

Rapport final réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert,
sous-volet 11.1 – Appui à la Stratégie phytosanitaire
québécoise en agriculture

TITRE DU PROJET :

**Optimisation d'un système de gicleurs permanents en
arboriculture fruitière comme méthode d'application des
pesticides en verger.**

NUMÉRO DU PROJET : 23-POM-04-1517

Réalisé par :

Vincent Phillion, Valentin Joubert, Sylvie Bellerose, Gérald
Chouinard, Bernard Panneton, Marlène Piché, Peter van
Emmerik, Karl Schloffer, Marc Trapman

DATE : 19 mars 2013

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

Optimisation d'un système de gicleurs permanents en arboriculture fruitière comme méthode d'application des pesticides en verger.

Vincent Phillion¹, Valentin Joubert¹, Sylvie Bellerose¹, Gérald Chouinard¹, Bernard Panneton², Marlène Piché², Peter van Emmerik, Karl Schloffer, Marc Trapman³

Durée : 04/2010 – 04/2012

FAITS SAILLANTS (résumé du projet)

L'application des pesticides en pomiculture commerciale est réalisée avec des pulvérisateurs à jet porté générateur de fines gouttelettes dont la technologie est l'origine des problèmes de dérive et donc d'une pollution environnementale hors cible. Dans le cadre de ce projet, nous avons évalué le potentiel d'un système de gicleurs permanents installés au-dessus des arbres pour les traitements phytosanitaires en verger. Ce système éprouvé dans plusieurs vergers européens génère de grosses gouttelettes non sujettes à la dérive. De plus, comme cette approche permet de ne pas circuler dans les rangées, elle évite la compaction des sols et ouvre la porte à l'automatisation des traitements. Le système d'application par gicleurs a été comparé à des traitements conventionnels en 2010 et 2011 au verger de l'IRDA à Saint-Bruno-de-Montarville et a été utilisé pour tous les traitements en verger. Pour les 2 années, la pression et les dommages liés aux principaux insectes ravageurs étaient légèrement supérieurs dans les parcelles traitées avec les gicleurs, mais l'incidence de la tavelure était similaire pour les deux systèmes de traitement. La couverture foliaire était également similaire, à l'exception de la face inférieure des feuilles qui ne pouvait pas être atteinte par les gicleurs. Nos données semblent indiquer que les prédateurs d'acariens ont pu trouver refuge à cet endroit. Malgré les coûts d'installation et les difficultés logistiques liées à la gestion de la bouillie dans la tubulure, les systèmes de gicleurs pourraient devenir une alternative intéressante aux traitements conventionnels avec un pulvérisateur.

OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE OU DÉMARCHE

L'idée d'utiliser des gicleurs au lieu d'un pulvérisateur pour les traitements phytosanitaires en verger existe depuis 60 ans. À l'origine, les systèmes de protection contre le gel avec des gicleurs rotatifs étaient remplis de bouillie soufrée pour lutter contre la tavelure. Malgré une couverture foliaire et un dosage approximatifs, ces systèmes sont encore utilisés avec succès à grande échelle en Europe, notamment en production biologique. L'approche comporte quelques avantages, notamment en évitant la dérive puisque les gicleurs aspergent en grosses gouttes. De plus, comme l'application est centralisée, leur emploi diminue la circulation et donc la compaction des rangées et laisse présager une automatisation pour réduire les coûts d'application. Par contre, le transport de la bouillie par un réseau de tuyaux implique de gérer un volume de bouillie supérieur au volume normalement nécessaire pour le traitement. Avec les premiers systèmes, la bouillie résiduelle dans les boyaux était purgée et rejetée dans l'environnement après l'application, et la dose appliquée variait d'un endroit à l'autre dans la parcelle. La venue des micros gicleurs a permis des systèmes plus performants qui assurent une dose constante et une couverture plus uniforme, mais la bouillie résiduelle reste problématique à gérer. Les contraintes sont donc liées à la gestion du volume de bouillie requise pour remplir le réseau de tuyaux,

¹ IRDA, 335, Rang des vingt-cinq Est, Saint-Bruno-de-Montarville, Québec J3V 0G7

² CRDH (AAC), 430, Boul. Gouin, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec

³ Biofruitadvies, Dorpsstraat 32 4111 KT, Zoelmond, Netherlands

à la qualité de la couverture par rapport à celle obtenue avec un pulvérisateur à jet porté conventionnel et au coût d'installation et d'opération. L'objectif de ce projet était de tester le système le plus prometteur en usage en Europe et d'évaluer son potentiel dans notre contexte de production, notamment pour les parcelles visées par l'article 52 du code de gestion des pesticides où l'utilisation des pulvérisateurs à jet porté est limitée ou interdite en raison des distances minimales d'éloignement des « immeubles protégés » (zones sensibles à la dérive).

En 2010 et 2011, nous avons comparé l'efficacité phytosanitaire des gicleurs à celle d'un pulvérisateur conventionnel opéré avec des buses conventionnelles ou anti dérive. L'essai a été réalisé sur un site avec 4 parcelles (réplications) par traitement. Pour ces trois méthodes d'application, tous les traitements phytosanitaires, engrais foliaires, hormones de croissance, etc., qui constituent le calendrier normal de pulvérisation d'un producteur ont été réalisés, de sorte que les produits, leur concentration, le volume de bouillie à l'hectare et les moments d'application soient identiques. En cours de saison, les populations et les dommages des ravageurs usuels (insectes, acariens phytophages, tavelure sur feuillage) et les populations de prédateurs d'acariens ont été évalués avec les protocoles usuels de dépistage. Les dommages sur fruits ont été évalués à la récolte. De plus, la qualité de la couverture obtenue avec les trois systèmes de traitement à différents endroits dans la canopée a été évaluée en début et en fin de saison en quantifiant la déposition d'un traceur colorimétrique sur des cibles circulaires collées sur le feuillage.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE OU POUR LA DISCIPLINE

Construction du système

Le système construit au verger de l'IRDA à Saint-Bruno est presque identique à celui en opération commerciale dans un verger de poiriers aux Pays-Bas. Succinctement, une conduite de $\varnothing 40$ mm encercle le verger et relie la station de pompage aux 2 extrémités de chaque ligne latérale de $\varnothing 16$ mm pour chacune des 24 rangées de 37,5 m du verger. La distance de plantation est de 3,65 m x 1,25 m. À tous les 2,5m sur le rang, un capillaire de $\varnothing 5$ mm installé verticalement allait rejoindre les gicleurs installés à 30cm au-dessus de la cime des arbres (Figure 1). Les gicleurs étaient des « Eliminator Brown » de la compagnie Naandanjain (<http://www.naandanjain.com>) avec un débit de 35 l/h et un diamètre de couverture de 5,5 m installés en quinconce dans la parcelle. Pour minimiser d'éventuelles absences de couverture à cause d'obstructions, interférence des branches ou autre, la densité des gicleurs a été établie pour assurer un chevauchement des surfaces couvertes par les gicleurs individuels qui atteignait 2 à 3 fois le recouvrement au sol.

Ce modèle de gicleur est conçu pour fournir un débit constant au-dessus d'une pression seuil de 1,5 bar et a aussi l'avantage d'être fermé pour minimiser l'invasion par les insectes. Chaque gicleur avec le capillaire de branchement coûte environ 5 \$. Les éléments clés du système étaient donc un réseau de tuyaux en boucle pour permettre le recyclage de la bouillie, et des micros gicleurs qui fournissent un débit constant au-dessus d'une pression seuil. À l'exception des gicleurs et de certains éléments de la station de pompage, le design et les coûts de base de l'installation sont similaires à ceux d'un système d'irrigation goutte à goutte standard qui utilise les mêmes boyaux de polyéthylène à basse pression et ne seront donc pas décrits ici.



Figure 1. Gicleurs « Eliminator Brown » de la compagnie Naandanjain fixés avec des bambous environ 30 cm au-dessus de la cime des arbres et répartis en quinconce dans le verger. La bouillie appliquée par les gicleurs retombait passivement sur les feuilles comme une pluie fine.

Opération du système

La bouillie prête à l'emploi était pompée à basse pression (1 bar) par une extrémité de la boucle, jusqu'à ce que la bouillie revienne dans la cuve par l'autre extrémité (Figure 2a). À ce moment, les deux extrémités de la boucle étaient utilisées pour pousser la bouillie à haute pression (2 bars) et les gicleurs s'ouvraient sous l'effet de la pression pour le traitement (Figure 2b). À la fin du traitement, une cuve d'eau était utilisée pour pousser à basse pression la bouillie résiduelle par une extrémité, et la bouillie était récoltée dans la cuve de traitement. Le système était arrêté au moment où l'eau avait entièrement chassé la bouillie du système. Avec une densité de 1100 gicleurs/ha, l'application de 350L/ha prenait 31s. Par contre, les opérations de remplissage et de purge prenaient plus de 5mn chacune, de sorte que la vitesse de traitement était équivalente à 5km de rangée par heure.

