

Rapport final

No projet : IA113067

Titre : Lutte aux ennemis du pommier à l'aide de filets d'exclusion pour la production de pommes à haute valeur économique

Chouinard, G., Veilleux, J., Pelletier, F., Phillon, V., Larose, M., Fournier, V., Tavares, J.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

15 janvier 2016

RÉSUMÉ

Depuis le début des années 2000, les filets d'exclusion sont utilisés avec succès en France. Un tel système a été adapté aux conditions nord-américaines et a été testé dans un verger expérimental («cv. Honeycrisp») dans le sud du Québec depuis 2012. L'évaluation des dommages causés par les insectes, les maladies ainsi que les dommages physiques et physiologiques ont été évalués dans des parcelles sous exclusion totale – le sol est exclu des filets- avec ou sans protection contre la pluie. De 2014 à 2017, différents aspects ont été étudiés : 1) évaluation de la performance agronomique à l'échelle du verger du système proposé (avec et sans protection contre la pluie) ; 2) développement et caractérisation (durabilité, imperméabilité, innocuité) d'un enduit superhydrophobe et son impact sur l'incidence des maladies ; 3) développement d'une stratégie de pollinisation efficace pour la production de pomme sous filet; 4) analyse de rentabilité à l'échelle d'un verger. De 2014 à 2016, l'utilisation de filets d'exclusion a permis d'atteindre une meilleure performance agronomique, tout en offrant une protection physique aux intempéries et aux maladies, avantage que la méthode traditionnelle ne peut offrir. Les essais d'imperméabilisation superhydrophobe effectués en laboratoire se sont avérés prometteurs, cependant, lors des essais *in situ* la pluie a pénétré les filets malgré l'utilisation d'une protection superhydrophobe. Nos analyses ont quand même permis de démontrer une diminution des dommages de tavelure lors de la présence d'un revêtement de protection contre la pluie. Les essais d'ouverture sélective des filets ont permis d'établir un temps d'ouverture optimal pour la pollinisation. Les essais de pollinisation à l'intérieur des filets par le bourdon fébrile ont débuté à l'été 2016 et se poursuivront à la saison 2017. Nos résultats à ce titre, bien que préliminaires, ont permis d'établir la faisabilité de cette avenue pour la pollinisation sans nécessiter l'ouverture des filets.

Volet 1 : Évaluation de la performance agronomique des systèmes d'exclusion

Les activités reliées au volet 1 ont débuté au printemps 2015 avec l'installation de filets (ProtekNet, 60 g/m²) et de toits de polyéthylènes (Voen). Le projet s'est poursuivi au printemps 2016. Étant donné que la technique de modification superhydrophobe des filets (volet 2A) n'était pas disponible pour de grandes surfaces au moment de tout mettre en place, certains filets ont plutôt été recouverts du traitement alternatif prévu au projet (NeverWet) afin de rendre leur surface superhydrophobe. Chaque traitement (témoin, filet, filet avec toit, filet avec enduit superhydrophobe) a été répété quatre fois.

L'ouverture des filets a eu lieu lors de la floraison (deux journées en 2015 et trois journées en 2016). L'ouverture était envisagée uniquement lorsque les conditions météorologiques étaient favorables à l'activité des abeilles domestiques (température : >15 °C, radiation solaire : >300 W/m², vent : <16 km/h). Les filets ont également été détachés (mais pas relevés) brièvement, lors des différentes évaluations effectuées au cours de la saison. Le projet d'évaluation de la performance agronomique des systèmes d'exclusion se poursuivra au printemps 2017.

Indicateurs et suivis

Ravageurs et dégâts non parasitaires. Les évaluations ont été effectuées de la fin juin jusqu'à la récolte afin de mesurer l'impact des filets sur la majorité des ravageurs du pommier. À chaque échantillonnage, un total de 120 pommes ou feuilles sélectionnées au hasard étaient examinées dans chaque unité expérimentale. Les dégâts ont été identifiés à l'aide d'une grille de classification en 27 catégories d'insectes, maladies et désordres physiologiques et de 9 catégories d'acariens. Les populations des différentes espèces de prédateurs et de parasitoïdes présents ont également été évaluées.

Charge et qualité du fruit. L'évaluation de la charge (nb de fruits/bouquet) a été effectuée au début juillet sur 100 bouquets à fruits par unité expérimentale. À la fin août, l'évaluation du calibre (diamètre des pommes) a été effectuée sur 100 pommes mures par unité expérimentale. La coloration a été mesurée visuellement et à l'aide d'un colorimètre. La fermeté a été mesurée à l'aide d'un pénétromètre et le taux en sucres par l'indice Brix.

Paramètres abiotiques et activité photosynthétique. L'activité photosynthétique a été établie en mesurant deux paramètres : 1) la concentration en chlorophylle ; 2) le rapport Fv/Fm (fluorescence variable/fluorescence maximale). Les données de température et humidité ont été mesurées à l'aide de sondes (HOBO Pro V2, Onset) installées sous les filets pendant une période de sept jours, à trois reprises entre juin et août inclusivement.

Résultats 2015

Les différentes évaluations de présence de ravageurs ou de leurs dégâts ont été effectuées de la floraison à la récolte. Dans le cas de la présence des cicadelles blanches, des pucerons verts et des fourmis ainsi que de la majorité des acariens, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements. Aussi, un nombre significativement plus élevé de pommes a été endommagé par le carpocapse dans les parcelles témoin que dans les parcelles des traitements filet, avec et sans toit imperméable ($F_{2,6} = 64,00$; $p < 0,0001$).

Les dégâts sur fruit ont été évalués un peu avant la récolte. Dans la plupart des cas, il n'y avait pas de différence significative entre le nombre de dégâts observés dans un traitement ou dans l'autre. Cependant, il y avait significativement plus de pommes endommagées par des punaises dans les parcelles témoin que dans les parcelles sous filet ($F_{2,6} = 5,25$; $p = 0,0480$). Les dégâts de mouche de la pomme étaient significativement plus nombreux dans les parcelles témoin ($F_{2,6} = 10,58$; $p = 0,0108$). Quant aux pommes

saines, un nombre significativement plus important a été observé dans les parcelles sous filet, avec ou sans toit imperméable ($F_{2,6} = 38,31$; $p = 0,0004$). Il faut toutefois préciser qu'un épisode de grêle important a endommagé la récolte et que la proportion de pommes grêlées était significativement moins élevée dans tous les traitements sous filet que dans les témoins ($F_{2,6} = 6,19$; $p = 0,0347$).

Finalement, il n'y a pas eu de différence significative observée entre le nombre de pommes produites par bouquet pour les arbres des trois traitements. À la récolte, ces pommes étaient d'un diamètre similaire; leur coloration, leur fermeté, leur maturité, leur taux de sucre ainsi que leur nombre de pépins ne variaient pas de façon significative selon le traitement. Pour ce qui est de la température et de l'humidité relative dans les différentes parcelles, l'air ambiant était significativement plus humide dans les parcelles témoins que sous filet, avec ou sans toit imperméable. Cependant, la différence n'était jamais de plus de 2 %.

Résultats 2016

Aucune différence significative n'a été observée pour la présence d'insectes, de leurs dégâts ou de maladies, sauf pour le blanc et la rouille. Un nombre significativement plus élevé de feuilles atteintes de blanc a été observé dans les parcelles témoin que dans les parcelles sous filet, avec ou sans toit de polyéthylène ($F_{2,474} = 7,55$; $p = 0,0006$). Quant au nombre de feuilles atteintes de rouille (*Gymnosporangium* spp.), il était significativement plus faible dans les parcelles sous filet avec toit imperméable ($F_{2,474} = 36,91$; $p < 0,0001$).

Du côté des dommages causés par des ravageurs, des différences significatives ont été observées pour les dégâts de punaise terne, plus nombreux dans les parcelles témoin ($F_{2,6} = 7,78$; $p = 0,0215$). Les dégâts de mouche de la pomme ont été plus nombreux dans les parcelles témoin ($F_{2,6} = 57,60$; $p = 0,0001$). Les dégâts associés à la moucheture ont affiché une moins grande présence dans les parcelles sous filet lorsque recouvert d'un toit imperméable ($F_{2,6} = 6,88$; $p = 0,0280$).

