été fabriquées avec les différents types de filet tel que décrit précédemment. Une femelle (<24h) et deux mâles (24-48h) ont été introduits dans chaque cage de ponte pour s'assurer de l'état d'accouplement des femelles. Le nombre de masses d'œufs pondus a été noté quotidiennement durant toute la vie de la femelle. À la fin de l'essai, chaque masse d'œufs a été photographiée à l'aide d'une loupe binoculaire avec caméra intégrée dans le but d'évaluer le nombre d'œufs pondus, estimé à partir de l'évaluation de l'aire des masses.

Aucune femelle n'a pondu sur les deux filets ayant les plus grandes mailles et c'est sur un des filets ayant les plus petites mailles que la ponte a été significativement plus importante (Kruskal-Wallis, $p < 0,0001$) (Tableau 2). Outre la taille des mailles (ANOVA, $p = 0,0055$), le type de maille a également influencé le comportement de ponte de *C. rosaceana* (ANOVA, $p = 0,0062$). En effet, les femelles ont pondu davantage sur les filets tissés que sur les filets tricotés possiblement parce qu'ils offrent un substrat de ponte au relief plus uniforme. On sait que les femelles de la tordeuse à bandes obliques, qui déposent leurs œufs en ooplaques, apprécient pondre sur une surface lisse comme l'indique la ponte observée chez des femelles, utilisées comme témoins, qui avaient été placées dans des godets de plastique (solo-cup).

Tableau 2 Incidence de ponte et estimation du nombre d'œufs pondus par des femelles de tordeuses à bandes obliques (*Choristoneura rosaceana*) exposées à différents types de filets.

Traitement	Taille des mailles (mm)	Type de maille	Nb répétitions	Femelles ayant pondus (Nb)	(%)	Surface de ponte (mm ²) moy ± erreur-type
Filpack 20x10	0,76 x 0,23	Tissé	28	18	64,3	27,8 ± 5,4 a
Filpack 6x9	0,82 x 1,38	Tissé	28	8	28,6	8,6 ± 3,6 b
Filpack 5x4	3,40 x 2,20	Tissé	25	0	0,0	0,0
Ultravent 52	0,73 x 0,25	Tricoté	29	7	24,1	3,4 ± 1,5 b
ProtekNet 70	0,85 x 1,40	Tricoté	29	6	20,7	3,2 ± 1,6 b
ProtekNet 60	0,95 x 1,90	Tricoté	22	0	0,0	0,0
Témoin (solocup)	-	-	29	28	96,6	69,2 ± 8,6

Effet de la couleur des filets sur la ponte

Les essais précédents ayant montré qu'il offrait un bon substrat de ponte, le filet Ultravent 52 a été sélectionné pour les essais mesurant l'effet de la couleur. Les couleurs testées étaient les mêmes que celles testées avec *H. halys* et les données mesurées sont celles décrites ci-haut. Trente répétitions de chaque traitement ont été réalisées. Aucune des couleurs testées n'a permis de réduire la ponte de *C. rosaceana* sur les filets. Au contraire, l'incidence de ponte et l'importance de la ponte ont été significativement plus élevées sur les filets rouges comparativement aux filets blancs (Kruskal-Wallis, $\chi^2=8,81$; $dl=3$; $p=0,0319$). Les résultats détaillés ont été présentés dans le rapport d'étape 2.

Effet des répulsifs sur la tordeuse à bandes obliques

Les extraits d'ail et l'huile de soya ont été ajoutés aux trois autres produits testés également sur la punaise marbrée (Tableau 1). Comparativement aux essais avec *H. halys*, les mélanges de répulsif ont été placés sur une plaque agitatrice lors du trempage et les filets ont été trempés durant deux périodes consécutives de cinq secondes. Également, pour la pipérine, le mélange a été filtré sous vide avec trois compresses de gaze avant le trempage des filets. Les essais précédents ayant montré qu'il offrait un bon substrat de ponte, le filet Filpack 20X10 a été sélectionné pour la réalisation des essais avec les répulsifs. Des cages de ponte similaires à celles utilisées lors des essais précédents mais plus longues (22 cm) ont été utilisées. Le jour précédent le début des essais, les cages de ponte ont été trempées sur la moitié de leur longueur dans une des solutions de répulsifs de façon que les papillons introduits soient exposés à une section enduite et une section non-enduite de répulsif. Les cages ont été suspendues à l'horizontale sur une étagère grillagée placée sous une hotte plein pied en regroupant les cages d'un même traitement. En plus du nombre de masses pondus sur les sections enduites et non-enduites, la localisation des papillons a été notée quotidiennement sur une période de 7 jours. À la fin des essais, après avoir photographié puis retiré toutes les masses d'œufs, les cages de pontes ont été suspendues à l'extérieur (exposé au soleil /protégé de la pluie) dans le but de tester à nouveau l'effet répulsif des enduits après 3 et 6 semaines.