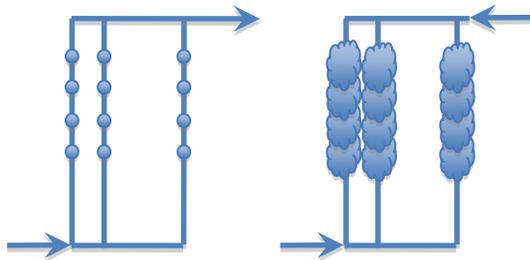


Figure 2a et 2b. Schéma d'opération du système de gicleurs. À gauche; remplissage à 1 bar par une extrémité. Les gicleurs restent fermés. À droite, traitement par les 2 extrémités à plus haute pression (2 bars) qui force l'ouverture des gicleurs. La purge avec de l'eau est faite comme pour le remplissage.

Comparaison avec les traitements conventionnels

Les résultats sur la comparaison de l'efficacité des gicleurs et d'un pulvérisateur avec buses conventionnelles ou antidérive ont été décrits en détail dans le rapport final du projet PSIH10-2-356 et ne seront pas reproduits ici. Voir en annexe l'analyse détaillée globale. Brièvement, les dégâts de tavelure étaient similaires pour les 3 méthodes de traitement pour les deux années de l'étude, malgré une forte pression en 2011. Par contre, on a pu observer significativement moins de tétranyques rouges, de tétranyques à deux points et d'ériophyides selon l'année dans les parcelles traitées avec les gicleurs que dans les parcelles avec buses anti dérive ou conventionnelles. De même, nous avons observé généralement une population supérieure des prédateurs d'acariens dans les parcelles traitées avec gicleurs qu'avec un pulvérisateur. La présence accrue des prédateurs dans les parcelles traitées avec gicleurs pourrait expliquer la réduction de population des acariens ravageurs dans ce traitement. À l'inverse, les fruits des parcelles traitées avec les buses conventionnelles présentaient moins de dommages d'insectes que ceux des parcelles avec buses anti dérive ou des parcelles avec gicleurs. Finalement, la méthode de pulvérisation n'a pas eu d'effet mesurable sur la nouaison et le poids des fruits à la récolte.

L'annexe 1 présente les principaux résultats obtenus pour la charge des arbres, les populations de ravageurs, de prédateurs, les dommages en cours de saison et à la récolte.

Couverture foliaire

Les analyses de quantification de la déposition d'un colorant alimentaire¹ n'ont pas révélé de différence majeure entre les trois systèmes de traitement, et ce, à toutes les positions dans l'arbre (haut, bas, centre). La seule différence notable entre les systèmes a été observée pour la face inférieure des feuilles qui ne pouvait pas être atteinte, puisque les gicleurs aspergeaient les arbres passivement à partir d'en haut (Figure 1).

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

Ce projet a confirmé pour nos conditions de production ce que les producteurs européens ont déjà rapporté: un système de traitement avec gicleurs est généralement aussi efficace qu'un pulvérisateur pour réprimer la tavelure et les ravageurs usuels rencontrés en pomiculture. Il est possible que cette approche permette une gestion plus facile des acariens phytophages puisque l'absence de résidu pesticide sur la face inférieure des feuilles traitées avec les gicleurs a semblé favoriser les prédateurs d'acariens qui ont pu trouver refuge à cet endroit. Par contre, nous avons observé une efficacité moindre pour réprimer certains insectes, mais les différences avec un pulvérisateur conventionnel restent assez faibles.

Néanmoins, les freins à l'adoption d'un système de gicleurs à grande échelle pour les traitements phytosanitaires demeurent réels. Même si le design adopté permettait d'appliquer une dose précise avec une couverture foliaire adéquate sans rejet dans l'environnement, le système n'est pas plus rapide qu'un pulvérisateur classique et le recyclage de la bouillie reste contraignant. Le volume total des conduites principales, des lignes latérales, des capillaires, etc. peut osciller entre 1300 et 1800L/ha, soit environ 4 fois le volume requis pour un traitement. Il est possible de pousser avec de l'eau le volume résiduel successivement vers des parcelles de plus en plus petites pour minimiser le volume résiduel final, mais cette approche n'est pas pratique. Des traitements avec la même dose à l'hectare, mais plus dilués permettraient de réduire le ratio entre le volume de la plomberie et le volume appliqué. Cependant, même en appliquant 1300L/ha, le problème de gestion du volume résiduel demeure. Par ailleurs, si le système est utilisé avec des bouillies chimiquement stables (ex : soufre), le volume résiduel pourrait être recyclé d'un traitement à l'autre. Il est aussi possible de pomper la bouillie résiduelle dans un pulvérisateur conventionnel pour les sections de verger sans gicleurs. C'est ce qui était fait dans le verger de l'IRDA. Sans régler entièrement le problème, une combinaison de

ces approches pourrait être envisagée pour faire les traitements phytosanitaires dans les secteurs où les pulvérisateurs à jet porté sont interdits.

Finalement, le coût des gicleurs (5500\$/ha), leurs supports, différents éléments de la station de pompage et les conduites de retour portent le coût total des matériaux à près de 10,000 \$/ha. À l'échelle d'un verger moyen de 10ha, c'est beaucoup plus que le coût d'achat d'un pulvérisateur, mais il est possible que l'automatisation éventuelle des traitements puisse réduire les coûts d'utilisation, même si un investissement additionnel substantiel était requis pour les systèmes de contrôle de valves. Avec un pulvérisateur conventionnel, les seuls coûts d'application saisonniers (produits non compris) pour un verger moyen de 10 ha étaient évalués à environ 6000 \$ par année en 2001². Les frais de fonctionnement et d'entretien annuels d'un système de gicleurs n'ont pas été évalués dans le cadre de ce projet, mais il est possible que les coûts de la main-d'œuvre puissent éventuellement amortir le capital investi. Comme le système est conçu pour délivrer suffisamment d'eau pour la protection contre le gel printanier (4mm/h) et qu'il pourrait aussi être utilisé pour du refroidissement en été (evaporative cooling), ces autres usages pourraient aussi aider à amortir les coûts.

À notre connaissance, il n'existe actuellement pas de solution élégante au problème de la gestion de la bouillie résiduelle, et c'est un frein majeur pour l'adoption des gicleurs comme méthode d'application. Les Autrichiens ont préféré un autre système de plomberie qui permet une application précise de pesticide, mais qui requière une purge à l'eau qui dilue le pesticide une fois appliqué. Un projet américain de 4,5 millions de dollars est en cours pour tenter de résoudre ce problème³.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Nom du responsable du projet : Vincent Philion

Téléphone : 450- 653-7368 poste 224

Courriel :vincent.philion@irda.qc.ca

AUTRES TRAVAUX OU RÉFÉRENCES SUR LE MÊME SUJET

1.

1. Panneton B, Piché M, Philion V, Chouinard G. Leaf deposition with fixed sprinklers, low drift and conventional nozzles in apple orchards. ASABE Annual International Meeting. Louisville, KY: 2011

2. Koehler G. Apple spray materials cost per Dose. 2001. <http://pmo.umext.maine.edu/Apple/AppleSprayDoseCost.pdf>

3. Lehnert R, Warner G. No more airblast spraying? Good Fruit Grower 2012. <http://www.goodfruit.com/Good-Fruit-Grower/November-2012/No-more-airblast-spraying/>

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert, sous-volet 11.1 - Appui à la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture.

Annexe 1

Analyse des données pour le projet des buses anti dérive et gicleurs

L'expérience a été réalisée dans un verger planté en 2004 et 2005. Toutes les parcelles du verger ont été plantées avec la même densité de pommiers (3,65m x 1,25m), soit 2192 arbres/ha. Le verger expérimental a été séparé en secteurs principaux (R6,R7,R8). À l'intérieur des secteurs, les traitements ont été regroupés dans 5 zones de rangées (a,b,c,d,e) perpendiculaires aux secteurs pour R6 et 4 pour R7 et R8. L'intersection des secteurs et des zones constituait 13 blocs dans lesquels les traitements étaient attribués à des parcelles. Au sein des zones dans R6 et R7, les buses anti dérive ou conventionnelles étaient utilisées dans des parcelles de 15 arbres consécutifs dans la rangée. Dans R8, les buses anti dérive, conventionnelles ou des gicleurs permanents étaient utilisés dans des parcelles de 10 arbres consécutifs par zones de rangées. Les zones ont été conçues pour chevaucher chacun des 4 cultivars du verger, de sorte que chaque combinaison de cultivar et de système de pulvérisation était répliquée au minimum 4 fois et 6 fois pour McIntosh pour les traitements conventionnels et buses anti dérive. Un tampon minimal de 3 rangs séparait les zones pour minimiser la dérive où les observations ont été réalisées.