Le nombre de pommes par bouquet était semblable d'un traitement à l'autre. Cependant, le poids des pommes et leurs diamètres étaient significativement plus élevés dans les parcelles sous filet avec toit imperméable que dans les autres parcelles ($F_{3,428} = 61,03$; $p < 0,0001$; $F_{2,337} = 40,35$; $p < 0,0001$; respectivement). Comparativement aux parcelles avec filets, le nombre de pépins par pomme était supérieur dans les parcelles témoin ($F_{3,427} = 82,93$; $p < 0,0001$). Les pommes dans les parcelles témoin avaient une plus grande fermeté, et ce indépendamment du côté choisi (rouge ($F_{2,175} = 6,64$; $p = 0,0017$); vert ($F_{2,175} = 4,53$; $p = 0,0121$)). Les pommes sous filets avec toit imperméable ont vu leur maturité avancer plus rapidement que celles des parcelles témoin ($F_{2,174} = 4,52$; $p = 0,0122$). Au niveau de la coloration, une différence significative a été détectée entre les traitements de filet avec et sans toit ($F_{2,337} = 5,40$; $p < 0,0049$). Les pommes sous filet avec toit imperméable ont affiché une plus faible coloration. Les feuilles appartenant à des pommiers recouverts d'un filet et d'un toit ont affiché une plus grande de fluorescence ($F_{2,210} = 14,74$; $p < 0,0001$) que les feuilles du traitement filet ou témoin. Comparativement aux parcelles témoin, les parcelles sous filet avec toit ont altéré positivement la charge en chlorophylle ($F_{2,210} = 3,77$; $p = 0,0247$). Aucune différence significative n'a été détectée pour la teneur en sucres dans les fruits. Les données de température et d'humidité de la saison 2016 n'ont pas encore été analysées. Ces analyses seront effectuées par Michèle Grenier (IRDA) en mars 2017. Nous nous attendons à des résultats comparables à la saison 2016. Soit une température et un taux d'humidité légèrement plus élevé (2 %) dans les parcelles sous filet, avec ou sans toit, que dans les parcelles témoin.

Volet 2A : Imperméabilisation des filets de polyéthylène

La recherche au niveau du volet 2A a débuté en mai 2014 à l'École Polytechnique de Montréal. La méthode qui a été utilisée pour l'imperméabilisation a été une réaction par déposition de vapeur chimique initiée par des rayons UVC (PICVD). L'objectif était de rendre la surface des filets de polyéthylène

superhydrophobe. L'étudiante de 2^e cycle en charge du dossier était Mlle Ariane Bérard, qui était dirigée par Pr. Jason R. Tavares et co dirigée par Pr. Gregory S. Patience.

Validation de l'hypothèse de base

La première étape consistait à valider le concept de filet superhydrophobe. Ce dernier avait comme but de diminuer considérablement la quantité d'eau passant à travers les mailles. Pour se faire, un simulateur de pluie a été construit pour modéliser la réalité. Un produit commercial à base de solvants (NeverWet) a été utilisé comme témoin pour obtenir une surface superhydrophobe sur le filet. Les paramètres variables étaient la vitesse de la goutte d'eau (2 à 6 ml/min), le type de filet (Protek Net 70 gr et Protek Net 80 gr), le traitement du filet (avec et sans NeverWet) et l'angle d'inclinaison du filet (30°, 40°, 50°). Pour simuler adéquatement la pluie, plusieurs grosseurs de gouttes ont été produites allant de micromètres jusqu'à des millimètres. Les mesures prises par le simulateur de pluie étaient la quantité d'eau traversant le filet en deux minutes. Pour chaque ensemble de paramètres, trois essais ont été effectués aléatoirement.

Traitement par dépôt chimique

Pour rendre la surface superhydrophobe, les échantillons de polyéthylène à haute densité ont été placés dans un réacteur en quartz pour subir une réaction de déposition de vapeur chimique initiée par des rayons UVC (254 nm). Un protocole de prétraitement pour nettoyer toutes impuretés sur les échantillons a été appliqué. Le polyéthylène fut submergé dans l'eau désionisée suivi d'un traitement à l'acétone (15 minutes) dans un bain à ultrasons. Un mélange de deux gaz (hydrogène et monoxyde de carbone) a été utilisé pour modifier la surface. Les paramètres d'opérations incluent le ratio de ces gaz (H_2/CO : 1/2, 4 et 0,0625), la pression dans le réacteur (-10 kPag et 20 kPag) et le positionnement des échantillons à partir de l'entrée des gaz (2 cm à 50 cm).

Un initiateur (peroxyde d'hydrogène) a également été ajouté pour certains essais pour regarder son impact sur la réaction. Pour tous les essais, le temps de traitement était d'une heure et le débit de gaz total entrant était de 500 ml/min. Pour chacune des expériences, de trois à cinq échantillons ont été déposés dans le réacteur à différentes positions.

L'année 2015 fut entièrement consacrée à l'obtention d'une surface superhydrophobe (angle de contact avec l'eau supérieur à 150°) sur le polyéthylène haute densité (HDPE) et sur le polytétraphtalate d'éthylène (PET), par un traitement par déposition de vapeur chimique initiée par des rayons UVC (PICVD). Le traitement PICVD se fait à l'aide d'injection d'hydrogène (H_2) et de monoxyde de carbone (CO) dans un réacteur en quartz où l'échantillon de polymère est déposé. La lumière UVC permet d'initier la réaction sur la surface du substrat. Cinq facteurs ont été à l'étude soit la position de l'échantillon dans le réacteur, le temps de réaction, la pression dans le réacteur, le ratio H_2/CO et l'ajout de peroxyde d'hydrogène (un initiateur). Fait important à noter, le HDPE étant fragile à la dégradation par rayonnement UV, les filets fournis par le partenaire Dubois Agrinovation contiennent tous un protecteur UV. Compte tenu du fait que le traitement PICVD repose sur l'utilisation des rayons UV, la méthode de traitement est incompatible avec le HDPE fourni (des résultats probants ont été obtenus pour un HDPE exempt de protecteur UV par contre). Le PET étant moins fragile au rayonnement, et pouvant être mis en forme pour créer des filets, il a été proposé comme matériel alternatif pour l'investigation.

Un plan expérimental détaillé a permis de réduire le nombre d'expériences tout en obtenant un nombre adéquat de combinaisons de facteurs. Au total, 40 expériences d'une durée de 30 minutes à 2 heures ont été faites pour chaque polymère. Par la suite, un modèle mathématique de l'angle de contact en fonction des 5 facteurs énumérés plus haut a pu être développé pour chaque polymère. L'angle contact natif du HDPE est 96°, tandis que celui du PET est 85°.

En plus des mesures d'angle de contact, des images AFM (microscope à force atomique) ont été prises pour caractériser la topographie des polymères avant et après le traitement. De plus, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été employée pour connaître les nouveaux groupements chimiques sur la surface après le traitement dans le réacteur. Les dernières étapes réalisées pour ce volet du projet ont été les essais de vieillissement accéléré sur les deux polymères dans le but de connaître la

résistance du traitement PICVD contre le vent, l'humidité et l'exposition prolongée au soleil. Une estimation théorique sur la mise à l'échelle du procédé de dépôt par traitement chimique initié par la lumière UV a été exécutée.

Résultats

Validation de l'hypothèse de base

La figure 1.1 résume les résultats obtenus avec le simulateur de pluie (figure 1.2). Selon la grosseur des gouttelettes, le débit réel de la pluie varie entre 0,002 ml/min à 3000 ml/min. Les trois débits qui ont été analysés étaient dans l'intervalle près de la réalité. Tel qu'illustré à la la figure 1.1, un débit élevé augmente considérablement la quantité d'eau traversant le filet. Pour les deux types de mailles (Protek Net 70 gr et 80 gr), un ajout d'une couche d'un produit commercial (NeverWet) sur la surface a augmenté significativement l'imperméabilisation des filets. Cette étape permet de valider l'hypothèse qu'une surface superhydrophobe serait efficace pour l'imperméabilisation des filets d'exclusion de polyéthylène. Par contre, un revêtement issu d'une modification par solvant aurait pour désavantage de se détériorer rapidement avec le temps, puisque la surface se dégrade au contact de l'eau. De plus, l'ajout d'un solvant changerait les propriétés physiques du filet en diminuant sa souplesse. Ce critère s'est avéré très important lors de la mise en place des filets d'exclusion au-dessus des pommiers.

La figure 1.3 présente la mesure de l'angle de contact sur un filet de polyéthylène qui a été traité avec le solvant commercial. L'angle de contact était supérieur à 150°, ce qui indique une surface superhydrophobe.

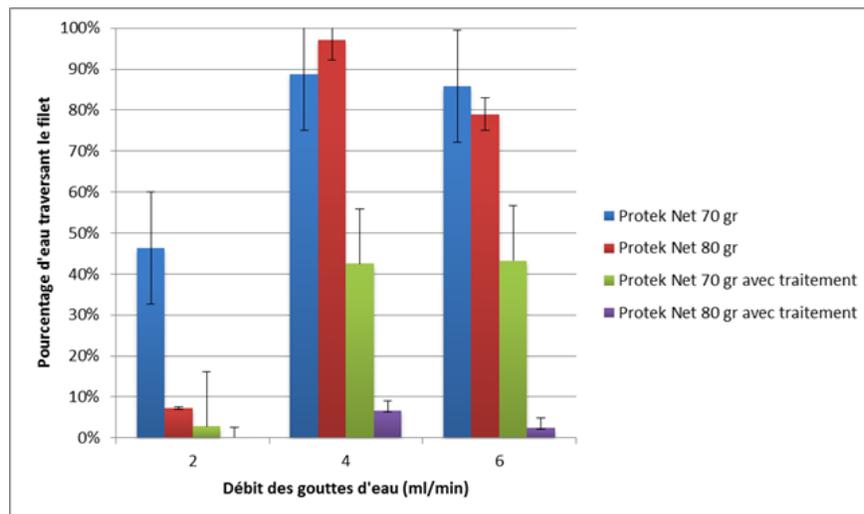


Figure 1.1 Pourcentage d'eau traversant le filet de polyéthylène pour un angle d'inclinaison de 30° avec et sans traitement au Never Wet et ce, pour deux types de mailles (Protek Net 70 gr et 80 gr).