Les résultats de chacune des évaluations sont présentés dans le tableau 3. Les 1^{ères} pontes étant généralement observées après 2-3 jours, les répétitions où les femelles sont mortes durant les deux premiers jours d'essais ont été exclues. Les premiers jours suivant le trempage des filets (0 semaine), les résidus frais de capsaïcine et d'huile de soya ont entraîné une mortalité importante des papillons qui y étaient exposés et aucune ponte n'a été observée. Pour ces deux traitements, la longévité moyenne des femelles était inférieure à une journée donc peu de répétitions ont pu être conservées pour évaluer l'effet de ces produits sur la ponte. Dans les autres traitements, la survie des papillons a été bonne malgré la présence des enduits. Les observations réalisées indiquent également que les insectes se déplaçaient autant dans les sections enduites et non-enduites. Des pontes ont également été observées sur les deux sections de filet mais, dans les filets avec l'extrait d'ail, les femelles ont préféré pondre sur la section non enduite (Wilcoxon, $p=0,0494$) alors que l'huile de pin et la pipérine n'ont pas affecté la ponte de *C. rosaceana*. Lors des évaluations subséquentes, 3 et 6 semaines suivant le trempage des filets, une meilleure survie a été observée chez les papillons exposés à des résidus plus âgés de capsaïcine et l'huile de soya. L'effet répulsif de l'extrait d'ail était encore présent et la capsaïcine a elle aussi entraîné une diminution significative de la ponte sur les sections de filet enduites comparativement aux sections non enduites (Wilcoxon, $p<0,05$).

ESSAIS D'APPLICATION DE RÉPULSIFS SUR FILET EN VERGER

En vue de la réalisation des essais en vergers en parcelles d'exclusion mono-rangs, des essais préliminaires ont été réalisés au verger expérimental de l'IRDA, à l'été 2017, afin de comparer différentes méthodes d'application des répulsifs sélectionnés sur les filets et de mesurer leur persistance en conditions extérieures. Trois techniques d'application ont été testées : par pulvérisation, par trempage et à l'aide de rouleau à peinture. Basé sur les résultats des essais en laboratoire, les produits retenus pour ces essais étaient l'extrait d'ail, la capsaïcine et l'huile de soya. Des sections de filets de type ProteKNet 60 (2 m x 2 m) ont été suspendus sur un système d'entraînement similaire au système d'exclusion mono-rangs. Suite aux applications, des échantillons de chaque filet ont été découpés (5 cm x 5 cm) et observés sous la loupe binoculaire afin d'évaluer qualitativement la présence résiduelle des produits appliqués.

En termes de facilité d'utilisation, l'application par pulvérisation à l'équivalent d'environ 0,17L/mm² s'est avérée une bonne technique pour enduire les filets alors que la peinture des filets ne fut pas retenue vu la complexité d'utilisation. De son côté, la méthode par trempage, utilisée à plus grande échelle, a été exclue en raison des quantités importantes de produits requis (coût trop élevé) et de la difficulté d'usage de cette technique. Cette méthode fut donc testée uniquement sur des petites sections de filet.

Tableau 3 Longévité, incidence de ponte et estimation du nombre d'œufs pondus par des femelles de tordeuses à bandes obliques (*Choristoneura rosaceana*) exposées à des filets enduits de différents produits par trempage sur la moitié de leur surface.

Total	93	3,5 ± 0,1	48,4	12	37 *	1,8 ± 0,1	9,1 ± 0,2 *
Total	50	2,5 ± 0,2	34,0	2	15 *	0,7 ± 0,1	3,8 ± 0,2
Total	100	3,6 ± 0,1	46,0	26	26	7,2 ± 0,1	6,7 ± 0,1
Total	100	3,7 ± 0,1	46,0	30	20	6,8 ± 0,1	5,2 ± 0,1
Total	40	2,2 ± 0,2	35,0	4	10	1,3 ± 0,2	3,4 ± 0,3
Total	157	4,0 ± 0,1	84,1	-	132	-	35,3 ± 0,2