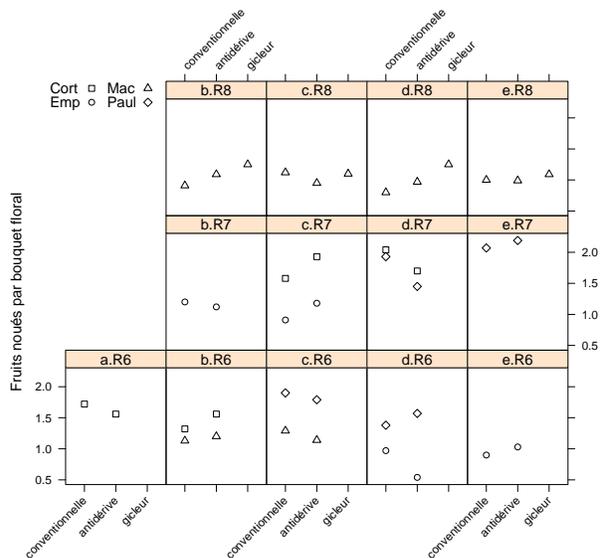
Comme tous les traitements incluant les engrais, les hormones de croissance et les pesticides ont été appliqués par l'une ou l'autre des techniques de pulvérisation. Les observations agronomiques ont porté sur la charge des arbres, les populations de ravageurs, de prédateurs, les dommages en cours de saison et à la récolte.

Charge des arbres

L'effet des traitements sur le nombre de fruits par inflorescence (nouaison), le diamètre des fruits et le poids par pomme ont été évalués pour chaque parcelle.

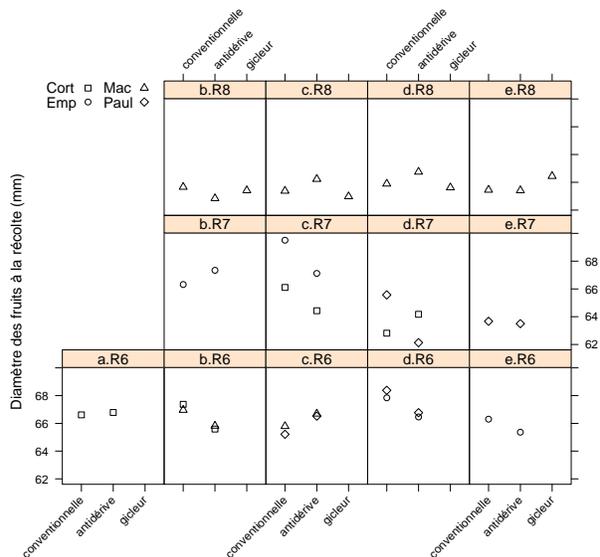
Nouaison

Le nombre de fruits noués sur 20 bouquets par arbre et sur 5 arbres par parcelle a été évalué le 23 juin, soit 20 jours après l'application du régulateur de croissance Fruitone appliqué à 250 ppm de formulation. La variable réponse était presque normalement distribuée. Sur la base de l'AIC et d'une analyse des résidus, nous avons adopté un modèle de régression simple avec le secteur du verger comme seul effet variable. Nous avons observé un effet cultivar important ($p < 0.001$), mais pas d'effet du traitement de pulvérisation ($p = 0.15$). Nous avons observé plus de pommes par bouquets dans Paulared et Cortland ($p < 0.001$) que dans Empire et McIntosh. Comme les traitements d'éclaircissage étaient les mêmes dans toutes les parcelles, cette observation ne fait que confirmer que Paulared et Cortland ne répondent pas aussi bien à l'éclaircissage chimique.



Diamètre à la récolte

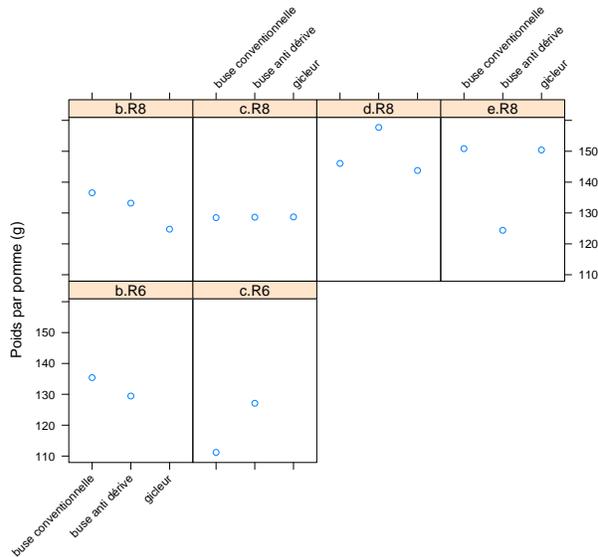
Le diamètre des fruits a été mesuré sur 20 fruits par arbre et 5 arbres par parcelle à la récolte. La variable réponse était normalement distribuée et nous avons adopté un modèle de régression mixte linéaire simple avec les blocs comme seul effet aléatoire. Nous avons observé un effet significatif de la variété ($p=0.01$), mais pas du traitement de pulvérisation ($p=0.23$). Les pommes du cultivar Empire étaient plus grosses ($p=0.02$) que celles de Cortland et McIntosh. Les Paulared avaient un diamètre intermédiaire.



Poids des pommes

Le poids moyen de 200 pommes McIntosh choisies aléatoirement dans chaque parcelle du secteur R6 et R8 a été établi après entreposage à 4°C. Un modèle mixte linéaire avec la zone

du verger comme seul effet aléatoire a été utilisé. Aucun effet de la technique de pulvérisation n'a été observé ($p=0,8$).



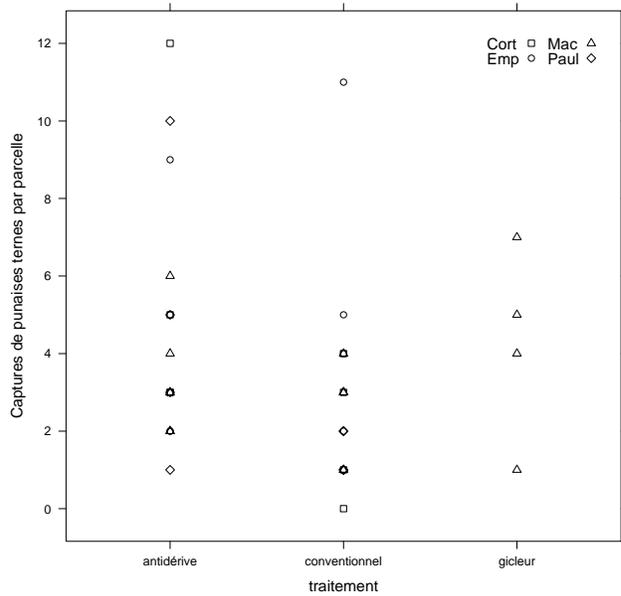
Population des ravageurs

Les captures de punaises ternes, d'hoplocampes et de mouches de la pomme ont été compilées par parcelle pour tous les pièges et pour les toutes les dates d'observation. Les populations de pucerons, cécidomyies et des acariens phytophages ont été obtenues par des observations du feuillage. Finalement, l'incidence de la tavelure a été évaluée sur le feuillage en juillet.

Punaise terne

En 2011, nous avons observé un effet significatif de la technique de pulvérisation, mais pas du cultivar. Nous avons observé moins de punaises ternes dans les parcelles où les buses conventionnelles ont été utilisées que dans les parcelles avec buses anti dérive ou avec gicleurs ($p=0.03$). Les captures dans les parcelles où les buses anti dérive ont été utilisées étaient similaires à celles observées dans celles avec gicleurs (0.94).

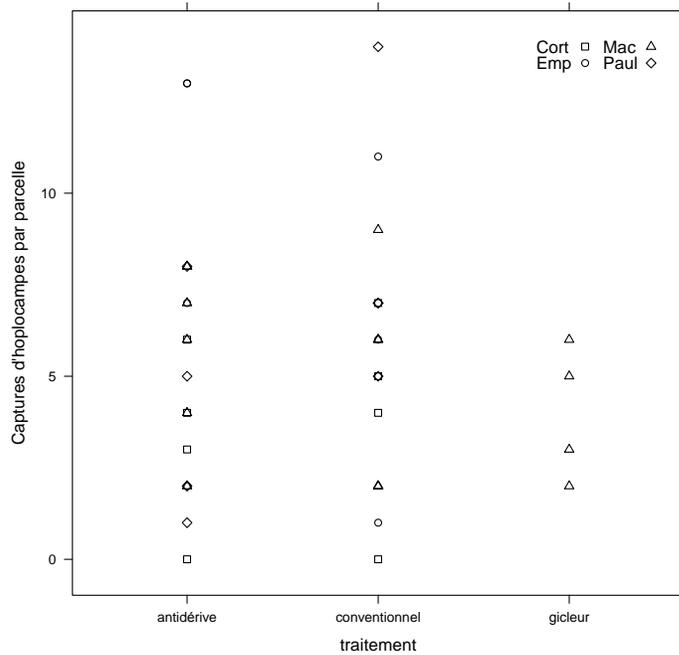
Effet de la technique de pulvérisation sur les populations d'insectes