Figure 1.2 Simulateur de pluie



Figure 1.3 Mesure de l'angle de contact sur un filet avec traitement au solvant (NeverWet)

Traitement par dépôt chimique

Pour la seconde partie du volet, le développement d'une technique a permis de modifier en permanence la surface du filet en la rendant superhydrophobe. Les essais présentés ont été effectués sur du polyéthylène à haute densité. Le résultat des expériences qui ont été conduites sur les filets se sont avérés non concluants. Il est à noter que suite à l'incubation d'une heure dans le réacteur, l'apparition d'une couche jaunâtre fut observée.

L'angle de contact du polyéthylène haute densité sans modification était de 98° . La valeur maximale qui a été atteinte était de $124^\circ (+/-3^\circ)$. La position dans le réacteur semble jouer un rôle très important puisque c'est principalement à une position éloignée de l'entrée des gaz qu'une modification hydrophobe a été produite.

Traitement par dépôt chimique

Suite au traitement chimique, les résultats obtenus à l'aide d'un tensiomètre ont permis de discriminer les deux polymères les plus efficaces (Figure 1.4 et 1.5). Pour le HDPE, initialement l'angle de contact était plus élevé, soit de 11° supérieur que pour le PET. Similairement, après traitement l'angle de contact est 10° supérieurs pour le HDPE. L'optimisation grâce au modèle mathématique pourrait permettre d'obtenir des résultats se rapprochant de plus en plus de 150° .

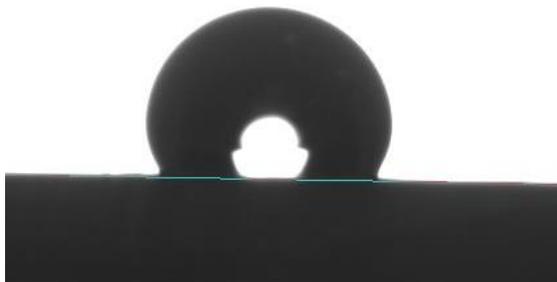


Figure 1.4 Mesure de l'angle de contact sur le HDPE

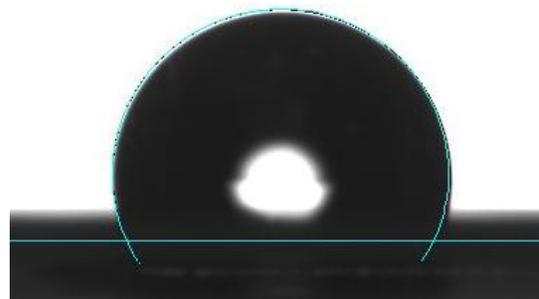


Figure 1.5 Mesure de l'angle de contact sur le PET

Tableau 1.2 Variation de l'angle de contact avant et après le traitement chimique

Type de matériel	Angle de contact avant le traitement (°)	Angle de contact après le traitement (°)
HDPE	96	124
PET	85	114

Caractérisation de la surface

La figure 1.6 présente la topographie microscopique du HDPE avant le traitement. La surface est très plate, sans pic prédominant. Par contre, après le traitement chimique (figure 1.7), une multitude de pics apparaissent. Ceci indique un changement dans la structure chimique, il y a de nouvelles chaînes moléculaires qui ont été formées sur la surface du polymère.

La figure 1.8 confirme ceci en montrant l'apparition de nouveaux groupements C=O et C-O après le traitement chimique. En effet, la courbe rouge (après traitement) montre de nouveaux pics en comparaison à la courbe bleue (avant traitement). Donc, ces deux caractérisations de la surface permettent de démontrer que la surface était modifiée chimiquement. Les essais de vieillissement accéléré ont permis de montrer la résistance de cette modification au vent, à l'humidité et au soleil.

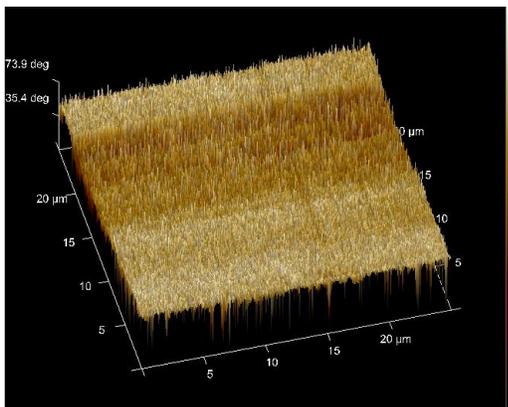


Figure 1.6. AFM pour le HDPE non

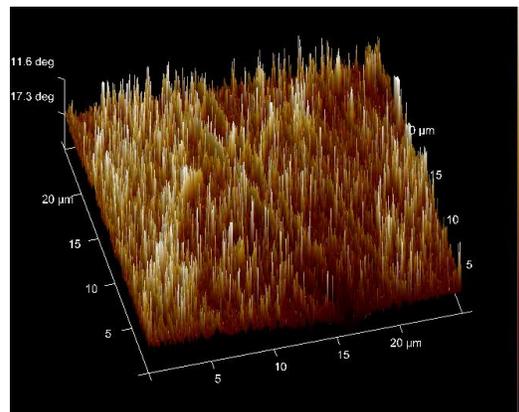


Figure 1.7 AFM pour le HDPE traité

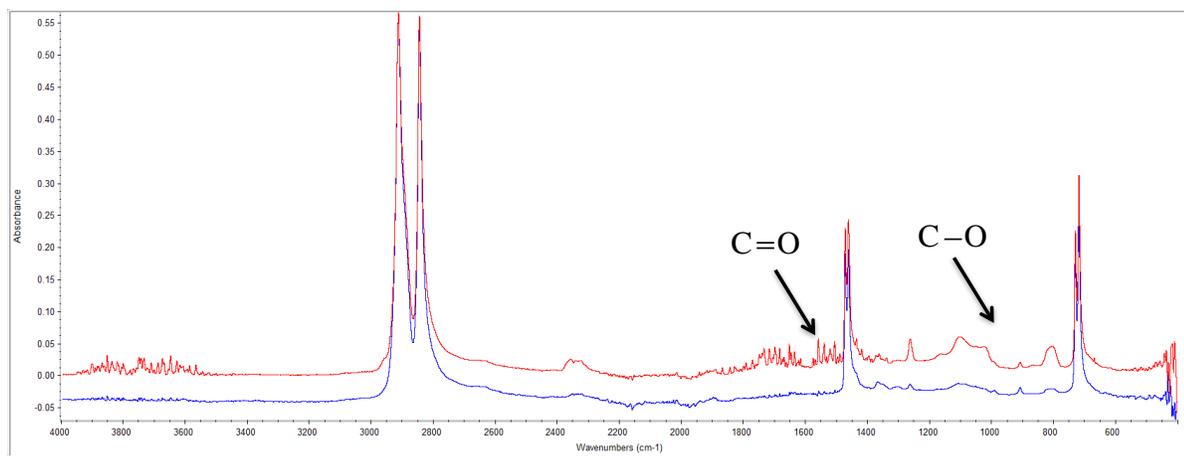


Figure 1.8. Résultat du FTIR montrant les nouveaux groupements chimiques (bleu = non traité et rouge = traité) HDPE

Volet 2B : Impact sur la phytopathologie pour des filets avec et sans protection contre la pluie

Cet essai a eu lieu lors de la saison 2015 mais ce fut la seule année d'expérimentation car les résultats étaient suffisamment éloquentes pour ne pas répéter une deuxième année. Les expériences ont été effectuées dans 16 sections de 5m de rang du verger (unités expérimentales) selon un dispositif en blocs complets aléatoires avec 4 réplicats par traitement : 1) filet sans protection contre la pluie; 2) filet doublé d'une membrane de polyéthylène agronomique; 3) filet enduit d'un revêtement superhydrophobe; 4) témoin sans filet. L'enduit superhydrophobe « NeverWet » a été appliqué selon les recommandations du fabricant pour enduire les filets agronomiques du traitement #3. Une sonde de mouillure reliée à une centrale d'acquisition de données a été installée dans une parcelle de chaque traitement. Dans chaque section, des pommiers McIntosh en pots (4 par unité expérimentale) ont été exposés pendant toute la période des infections primaires (10 juin). L'incidence et la sévérité de la tavelure ont été évaluées sur les pommiers en pots à la fin juin. L'incidence de la tavelure a également été estimée sur les pommiers de la parcelle. De plus, l'activité photosynthétique a été estimée en mesurant 2 paramètres : la concentration en chlorophylle et le rapport Fv/Fm. Ces 2 mesures ont été prises avec les appareils de mesure de la fluorescence décrits au projet.

