

**VITRINES DE RÉGIE À MOINDRES RISQUES DANS LA POMME : OPTIMISATION DES
PULVÉRISATIONS ET DIVERSIFICATION DES MODES D'INTERVENTION POUR LA RÉDUCTION
DE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DE LA POMICULTURE QUÉBÉCOISE
PV-3.2-2017-003**

DURÉE DU PROJET : MARS 2018 / AVRIL 2023

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Mikael Larose, M.Sc., IRDA
Catherine Pouchet, M.Sc., IRDA
Gérald Chouinard, agr. Ph.D., IRDA
Zachary Bélisle, B.Sc., IRDA
Quentin Chaperon, M.Sc., IRDA

6 avril 2023

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.

**TITRE DU PROJET : VITRINES DE RÉGIE À MOINDRES RISQUES DANS LA POMME :
OPTIMISATION DES PULVÉRISATIONS ET DIVERSIFICATION DES MODES D'INTERVENTION
POUR LA RÉDUCTION DE L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DE LA POMICULTURE
QUÉBÉCOISE**

NUMÉRO DU PROJET: PV-3.2-2017-003

RÉSUMÉ DU PROJET

La culture de la pomme nécessite annuellement l'application de pesticides contre plusieurs ennemis (insectes, acariens, maladies et mauvaises herbes). Plusieurs des produits utilisés ont toutefois un impact (sur la santé ou sur l'environnement) important et/ou un coût élevé. Certaines méthodes de dépistage, de surveillance et d'intervention éprouvées sont disponibles pour réduire ces risques et sont utilisées à des degrés variables par les entreprises. Une plus grande adoption de ces nouvelles approches permettrait de réduire l'empreinte environnementale de la production pomicole québécoise. Ce projet a débuté au mois d'avril 2018 au sein de cinq sites pomicoles répartis dans différentes régions du Québec, soit : Montérégie (Est & Ouest), Estrie, Laurentides et Chaudière-Appalaches. Pour chacun des sites, une section du verger a été gérée selon les pratiques habituelles du producteur (parcelle sous régie conventionnelle), tandis qu'une autre section a été gérée selon un programme incluant un ensemble de pratiques à moindres risques (parcelle sous régie à moindres risques). Les pratiques dites à moindres risques ont été discutées, adaptées et incluses à la régie en fonction de l'historique et du registre antérieur de traitements propre à chaque site. Un total de 23 pratiques à moindres risques ont été proposées sur l'ensemble des sites. Des pratiques telles que la confusion sexuelle contre le carpocapse de la pomme, l'introduction d'acariens prédateurs contre les tétranyques, la pulvérisation à distribution d'air optimisée (AirCheck), le désherbage mécanique, la lutte attracticide contre la mouche de la pomme et l'exclusion par filets anti-insecte (dans une zone distincte) ont ainsi été utilisées de 2018 à 2022. Avec l'appui des entreprises participantes, les données ont été colligées par un club-conseil responsable pour chaque site, avec la collaboration du conseiller MAPAQ de la région concernée.

Globalement, l'adoption de pratiques à moindres risques dans les cinq sites a permis une réduction de 40% des risques liés à la santé ainsi qu'une réduction de 14% des risques liés à l'environnement, par rapport à la pratique actuelle des producteurs sur ces sites. Les matières actives des produits antifongiques utilisés ont été les principaux acteurs de changement des indices de risques. La diminution de l'utilisation de matières actives antifongiques telles que le métirame, le captane et le mancozebe, souvent par substitution avec le bicarbonate de potassium, a majoritairement contribué à la réduction des indices de risques sur la santé. Au niveau des risques liés à l'environnement, la diminution dans l'utilisation de certains insecticides (phosmet, thiachlopride, méthoxyfénoside et lambda-cyhalothrine) et régulateur de croissance (carbaryl) ont été les principaux facteurs responsables de la réduction observée, rendue possible grâce à l'utilisation d'alternatives

pour la gestion de ravageurs comme la mouche de la pomme et le carpocapse. Tant au niveau des produits antifongiques que des insecticides, l'utilisation d'un pulvérisateur AirCheck avec buses anti-dérive a permis à elle seule d'atteindre une réduction des risques sur la santé d'environ 25%.

Une légère augmentation au niveau des coûts (12%) a été observée. L'utilisation de certains produits à moindres risques tels que l'agent d'éclaircissage ANA (acide naphthalène acétique), le virus CpGV (virus de la granuloze du carpocapse) et le GF-120 (attracticide contre la mouche de la pomme à base de spinosad) ont été responsables de cette augmentation. À l'inverse, certains produits antifongiques tels que le bicarbonate de potassium ont permis une réduction des coûts du programme de lutte contre les maladies. L'augmentation moyenne des coûts totaux pour l'ensemble des sites sur une période de cinq ans a été de 178\$/ha.

Les niveaux de dommages sur fruits ont été variables d'une année à l'autre ainsi que selon le site et le cultivar, mais de façon générale l'utilisation d'une régie à moindre risque n'a pas entraîné une diminution marquée ou systématique de la qualité de la récolte. Dans certains cas, une quantité moindre de dommages a même été observée dans la parcelle à moindre risque que dans la parcelle conventionnelle. Le rendement et le calibre des fruits n'ont pas été affectés négativement à l'exception d'un site en première année, en lien avec un contrôle insuffisant de la charge en fruits dû à un manque d'expérience avec l'éclaircissage sans carbaryl.

Plusieurs évènements de formation ont eu lieu durant le projet (lorsque les règles sanitaires le permettaient) à travers les cinq grandes régions pomicoles. Les pratiques à moindres risques ont été abordées par des présentations et/ou des démonstrations au champ. Les producteurs participants aux vitrines y ont participé en témoignant de leur expérience de progression vers une régie à moindres risques. De plus, six capsules vidéo ont été réalisées sur autant de pratiques à moindres risques, disponibles sur la chaîne YouTube de l'IRDA.

Bien que les intervenants du projet aient fait la promotion agrholistique^{MD} de 23 pratiques à moindres risques, les particularités de chaque entreprise et de son site n'ont pas permis une adoption rapide et directe de chacune des techniques proposées. Il est cependant prévu que si une pratique est adoptée sur une petite surface (petite échelle) et que les résultats qui en découlent sont propices à la prospérité de l'entreprise, après quelque temps elle pourra s'étaler sur une plus grande surface.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif général du projet était de faire connaître aux entreprises pomicoles québécoises les dernières techniques de production fruitière intégrée permettant de réduire les risques associés à l'usage des pesticides, dans le but d'accroître l'adoption et le degré d'utilisation de ces techniques. Les pratiques mises en œuvre dans les vitrines de démonstration comprenaient des méthodes préventives de suivi ainsi que des outils d'intervention curatifs.

Les objectifs spécifiques du projet étaient : 1) démontrer qu'il est possible d'appliquer des méthodes préventives pour réduire la pression des ennemis de la pomme au Québec, tout en utilisant des méthodes de lutte à moindres risques contre ces différents ennemis, et 2) démontrer qu'il est possible de réduire l'utilisation de pesticides à risques élevés et de favoriser les produits et pratiques à faible impact sur l'environnement et sur la santé. Finalement, il était attendu que le projet favorise le développement des connaissances et de l'expertise chez les conseillers, conseillères, producteurs et productrices du Québec, tout en diffusant les résultats au plus grand nombre possible à travers des formations, événements (lorsque permis) et capsules informatives.