Hoplocampe

En 2011, nous n'avons pas observé d'effet significatif du mode de pulvérisation sur les populations d'hoplocampe ($p=0.42$)

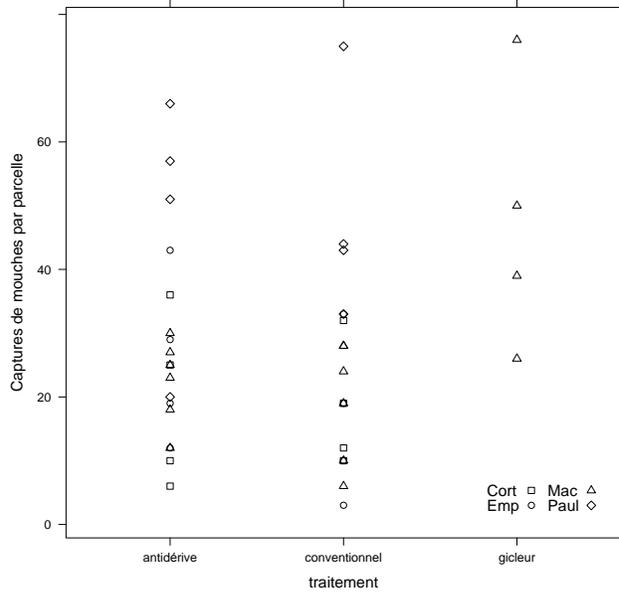
Effet de la technique de pulvérisation sur les populations d'insectes



Mouche de la pomme

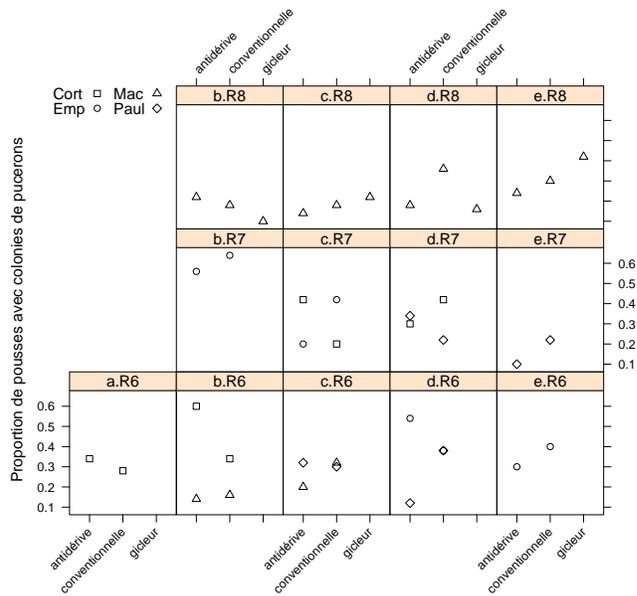
Comme les captures de mouches présentaient une dispersion plus grande que les captures attendues avec une distribution de Poisson, nous avons modélisé les données avec une binomiale négative. Les populations de mouche de la pomme étaient plus élevées ($p=0.01$) dans les parcelles traitées avec les gicleurs que dans les parcelles traitées avec les buses conventionnelles ou antidérive. Les populations étaient similaires dans les parcelles traitées avec buses conventionnelles ou antidérive ($p=0.24$). Nous avons également capturé plus de mouches dans les parcelles de Paulared que dans les autres cultivars ($p=0.02$).

Effet de la technique de pulvérisation sur les populations d'insectes



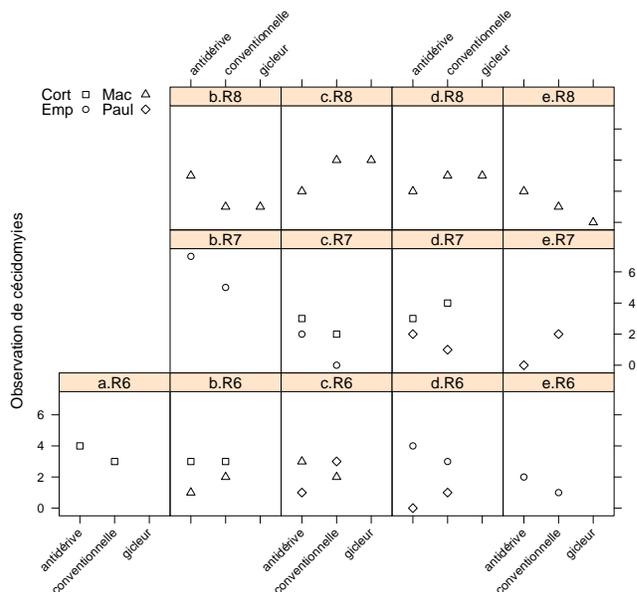
Pucerons

Comme en 2010, la proportion de pousses avec des colonies de pucerons verts n'était pas en lien avec la méthode de pulvérisation dans la parcelle ($p=0.71$). Par contre, nous avons observé moins de pousses avec pucerons dans les rangées de McIntosh ($p=0.001$) et Paulared ($p=0.03$) que dans les rangées de Cortland ou Empire où les populations étaient similaires ($p=0.29$). Exclure les pousses avec peu de colonies donnait des résultats similaires, soit aucun effet de la méthode de pulvérisation ($p=0.18$). Il y avait plus de colonies denses sur Empire que sur les autres cultivars ($p=0.03$), où les populations étaient similaires ($p=0.11$).



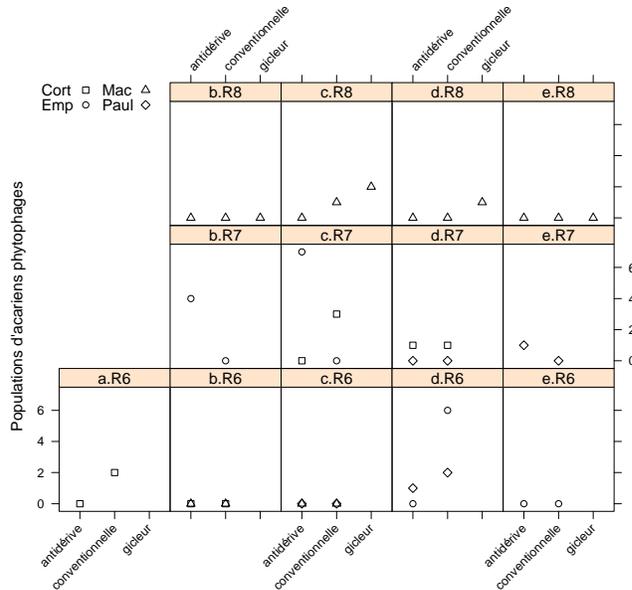
cécidomyies

Les populations de cécidomyies ont été évaluées au moment du dépistage pour le puceron. Encore une fois, pour cet insecte, nous n'avons pas observé d'effet des traitements (0.86), mais nous avons observé un effet du cultivar ($p=0.04$). Les populations de cécidomyies étaient plus faibles sur Paulared ($p=0.01$) que sur Cortland ou alors Empire, qui arboraient des populations similaires ($p=0.85$). Les populations sur McIntosh étaient intermédiaires. Comme il semblait y avoir une tendance en faveur des buses conventionnelles pour le cultivar Empire, nous avons analysé ces données séparément ($n=8$). La tendance à voir moins de cécidomyies dans les parcelles traitées avec buses conventionnelles est probablement due au hasard ($p=0.23$).



Acariens phytophages

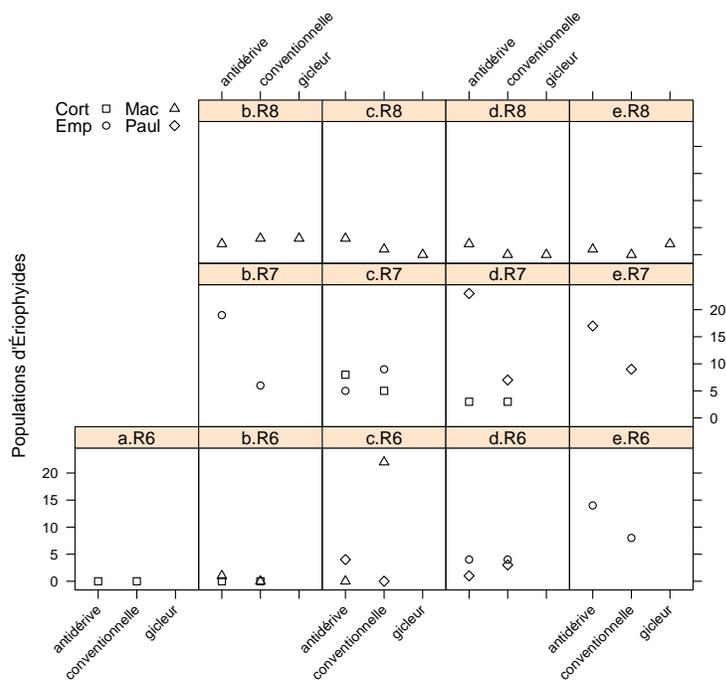
Comme les populations d'acariens phytophages étaient très faibles lors de l'observation en août, l'analyse a porté sur la somme des œufs, larves et adultes de tétranyques rouges et à deux points observés sur 25 bouquets et 25 pousses végétatives par parcelle. À cause de la surabondance de parcelles où aucun acarien phytophage n'a été observé et une sur-dispersion par rapport à une distribution de Poisson, nous avons essayé différentes approches de modélisation dont des modèles Hurdle, ZIP et Bayseian (MCMCglmm), et tous concluaient à une absence d'effet traitement ($p=0.7$) ou cultivar ($p=0.07$)



On n'a donc pas pu confirmer les observations de 2011 qui montraient moins d'acariens rouges et d'acariens à deux points dans les parcelles traitées avec les gicleurs.