Résultats

L'incidence et la sévérité de la tavelure étaient assez faibles sur les pommiers McIntosh en pots exposés dans la parcelle. Nous avons observé en moyenne 1,5 feuille tavelée par pousse, en comparaison à 6 feuilles tavelées par pousse dans les essais réalisés dans les parcelles de McIntosh à proximité. Étant donné que l'essai avait lieu au sein d'une parcelle de Honeycrisp et que l'inoculum était probablement moins abondant et possiblement moins adapté à McIntosh, ce résultat était attendu. Toutes les analyses ont été faites avec des modèles mixtes avec les blocs comme effet aléatoire. Un ratio de vraisemblance a été utilisé pour déterminer si les traitements contribuaient significativement aux modèles selon un test de χ^2 . Un test de Tukey a été utilisé pour les comparaisons multiples entre traitements. L'incidence de la tavelure a été modélisée avec une régression de Poisson. Les données ne présentaient pas de surdispersion. Cependant, le nombre de taches par feuille était agrégé et a été modélisé avec une régression binomiale négative. Le nombre de feuilles tavelées par pousse et le nombre de taches par arbre variaient significativement selon le traitement ($p < 0.001$). Les arbres dans les parcelles du témoin, avec filet simple ou avec le filet recouvert de Neverwet étaient plus tavelés que les arbres sous un toit de plastique. Il n'y avait pas de différence d'incidence ou de sévérité entre les traitements plus tavelés.

Tableau 2.1. Sévérité et incidence de la tavelure en fonction des différents traitements

Traitements	Sévérité*	Incidence**
Témoin	1.88b	1.19a
Filet	2.67b	2.07a
Filet + enduit	3.97b	2.62a
Filet + membrane	0.25a	0.25b

* taches par pousse

**feuilles tavelées par pousse

Malheureusement, les données de mouillure n'étaient pas fiables en 2015. Cependant, nous avons observé dès la première pluie que la tentative de rendre les filets hydrophobes avec l'enduit NeverWet n'était pas concluante. Les résultats de tavelure confirment que l'enduit n'était pas efficace. Il est possible qu'un vent latéral ait pu permettre l'entrée de spores lors d'une période d'infection. La plus faible incidence de tavelure sous les filets avec un toit (membranes de polyéthylène) est intéressante et n'a pas pu être expliquée dans un premier temps. Toutefois, un effet des filets sur le nombre de micro-blessures (réduction) à la surface des fruits produits sous filets est une hypothèse supportée par des essais préliminaires. Par ailleurs, nous n'avons pas observé d'effet du traitement superhydrophobe sur la teneur en chlorophylle ou sur l'indice photosynthétique (Fv/Fm).

Volet 3A : Gestion de la pollinisation par ouverture sélective des filets

Les activités reliées au volet 3A ont débuté au printemps 2014 avec l'installation des filets d'exclusion et des manchons permettant de tester les différents régimes d'ouverture (0 h, 3 h, 2 x 3 h, 6 h, 2 x 6 h, 12 h, 12 h + 6 h (18 h), témoin sans filet ni manchon (>100 h). Les activités ont été répétées en 2015. Pour chaque unité expérimentale, quatre arbres ont été sélectionnés. Les filets et manchons ont été ouverts durant la floraison, alors que les conditions météorologiques étaient favorables à l'activité des abeilles domestiques (température : >15 °C, radiation solaire : >300 W/m², vent : <16 km/h). Les filets et manchons ont été ouverts à 08:00, 14:00 et 17:00, selon le traitement. Dans tous les cas, ils ont été fermés à 20:00.

L'activité des pollinisateurs a été mesurée toutes les deux heures durant la période d'ouverture des filets et manchons, chaque observation était d'une durée de 10 minutes et était réalisée sur des arbres des sections témoin et sous filet. Le nombre total de fleurs, jusqu'à une hauteur de 1,5 m, a été compté sur ces mêmes arbres lors des périodes d'ouverture seulement. En plus de l'évaluation de la charge en fruits, le nombre de pommes enlevées lors de l'éclaircissage a été noté. À la récolte, le calibre des fruits cueillis a été mesuré ainsi que leur nombre de pépins. La couleur de ces pommes, leur maturité, leur teneur en sucre et leur fermeté ont aussi été évaluées et comparées pour les différents traitements.

Des données météorologiques (température, radiation solaire et vitesse du vent) ont été recueillies durant la floraison dans le but de développer un modèle prévisionnel de l'activité pollinisatrice des abeilles domestiques pour le pommier Honeycrisp. Ce modèle sera développé en dernière année (2017) après avoir collecté l'ensemble des données requises.

Résultats 2014-2015

Les résultats de la saison 2014 indiquent que l'activité des pollinisateurs n'a pas été affectée significativement par la présence de filets ou de manchons ouverts à 1,6 m, c'est-à-dire relevés à 65 % de leur hauteur (*Apis mellifera* : $F_{2,6} = 2,49$; $p = 0,163$; hyménoptères : $F_{2,6} = 0,26$; $p = 0,780$; et autres : $F_{2,6} = 0,57$; $p = 0,594$) (Figure 3.1). Des trois types de pollinisateurs observés, les abeilles domestiques, *Apis mellifera*, sont celles dont le nombre moyen par 100 fleurs ouvertes était le plus important.

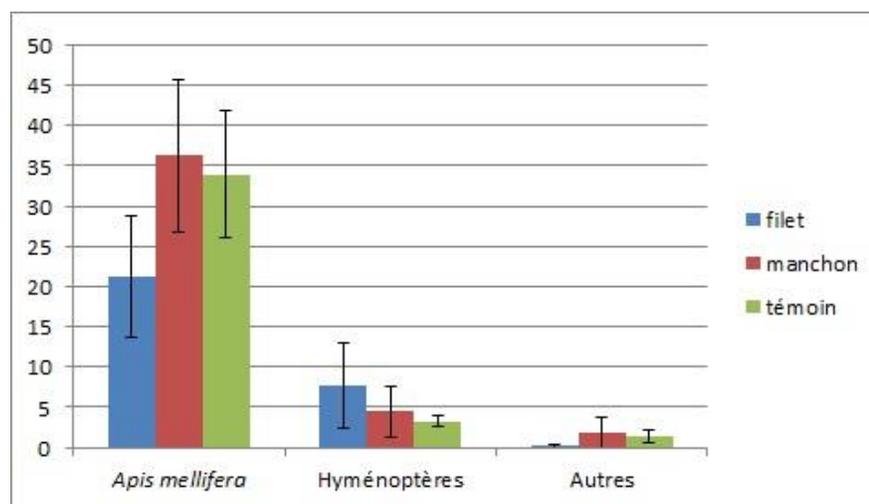


Figure 3.1 Nombre moyen de visites de pollinisateurs par 100 fleurs ouvertes (%). Les traitements 12 h, 18 h et >100 h correspondent aux colonnes manchon, filet et témoin, respectivement.

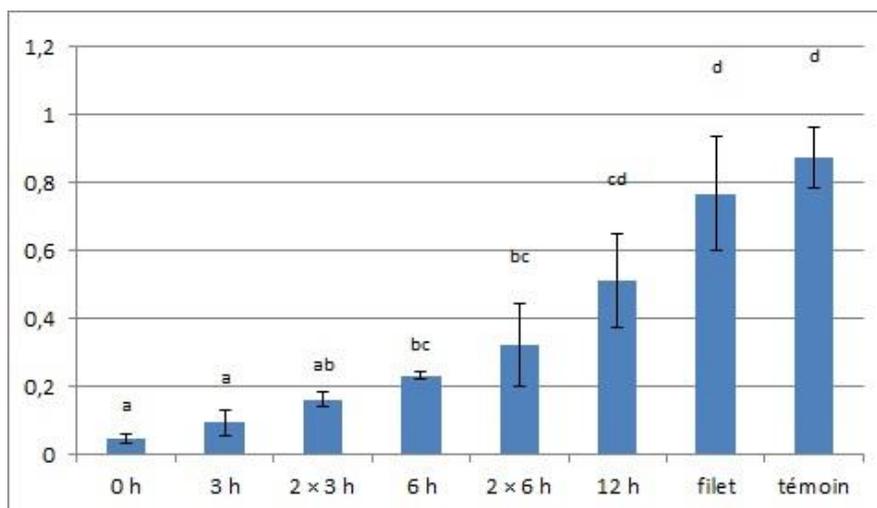


Figure 3.2 Nombre moyen de pommes par bouquet. Les traitements 18 h et >100 h correspondent aux colonnes filet et témoin, respectivement. Les traitements associés aux mêmes lettres ne sont pas significativement différents

Des différences significatives ont été observées au niveau de la charge en fruits selon les traitements ($X^2 = 24,61$; ddl : 7; $p = 0,0009$) (Figure 3.2). Plus les filets/manchons étaient ouverts pour une longue période, plus le nombre moyen de pommes par bouquet s'approchait du nombre étant idéal de 1 par bouquet. Il n'y avait pas de différence significative entre les traitements 12 h, 18 h et >100 h, les arbres de ce dernier traitement étant les seuls à compter plus de 0,8 pomme par bouquet en moyenne.