Choix et suivi des sites

Cinq sites commerciaux ont été sélectionnés à cette fin, chacun répondant à différents critères reliés à la superficie (minimum de 5ha), aux cultivars (représentatifs de la production québécoise), à la proximité d'une station météo, au type de suivi (club d'encadrement technique) et à la volonté du producteur d'adopter davantage de pratiques à moindres risques. En fonction des caractéristiques propres à chaque site, un certain nombre de pratiques à moindres risques parmi celles proposées ont été mises en place dans chacun de ces vergers-vitrines (Annexe 1). Le suivi (dépistage, programme de traitements, rendements et données économiques) a été effectué par un club-conseil associé à chaque site, avec la collaboration du conseiller du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) de la région concernée. La coordination, le support, la gestion et les activités de communication ont été assurés par l'Institut de Recherche et Développement en Agroenvironnement (IRDA) et les conseillers MAPAQ (Annexe 2).

Calcul des indices de risques

Les impacts sur la santé et l'environnement des programmes de traitements phytosanitaires utilisés dans les différentes parcelles ont été quantifiés en utilisant l'indicateur de risque des pesticides du Québec (IRPeQ). Cet indicateur, développé par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) en collaboration avec le MAPAQ, est composé de deux indices, l'indice de risque pour la santé (IRS) et l'indice de risque pour l'environnement (IRE) qui tient compte des principaux facteurs de risques associés à des critères de toxicité aiguë et chronique des matières actives en plus du potentiel de persistance dans l'environnement et de bioaccumulation dans l'organisme humain (Samuel et al., 2007). L'indice de risque sur la santé tient compte de la concentration de matière active dans la préparation commerciale ainsi que la dose appliquée. De plus, cette valeur sera modulée par la superficie traitée ainsi que la méthode d'application. L'indice de risque sur l'environnement tient compte des propriétés physicochimiques et écotoxicologiques des matières actives ainsi que la dose appliquée. Les indices de risques présentés dans ce rapport ont été calculés en utilisant le calculateur d'indice de risque disponible sur la plateforme SAgE pesticides (<https://www.sagepesticides.qc.ca/>).

Les paramètres de pulvérisation ont été modulés selon deux critères, soit la dose d'application et le type de pulvérisateur. Les informations relatives à la dose d'application ont été fournies par les entreprises participantes au projet. Quant au type de pulvérisateur, la référence utilisée pour la parcelle sous régie conventionnelle correspond à celle d'un pulvérisateur pneumatique pour une application dirigée en hauteur alors que pour la

parcelle sous régie à moindres risques, la référence utilisée correspond à celle d'un pulvérisateur à distribution d'air optimisée (Aircheck) avec buses anti-dérive.

L'utilisation des indices de risque sur la santé et sur l'environnement permet de comparer les traitements phytosanitaires individuels appliqués dans la parcelle sous régie conventionnelle et la parcelle sous régie à moindres risques. Tous les exemples d'équations qui suivent sont présentés pour le calcul des risques pour la santé. Pour connaître celles reliées aux risques pour l'environnement, il suffit de changer le S (santé) pour E (environnement). Dans l'optique de dresser un bilan de l'évolution des risques sanitaires, les indices de risques individuels ont été modulés par la superficie traitée dans le but d'obtenir l'IRPest-S (formule 1). La sommation des IRPest-S, propre à chacune des parcelles a permis de faire un bilan saisonnier des indices de risques. Étant donné que les superficies cultivées n'étaient pas identiques d'une parcelle à l'autre, l'IRPest-S a été exprimé sur la base d'un hectare afin de comparer les deux parcelles (conventionnelle vs moindres risques). L'IRPest-S/ha représente un indicateur du risque de toutes les matières actives appliquées dans la parcelle en tenant compte de la superficie cultivée (formule 2). Les résultats présentés (valeurs absolues, moyennes ou en pourcentage) sont basés sur la comparaison saisonnière ou quinquennale obtenue par les IRPest-S/ha et IRPest-E/ha.

Formules 1:

$$IRPest - S_{traitement} = \sum IRS_{préparation commerciale} \times superficie traitée (ha)$$

Formule 2 :

$$IRPest - S/ha = \frac{IRPest - S_{traitement}}{Superficie cultivée (ha)}$$

Calcul des coûts d'application des produits phytosanitaires sur la base d'un hectare

Pour chacun des pesticides appliqués par le producteur, le coût du traitement phytosanitaire a été calculé selon le prix de détail moyen suggéré par quelques distributeurs des principales régions pomicoles (Chouinard, 2018, 2019, 2020b, 2021, 2022). Basé sur les registres fournis par les entreprises participantes, le coût d'application individuel a ensuite été calculé à partir du prix unitaire du produit utilisé (\$/kg ou L) et de la dose appliquée par hectare (formule 3). Pour obtenir le coût réel, le coût d'application individuel a été modulé par la superficie traitée. La sommation des coûts, propre à chacune des parcelles, a permis d'obtenir le bilan saisonnier des coûts d'application (formule 4).

Formule 3 :

$$\text{Coût}(traitement/Ha) = \text{Coût produit unitaire } (\$/L \text{ ou } kg) \times \text{Dose appliquée } (L \text{ ou } kg/Ha)$$

Formule 4 :

$$\text{Coût}_{total} = \sum \frac{\text{Coût}_{traitement/ha} \times \text{Superficie traitée } (ha)}{\text{Superficie cultivée } (Ha)}$$

Calcul de l'utilisation de l'eau lors des applications de produits phytosanitaires

La quantité d'eau utilisée à l'hectare a été comptabilisée pour chacune des applications effectuées. Cette quantité d'eau était fonction du produit commercial appliqué, du type de buse et de la pression fournie par le pulvérisateur. Les quantités d'eau de chaque application ont été rapportées à l'hectare et additionnées pour obtenir la quantité totale utilisée par année (formule 5).

Lorsqu'une application comprenait un mélange de pesticides, seulement la quantité réelle a été utilisée pour les analyses.

Formule 5:

$$Eau_{total} = \sum \frac{Eau_{traitement/Ha} (L/Ha) \times Superficie\ traitée (Ha)}{Superficie\ cultivée (Ha)}$$

Les analyses de quantité d'eau utilisée ont été basées sur les applications d'acaricides, de bactéricides, de fongicides, d'insecticides, d'agents éclaircissants et autres régulateurs de croissance.

Calcul des rendements et des calibres

Les calibres des pommes ont été analysés afin de relever les différences entre les types de parcelles par cultivars, au sein d'un même site (Annexe 3, Annexe 4 et Annexe 5). Considérant la difficulté de comptabiliser le rendement réel d'un verger dû à la logistique de récolte (passages répétés et cultivars variés), les rendements ont dû être estimés. Pour ce faire, le calibre et le poids d'une centaine de pommes par cultivar ont été mesurés en 2020, 2021 et 2022, ce qui a permis d'obtenir une courbe d'estimation du poids en fonction du calibre. Cette prise de données a été effectuée quelques jours avant la récolte. Elle n'a toutefois pas toujours été possible pour des raisons de logistique. Pour ces raisons, le rendement estimé du site 3 n'est pas discuté dans ce rapport. Parallèlement, le nombre de pommes a été dénombré sur dix arbres de chaque cultivar au sein des différentes parcelles. Sur ces mêmes arbres, selon un échantillonnage aléatoire, le calibre de 20 pommes a été noté afin d'estimer le rendement (kg/arbre) grâce à la courbe établie précédemment. Seule l'estimation du site 5 a été retenue lors de la présentation des résultats à cause de la similarité entre les parcelles conventionnelles et à moindres risques et de leur proximité géographique. Pour le site 4, les données de rendements réelles du cultivar Cortland ont été obtenues directement de l'entreprise.