Bien que la technique sous forme de pulvérisation ait été simple d'exécution, l'efficacité d'application fut limitée et peu de dépôt fut observable sur les mailles de filets comparativement aux essais où le trempage a été utilisé comme technique d'application. De plus, les observations réalisées en conditions extérieures ont montré une très faible persistance dans le temps des résidus sur les filets et ce, peu importe le produit utilisé. Environ 4 heures après l'application, les filets étaient déjà significativement décolorés comparativement au moment de l'application. Une seconde série d'essais a été réalisée au cours de laquelle des filets enduits par pulvérisation ou trempage ont été placés soit en conditions extérieures ou en conditions intérieures durant la période de séchage. Ces essais ont permis de montrer de façon claire que les conditions extérieures (rayons UV, vent, etc.) affectaient grandement la persistance des répulsifs sur les filets. Les filets suspendus à l'intérieur présentaient un dépôt d'enduit significativement plus important sur leurs mailles, peu importe la méthode d'application. De plus, une dégradation rapide des enduits a été observée sur des filets trempés et suspendus initialement à l'intérieur puis déplacés à l'extérieur.

ESSAIS EN VERGERS EN PARCELLES D'EXCLUSION MONO-RANGS

Compte tenu des limitations mises en évidence lors des essais en vergers (difficultés d'application à grande échelle, faible persistance), il fut convenu que l'utilisation des répulsifs ne représentait pas une avenue à poursuivre pour améliorer la lutte contre les ravageurs dans les systèmes d'exclusion. D'autre part, les filets de couleur n'ayant permis de réduire la ponte des femelles chez aucune des deux espèces ciblées, il ne s'est pas avéré pertinent de tester en vergers l'utilisation de filets colorés.

À la lumière des données accumulées en 2016 et 2017, trois traitements ont été comparés dans le cadre des essais en vergers, réalisés à la saison 2018, en parcelles d'exclusion mono-rangs : 1) filet de référence (ProtekNet 60) ; 2) filet à plus grandes mailles (Artes 5x4) ; 3) témoin sans filet (Tableau 4). Les essais se sont déroulés dans une parcelle sans insecticide de pommiers nains "Honeycrisp", un cultivar sensible aux dégâts de tordeuses et de

punaises phytophages. Une unité expérimentale correspondait à une section de 10-12 pommiers. Chaque traitement a été répété cinq fois selon un dispositif en blocs complets aléatoires. Les blocs ont été déterminés en fonction de la pression de tordeuses observées dans ces parcelles au cours des deux années précédentes. Les filets ont été installés à partir du débourrement du pommier jusqu'à la récolte et relevés durant la floraison (21 et 23 mai) pour assurer la pollinisation. À l'exception d'un seul bloc, les unités sous exclusion en 2018, que ce soit avec le filet Artes ou ProtekNet, étaient également sous exclusion lors des années précédentes (2015-2016-2017), toutes avec le filet de référence (ProtekNet 60). De la même façon, toutes les parcelles témoin étaient également sans filet en 2017.

Tableau 4 Description des filets testés en vergers en parcelle d'exclusion mono-rangs

Traitement	Filet	Taille des mailles (mm)	Fournisseur
Pnet	ProtekNet 60	1,90 x 0,95	Dubois Agrinovations (Québec)
Artes	Filet 5 x 4	3,40 x 2,30	Artes Politecnica (Italie)
Tém	-		

Masses d'œufs pondus sur les filets

Un suivi des masses d'œufs pondus sur les filets a été effectué de façon hebdomadaire de la fin mai à la mi-septembre. À chaque relevé, le nombre, l'emplacement et le type des nouvelles masses observées (lépidoptères, pentatomides, autres) ont été notés. Les masses non écloses ont été marquées et suivies jusqu'à l'éclosion pour vérifier, lorsque possible, si les larves traversaient le filet.

Parmi les 160 masses d'œufs observées (Tableau 5), la vaste majorité étaient des masses pondues par des noctuelles et ont été retrouvées en plus grand nombre sur le filet ProtekNet (Wilcoxon, $p=0,0090$). Les noctuelles ayant pondus sur les filets ne sont pas nécessairement des ravageurs du pommier et appartiennent possiblement à plusieurs espèces apparentées. Basé sur l'identification visuelle des chenilles et/ou papillons élevés sur diète artificielle à partir d'œufs prélevés, il s'agit entre autre de l'espèce *Noctua pronuba*, (fiancée) ainsi que *Xestia c-nigrum* (ver-gris tacheté). Le pic d'abondance des pontes de noctuelles a été observée en août.