Le nombre moyen de pommes enlevées par bouquet lors de l'éclaircissage augmentait aussi lorsque la période d'ouverture des filets/manchons augmentait ($X^2 = 22,78$; ddl : 7; $p = 0,0019$) (Figure 3.3). Ce nombre était significativement plus élevé pour les traitements 18 h et >100 h que pour les autres traitements alors que le nombre moyen de pommes enlevées dans les traitements 2 x 3 h, 6 h et 2 x 6 h n'était pas significativement différent de celui des traitements 0 h et 3 h, c'est-à-dire 0.

Aucune différence significative n'a été observée entre les pommes des différents traitements par rapport à leur calibre ($F_{7,14} = 2,64$; $p = 0,058$). Il en a été de même pour leur coloration ($F_{7,14} = 0,28$; $p = 0,95$) et leur teneur en sucre ($F_{7,14} = 1,57$; $p = 0,23$). Il n'y avait aucune différence significative entre la fermeté des pommes cueillies dans les arbres sous filet et dans les arbres témoin (zone verte : $F_{1,14} = 1,46$; $p = 0,29$; et zone colorée : $F_{1,14} = 1,01$; $p = 0,37$). Les pommes cueillies dans les arbres témoins étaient toutefois significativement plus mûres que les pommes cueillies dans les arbres sous filet à la même date ($X^2 = 5,33$; ddl : 1; $p = 0,0209$). Finalement, les arbres du traitement >100 h sont ceux ayant produit les pommes au plus grand nombre de pépins en moyenne : près de 6. Le nombre moyen de pépins des pommes des arbres du traitement 18 h était le seul à ne pas être significativement différent du nombre moyen de pépins des pommes des arbres du traitement >100 h. Le nombre moyen de pépins des pommes des arbres des traitements 12 h et 18 h n'était pas significativement différents et se situait autour de 4.

En 2015, peu de pollinisateurs ont été observés. Leur activité n'a toutefois pas été affectée significativement par la présence de filets ou de manchons ouverts à 1,6 m, c'est-à-dire relevés à 65 % de leur hauteur (*Apis mellifera* : $F_{2,18} = 1,33$; $p = 0,290$; hyménoptères : $F_{2,18} = 2,73$; $p = 0,092$; et autres : $F_{2,18} = 3,42$; $p = 0,055$) (Figure 3.4). Des trois types de pollinisateurs observés, les abeilles domestiques, *Apis mellifera*, sont celles dont le nombre moyen par 100 fleurs ouvertes était le plus important.

Des différences significatives ont été observées au niveau de la charge en fruits selon les traitements ($X^2 = 24,32$; ddl : 7; $p = 0,001$) (Figure 3.5). Plus les filets/manchons étaient ouverts pour une longue période, plus le nombre moyen de pommes par bouquet s'approchait du nombre idéal de 1 par bouquet. Dans le cas du traitement témoin, ce nombre a été dépassé de peu. Il n'y avait pas de différence significative entre les traitements 18 h et >100 h.

Le nombre moyen de pommes enlevées par bouquet lors de l'éclaircissage augmentait aussi lorsque la période d'ouverture des filets/manchons augmentait ($X^2 = 23,64$; ddl : 7; $p = 0,001$) (Figure 3.6). Pour le traitement 0 h, ce nombre se rapprochait de 0. Le nombre de pommes enlevées pour les traitements 3 h, 2 x 3 h, 6 h et 2 x 6 h n'était pas significativement différent du nombre enlevé pour le traitement 0 h.

Aucune différence significative n'a été observée entre les pommes des différents traitements par rapport à leur calibre ($F_{7,21} = 0,82$; $p = 0,579$). Il en a été de même pour leur coloration ($X^2 = 6,88$; ddl : 7; $p = 0,442$) et leur teneur en sucre ($X^2 = 6,14$; ddl : 7; $p = 0,523$). Il n'y avait aucune différence significative entre la fermeté des pommes cueillies dans les arbres sous filet et dans les arbres témoin (zone verte : $F_{1,5} = 0,70$; $p = 0,441$; et zone colorée : $F_{1,5} = 0,06$; $p = 0,824$), même chose pour la maturité de ces fruits ($F_{1,6} = 1,13$; $p = 0,328$). Finalement, les arbres du traitement >100 h sont ceux ayant produit les pommes au plus grand nombre de pépins en moyenne : près de 6. Aucune différence significative n'a été observée entre le nombre moyen de pépins des pommes des arbres des traitements 12 h, 18 h et >100 h.

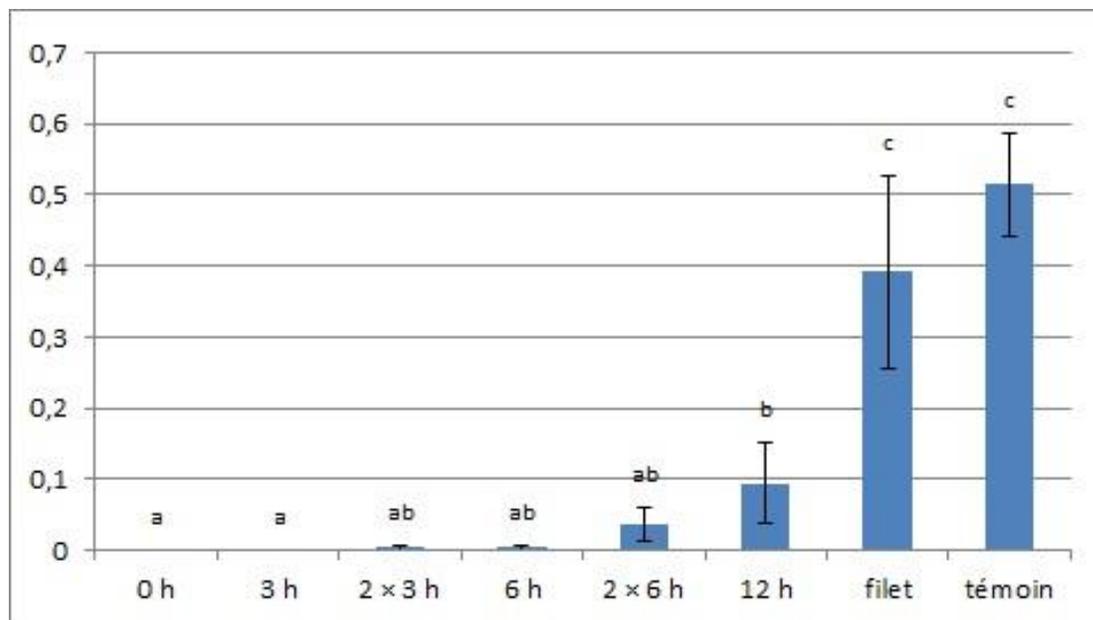


Figure 3.3 Nombre moyen de pommes enlevées par bouquet lors de l'éclaircissage. Les traitements 18 h et >100 h correspondent aux colonnes filet et témoin, respectivement. Les traitements associés aux mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($\alpha = 5\%$)

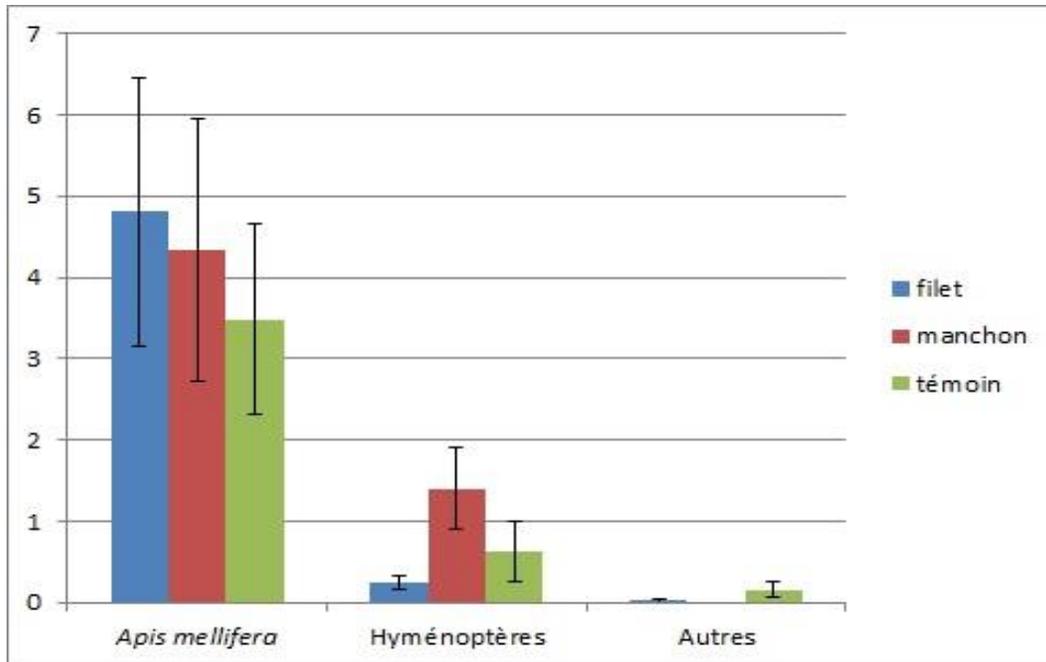


Figure 3.4. Nombre moyen de visites de pollinisateurs par 100 fleurs ouvertes (%). Les traitements 12 h, 18 h et >100 h correspondent aux colonnes filet, manchon et témoin, respectivement.