Domages à la récolte

Le nombre de fruits observés pour l'évaluation des dommages dans les deux types de régie a varié selon le site, l'année et le cultivar (Annexe 6). Lors de chaque évaluation, les dommages observés ont été attribués à une des catégories suivantes : insectes, maladies, malformations, bris mécaniques, petit calibre (inférieur à 63.5 mm), résidus visibles, gel, grêle et dégâts divers (ex : insolation, oiseau, fendillement, etc.).

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

Adoption des pratiques proposées pour les régies à moindres risques

Cette section du rapport vise à décrire les 23 pratiques à moindres risques proposées dans le cadre du projet et à présenter, en fonction des caractéristiques propres à chaque site, dans quelle mesure ces pratiques ont été mises en place au sein des différentes vitrines de démonstration. Les contraintes et avantages liés à leur adoption sont également présentés. La liste des pratiques et le nombre de vitrines dans lesquelles elles ont été utilisées figurent à l'annexe 1.

Assainissement du verger

1. Taille d'hiver et d'été

La taille a pour objectif de favoriser le développement optimal du pommier ainsi que son rendement en fruits de qualité tout en réduisant les besoins en pesticides. Plus précisément, la taille d'hiver, effectuée de février à avril, vise à améliorer la pénétration de la lumière. Pour ce faire, il faut favoriser l'élimination des branches plus hautes qui surplombent et ombragent de bonnes branches plus basses, les branches peu productives qui s'éloignent peu du tronc et les ramifications qui partent vers le bas ou l'intérieur. Sur les cinq années du projet, les registres de temps d'opérations des entreprises ont révélé une moyenne annuelle de 66 heures de travail par hectare pour effectuer la taille d'hiver. Le temps de travail d'une année à une autre au sein d'un même site a peu varié, soit en moyenne plus ou moins six heures. Le temps d'opération annuel a cependant varié de façon importante d'un site à un autre passant de 17 heures à 137 heures par hectare en moyenne. Dans la parcelle conventionnelle, la taille d'hiver a pris 96 heures par hectare en moyenne comparativement à une moyenne de 80 heures par hectare pour la parcelle à moindres risques.

La taille d'été, effectuée en juillet et en août, vise principalement à éliminer les pousses résultant d'un excès de vigueur. Pour ce faire, il faut favoriser la coupe des gourmands, des prolongations excédentaires sur les branches fruitières, des prolongations dressées au bout des branches fruitières et des toutes nouvelles croissances sur ramification dressées portant des fruits (Yelle, 2014). Les données de temps d'opérations liées à la taille d'été ont révélé une moyenne de 121 heures par site sur cinq années. Comme pour la taille d'hiver, une grande variabilité a été observée d'un site à l'autre par exemple, pour le site 4, les travaux de taille d'été ont pris en moyenne 26 heures par hectare par an sur cinq ans comparativement à une moyenne de 64 heures par hectare pour les sites 1 et 2. Pour les deux parcelles et d'une année à l'autre, le temps requis pour la taille d'été a été similaire.

2. Broyage des feuilles (*machine Eliminae^{MD}*)

L'objectif du déchiquetage des feuilles mortes est de détruire mécaniquement avant le débourrement les feuilles de pommier qui se trouvent au sol pour réduire l'inoculum de tavelure. Même si le déchiquetage n'attaque pas directement le champignon, la réduction

de la taille des fragments foliaires accélère grandement leur décomposition. De plus, inverser l'orientation des fragments de feuilles au sol peut nuire à l'éjection des ascospores qui, en cas de pluie, ne pourront pas infecter le nouveau feuillage. Eliminae est un broyeur à branches conventionnel modifié avec des brosses rotatives afin de mieux décoller les feuilles du sol, incluant celles qui sont au pied des pommiers dans la rangée, de les broyer avec les branches retranchées lors de la taille et de les andainer dans le centre des rangées où elles pourront se décomposer (Philion, 2014b).

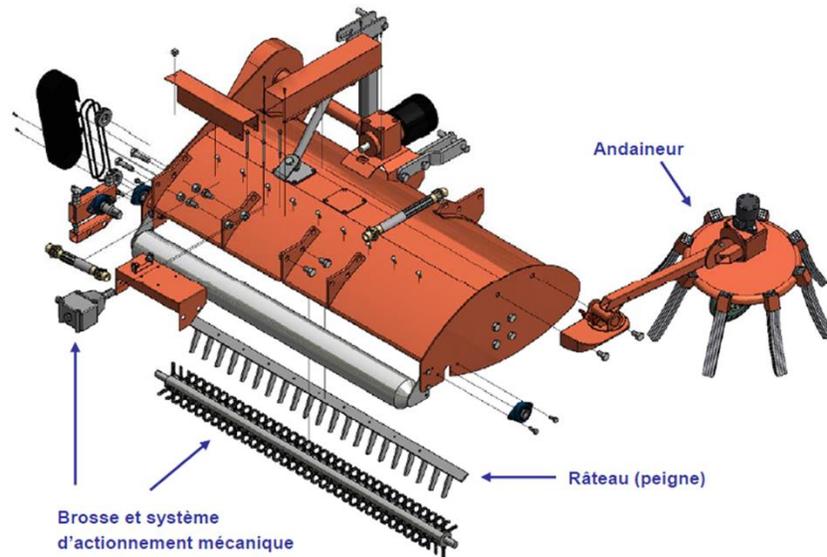


Figure 1. Équipement de broyage de la litière de feuilles et de branches Eliminae

Bien que cette méthode soit facile à utiliser et peu coûteuse sur le long terme, elle ne remplace pas un traitement fongicide contre la tavelure; c'est plutôt une « police d'assurance » qui réduit la pression de tavelure et donc les risques d'échec des traitements fongicides subséquents. Selon les producteurs qui ont utilisé une telle machine, il serait intéressant d'en faire l'achat en groupe et de partager son emploi au début de la saison puisque le temps d'utilisation est court et que le coût d'achat est élevé. En effet, il n'existe

pas de broyeurs à feuilles commerciaux et il faut le fabriquer soi-même à partir de plans disponibles sur le site de l'IRDA, ou donner ces plans à un équipementier qui sera en mesure de reproduire le concept (IRDA-AGRINOVA, 2013). De plus, il faut s'assurer d'adapter la machine selon le type d'arbres, la largeur des rangées et le couvert végétal, car ces paramètres peuvent influencer l'efficacité du broyage.

Dans le cadre du projet, le broyeur Eliminae a été utilisé en 2019 dans les cinq parcelles à moindres risques, puis en 2021 et 2022 au site 1. En plus de décoller et de broyer la litière de feuilles au sol, l'utilisation de l'andaineur a permis un nettoyage près des troncs tout en ayant un effet similaire à un herbicide de début de saison. En fait, par sa structure (poids et pièces composantes) l'andaineur avait comme effet de gratter superficiellement le sol, ce qui a occasionné un retard dans la première levée des mauvaises herbes.

Pour des informations additionnelles concernant le broyeur Eliminea, une capsule vidéo a été diffusée sur la chaîne YouTube de l'IRDA:

<https://www.youtube.com/watch?v=j2tirBp4F5c>

3. Application d'urée au sol

Bien que l'urée ne soit pas encore beaucoup utilisée pour lutter contre la tavelure, c'est un fongicide ayant un mode d'action complexe qui garantit que le champignon ne pourra pas devenir résistant. En effet, l'urée ne fait pas qu'accélérer la décomposition microbienne des feuilles au sol, elle s'attaque directement au champignon et interfère avec la production des pseudothèces. Le traitement au sol doit être fait après la chute des feuilles et est donc souvent retardé au printemps avant le stade du débourrement (Philon, 2014b).