Tableau 5 Nombre cumulé (moyenne \pm erreur-type) de masses d'œufs observées sur les deux types de filets sur l'ensemble de la saison (entre parenthèse : nombre total observé)

Groupe d'insectes	Artes 5x4	ProtekNet 60
Noctuidae	6,4 \pm 3,0 b (32)	20,2 \pm 3,6 a (101)
Pentatomidae	2,0 \pm 0,5 a (10)	3,2 \pm 1,0 a (16)
<i>Podisus sp</i>	1,6 \pm 0,4 a (8)	1,6 \pm 0,8 a (7)
<i>Chinavia sp</i> et <i>Euschistus sp</i>	0,0 b (0)	1,6 \pm 0,5 a (8)
Coccinellidae	0,6 \pm 0,4 a (3)	0,0 a (0)
Non identifié	0,6 \pm 0,2 a (3)	0,2 \pm 0,2 a (1)

Des lettres différentes indiquent des différences significatives (Test de Wilcoxon, $\alpha=0,05$)

Plusieurs masses de punaises pentatomides ont également été répertoriées, le tiers d'entre elles étant des œufs de punaises prédatrices (*Podisus spp*) retrouvées en nombre similaire sur les deux types de filets (Wilcoxon, $p=0,9158$). Les œufs de punaises phytophages (*Chinavia sp* et *Euschistus sp*) ont été observées exclusivement sur les filets ProtekNet (Wilcoxon, $p=0,0114$). Les pontes de pentatomides ont été observées à partir du début juin jusqu'au début juillet. Dans environ le tiers des cas, la masse a été pondue à l'intérieur du filet ce qui signifie qu'un certain nombre d'adultes ont pénétré sous les filets. Lorsqu'il fut possible d'observer les jeunes larves, celles-ci avaient traversé le filet dans 45% des cas pour les punaises prédatrices et 14% des cas pour les punaises phytophages.

Quelques masses de coccinelles ont également été pondus sur les filets Artes (Wilcoxon, $p=0,0597$). Tel qu'anticipé à la suite des essais réalisés en laboratoire, aucune masse de tordeuses n'a été observée.

Populations de tordeuses à bandes obliques (TBO) et taux de parasitisme des larves

La densité de chenilles de la génération printanière (hibernante) a été évaluée à la fin mai et celle de la génération estivale, à la fin juillet en observant 180 bourgeons à fruits ou pousses en croissance par unité expérimentale.

Des populations plus importantes de chenilles de TBO ont été observées dans les pommiers sous filets comparativement aux pommiers sans filet lors de l'échantillonnage réalisée sur la génération d'été (Kruskal-Wallis, $p=0,0494$). Bien qu'aucune différence significative n'ait été détectée (Kruskal-Wallis, $p=0,0654$), un portrait similaire a été observé à la génération printanière (Tableau 6).

Tableau 6 Densité larvaire (moyenne \pm erreur-type) de tordeuse à bandes obliques dans les différentes parcelles.

Génération de TBO	Artes 5x4	ProtekNet 60	Témoin sans filet
Hibernante (printemps)	8,6 \pm 4,2 a	6,2 \pm 1,8 a	1,8 \pm 0,5 a
Estivale	3,6 \pm 1,4 a	5,0 \pm 1,9 a	0,0 b

Des lettres différentes indiquent des différences significatives (Test de Kruskal-Wallis, $\alpha=0,05$)

Afin de vérifier si l'utilisation de filet à plus grandes mailles permet le passage d'un plus grand nombre d'ennemis naturels, le taux de parasitisme des larves de TBO a été évalué et les espèces de parasitoïdes présentes dans parcelles avec et sans filet ont été identifiées. Parmi les chenilles observées lors des échantillonnages de larves, une sur deux a été prélevée et ramenée au laboratoire. Les larves ont été maintenues sur diète artificielle à base de germe de blé (Southland Product, Lake Village, Arkansas) et observées 1-2 fois par semaine à la loupe binoculaire pour noter chaque indice de parasitisme.

Tableau 7 Parasitisme (%) observé chez des larves de tordeuse à bandes obliques prélevées dans les différentes parcelles et parasitoïdes ayant émergé des larves parasitées.