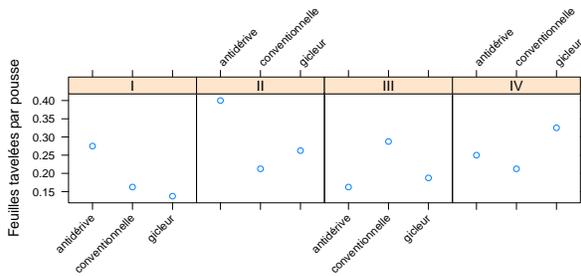
Ériophyides

Le modèle le plus approprié pour représenter les populations d'ériophyides en 2011 comprenait un effet aléatoire pour les blocs du verger et un effet aléatoire par parcelle. Contrairement à 2010, nous avons observé pour les ériophyides un effet significatif du cultivar ($p=0,01$), mais non du type de pulvérisation ($P=0.65$). Il y avait plus d'ériophyides dans Paulared ($p=0.02$) et Empire ($p=0.001$) que dans Cortland et McIntosh où les populations étaient similaires ($p=0,27$).



Tavelure en juillet

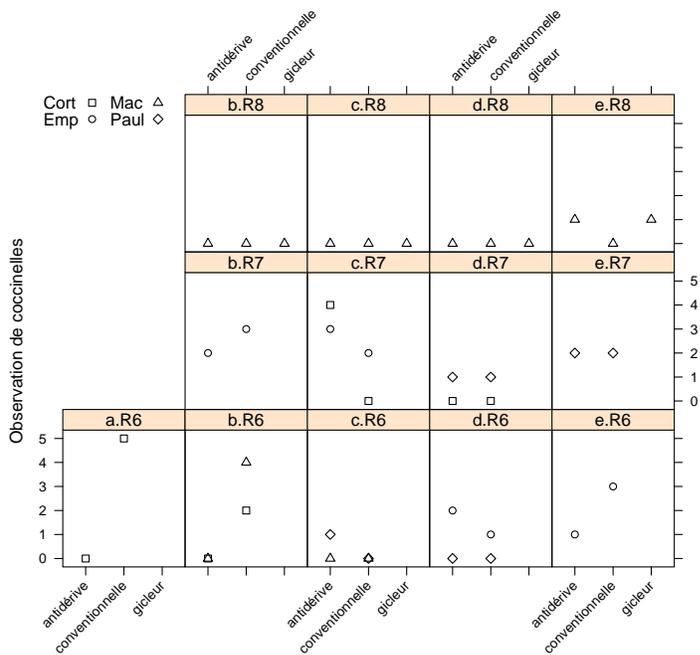
Le nombre de feuilles tavelées sur 80 pousses par parcelle individuelle a été évalué à la mi-juillet dans le secteur R8. Les niveaux de tavelure étaient assez élevés (19 % des pousses avec au moins une feuille tavelée). Nous n'avons pas observé d'effet du mode de traitement ($p=0.35$).



Populations de prédateurs

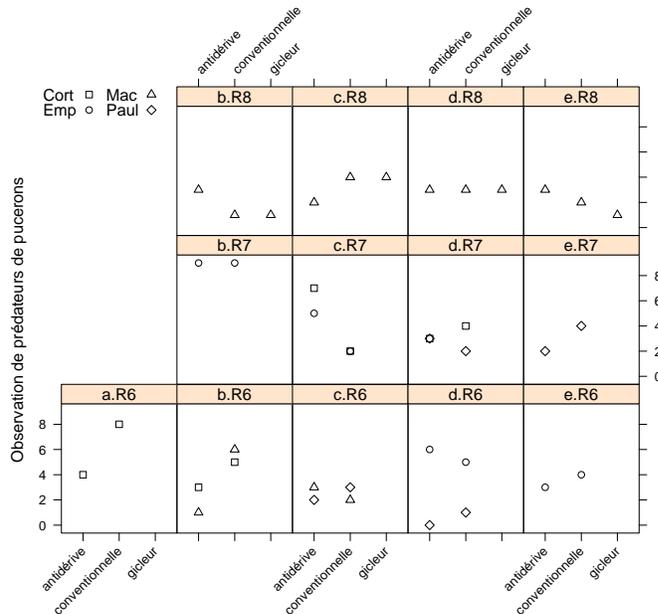
Coccinelles

Les populations de coccinelles observées pendant le dépistage des pucerons étaient généralement faibles. À cause de l'abondance de zéro, elles ont dû être analysées avec une régression de type « Hurdle » (distribution de Poisson tronquée). Au bilan, les coccinelles n'étaient pas affectées par la technique de pulvérisation ($p=0.25$), mais nous avons observé un effet cultivar. Les populations de coccinelles étaient généralement plus faibles sur McIntosh que Cortland ($p=0.05$).



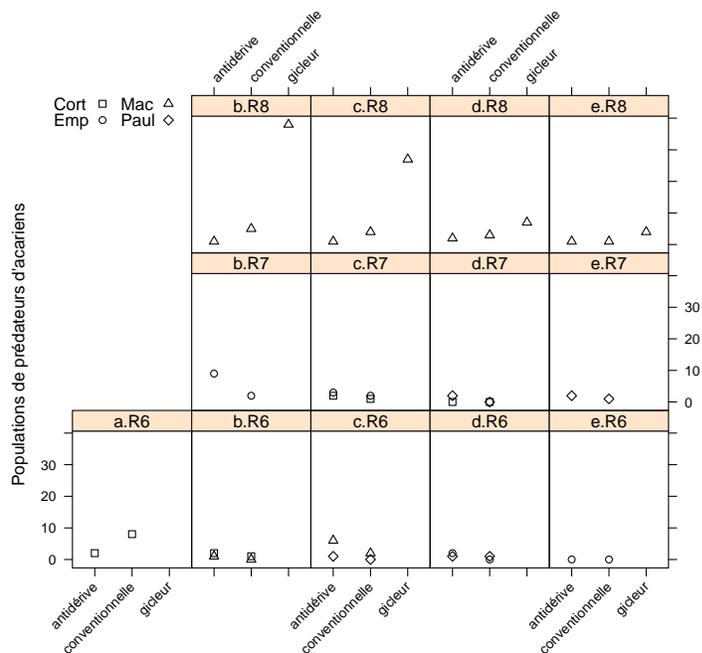
Ensemble des prédateurs de pucerons

Comme les populations des différents prédateurs étaient assez faibles, nous avons également analysé la somme des populations de cécidomyies, chrysopes, coccinelles et syrphides observées dans chaque parcelle. Les captures cumulées suivaient de près une distribution de Poisson. Nous avons observé un effet significatif du cultivar ($p=0,002$), mais pas du traitement ($p=0.5$). Les populations de prédateurs de pucerons étaient plus élevées sur Cortland et Empire que sur McIntosh ($p=0.018$) et Paulared ($p=0.011$).



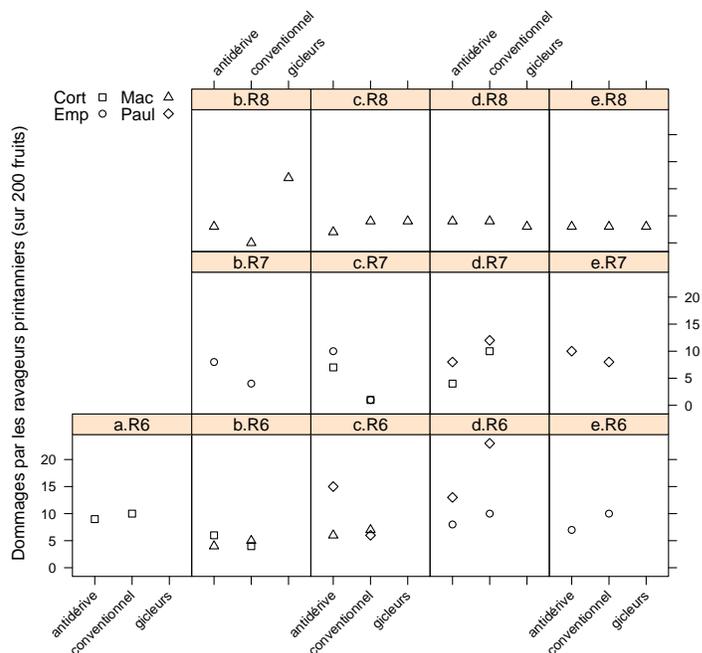
Prédateurs d'acariens

Les populations de prédateurs d'acariens ont été analysées conjointement comme le total des œufs, larves et adultes de stigmaéides et de phytoséiides présents au moment de l'échantillonnage. Pour la plupart des modèles testés, comme en 2010, l'effet des cultivars ne semblait pas affecter significativement les populations de prédateurs. Par contre, les résultats de 2011 confirment la tendance observée en 2010 voulant que les populations de prédateurs étaient supérieures dans les parcelles traitées avec les gicleurs ($p<0.001$) que dans les parcelles traitées avec les buses conventionnelles ou antidérive où les populations étaient similaires ($p=0,495$).