La stratégie d'application de l'urée est donc flexible. Des applications foliaires sont possibles et assurent une meilleure couverture que lorsque le traitement est fait au sol. Cependant, des applications d'urée à l'automne peuvent être associées à une augmentation des problèmes de chancres et si l'application est faite sur de jeunes arbres qui ne sont pas encore en production, cela peut mener à une mortalité partielle des bourgeons (Dryden et al., 2016).

4. Virus de la granulose du carpocapse (CpGV)

Cet insecticide naturel sélectif d'origine virale est spécifique au carpocapse de la pomme et agit uniquement par ingestion sur les larves. Il est produit à partir de souches de virus naturellement présentes dans les vergers. Après l'ingestion, les corps d'inclusion viraux sont dissous dans l'intestin moyen de la larve et libèrent des virions infectieux. Ceux-ci pénètrent ensuite dans les cellules du tube digestif et se multiplient dans le noyau de ces cellules. Les virions ainsi reproduits répandent rapidement l'infection aux autres tissus à l'intérieur de la larve. Quelques jours après l'ingestion du virus, la larve infectée cesse de s'alimenter, devient léthargique et se décolore, puis finit par mourir. La larve morte se désintègre, libérant de nouveaux corps d'inclusion qui peuvent infecter d'autres larves du carpocapse à la suite de l'ingestion (Santé Canada, 2014).

Le CpGV (ex. VIROSOFT^{MD} CP4) est sans toxicité pour tous les autres organismes et pour l'environnement et il est admissible en production biologique. Il est facile

d'utilisation, puisqu'il s'applique par pulvérisation comme un insecticide classique. Il peut être appliqué jusqu'à la récolte et le délai de réentrée n'est que de 4h. Cependant, le moment d'application est crucial: il faut éviter de l'appliquer par temps clair, puisque l'exposition directe aux rayons solaires l'inactive. De plus, il est peu rémanent, donc des applications répétées sont nécessaires afin de bien atteindre l'ensemble de la population, soit environ une application par semaine durant la période d'éclosion. De plus, afin de limiter les risques de résistance, il est recommandé d'alterner les souches disponibles lors d'applications sur plusieurs générations (Chouinard et al., 2014b).

Dans le but de réduire les indices de risque sur la santé et sur l'environnement, des applications de CpGV ont été effectuées pour remplacer certains insecticides à risques élevés sur la santé et l'environnement. Le site 2 a effectué cinq applications de CpGV en 2020 et le site 1 a effectué deux applications annuelles sur les cinq années. Pour le site 2, les applications de CpGV ont été utilisées pour diminuer la pression du carpocapse étant donné que la confusion sexuelle n'a pas bien performé pour ce site. Pour le site 1, les applications de CpGV ont été complémentaires à la confusion sexuelle.

5. Éclaircissage des fruits sans carbaryl

L'éclaircissage chimique est la méthode d'éclaircissage la plus utilisée au Québec et dans la majorité des pays producteurs de pommes. Plusieurs produits à base d'hormones végétales sont utilisés à cet effet. Le carbaryl (ex. SEVIN) est à l'origine un insecticide à large spectre, mais il a également de fortes propriétés éclaircissantes. Il est par conséquent couramment utilisé à cette fin, seul ou en combinaison avec les autres agents éclaircissants à base d'hormones végétales. Son utilisation est cependant devenue très contraignante depuis 2017, autant au niveau de la dose recommandée, du nombre d'applications permises que des délais de réentrée et avant récolte (Barriault, 2019). De plus, l'utilisation de ce produit n'est pas compatible avec la production fruitière intégrée (PFI), car son utilisation a des effets négatifs importants sur les insectes bénéfiques au verger et sur la santé (Yelle, 2014)

De nouvelles stratégies, telles que l'éclaircissage mécanique et l'utilisation de l'acide naphtylacétique (ANA) (ex. FRUITONE) existent cependant et peuvent être utilisées seules ou en combinaison, et parfois avec de petites doses d'éclaircissants chimiques, afin d'obtenir de bons calibres de fruits et de réduire les risques de suréclaircissage (Sazo et al., 2016).

Dans le cadre du projet, l'éclaircissage des fruits sans carbaryl a été fortement encouragé dans les situations où cela était possible. La réduction de l'utilisation du carbaryl a toutefois été variable d'un site à un autre et difficile certaines années. Au site 2, le carbaryl n'a jamais été utilisé, que ce soit dans la parcelle à moindres risques ou la parcelle conventionnelle. Au site 1, l'éclaircissage dans la parcelle à moindres risques a également été toujours été réalisé sans avoir recours au carbaryl alors qu'il était utilisé certaines années dans la parcelle conventionnelle (Annexe 4). Il en a été de même pour les autres sites, mais certaines années seulement, soit trois années sur cinq aux sites 4 et 5 (Annexe 7 et Annexe 8) et une année cinq au site 3. Les données recueillies n'ont pas indiqué d'effets négatifs importants sur le calibre ou le rendement suite au retrait du carbaryl à l'exception du site 1

lors de la première année du projet alors que l'utilisation de l'acide naphtylacétique dans la parcelle à moindres risques n'a pas permis, dans les conditions où elle a été appliquée, un contrôle suffisant de la charge en fruits.

6. *Élimination des hôtes alternatifs*

Plusieurs ennemis du pommier (insectes et maladies) peuvent se multiplier sur d'autres plantes situées à proximité. Lorsque ces hôtes alternatifs sont négligés ou qu'ils poussent à l'état sauvage, ils peuvent devenir des réservoirs inépuisables de ces ennemis et augmenter la pression sur la culture à proximité, créant un besoin accru en pesticides. L'élimination des hôtes alternatifs s'impose alors, en vertu de la Loi (Légis Québec, 2022). Les plantes suivantes peuvent être soumises à cette mesure en raison des ennemis du pommier qu'ils peuvent favoriser :

Tableau 1. Liste des hôtes alternatifs des ennemis du pommier

Plantes	Ennemis
Framboisier	Feu bactérien, suie-moucheture,
Poirier	Feu bactérien, saperde, puceron lanigère
Amélanchier	Feu bactérien, suie-moucheture
Sorbier	Feu bactérien, saperde, sésie, cochenilles, puceron lanigère
Aubépine	Feu bactérien, suie-moucheture, saperde, cochenilles, puceron lanigère, mouche de la pomme
Pommier	Feu bactérien, saperde, mouche de la pomme, carpocapse, charançon de la prune, tavelure, sésie, cochenilles, tordeuse à bandes obliques
Pometier	Hoplocampe, mouche de la pomme, charançon de la prune, tavelure, carpocapse, feu bactérien, sésie, cochenilles
Prunus (cerisier et prunier sauvage/cultivé)	Hoplocampe, charançon de la prune, tordeuse à bandes obliques
Genévrier	Rouilles
Cornouiller	Sésie

Lorsqu'un producteur agricole constate la présence d'un foyer d'infestation par un organisme nuisible règlementé pouvant causer des préjudices à sa production, il peut déposer une plainte en vertu de cette loi.