Génération de TBO	Artes 5x4	ProtekNet 60	Témoin sans filet
Échantillonnage printanier			
Parasitées (% total)	0,0 % b	3,6 % b	41,4 % a
<i>Apophua sp</i>	0 b	1 b	7 a
<i>Macrocentrus sp</i>	0 b	0 b	3 a
<i>Metorus sp</i>	0 a	0 a	1 a
<i>Itopectis sp</i>	0 a	0 a	1 a
Échantillonnage estival			
Parasitées (% total)	28,6 % b	3,0 % c	72,7 % a
<i>Actia interrupta</i>	3 b	0 c	14 a
Autres tachinides	0 b	0 b	4 a
<i>Apophua sp</i>	3 a	1 a	3 a
<i>Macrocentrus sp</i>	0 a	0 a	2 a
<i>Exochus sp</i>	2 a	0 a	0 a
<i>Sympiesis sp</i>	0 a	0 a	1 a

Des lettres différentes indiquent des différences significatives (G-test, $\alpha=0,05$)

Lors de l'échantillonnage printanier, un taux de parasitisme significativement plus élevé a été observé chez les larves provenant des arbres témoins (G-test, $p<0,0001$). Parmi celles-ci, plus de 40% étaient parasitées par 4 différentes espèces de parasitoïdes (Tableau 7). Une seule espèce de parasitoïde a été répertoriée parmi les larves provenant des pommiers sous filet. Il s'agit d'un ichneumonidé du genre *Apophua* dont la taille est beaucoup plus grande que les

mailles des filets mais qui passe l'hiver à l'intérieur de son hôte. Sa présence sous filet peut donc s'expliquer par le fait qu'il ait émergé d'une larve ayant été parasitée à l'automne et ayant été prélevée dans l'unique unité expérimentale sous filet ProtekNet qui n'était pas sous exclusion en 2017.

Lors de l'échantillonnage estival, un taux de parasitisme plus élevé a été observé, à nouveau, dans les parcelles témoins (G-test, $p < 0,0001$). Plus de 70% des larves provenant des arbres sans filet étaient parasitées. Un total de 5 différentes espèces de parasitoïdes ont été répertoriées, la mouche tachinaire, *Actia interrupta*, étant le plus abondant. Significativement plus de larves prélevées sous les filets Artes étaient parasitées (~30%) comparativement à celles prélevées sous les filets ProtekNet (~3%) (G-test, $p = 0,0034$), les filets à plus grandes mailles ayant permis le passage d'un certain nombre d'*A. interrupta*. Étonnamment, à la génération d'été, un pourcentage similaire de larves parasitées par *Apophua sp* a été retrouvé dans les trois traitements alors ce parasitoïde était pratiquement absent lors de l'échantillonnage réalisé sur la génération hibernante. Par ailleurs, lors de l'échantillonnage estival, ce parasitoïde a émergé de larves provenant de différentes unités sous exclusion incluant celles qui étaient sous filet en 2017. Ces résultats révèlent, qu'après le retrait des filets, des adultes de cette espèce ont le temps de parasiter certaines chenilles de TBO présentes. À la saison suivante, les parasitoïdes qui en émergent sont confinées sous filet et parasitent les larves de la génération d'été. Un autre parasitoïde appartenant au genre *Exochus* a été répertorié sous les filets Artes. Il s'agit d'un ichneumonidé qui attaque les larves et qui émergent des chrysalides mais peu d'informations sont disponibles dans la littérature sur ce parasitoïde (période d'activité, stades larvaires parasités, stade de diapause). Il est donc difficile de déterminer si sa présence sous le filet Artes est attribuable à sa capacité à traverser les mailles de 2,2 mm X 3,4 mm ou à une activité de parasitisme survenu après le retrait des filets.

Autres ravageurs du pommier et dégâts non parasitaires

Dans le but d'évaluer si les filets à plus grandes mailles (Artes) offrent une protection phytosanitaire similaire à celle obtenue avec le filet de référence (ProtekNet), les niveaux dommages sur fruits et les populations de différents ravageurs ont été évalués en cours de saison et à la récolte. Les principaux résultats sont présentés dans le tableau 8.

Les deux types de filets ont permis d'exclure presque totalement le carpocapse de la pomme et la mouche de la pomme alors que, dans les parcelles témoins, plus de 3 et 12% des fruits ont été endommagés par ces deux ravageurs respectivement.

Les dommages causés par le charançon de la pomme ont été significativement moins importants dans les pommiers sous filets comparativement aux pommiers témoins (Anova, $p = 0,0029$). Toutefois, près de 10% de dommages ont tout de même été observés dans les parcelles sous exclusion. Ce niveau est relativement élevé compte tenu que depuis 2012, des dommages de charançons ont rarement été observés sous filet et, en moyenne, n'ont jamais excédé 2 %. Les populations élevées présentes en 2018 (tel qu'observé dans les témoins) peuvent expliquer en partie les résultats observés. En effet, lorsque la pression de charançon est grande, le risque est accru que certains femelles pénètrent dans le filet et occasionnent des dommages.