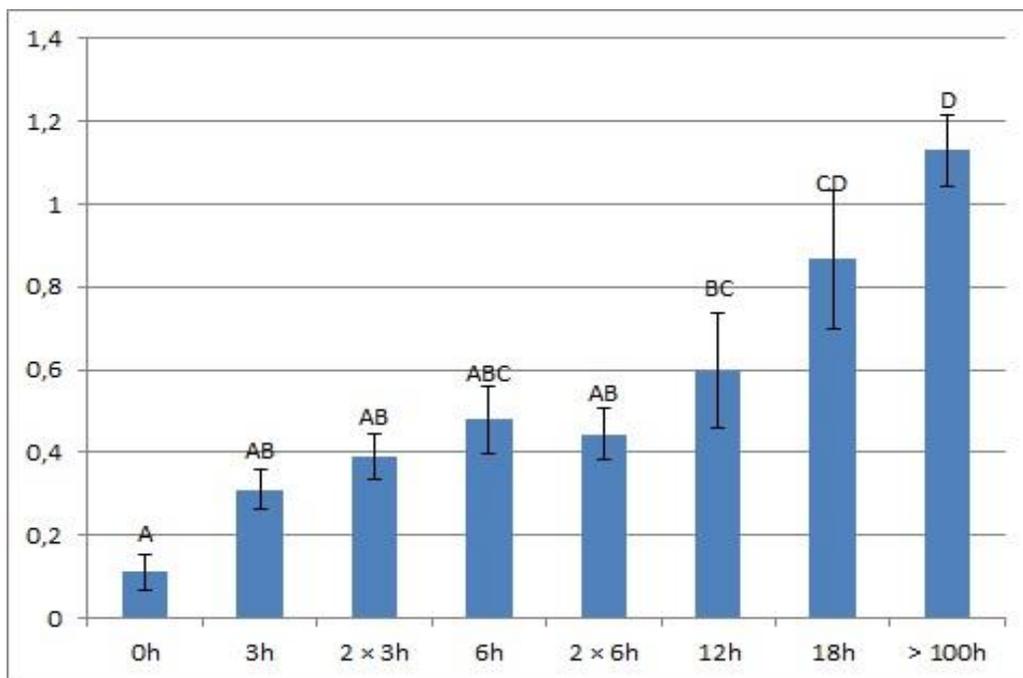


Figure 3.5 Nombre moyen de pommes par bouquet. Les traitements associés aux mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($\alpha = 5\%$).

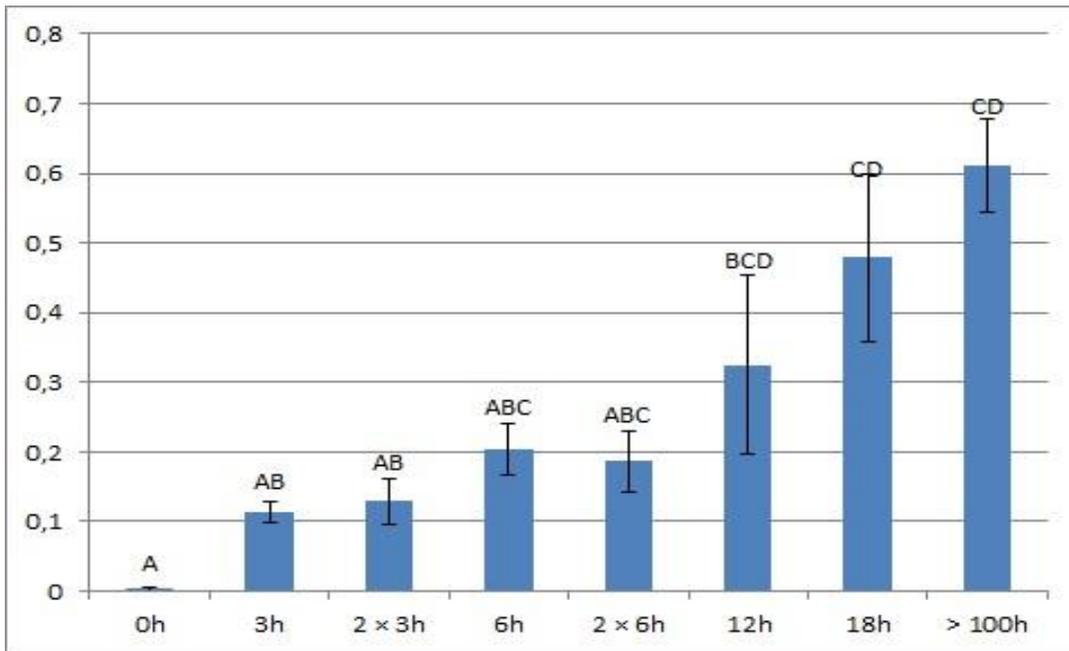
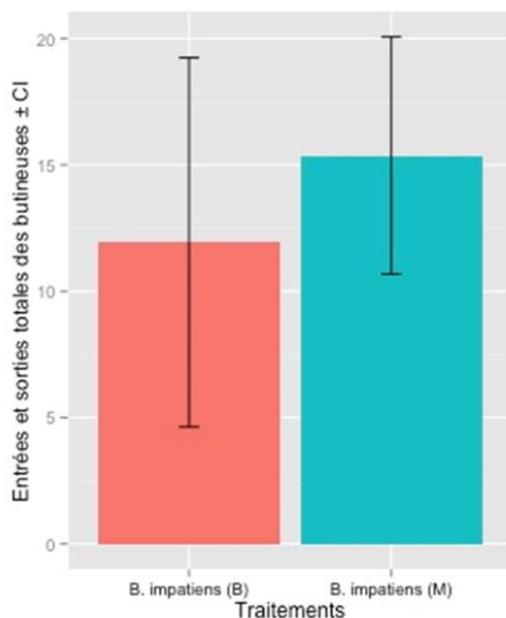


Figure 3.6 Nombre moyen de pommes/bouquet enlevées lors de l'éclaircissage ($\alpha=5\%$). Les traitements associés aux mêmes lettres ne sont pas significativement différents

Volet 3b. Gestion de la pollinisation sans ouverture des filets (avec ruches à bourdons).

Des améliorations ont été apportées à la méthodologie décrite dans la demande. Les activités ont débuté tôt au printemps 2016 avec la construction des structures et l'installation de nouveaux filets d'exclusion dans une parcelle de 8 rangs de Ginger Gold. Quatre traitements ont été sélectionnés; un traitement sans filet d'exclusion avec des ruches d'abeilles domestiques placées à proximité (*A. mellifera*) et trois traitements avec filets d'exclusion comportant soit 1) 1 ruche de bourdons placée en bout de rang (*B. impatiens* (B)), 2) 1 ruche de bourdons placée en milieu de rang (*B. impatiens* (M)) et 3) aucune ruche de bourdons (témoin). Le bon fonctionnement de la pollinisation croisée des pommiers sous filets était assuré par l'ajout de pollen d'une variété pollinisatrice (Rome) dans un plateau à l'entrée des ruchettes de bourdons. Pour chaque unité expérimentale, huit arbres représentatifs ont été sélectionnés pour les observations. C'est durant 3 jours consécutifs (suite à l'installation des bourdons sous les filets) que les observations ont été effectuées (du 20 au 23 mai 2016). Durant ces trois jours, un décompte des entrées et des sorties des ouvrières (bourdons seulement) a été fait vers l'heure du dîner, soit durant la plus grande période d'activité. Des décomptes du nombre de fleurs visités par une ouvrière (bourdon et abeille) ont également été effectués sur les arbres sélectionnés. L'activité des pollinisateurs a été mesurée à des heures différentes. Chaque observation était d'une durée de 10 minutes. Il n'y a pas eu d'observations dans les témoins (filets sans pollinisateurs). Vers la fin juin, lors de l'évaluation de la charge en fruits, le nombre de pommes enlevées lors de l'éclaircissage a été noté. Puis à la récolte, le calibre, le poids, la fermeté, la teneur en sucre, et le nombre de pépins ont été évalués sur des fruits cueillis appartenant aux arbres sélectionnés dans le but de comparer les différents traitements. Des analyses de la variance (ANOVA) ont été utilisées afin de comparer les différents traitements.