7. *Introduction d'acariens prédateurs*

Il existe plusieurs acariens prédateurs naturellement présents dans les vergers, tels que des phytoséiides, stigmaéides, etc. Il arrive malheureusement que les populations de prédateurs d'acariens disparaissent soudainement de certains blocs de vergers, soit en raison de l'application d'un pesticide qui leur est toxique, soit en raison de l'absence des acariens phytophages et autres bestioles qui leur servent de nourriture. La réintroduction de prédateurs dans ces zones est possible, en transférant du bois de taille d'été ou simplement

des feuilles de pommiers à partir de vergers sources (vergers qui abritent année après année des populations importantes d'acariens prédateurs). Des acariens prédateurs sont aussi disponibles commercialement au Québec pour lutter contre les tétranyques, mais la grande sensibilité des prédateurs d'élevage aux pesticides et leur coût d'achat limite actuellement leur utilisation. La protection des populations de prédateurs indigènes est toutefois fortement recommandée et profitable, puisqu'elle réduit grandement l'utilisation d'acaricides pour lutter contre les acariens phytophages. Lors de l'introduction de prédateurs d'un verger source, il importe de connaître le programme de protection utilisé dans le verger en question, et d'être prudent lors de l'application de pesticides ne figurant pas au programme, et réputés toxiques aux acariens prédateurs (voir section suivante). En effet, les prédateurs peuvent avoir acquis une résistance aux pesticides auxquels ils ont été exposés, mais pas nécessairement aux autres (Morin et al., 2014b).

Dans le cadre du projet, des introductions d'acariens prédateurs à partir de bois de taille ont été effectuées dans les parcelles à moindres risques dans quatre des cinq sites, soit les sites 2 et 4 (en 2018, 2019 et 2021), le site 3 (en 2018 et 2021) et le site 5 (en 2018). En vue de chaque introduction, des dépistages par brossage de feuilles ont été effectués au sein de différents vergers en Montérégie afin de sélectionner celui permettant de fournir qualitativement (nombre d'espèces) et quantitativement (nombre de formes mobiles par feuille) la meilleure option de leur introduction dans les vergers hôtes. Les prédateurs introduits (estimés à 22400 à 26000 par site par année) étaient principalement des phytoséiides et des stigmaéides, dans un rapport variant de 95:5 à 65:35 selon les années. Une quantité égale de branches venant du bois de taille (400 à 2000 selon l'année) a été dispersée dans chaque parcelle à moindres risques, à raison de trois à dix branches par pommier, en insérant directement le bois de taille dans le feuillage. La liste des pesticides utilisés dans les vergers réservoirs au cours des cinq années précédant l'introduction a été fournie aux producteurs des vergers hôtes. Le dépistage des acariens prédateurs et phytophages a été effectué à différentes reprises suite aux introductions. Ces résultats ainsi que la régie utilisée pour la lutte aux acariens dans les différents sites où des introductions ont été réalisées sont présentés dans la section *Étude de cas et focus sur deux pratiques à moindres risques*.

8. *Interdiction de produits toxiques aux acariens prédateurs*

Il est démontré scientifiquement et reconnu par l'ensemble des experts en pomiculture que l'utilisation de produits antiparasitaires à large spectre est responsable d'à peu près toutes les applications d'acaricides en vergers, en raison de leur toxicité envers les prédateurs d'acariens (Provost et al., 2003). Les pyréthriinoïdes de synthèse, par exemple, sont hautement toxiques aux phytoséiides (et à la quasi-totalité des espèces utiles). L'application de tels produits (si absolument nécessaire) doit être faite tôt en saison, avant que les phytoséiides ne soient présents sur le feuillage. En évitant toute application de pesticides toxiques aux acariens prédateurs – ou en se limitant à une seule application avant la floraison - on s'évite généralement une sinon deux applications acaricides estivales, lesquelles peuvent avoir un coût économique, et un impact environnemental important. Les pesticides à utiliser en période post-florale doivent impérativement être choisis en regard de leur toxicité envers les prédateurs présents dans le verger, laquelle peut être consultée facilement sur le web ou sur les affiches produites par le Réseau-pommier (Chouinard et al., 2014a).

9. *Paillis de bois raméal fragmenté et apport azoté*

Les paillis sont efficaces pour enrayer à court terme (1-3 ans) et à moyen terme (3-5 ans) la croissance des mauvaises herbes de manière non sélective, et ainsi réduire l'utilisation d'herbicides chimiques néfastes pour la santé et l'environnement. Les paillis ont également d'autres avantages, tels que le contrôle de l'évaporation de l'eau du sol menant à la diminution des besoins en irrigation. De plus, un paillis organique, comme c'est le cas du paillis de bois raméal fragmenté, enrichit le sol de matière organique, diminue la température du sol en été et protège partiellement les racines du gel en hiver. Avec l'utilisation de paillis, la population de campagnols des champs doit cependant être surveillée étroitement, car ces petits mammifères utilisent le paillis comme abri et peuvent plus facilement se nourrir de l'écorce du tronc des pommiers à proximité. De plus, les paillis organiques peuvent nécessiter des applications d'azote pour permettre leur décomposition, car sans application d'azote, ils peuvent affecter de manière négative la disponibilité en azote pour la culture (Cormier et al., 2014). Dans le projet, seul le site 4 a appliqué du paillis de bois raméal fragmenté (en 2019). Pour des raisons diverses, cette technique a été difficilement adoptée sur les sites. En soi, les problématiques d'adoption et d'intégration étaient liées à la disponibilité de main-d'œuvre, à l'accès aux machineries spécialisées pour faciliter l'épandage et à l'achat de la matière première. En effet, un des inconvénients majeurs du paillis de bois raméal fragmenté est son coût élevé. Une option pour limiter ces coûts serait d'avoir accès à une source de copeaux de bois peu dispendieuse, par exemple les résidus d'élagage municipaux, ou de les produire soi-même directement sur place en déchiquetant les résidus de taille des pommiers ou autres branches (Boyer, 2021).



Figure 2. Paillis de bois raméal fragmenté en verger (Source : G. Peck, Cornell CALS).

10. Pratiques visant à éviter la croissance rapide en été

La croissance rapide et excessive du feuillage comporte de nombreux inconvénients (mauvaise coloration des fruits, sensibilité au feu bactérien), mais favorise aussi la prolifération des pucerons, acariens, cicadelles et autres ravageurs s'alimentant de la sève, laquelle est plus facilement disponible dans les tissus mous de la jeune pousse. Parmi les pratiques favorisant cette croissance rapide et donc à proscrire pendant l'été, la fertilisation foliaire azotée est la plus importante. Il importe aussi d'éviter les applications estivales de calcium sous la forme de nitrates, lesquelles constituent aussi un apport azoté, et de favoriser le chlorure de calcium (Philion et Barriault, 2018).

Suivi

11. Modèle prévisionnel RIMpro

RIMpro est un outil de prévision et de gestion de la tavelure du pommier et du feu bactérien basé sur des données et des prévisions météorologiques qui permet aux producteurs d'optimiser la protection des pommiers contre les infections (Philion et Trapman, 2005). Cet outil modélise les éjections d'ascospores conduisant ou non à des risques d'infection et identifie, quantifie et cible précisément les périodes à risques et celles pour optimiser l'efficacité des traitements. L'interface RIMpro tient aussi compte des caractéristiques propres au verger qui peuvent influencer les facteurs abiotiques. Si le verger en question

n'a pas de station météorologique, les prévisions seront alors estimées via la station météorologique la plus près (<https://www.agrireseau.net/rap/documents/76081>).