La punaise terne a causé significativement plus de dommages dans les parcelles sans filet (Kruskal-Wallis, $p = 0,0310$) comparativement aux deux autres traitements. Un faible niveau de dommages attribuables aux punaises pentatomides a été observé sous les filets Artes et ProtekNet comparativement à environ 7,5% dans les parcelles témoins. Bien qu'elle ne soit pas statistiquement significative (Kruskal-Wallis, $p = 0,0681$), cette différence est très près du seuil de signification de 0,05. Ces données illustrent que, même si nos observations lors du suivi des pontes sur filet ont montré qu'un certain nombre d'individus (adultes ou larves) réussissaient à contourner cette barrière physique, les deux types de filet ont offert tout de même une protection adéquate contre les dommages de pentatomides. Des dommages occasionnés par d'autres espèces de punaises ont également été observés à des niveaux significativement plus élevés dans les parcelles sans exclusion (Kruskal-Wallis, $p = 0,0084$).

Aucune différence significative n'a été détectée pour les dommages causés par les chenilles printanières (Anova, $p = 0,3142$) alors qu'un pourcentage plus élevé de dommage de tordeuses d'été a été observé à la récolte dans les parcelles Artes et témoins, comparativement aux parcelles ProtekNet (Anova, $p = 0,0255$).

Les populations de ravageurs du feuillage ont également été évaluées à différentes périodes durant la saison. Parmi ceux-ci, aucune cicadelle, mineuse marbrée ou pucerons lanigère n'ont été dénombrés lors des échantillonnages. Les populations d'acariens phytophages (tétranyques rouges, tétranyque à deux points et ériophyides) et d'acariens prédateurs (phytoséides et stigmaéides) ont été évaluées par broissage de feuilles mais aucune différence significative n'a été détectée entre les traitements.

Tableau 8 Pourcentage de dommages (moyenne \pm erreur-type) observé dans les différentes parcelles.

Type de dommages	Artes 5x4	ProtekNet 60	Témoins sans filet
Insectes			
Carpocapse (juillet)	0,1 \pm 0,1 b	0,0 b	4,6 \pm 1,7 a
Carpocapse (récolte)	0,1 \pm 0,1 b	0,0 b	3,1 \pm 0,8 a
Mouche de la pomme	0,1 \pm 0,1 b	0,0 b	12,9 \pm 3,5 a
Charançon (juin)	8,8 \pm 2,3 b	7,1 \pm 2,8 b	22,2 \pm 7,0 a
Charançon (récolte)	12,3 \pm 3,5 b	9,9 \pm 3,9 b	26,8 \pm 8,1 a
Punaise terne	0,6 \pm 0,3 b	0,8 \pm 0,1 b	9,3 \pm 6,0 a
Punaises pentatomides	1,1 \pm 0,4 a	0,3 \pm 0,2 a	7,4 \pm 3,3 a
Autres punaises	1,4 \pm 0,4 b	0,7 \pm 0,2 b	8,9 \pm 4,1 a
Chenilles printannières	0,4 \pm 0,3 a	0,2 \pm 0,1 a	1,3 \pm 0,8 a
Tordeuses d'été	15,0 \pm 1,8 a	9,8 \pm 2,6 b	18,3 \pm 4,5 a
Maladies			
Tavelure	0,0 a	0,0 a	0,0 a
Suie/moucheture	1,8 \pm 1,1 a	3,9 \pm 2,2 a	2,2 \pm 0,84 a
Rouille	0,1 \pm 0,1 a	0,1 \pm 0,1 a	0,1 \pm 0,11 a
Pourriture d'été	0,8 \pm 0,4 a	0,8 \pm 0,4 a	3,6 \pm 1,39 a
Feu bactérien ¹	0,0 b	0,0 b	7,2 \pm 6,0 a
Autres dommages			
Bris mécanique	5,4 \pm 0,9 a	6,1 \pm 0,9 a	10,0 \pm 1,67 a
Malformation	0,8 \pm 0,4 a	0,2 \pm 0,1 a	0,3 \pm 0,14 a
Roussissure	1,3 \pm 0,6 a	0,3 \pm 0,1 a	1,1 \pm 0,3 a
Point amer	3,1 \pm 1 a	2,7 \pm 0,6 a	4,2 \pm 1,21 a

¹ Pourcentage de pousses/bouquets infestés

Des lettres différentes indiquent des différences significatives (Anova ou Kruskal-Wallis, $\alpha=0,05$)

À partir du début juillet, des adultes de scarabées japonais, qui affectionnent particulièrement le cultivar Honeycrisp, ont été observés dans les parcelles à l'extérieur des filets et sur les filets. Lors de l'échantillonnage réalisé au début août, une moyenne de 18,4 individus/parcelles ont été dénombrés dans sur les pommiers sans filet alors qu'aucun scarabée japonais n'a été observé sur les pommiers sous filet.