Dommmages sur fruits au printemps

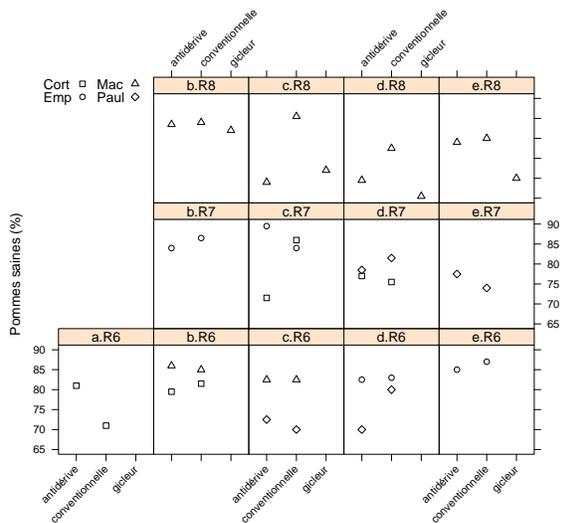
Les dommages sur fruits ont été observés le 16 juin en échantillonnant 200 fruits par parcelle. Le total des fruits endommagés par la noctuelle du fruit vert, les chenilles, la punaise terne, l'hoplocampe et la punaise de la molène a été analysé. Contrairement à 2010, nous n'avons pas observé d'effet du système de pulvérisation ($p=0,498$), mais nous avons observé un effet cultivar marqué ($p<0,001$). Les fruits des arbres de Paulared étaient plus endommagés ($p=0,006$) que Cortland, Empire ou McIntosh. Les McIntosh étaient légèrement moins endommagés que Cortland ($p=0.06$).



Domages sur fruits à la récolte

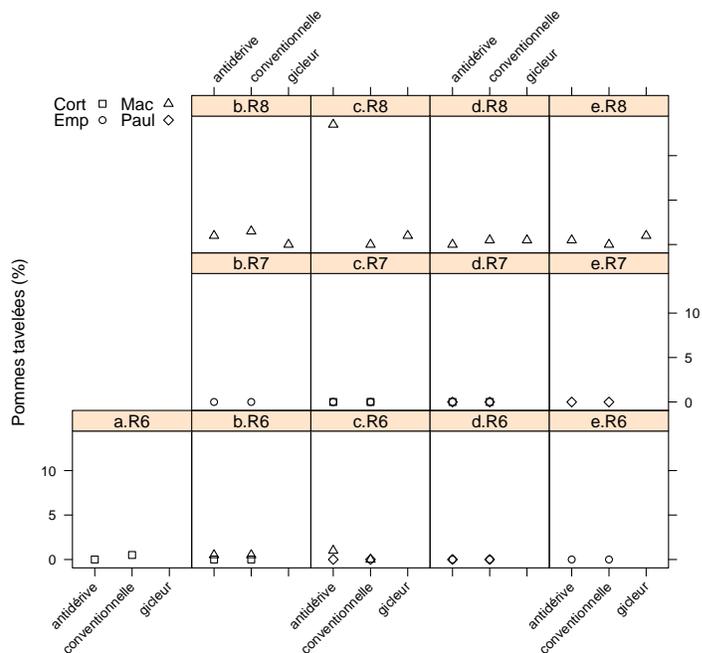
Les dommages sur fruits ont été observés à la fin août en échantillonnant 200 fruits par parcelle. Le total des fruits sans dommages, ou présentant des dommages liés aux maladies ou aux insectes a été analysé séparément lorsque pertinent. La variation entre les parcelles était faible et toutes les spécifications d'effets aléatoires donnaient des résultats similaires. Nous avons observé un effet significatif des cultivars ($p=0,017$) et un léger effet du type d'application ($p=0,053$) sur le nombre de fruits sains par parcelle. Ainsi, nous avons observé moins de fruits endommagés sur Empire ($p=0,02$) que sur Cortland, McIntosh ou Paulared où les dommages étaient similaires ($p=0,4$ et $p=0,86$ entre Cortland et McIntosh et Cortland et Empire respectivement).

Contrairement à 2010, nous avons observé plus de fruits endommagés dans les parcelles traitées avec les gicleurs que dans les parcelles traitées avec les buses conventionnelles ($p=0,017$), les dommages étaient similaires entre les parcelles conventionnelles et les buses anti dérive ($p=0,34$). Nous avons exploré les dommages individuels qui sont à l'origine des différences observées.



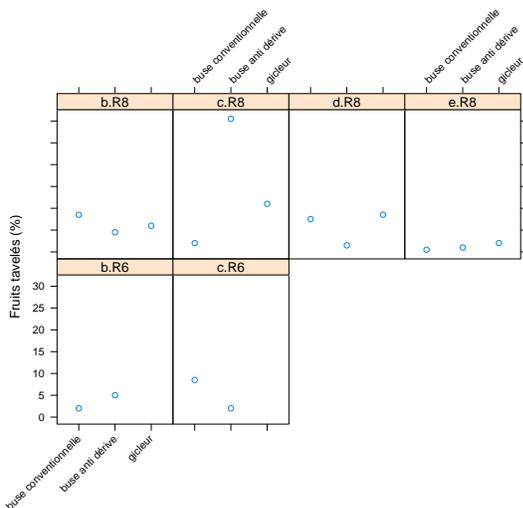
Fruits tavelés et autres maladies

À l'exception d'une parcelle traitée avec les buses antidérive, les niveaux de tavelure sur fruits étaient très faibles en 2011 dans l'ensemble du verger au moment de la récolte, soit 44 fruits sur 8 000 observés. Inclure les maladies secondaires porte le total à 48 fruits. La surabondance de valeurs zéros par rapport à une distribution de Poisson et l'anomalie dans une parcelle nous a forcé comparer différentes approches de modélisation dont des modèles Hurdle, ZIP et autres pour s'assurer que nos conclusions seraient valides. Sur la base du critère de l'AIC et une analyse des résidus, un modèle mixte linéaire avec une distribution négative binomiale a été ajusté aux données avec la fonction « glmmadmb » avec un effet aléatoire par parcelle. L'analyse a révélé un effet significatif du cultivar ($p<0,001$), soit une incidence plus importante de tavelure sur McIntosh que Cortland ($p=0,02$) ou que sur les autres cultivars ($p<0,001$) et une absence d'effet du traitement de pulvérisation ($p=0,54$). En considérant le total des fruits atteints par des maladies, les conclusions restent les mêmes et la probabilité d'un effet du traitement de pulvérisation est diminuée ($p=0,976$ que les différences soient dues au hasard).



Fruits tavelés après entreposage

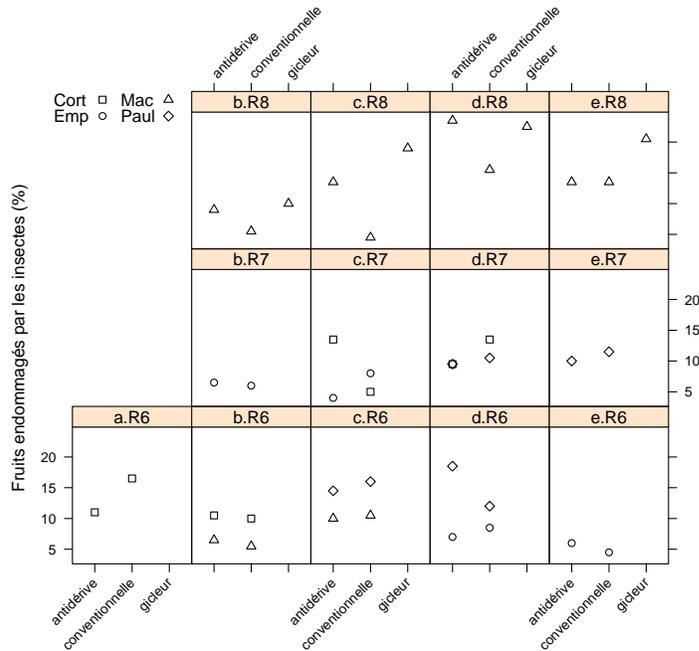
Comme l'été 2011 a été très pluvieux, nous avons décidé d'entreposer les fruits récoltés dans les parcelles de McIntosh et permettre l'expression des symptômes issus des infections tardives. Nous avons effectivement observé une forte progression de l'incidence de la tavelure sur fruits, mais l'effet des techniques de pulvérisation est resté non significatif ($p=0,69$)



Dommages par les insectes

Comme pour les maladies, nous avons analysé séparément l'effet des traitements de pulvérisation et des cultivars sur l'ensemble des dommages liés aux insectes à la récolte. Sur la base du critère de l'AIC et une analyse des résidus, un modèle de régression binomiale négative aléatoire a été utilisé pour analyser les données. Les dommages étaient significativement en lien avec le cultivar ($p=0.002$) et avec le système de pulvérisation

($p=0.02$). Nous avons observé moins de dommages d'insectes sur Empire que sur les autres cultivars ($p=0.001$) où les dommages étaient similaires ($p=0.4$). Nous avons observé plus de dommages d'insectes dans les parcelles traitées avec les gicleurs ($p=0.016$) que dans les parcelles avec buses conventionnelles ou antidérive qui avaient des dommages similaires ($p=0.4$). Pour certains types de dommages d'insectes, nous avons poussé l'analyse.