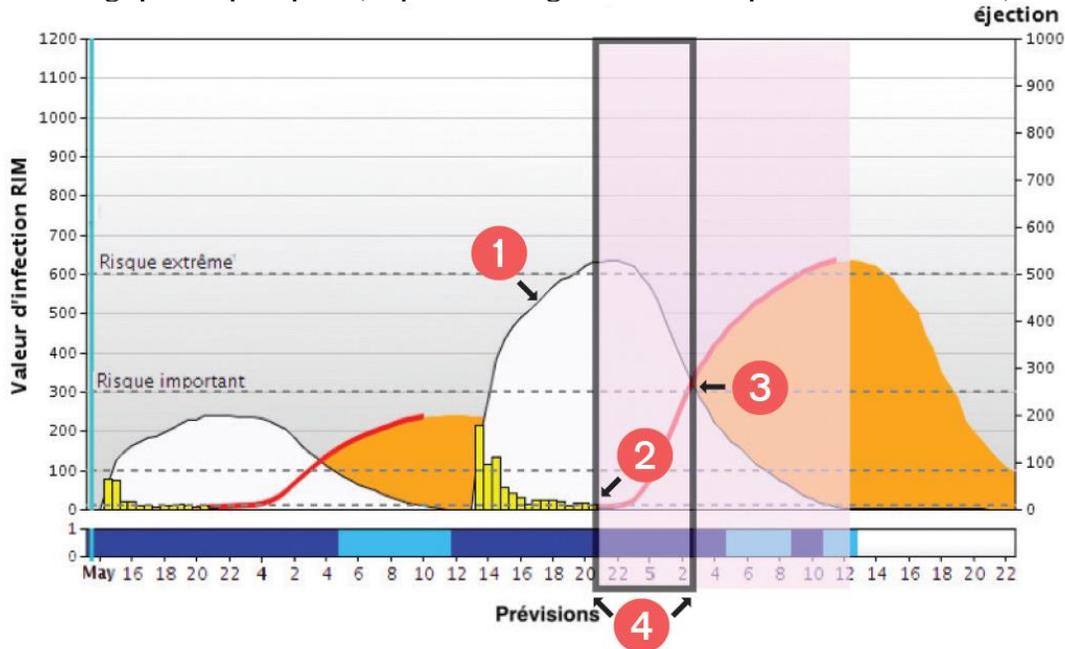


Figure 3. Exemple de prévision d'infection à la tavelure provenant du modèle prévisionnel RIMpro.

12. Modèle prévisionnel et interactif du carpocapse (modèle Agropomme)

Les populations de carpocapse peuvent être difficiles à contrôler, car les œufs éclosent sur une longue période et la résistance aux insecticides est une réalité même au Québec. Chaque période d'intervention « propice » a une date de début, mais aussi une durée qui peut être très longue dans le cas du carpocapse. Ainsi, l'éclosion des œufs de la première génération s'étale habituellement sur sept semaines en Montérégie. Afin de réduire au maximum le nombre d'interventions nécessaires contre ce ravageur, il importe donc de maximiser la durée d'action de chaque application et de ne pas commencer les interventions dès le tout début d'une période propice, toujours en tenant compte du produit utilisé et de la météo. Un excellent outil pour y parvenir est le modèle Agropomme, lequel comporte un volet interactif permettant de simuler l'efficacité d'un traitement en fonction du produit et du moment choisi, et de visualiser puis comparer les prédictions sur le développement subséquent des populations (voir l'exemple ci-après).

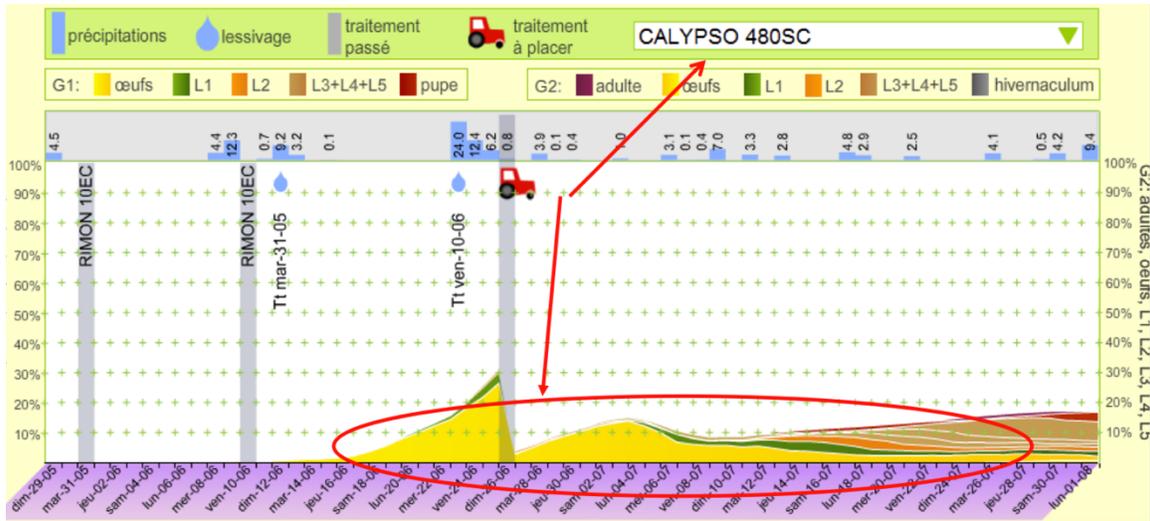


Figure 4. Exemple de prédiction provenant du modèle prévisionnel et interactif du carpocapse d'Agropomme.

13. Dépistage (sphères rouges engluées et observations visuelles) avec seuil d'intervention

En général, les méthodes de dépistage assurent d'être en présence d'un nombre suffisant de ravageurs pour justifier une intervention phytosanitaire. Le piégeage ou l'observation visuelle sur pommier permettent de détecter la présence des ravageurs et de déterminer leur importance avant que le problème ne prenne trop d'ampleur. C'est une méthode rentable et qui minimise les risques sur l'environnement, car elle permet d'éviter des traitements qui ne sont pas nécessaires. De plus, le dépistage permet de mieux connaître les différentes sections du verger. À noter que les seuils d'intervention proposés doivent être considérés uniquement comme des guides pour la prise de décision et ils ne sont valides que dans les situations les plus couramment rencontrées. Ainsi, ces outils ne sont pas garantis de précision pour toutes les années et dans toutes les situations et il existe une variabilité liée à l'emplacement où le dépistage est effectué, que ce soit par rapport à des variétés plus attractives ou à une mauvaise installation de pièges (Chouinard et al., 2014d).

Les sphères rouges sont une méthode de dépistage qui vise à mieux cibler les besoins de traitements contre la mouche de la pomme et ainsi limiter le nombre de traitements contre ce ravageur. Ces sphères ressemblant à une pomme sont engluées et sont installées dans le verger vers la fin du mois de juin, soit lorsque les adultes commencent à émerger. Ces pièges attirent les adultes prêts à s'accoupler et les femelles prêtes à pondre. Il faut prévoir une sphère par section de deux hectares et minimalement quatre sphères par verger, installées au pourtour près des boisés. Les relevés doivent s'effectuer une fois par semaine jusqu'à la récolte et le seuil d'intervention varie de 1 à 5 mouches par piège selon le marché et l'avancement de la saison (Chouinard et Morin, 2014).



Figure 5. Sphère rouge engluée pour le dépistage de la mouche de la pomme (Source : IRDA).

Les observations visuelles permettent de déceler la présence d'un grand nombre d'insectes et d'acariens et d'apprécier leurs densités de population afin de mieux cibler les interventions. Ce genre de dépistage est utilisé pour les ravageurs difficiles ou impossibles à piéger (ex. : charançon de la prune, cicadelles, pucerons, tétranyques, ériophyides) ou encore lorsque les populations du ravageur sont préférablement mesurées de façon plus directe, sur le pommier plutôt que par piège (ex. : chenilles). On peut observer le ravageur lui-même ou encore ses manifestations (symptômes ou dégâts) sur le bois, le feuillage et/ou les fruits. Dans la plupart des cas, le dépistage s'effectue sans retirer aucune partie de l'arbre. Toutefois, dans le cas de ravageurs de très petite taille (ériophyides) ou de ravageurs dissimulés à l'intérieur des tissus (larves de mineuse, de carpocapse, *etc.*), il est parfois nécessaire de récolter un certain nombre de feuilles, de bourgeons ou d'autres organes afin de les examiner de façon plus minutieuse avec une loupe de poche ou une loupe binoculaire (Chouinard et al., 2014c).