Les densités de pucerons roses et de pucerons verts ont été évaluées à deux reprises (début et fin juin) en observant 180 bouquets à fruits ou pousses annuelles sélectionnées aléatoirement dans chaque parcelle. Une classe a été attribuée à chacune en fonction du niveau d'infestation (A = 1 à 5 pucerons, B = 6 à 25 pucerons, C = 26 à 50 pucerons, D = 51 à 125 pucerons, E = plus de 125 pucerons). Lors de l'évaluation de la densité effectué au début juin, la majorité des colonies répertoriées dans les différentes parcelles étaient des colonies de pucerons verts (plus de 150 colonies). Une vingtaine de colonies de pucerons roses ont été observées, en majorité dans des parcelles témoins, mais la densité de pucerons ne s'est pas avérée significativement différentes selon le traitement (Kruskal-Wallis, $p=0,2157$) (Tableau 9). Lors de la 2^e évaluation, quelques colonies de pucerons roses étaient encore présentes mais aucune différence significative n'a été détectée. Une densité significativement plus faible de pucerons verts a été observée dans les parcelles témoins comparativement aux parcelles sous filet ProtekNet lors de l'évaluation réalisée à la fin juin.

Dans le but de vérifier si l'utilisation de filet à plus grand mailles favorise l'entrée de la faune auxiliaire, des colonies de pucerons ont été marquées et suivies de façon hebdomadaire durant toute la saison afin d'évaluer l'abondance et la composition des ennemis naturels présents dans les différents types de parcelles. À chaque suivi, le niveau d'infestation de pucerons a été évalué avec la méthode décrite ci-dessus. La présence et le nombre de prédateurs ou de parasitoïdes (pucerons momifiés) ont été noté ainsi que le nombre de fourmis (protecteurs de pucerons) en utilisant une des classes suivantes : A = 1 à 5 fourmis, B = 6 à 25 fourmis, C = 26 à 50 fourmis, D = +de 50 fourmis).

Tableau 9 Densité de pucerons par pousses/bouquets (moyenne \pm erreur-type) observé dans les différentes parcelles.

	Artes 5x4	ProtekNet 60	Témoin sans filet
Pucerons roses			
Début juin	0,53 \pm 0,3 a	0,11 \pm 0,1 a	0,92 \pm 0,54 a
Fin juin	0,00 a	0,46 \pm 0,3 a	0,06 \pm 0,04 a
Pucerons verts			
Début juin	5,95 \pm 3,8 ab	2,78 \pm 1,2 a	0,52 \pm 0,24 a
Fin juin	14,10 \pm 3,9 ab	20,57 \pm 6,1 a	8,08 \pm 2,12 b

Des lettres différentes indiquent des différences significatives (Kruskal-Wallis, $\alpha=0,05$)

L'abondance des pucerons à travers la saison sur les colonies marquées a été significativement plus importante sous les filets ProtekNet comparativement aux autres parcelles (Kruskal-Wallis, $p=0,0035$). La présence des filets n'a pas affecté l'abondance des fourmis (Kruskal-Wallis, $p=0,8268$). Un nombre important de fourmis a été observé tout au long de la saison et leur présence a possiblement défavorisé la présence de prédateurs et de parasitoïdes. Les cécidomyies du puceron furent les ennemis naturels les plus abondants représentant plus de 80% des ennemis naturels observés au sein des colonies de pucerons dans les parcelles témoins et près de la totalité de ceux observés sous filets. La présence de ce prédateur sous les filets Artes fut similaire à celle observée dans les parcelles sans filet. Toutefois, bien que présente aussi sous les filets ProtekNet, son abondance y fut significativement moindre, d'environ trois fois (Kruskal-Wallis, $p<0,0001$). Les œufs et larves de *Leucopis* arrivent au second rang en importance parmi les autres prédateurs observés et furent observé presque exclusivement dans les parcelles témoins. Un très faible nombre de coccinelles et de chrysopes fut observé, uniquement dans les parcelles sans filet. Quelques momies de pucerons parasités furent observées, principalement dans les parcelles témoins mais aussi dans les parcelles sous filet et aucune différence n'est observé selon le traitement (Kruskal-Wallis, $p=0,2141$). La majorité des parasitoïdes ayant émergé des momies prélevées appartenait au genre *Binodoxys* sp. Ce parasitoïde de la famille des Braconidae a été retrouvé dans les trois types de parcelles. Une colonie de pucerons rose parasité par le genre *Ephedrus* sp a également été observé dans une parcelle témoin à la mi-juin. Quelques hyperparasitoïdes ont aussi été répertoriés appartenant possiblement à la famille des Figitidae.