Les données sur l'activité de pollinisation des ouvrières en 2016 sont en cours d'analyse.



Les résultats de la première saison indiquent que l'activité des ruchettes était similaire pour les deux traitements sous filet d'exclusion (Figure 1). De plus, il a été observé que l'activité de pollinisation des butineuses ne semblait pas être affectée négativement par la présence de filets d'exclusion.

Figure 1 : Activité des ruchettes de bourdons pour les deux traitements (ruche en bout ou en milieu de rang) sous filets d'exclusion.

Le nombre de pommes par bouquet (charge en fruit) est significativement différent pour le traitement pollinisé par les abeilles domestiques (*A. mellifera*) (Figure 2). L'éclaircissage a d'ailleurs été plus long à effectuer dans ces parcelles. La charge en fruit des pommiers était très variable dans le traitement où les ruchettes de bourdon étaient placées en milieu de rang (*B. impatiens* (M)), les arbres de deux des quatre parcelles avaient beaucoup moins de pommes.

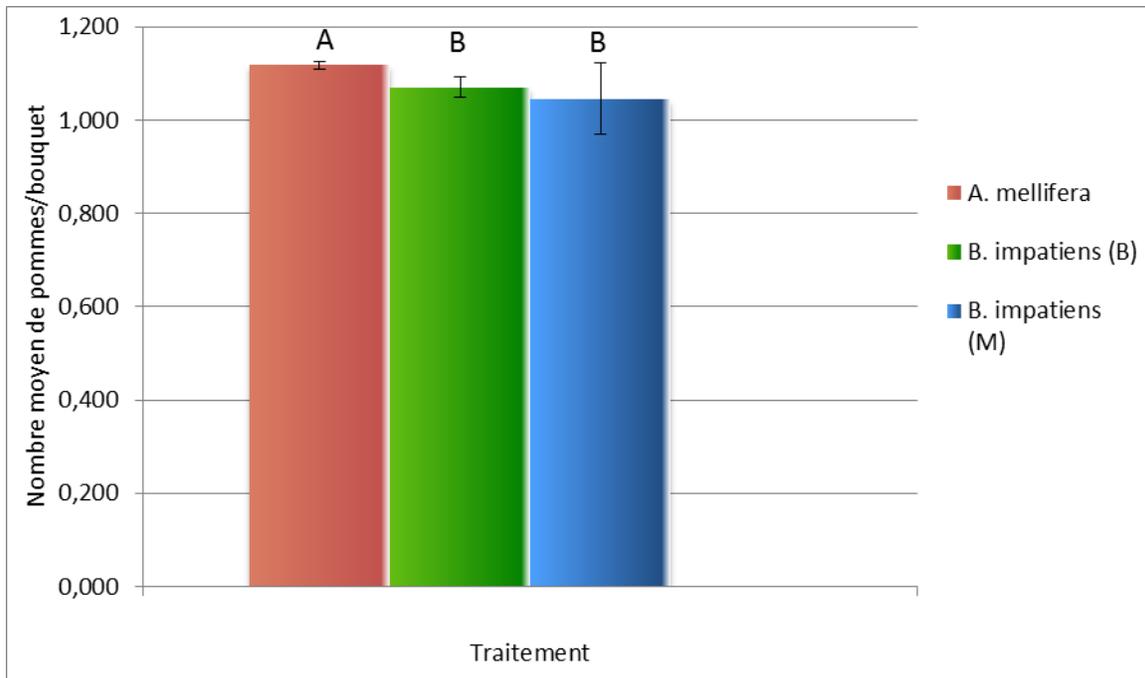


Figure 2 : Nombre moyen de pommes par bouquet pour les différents traitements.

Une différence significative a été observée entre les fruits des différents traitements par rapport à leur poids ($F = 1500,65$; $p = <2e-16$) (Figure 3.1) et leur calibre ($F = 13772,38$; $p = <2e-16$) (Figure 3.2). En effet, les pommes provenant des traitements où les ruchettes étaient placées en milieu (*B. impatiens* (M)) de rang étaient significativement plus grosses et plus lourdes, ce qui est une réponse habituelle pour les arbres fruitiers ayant une charge en fruits moins importante. Les données pour la fermeté et la teneur en sucre sont encore en cours d'analyse.

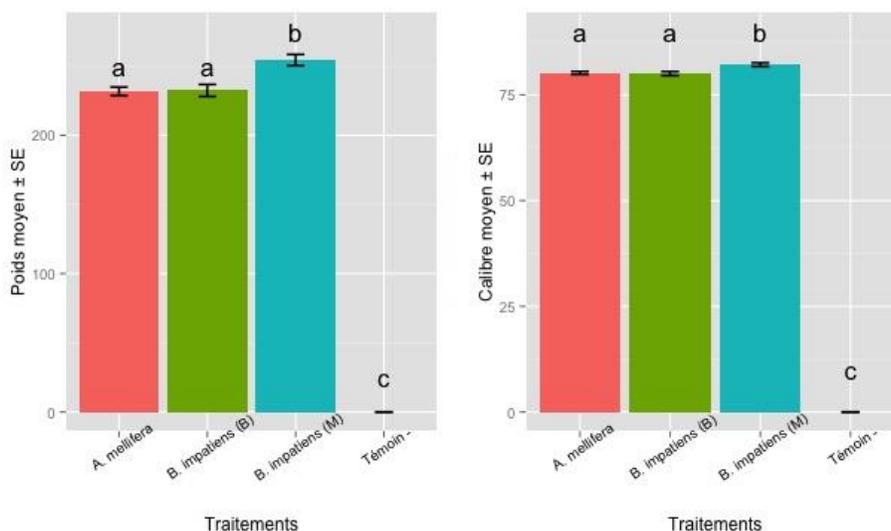
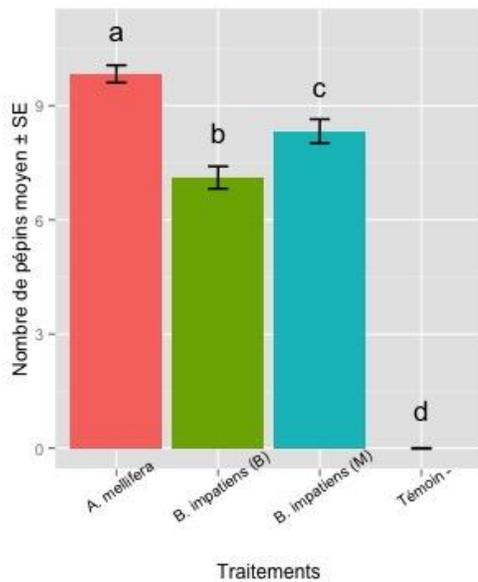


Figure 3.1 et 3.2: Poids et calibre moyens des fruits récoltés pour les différents traitements.

**Les traitements associés aux mêmes lettres ne sont pas significativement différents.



Enfin, les fruits provenant des traitements pollinisés par les abeilles domestiques (*A. mellifera*) sont ceux ayant le plus grand nombre de pépins en moyenne (Figure 3.3). Toutefois, nous avons retrouvé des anomalies au niveau de la formation des carpelles dans tous les traitements. Le nombre de pépins par fruit est très variable entre les traitements et dans un même traitement, ce qui souligne possiblement une différence dans la façon dont les fleurs de chaque fleur est pollinisée.

Figure 3.3: Nombre moyen de pépins dans les fruits récoltés pour les différents traitements.

Volet 4. Analyse de rentabilité des systèmes d'exclusion.

Dès le début du projet (2014) jusqu'à ce jour (2017) nous maintenons un état financier serré sur les dépenses liées aux matériaux de construction pour réaliser un système d'exclusion. De plus, nous avons gardé un registre du temps homme travaillé sur les filets d'exclusion. Nous disposons ainsi des informations nécessaires pour effectuer l'analyse de rentabilité des systèmes d'exclusion. Ces analyses seront effectuées par Luc Belzile de l'IRDA au printemps 2017. La suite de ce projet sera financée par la GRAPPE-BIO (2014-2018).