Figure 6. Observation visuelle d'une pomme pour dépister des ravageurs ou des dégâts (Source : IRDA).

Interventions

14. Désherbage mécanique

Important à faire surtout pour les jeunes pommiers, qui n'ont pas un système racinaire très développé et qui ne peuvent pas faire compétition avec les mauvaises herbes avoisinantes pour l'eau et les minéraux. Le désherbage mécanique remplace l'utilisation d'herbicides chimiques comme le glyphosate, qui peut être néfaste pour la santé et l'environnement. De plus, certains herbicides présentent des risques de phytotoxicité, principalement chez les jeunes arbres. En utilisant régulièrement des herbicides chimiques, il y a un risque de résistance pour plusieurs matières actives / espèces de mauvaises herbes. Le désherbage mécanique peut apparaître plus coûteux à court terme, considérant la machinerie nécessaire pour effectuer le travail, et aussi plus long à effectuer que l'application d'herbicides. Bien qu'il soit sans danger pour les racines et les troncs des pommiers, les cultivars à branches tombantes (ex. : Cortland) sont difficiles à désherber sans endommager leurs fruits ou leurs branches. Pour éviter des dommages aux arbres, il faut prévoir une bonne taille avant de passer avec le désherbeur. De plus, cette méthode n'est pas adaptée à tous les types de plantation (canopée large, racine aérienne, porte-greffe surdimensionné) et il faut s'assurer de ne pas abîmer le système d'irrigation, qui se trouve souvent au sol au pied des arbres (Chouinard, 2023).

Dans le cadre du projet, le désherbeur mécanique a été efficace seulement pour le site 1. Après plusieurs essais et configurations dans les autres sites, un constat de limitation dans l'utilisation du désherbeur mécanique a été observé. Les largeurs de canopée, les différents types de sols, les types de porte-greffes, les systèmes d'irrigation au sol ainsi que les variétés de mauvaises herbes ont grandement modulé les résultats de désherbage. Les résultats ont été obtenus pour le site 1 ont été favorables quatre années sur les cinq. Jumelé à l'application d'un herbicide antigerminatif et au passage du broyeur à feuilles tôt en début de saison, le désherbeur mécanique a toutefois permis de bien contrôler la pression des

mauvaises herbes sur ce site. Du mois de mai à août, un passage mensuel a été suffisant pour contenir la croissance des mauvaises herbes. En dernière année, l'utilisation unique d'un désherbeur mécanique n'a pas été suffisant, l'application localisée d'herbicide chimique a été intégrée dans la parcelle à moindres risques pour contenir certaines espèces (ex : chénopode blanc, chiendent commun, amarante et vigne sauvage).

Pour des informations additionnelles concernant le désherbeur mécanique, une capsule vidéo a été diffusée sur la chaîne YouTube de l'IRDA:
<https://www.youtube.com/watch?v=b8FV7PIzgRU&t>



Figure 7. Désherbeur mécanique (Source : IRDA).

15. Interdiction de fongicides à haut IRPEQ

Le nombre moyen de pulvérisations faites annuellement contre les maladies dans les vergers pilotes du Réseau-pommier s'est élevé à 15.2 durant la période 2002-2018, loin devant les insecticides (4.2) et les acaricides (1.4) (Chouinard et al., 2021). Ces applications étaient en quasi-totalité des fongicides. Étant donné le caractère répétitif des applications fongicides, leur contribution aux impacts santé et environnement des programmes de lutte aux ravageurs peut être important. Lorsque des choix sont possibles parmi les outils homologués, la sélection de produits à plus faible impact (ou l'interdiction de produits à fort impact) peut permettre des gains appréciables à cet égard. Remplacer une application de fluaziname par une application de captane peut par exemple réduire de moitié l'impact sur la santé ou sur l'environnement d'une intervention contre la tavelure; et si elle est remplacée par du bicarbonate de potassium, la réduction sera dix fois plus importante.

16. Bicarbonate de potassium (B2K) et soufre

Le bicarbonate de potassium (B2K) est utilisé pour réprimer la tavelure du pommier pendant la période des infections primaires. En combinant le B2K avec le soufre, les applications faites au début de l'infection, soit quelques heures après la pluie, sont encore plus efficaces pour freiner les infections de tavelure. Le mélange B2K et soufre peut être

aussi efficace que le captane (ex. SUPRA CAPTAN) lorsque la pression de maladie n'est pas trop forte, lorsque le niveau d'inoculum a été préalablement diminué avec un broyeur à feuilles par exemple et lorsque l'intervention a été faite au bon moment en se basant sur des modèles prévisionnels tels que RIMpro (Philion et Joubert, 2015).

En plus d'être très efficace, ce produit est très sécuritaire pour la santé et pour l'environnement et il est peu coûteux. Cependant, l'utilisation intensive du B2K avec le soufre comme seule stratégie pour réprimer la tavelure ne suffit pas toujours pour maintenir cette maladie à des niveaux commercialement acceptables. En effet, la logistique de traitement peut être compliquée. Ainsi, il peut arriver que la fenêtre d'application soit trop courte pour la superficie à traiter, comparativement au captane par exemple, qui peut être utilisé en prévention ou encore au pyriméthanyl (ex. SCALA) qui peut être plus efficace comme traitement tardif en post infection. De plus, puisque le B2K est très facilement lessivé par la pluie, le moment d'application est crucial. Ainsi, les producteurs peuvent privilégier l'utilisation d'autres fongicides préventifs si les risques d'infection sont extrêmes (Barriault, 2020). Les producteurs participants au projet ont graduellement augmenté leur utilisation de B2K d'année en année et ont adopté cette technique dans leur traitement contre la tavelure. En moyenne, cinq applications annuelles de B2K avec soufre ont été effectuées dans chacun des sites.

Pour des informations additionnelles concernant le bicarbonate de potassium, une capsule vidéo a été diffusée sur la chaîne YouTube de l'IRDA:

<https://www.youtube.com/watch?v=NjO8oL0yuc&t>

17. Lutte attracticide au GF-120

Dans les vergers du Québec, le GF-120 est utilisé pour combattre la mouche de la pomme, un ravageur dont la larve creuse des sillons brunâtres dans la chair de la pomme. Le GF-120 est un mélange d'insecticide (spinosad) et d'un appât alimentaire qui ressemble à de la mélasse. Le mélange contient seulement une très petite dose d'insecticide et il est appliqué en très petites quantités, car l'appât attire les mouches vers les gouttelettes de produit sur le feuillage et les incite à s'en nourrir, l'insecticide les tuant alors facilement. Un applicateur dédié est le plus souvent utilisé afin de générer de grosses gouttelettes et de les distribuer de façon non uniforme pour garantir l'efficacité de la lutte attracticide (contrairement aux pulvérisations classiques). Ces applicateurs sont construits sur mesure avec une pompe, un réservoir et des buses, le tout monté sur un VTT. L'applicateur et les buses doivent être réglés pour déposer des gouttelettes de grand diamètre (jusqu'à 5 mm de diamètre une fois étalées) et une quantité de bouillie ne dépassant pas 10 litres par hectare (Chouinard, 2020a).