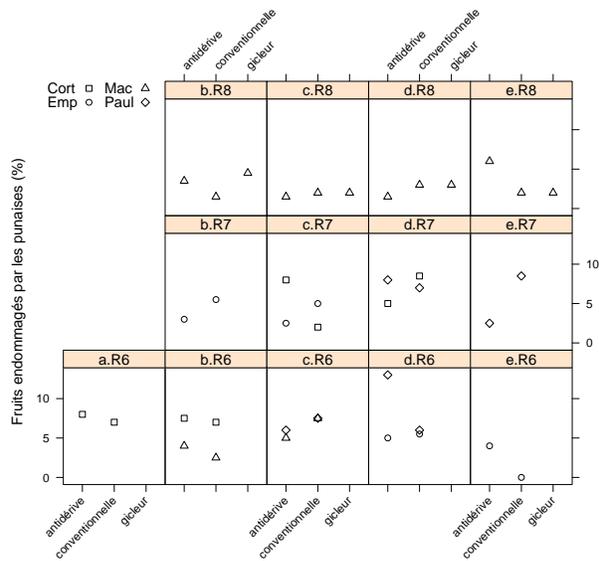


Dommages observés sur les fruits à la récolte attribuables aux insectes (%)

Cultivar et traitement	Total insectes	Punaises	Mouche	Hoplocampe	Lépidoptères
Cortland	11,2	6,6	1,9	1,4	1,2
antidérive	11,1	7,1	1,5	1,6	0,9
conventionnelle	11,3	6,1	2,4	1,3	1,5
Empire	6,3	3,8	0,0	2,1	0,4
antidérive	5,9	3,6	0,0	2,0	0,3
conventionnelle	6,8	4,0	0,0	2,3	0,5
McIntosh	12,7	3,2	6,7	1,9	0,8
antidérive	12,7	3,6	6,3	2,0	0,8
conventionnelle	9,2	3,1	3,9	1,6	0,6
gicleur	18,0	2,9	11,5	2,1	1,4
Paulared	12,8	7,3	0,3	3,8	1,3
antidérive	13,1	7,4	0,1	4,5	1,1
conventionnelle	12,5	7,3	0,4	3,1	1,5
Total	11,1	4,8	3,1	2,2	0,9

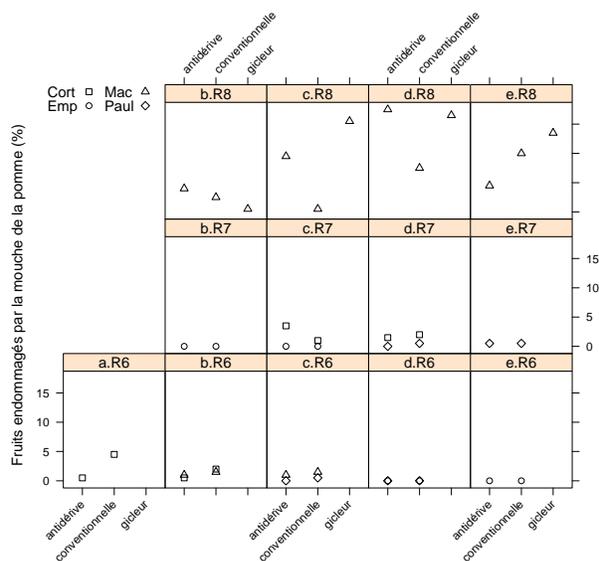
Punaises

Les dommages liés aux punaises étaient adéquatement modélisés avec une régression de Poisson au sein d'un modèle mixte linéaire avec les blocs comme seul effet aléatoire. Nous avons observé un effet significatif du cultivar sur les dommages ($p<0.001$), mais aucun effet du traitement de pulvérisation ($p=0.74$). Nous avons observé moins de dommages de punaises sur Empire et McIntosh ($p=0.001$) que sur Cortland et Paulared, où les dommages étaient similaires ($p=0,78$).



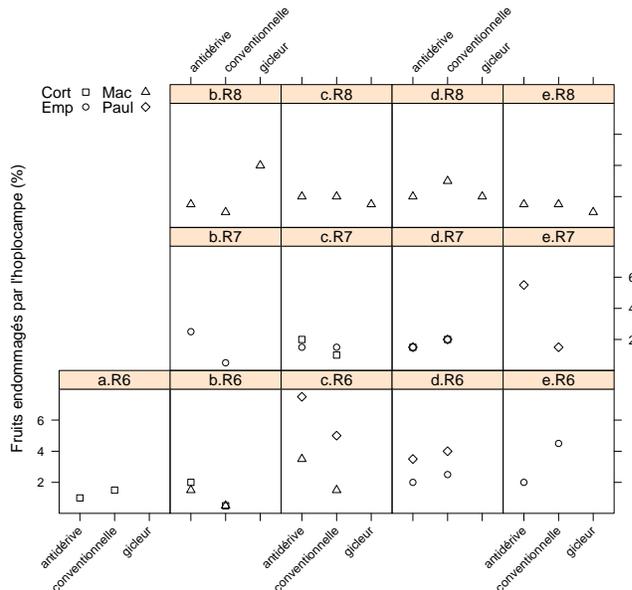
Mouche de la pomme

Les dommages de mouche en 2011 étaient assez élevés (249 pommes sur 8 000 observées), mais concentrés dans le secteur R8. Nous avons observé une surdispersion importante des données. Sur la base du critère de l'AIC et une analyse des résidus, un modèle mixte linéaire avec une distribution de Poisson a été utilisé avec un effet aléatoire par bloc et par parcelle pour absorber la surdispersion. Contrairement aux résultats de captures en saison décrits plus haut, l'analyse des dégâts à la récolte a révélé un effet significatif du cultivar ($p < 0,001$), soit moins de dommages de mouches sur Empire et Paulared que sur Cortland et Empire ($p = 0,004$). Même si numériquement la moyenne des dommages était supérieure dans les parcelles traitées avec les gicleurs, cet effet n'était pas significatif ($p = 0,33$) pour la mouche de la pomme prise séparément des autres dommages.



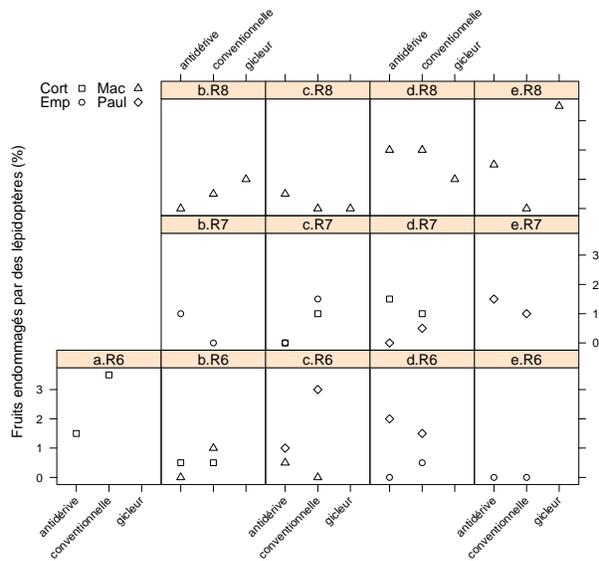
Hoplocampes

Les dommages liés à l'hoplocampe étaient adéquatement modélisés avec une régression de Poisson au sein d'un modèle mixte linéaire avec les blocs comme seul effet aléatoire. Nous avons observé un effet significatif du cultivar sur les dommages ($p=0.004$), mais aucun effet du traitement de pulvérisation ($p=0.33$). Nous avons observé plus de dommages sur Paulared ($p=0.02$) que sur Empire, McIntosh et Cortland, où les dommages étaient similaires ($p=0,28$).