Annexe I : activités de transfert et de diffusion scientifique

Les filets d'exclusion : avantages et inconvénients pour la pollinisation et la mise à fruit

J. Veilleux, G. Chouinard, D. Cormier et A. Dieni.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement.

Un des défis de la production sous filets consiste à ne pas contraindre la pollinisation et la mise à fruit, étant donné que les filets constituent une barrière impénétrable pour plusieurs pollinisateurs. Ceci est particulièrement vrai pour les abeilles domestiques, qui sont utilisées commercialement pour assurer une bonne récolte en pomiculture. Dans le système d'exclusion complète sous étude (présenté par Chouinard et al.), un régime spécifique d'ouverture et de fermeture des filets pendant la floraison peut par contre être utilisé pour contrôler la pollinisation et s'assurer d'une mise à fruit optimale. Cette hypothèse a été vérifiée en 2014 lors de la première année d'une étude en ce sens dans un verger à haute densité (cv. Honeycrisp) du mont Saint-Bruno. Les résultats obtenus suggèrent qu'un nombre relativement réduit d'heures de pollinisation est suffisant pour produire la charge en fruit recommandée pour ce cultivar.

Producing high-quality Honeycrisp apples under exclusion nets : how to allow pollination while excluding pests?

G. Chouinard*, J. Veilleux, F. Pelletier, D. Cormier

Research and Development Institute for the Agri-environment, 335 Vingt-Cinq Rd, Saint-Bruno-de-Montarville (QC) Canada J3V 0G7

gerald.chouinard@irda.qc.ca

While organic apple production can be difficult in the northeast because of the numerous pests affecting the crop, a row-by-row exclusion system currently under study by our team has proven its effectiveness for many key pests while not demonstrating adverse effects on Honeycrisp fruit load and quality. A major concern with row-by-row exclusion – the necessity of opening the nets to allow access to pollinators – has been studied for two years in our experimental orchard to evaluate the minimal period required for effective pollination with this production system. Results with this cultivar have shown that opening the nets on two occasions (full or half-days) was enough to provide a yield that did not differ from that in un-netted plots, provided that meteorological conditions for effective pollination were encountered on those selected days. Further reducing the pollination time reduced crop load but also reduced the time needed for manual fruit thinning, which could compensate – at least partially - for the time involved in opening and closing the nets during bloom.

Using exclusion nets to grow high value, pesticide-free Honeycrisp apples: five years of data under North American conditions

Gérald Chouinard, Jonathan Veilleux, Vincent Phillion et Daniel Cormier

Research and Development Institute for the Agri-Environment (IRDA), 335 rang des Vingt-Cinq Est, Saint-Bruno-de-Montarville, J3V 0G7 (Quebec) Canada;

Abstract: Organic apple production in most parts of Canada and the United States is difficult because of the important number of insect and disease pests affecting the production and quality of fruit. A modified version of a row-by-row exclusion system developed in Europe has been tested for 4 years (a fifth year is currently under way) in Quebec, Canada to measure its effectiveness as a pest control tool and its possible adverse effects on fruit load and quality. Our findings show that most direct fruit pests were efficiently controlled by the system and that it did not have a negative impact on fruit load, size, color, firmness, sugar content and pollination. Leafrollers were however still able to reproduce and damage fruit despite exclusion, and fruit maturity was delayed by ca. 1 week. Other studies are still being conducted or analysed and will be presented.

Lutte aux ravageurs du pommier par exclusion complète: 3 ans d'essais en régie intensive

G. Chouinard, J. Veilleux et V. Phillon.

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Saint-Bruno-de-Montarville.

Au Québec, le charançon de la prune, la mouche de la pomme, le carpocapse et la tavelure peuvent chacun endommager plus de 50% des fruits s'ils ne sont pas contrôlés d'une façon ou l'autre, et pris conjointement, plus de 95% de la récolte. Cette pression rend nécessaire l'utilisation de plusieurs insecticides afin de conserver la qualité du fruit et la rentabilité de l'industrie pomicole québécoise. Comme solution de rechange aux pesticides, l'exclusion par rang a été pratiquée de 2012 à 2014 dans un verger à haute densité (cv. Honeycrisp) du mont Saint-Bruno. Des évaluations annuelles ont été effectuées au niveau de la protection phytosanitaire, mais aussi de la qualité du fruit, de la santé de l'arbre, et des coûts associés. Pour les deux premiers aspects (présentés dans cette communication), les résultats démontrent une protection significative contre les quatre ravageurs mentionnés ci-haut, de même que pour la punaise terne. Aucun effet significatif sur la qualité du fruit n'a été noté pour les autres paramètres mesurés, sauf le gel floral, qui a été significativement réduit lors du gel printanier de 2013.

Les filets d'exclusion: avantages et inconvénients pour la pollinisation et la mise à fruit

Jonathan Veilleux et G. Chouinard

JARIT 2016

Afin de réduire les dégâts causés par les insectes sans avoir recours aux pesticides, l'utilisation de filets d'exclusion est testée dans le verger expérimental du mont Saint-Bruno depuis 2012. Puisque ces filets sont posés au débourrement des pommiers, ils doivent être ouverts lors de la floraison pour que les pollinisateurs puissent accéder aux fleurs. Dans le cadre de ce projet ayant débuté en 2014 et s'étant terminé en 2015, des manchons, installés sur des pommiers, ont servi à évaluer diverses périodes de pollinisation dans le but de trouver celles qui permettraient une récolte optimale d'une pomme par bouquet.

Utilisation du bourdon *Bombus impatiens* pour la gestion de la pollinisation de pommiers sous filets d'exclusion en vergers commerciaux

Normandeau Bonneau, M.¹, V. Fournier¹ & G. Chouinard². ¹Centre de recherche en innovation sur les végétaux, Pavillon de l'Environnement, Université Laval, Québec (Québec) Canada G1V 0A6 ; ²Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Saint-Bruno-de-Montarville (Québec) Canada G1P 3W8.

Au Québec, la production de pommes sans pesticides est difficile en raison du climat humide et des ravageurs. La pression causée par ceux-ci peut être réduite à un niveau acceptable par l'élaboration de filets d'exclusion. Toutefois, ces derniers empêchent également les pollinisateurs d'effectuer la pollinisation croisée, essentielle pour assurer la mise à fruit. L'objectif principal de cette étude est de tester l'efficacité du bourdon *Bombus impatiens* pour la pollinisation des pommiers sous filet d'exclusion sans nécessiter leur ouverture. Seize parcelles de pommiers (Gingergold) ont été installées dans le verger expérimental de l'IRDA à Saint-Bruno-de-Montarville et soumises à un des 4 traitements suivants : trois avec filets contenant soit 1) une ruche de bourdons placée en bout de rang, 2) une ruche placée en milieu de rang, 3) aucune ruche et un sans filet avec 4) des ruches d'abeilles domestiques à proximité. Pendant la floraison, l'activité de pollinisation des bourdons a été évaluée via le nombre, la durée et le comportement des visites. À l'automne, des mesures de qualité des fruits, telles le calibre, le nombre de pépins, la teneur en sucre et la fermeté ont aussi été prises. Les résultats indiquent que les bourdons pollinisent efficacement les pommiers en espaces clos.

Using exclusion nets to grow high value, pesticide-free honeycrisp apples: five years of data under north american conditions

G. Chouinard, J. Veilleux, V. Phillon, D. Cormier

Research and Development Institute for the Agri-Environment (IRDA), 335 rang des Vingt-Cinq Est, Saint-Bruno-de-Montarville, J3V 0G7 (Quebec) Canada

Organic apple production in most parts of Canada and the United States is difficult because of the important number of insect and disease pests affecting the production and quality of fruit. A modified version of a row-by-row exclusion system developed in Europe has been tested for 4 years (a fifth year is currently under way) in Quebec, Canada to measure its effectiveness as a pest control tool and its possible adverse effects on fruit load and quality. Our findings show that most direct fruit pests were efficiently controlled by the system and that it did not have a negative impact on fruit load, size, color, firmness, sugar content and pollination. Leafrollers were however still able to reproduce and damage fruit despite exclusion, and fruit maturity was delayed by ca. 1 week. Other studies are still being conducted or analysed and will be presented.

Exclusion nets for pest management in northeastern apple orchards: An entomological perspective

Gerald Chouinard, Jonathan Veilleux, Francine Pelletier, Daniel Cormier & Alessandro Dieni.

XXV International Congress of Entomology, Orlando, FL, 28 septembre 2016.

The objective of this talk is to report on the validity of the first hypothesis of our project, i.e. that exclusion nets deployed over entire rows of apple trees between bud break and harvest can protect the fruit from key pests of this crop in northeastern North America. Other aspects (fruit quality, yield, diseases) will be covered in future presentations. Six replicated plots (10m long) of 'Honeycrisp' trees were covered with polyethylene netting (60g/m², mesh size:0.95 X 1.9 mm) for 4 consecutive growing seasons, and no pesticides, growth regulators or nutrients were applied while netting was in place. The nets had to be opened for a few days during bloom to allow bee pollination. Exclusion nets successfully prevented attacks by all key fruit pests (plum curculio, apple maggot, codling moth and tarnished plant bug). Presence of secondary (apple and foliage) pests was either reduced, unaffected or increased under netting, depending on the species, when compared to the untreated and uncovered plots.