Tableau 10 Abondance (moyenne \pm erreur-type) des pucerons, des protecteurs de pucerons (fourmis) et des ennemis naturels observées sur les colonies marquées.

	Artes 5x4	ProtekNet 60	Témoin sans filet
Pucerons	82,58 3,66 b	97,71 4,02 a	80,28 4,21 b
Fourmis	3,20 \pm 0,16 a	3,42 \pm 0,20 a	3,52 \pm 0,25 a
Cécidomyies du puceron	1,48 \pm 0,21 a	0,48 \pm 0,07 b	1,49 \pm 0,17 a
Leucopis	0,008 \pm 0,004 b	0,003 \pm 0,002 b	0,278 \pm 0,073 a
Chrysope	0 a	0 a	0,004 \pm 0,003 a
Coccinelles	0 b	0 b	0,010 \pm 0,003 a
Momies	0,002 \pm 0,002 a	0,003 \pm 0,002 a	0,010 \pm 0,006 a

Des lettres différentes indiquent des différences significatives (Kruskal-Wallis, $\alpha=0,05$)

Aucun fruit affecté par la tavelure du pommier n'a été observé lors des évaluations de dommages à la récolte. Des symptômes du complexe suie/moucheture et de rouille ont été observés à des niveaux similaires dans les trois traitements (Anova, $p=0,4894$). La présence des filets n'a pas eu d'effet significatif sur la prévalence des dommages non-parasitaires (bris mécanique, malformation, roussissure, point amer).

Durant la saison, l'ensemble des arbres de chaque parcelle ont été inspectés visuellement pour dénombrer la présence de symptômes de feu bactérien. Les inspections ont débuté à la mi-juin et se sont poursuivies jusqu'en août

de façon hebdomadaire (ou bi-hebdomadaire durant les périodes de sorties des symptômes). Lorsque présents, les bouquets ou pousses infectés ont été retirés des arbres à chaque passage. Quelques bouquets/pousses porteurs de symptômes de feu bactérien ont été observés sur des arbres sans filet (la majorité dans la même parcelle) alors qu'aucun symptôme n'a été observé sous filet (Kruskal-Wallis, 0,0091) (Tableau 8).

Rendement et qualité du fruit

Une évaluation du rendement (kg/arbre et poids/fruit) a été effectuée à la récolte. L'ensemble des fruits sur six arbres par parcelles ont été récoltés, comptés et pesés. Le calibre des fruits a également été mesuré à l'aide d'un vernier électronique (n=120 fruits/parcelle). Une évaluation de la qualité à la récolte (coloration, nombre de pépins, taux de sucre, maturité et fermeté) a été réalisée sur 30 fruits commercialisables/ unité, pour un total de 150 fruits par traitement. Aucun effet significatif de la présence des filets n'a été mesuré pour ces différents indices de l'efficacité agronomique à l'exception du nombre de pépins (ANOVA, p=0,0360), les pommes produites sous les filets Artes ayant eu un nombre inférieur de pépins comparativement à celles produites sans filet.

Paramètres abiotiques et activité photosynthétique

Des enregistreurs de température et d'humidité (HOBO U23 Pro v2, Onset) ont été installés dès l'installation des filets à raison d'une sonde par parcelle associée à un des trois traitements pour chacun des deux secteurs où les essais se sont déroulés. Les HOBO ont été installés à une hauteur de 1,25m au centre de la parcelle sous un abri solaire. Une mesure était prise à toutes les 5 minutes. En moyenne, une différence minimale ($<0,02^{\circ}\text{C}$) fut observée entre la température de l'air enregistrée sous les filets ProtekNet et les filets Artes.

L'activité photosynthétique des arbres dans chacune des parcelles a été mesurée à trois reprises durant la saison (fin-juin, fin-juillet et fin-août) en mesurant les deux paramètres suivants : la concentration en chlorophylle et le rapport de fluorescence (Fv/Fm). Ces mesures ont été prises lors de journées ensoleillées entre 10h00 et 14h00 avec un analyseur de teneur en chlorophylle (CCM-300, Opti-Sciences) et un fluoromètre (OS30p, Opti-Sciences). Aucun des paramètres mesurés n'a différencié selon le traitement ce qui suggère que la présence des filets, peu importe la taille des mailles, n'a d'incidence la capacité photosynthétique et le niveau de stress de la plante.