Lépidoptères

Comme les dommages dus aux lépidoptères étaient faibles (73 fruits sur 8 000 observés), le total des dommages liés aux tordeuses au printemps et en été, la tordeuse rouge et à bandes obliques et le carpocapse ont été analysés conjointement. Sur la base du critère de l'AIC et d'une analyse des résidus, un modèle mixte linéaire avec une distribution de Poisson a été ajusté aux données avec la fonction « glmmadmb » avec un effet aléatoire par bloc. L'analyse a révélé un effet significatif du cultivar ($p=0,034$), soit moins de dommages dus aux lépidoptères sur Empire que Cortland ($p=0,029$), alors que les dommages étaient similaires entre Cortland et McIntosh ($p=0,11$) et Paulared ($p=0,76$). Nous n'avons pas observé d'effet significatif du traitement de pulvérisation pour les lépidoptères pris séparément ($p=0.16$).

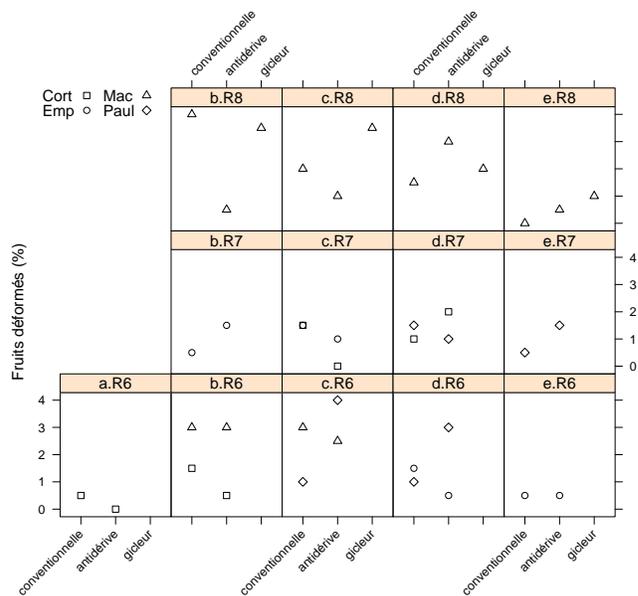


Autres insectes

Les dommages observés non attribuables aux punaises, mouches, hoplocampes et lépidoptères (4 fruits sur 8 000) n'ont pas été reportés ici.

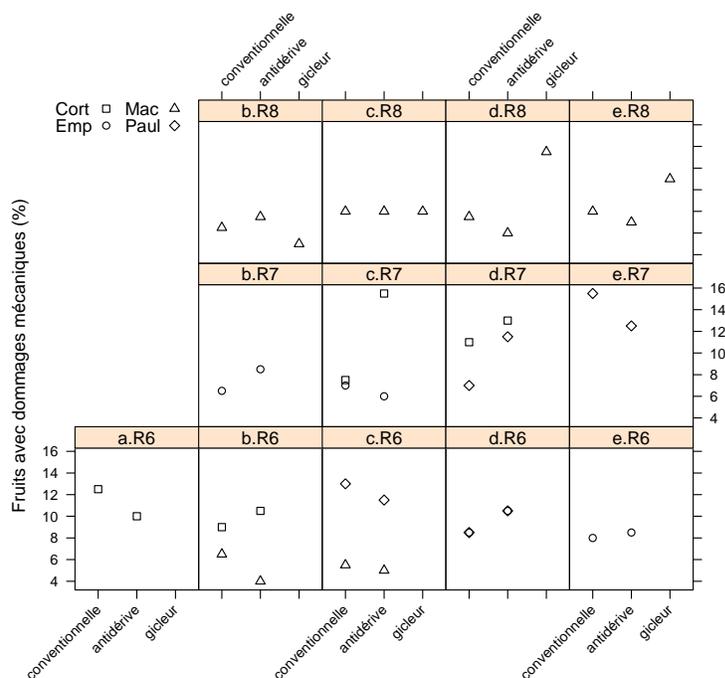
Dommages physiologiques

Les dommages comme les malformations et autres ont été analysés conjointement. L'incidence totale de ces défauts était faible (124 fruits sur 8 000 fruits observés). Sur la base de l'AIC et d'une analyse des résidus, nous avons retenu un modèle de régression de Poisson avec les zones de rangées et non les blocs comme effet aléatoire. Nous avons observé que les dommages physiologiques étaient en lien avec le cultivar ($p=0,002$), mais pas avec le traitement de pulvérisation ($p=0,56$). Les fruits de Paulared et McIntosh présentaient plus de symptômes ($p=0,03$) que ceux d'Empire et Cortland qui étaient similaires ($p=0,75$).



Dommmages mécaniques

Les dommages de meurtrissures et autres impacts incluant les frottements ont été analysés conjointement. L'incidence totale de ces défauts était relativement élevée (719 fruits sur 8 000 fruits observés). Sur la base de l'AIC et d'une analyse des résidus, nous avons retenu un modèle de régression de Poisson sans effet aléatoire. Nous avons observé que les dommages mécaniques étaient en lien avec le cultivar ($p < 0,001$) et en lien avec le traitement de pulvérisation ($p = 0,04$). Les fruits de Empire et McIntosh présentaient moins de dommages ($p = 0,004$) que ceux de Cortland et Paulared qui étaient similaires ($p = 0,92$). Les fruits issus des parcelles avec gicleurs présentaient plus de dommages mécaniques ($p = 0,01$) que ceux issus des parcelles conventionnelles ou avec buses antidérive où les dommages étaient similaires ($p = 0,43$).



Dommmages observés sur les fruits à la récolte (%)

Cultivar et traitement	Maladies	Mécaniques	Physiologiques
Cortland conventionnelle	0,2	11,1	0,9
Cortland antidérive	0,0	12,3	0,6
Cortland gicleur	0,4	10,0	1,1
McIntosh conventionnelle	0,1	7,9	0,9
McIntosh antidérive	0,0	8,4	0,9
McIntosh gicleur	0,1	7,5	1,0
Paulared conventionnelle	1,3	7,3	2,1
Paulared antidérive	2,8	6,3	1,8
Paulared gicleur	0,4	7,0	2,3
Paulared gicleur	0,6	9,4	2,5
Total	0,6	9,0	1,6

Discussion :

Les trois systèmes de pulvérisation ont en général été efficaces. Sans surprise, les gicleurs étaient moins efficaces que les jets portés, mais les différences sont relativement faibles. En fait, pour presque tous les paramètres mesurés, les effets cultivars étaient nettement plus importants que les effets du système de traitement. En 2011, seules les populations de punaise terne, de mouche de la pomme et de prédateurs d'acariens ont été affectées par les systèmes de traitements, ce qui s'est traduit par des dommages d'insectes plus élevés dans les parcelles traitées avec les gicleurs, mais pas dans les parcelles traitées avec les buses anti dérive. Les dommages mécaniques plus élevés sur les fruits issus des parcelles avec gicleurs n'ont pas trouvé d'explication.

Contrairement à notre hypothèse de départ, les différences d'efficacité entre les systèmes de traitement se sont avérées plus grandes avec les insectes qu'avec la tavelure du pommier. Comme les gicleurs imitent de près la pluie naturelle, il est possible que la bouillie pesticide atteigne les spores en suivant le même patron.

Lien entre le projet gicleur et buses

Au cours des analyses, nous avons constaté que les résultats auraient suivi la même tendance si les expériences d'essais de gicleurs et de comparaisons de buses avaient été conduites séparément. Par contre, comme le nombre de parcelles pour chaque expérience aurait été inférieur, nous avons observé que les différences détectables avec une expérience combinée n'auraient pas pu l'être. Par exemple, nous n'aurions pas pu détecter de différence de dégâts d'insectes en 2010 entre les buses anti dérive et les buses conventionnelles sans les parcelles de l'expérience gicleurs. De même, les niveaux de dommage d'insectes et les dommages mécaniques numériquement plus élevés dans les parcelles avec gicleurs en 2011 n'auraient pas été significativement différents des niveaux de dommages observés dans les parcelles avec buses anti dérive ou conventionnelles sans les parcelles additionnelles des blocs R6 et R7.

Complexité des analyses

Comme les comptages d'insectes ne sont généralement pas bien représentés par une distribution normale, des analyses plus complexes sont requises pour s'assurer que les inférences sur les effets des traitements soient valables. Par contre, comme nous observons souvent une surdispersion et une surabondance de zéros par rapport à ce qui est attendu d'une distribution de Poisson, nous avons du recourir à des régressions binomiales négatives et/ou des modèles d'inflation pour éviter de conclure à tort que des effets étaient significatifs¹.

Protection des prédateurs d'acariens

Les résultats de 2011 confirment les observations voulant que les parcelles traitées avec les gicleurs ont des populations de prédateurs d'acariens supérieures à celles des parcelles traitées avec un pulvérisateur conventionnel. Comme la couverture de pesticide sur la face inférieure des feuilles est quasiment nulle lorsque les traitements sont faits avec les gicleurs, il est possible que les prédateurs y trouvent un refuge.

1. Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A. & Smith, G. M. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. (Springer Verlag: 2009).