Cette technique a fait ses preuves mondialement (Pelz et al., 2005 ; Yee, 2007), mais elle comporte un inconvénient : le GF-120 nécessite d'être appliqué plusieurs fois par saison (jusqu'à 10 applications par saison), car il est facilement délavé par la pluie. Cependant, il existe plusieurs avantages à cette méthode: 1) elle permet de réduire les indices de risques (jusqu'à 58% de réduction pour l'impact sur l'environnement et 97% de réduction pour l'impact sur la santé) par rapport aux traitements conventionnels au phosmet (ex. IMIDAN) ; 2) le traitement s'applique très rapidement à l'aide d'un VTT et il n'est donc

pas nécessaire de sortir le tracteur et le pulvérisateur à verger ; 3) il n'y a aucun délai avant récolte ni de délai de réentrée (une fois les résidus séchés); 4) ce produit est accepté en régie biologique. Tous les producteurs participants au projet ont été très satisfaits des résultats par suite des applications du GF-120, ont fait l'achat de l'équipement nécessaire pour les traitements et veulent implanter cette technique dans leur verger pour le contrôle de la mouche de la pomme.

En moyenne cinq applications annuelles ont été effectuées par site (une à douze selon le site et la saison). Le court délai de réentrée, la facilité d'application et le bon contrôle de la mouche de la pomme sont des arguments récurrents qui ont été entendus dans les cinq sites et qui expliquent l'adoption unanime de la technique par tous les participants.

Pour des informations additionnelles concernant le GF-120, une capsule vidéo a été diffusée sur la chaîne YouTube de l'IRDA:

<https://www.youtube.com/watch?v=tdGCO3rC7uQ>



Figure 8. Applicateur à GF-120 avec une pompe, un réservoir et des buses montés sur un VTT (Source : IRDA).

18. Levure antagoniste Aureobasidium pullulans (BLOSSOM PROTECT)

En production biologique ou dans les vergers désirant utiliser des produits à moindres risques, l'utilisation de ce produit est la meilleure option pour réduire les risques d'infections florales par le feu bactérien. Cet agent de lutte biologique est une levure noire

qui s'utilise en pulvérisation comme un pesticide classique (Philion, 2014a). Dans le cadre de ce projet, l'utilisation du produit était recommandée uniquement sur les infections de faible sévérité selon RIMpro.

19. *Prohexadione de calcium (APOGEE)*

Ce régulateur de croissance est normalement utilisé pour atténuer la croissance végétative des arbres, mais il s'avère par le fait même très efficace pour réduire l'apparition de feu bactérien sur les pousses. Il n'empêche pas les infections sur fleurs, mais limite énormément la progression de la maladie en cours d'été en provoquant l'augmentation de l'épaisseur des cellules, ce qui empêche l'entrée des bactéries dans la pousse. Il ne peut pas se substituer entièrement aux antibiotiques ou au *Aureobasidium pullulans* dans les vergers les plus à risque, mais il peut être intégré dans une stratégie de combinaison avec les autres méthodes de lutte, pour les cas les plus problématiques ou assurer une sécurité supplémentaire contre la maladie dans les vergers moins à risque (Philion, 2014c).

20. *Confusion sexuelle du carpocapse*

Dans un environnement saturé en phéromone sexuelle, les carpocapses mâles ont de la difficulté à retrouver les femelles, ce qui réduit les accouplements et donc la descendance (les larves causant les dommages aux pommes). La phéromone est relâchée dans le verger à l'aide de diffuseurs installés dans le haut des arbres.

L'utilisation de la confusion sexuelle pour lutter contre le carpocapse de la pomme permet de réduire le nombre d'applications d'insecticide dans les vergers et donc les risques pour l'environnement et la santé. Cette méthode peut être utilisée peu importe les conditions météorologiques et elle nécessite une seule application (installation), qui va agir durant toute la saison. Cependant, bien que cette installation soit simple et peu coûteuse, le temps de pose est important, soit environ 3 heures par hectare pour une personne. De plus, dans les vergers où les rangs de pommiers sont très espacés, cette méthode peut s'avérer moins efficace et le producteur peut alors préférer se tourner vers une autre méthode à moindres risques, telle que l'utilisation du virus de la granulose. Finalement, des traitements insecticides peuvent être nécessaires si la population de carpocapse de la pomme est trop élevée (Charbonneau, 2019).

Tous les sites (à l'exception du site 2) ont été sous confusion sexuelle durant les cinq années du projet incluant dans la parcelle conventionnelle, et devant les excellents résultats obtenus quant à l'efficacité de cette technique contre le carpocapse de la pomme, ils ont tous adopté cette technique par la suite pour leur verger. Le site 2 a tenté d'adopter cette technique en 2018, mais a dû cesser son utilisation, ce verger ayant des caractéristiques qui rendaient la confusion sexuelle inefficace, notamment la présence de vents dominants, la topographie du verger (en pente) et le manque d'homogénéité de la plantation.



Figure 9. Diffuseur à phéromone sexuelle installé sur un pommier pour lutter contre le carpocapse de la pomme (Source : Francine Pelletier).

21. Huile suivie d'acaricides « verts » en rotation

La lutte aux acariens peut s'avérer un défi de taille dans les vergers commerciaux, notamment en absence d'acariens prédateurs (voir plus haut) ou en présence de tétranyques ayant développé de la résistance aux acaricides. À cet égard, les avantages à utiliser l'huile sont nombreux, car si les tétranyques rouges acquièrent rapidement de la résistance aux acaricides chimiques, l'huile ne pose pas de problèmes de résistance. Elle a une efficacité redoutable contre le tétranyque rouge si elle est appliquée avant ou pendant l'éclosion des œufs. L'application doit toutefois être effectuée dans de bonnes conditions météo, entre les stades débourrement avancé et pré-bouton rose.

L'huile réprime très efficacement les œufs de tétranyque rouge, mais aussi d'autres ravageurs comme les cochenilles (cochenille de San José, cochenille ostréiforme et cochenille virgule) et le puceron rose, des insectes qui sont en recrudescence dans les vergers qui n'en reçoivent pas (Morin et Chouinard, 2014).

22. Pulvérisation à distribution d'air optimisée (AirCheck)

Les pulvérisateurs à jet porté conventionnels utilisés en pomiculture sont munis de ventilateurs de type « axial » et projettent la bouillie de pulvérisation avec un jet d'air orienté le long du rayon d'une portion d'un arc de cercle. Cette géométrie provoque des pertes au sol et une dérive en hauteur lorsque la puissance du jet est trop grande, car ils sont souvent opérés à pleine puissance pour tenter de pallier la conception déficiente et au sous-dosage. Or, des pulvérisateurs à distribution d'air optimisée de type « AirCheck » avec une géométrie de la distribution de l'air horizontale peuvent permettre d'optimiser la pulvérisation sur les arbres tout en diminuant la dérive hors cible. Dans le cadre du projet, les pulvérisateurs utilisés comportaient 18 buses, dont 14 buses Albus ATR 80 lilas qui projettent 0.50 L/minutes à 10 bar ainsi que quatre buses anti-dérive Lechler IDK 90-01C qui projettent 0.72 L/minutes à 10 bar.

La certification AirCheck des pulvérisateurs assure à son propriétaire plusieurs caractéristiques avantageuses, telles que : 1) une réduction de la bouillie nécessaire, qui

entraîne 2) une diminution des pertes de temps pour aller remplir la cuve; 3) la réduction de la dérive, qui entraîne une réduction des impacts santé et environnementaux; 4) une amélioration de la qualité de la couverture, qui entraîne une amélioration de l'efficacité des traitements; 5) une meilleure efficacité énergétique, qui permet des économies en carburant ; 6) une baisse considérable du bruit lors des pulvérisations; 7) selon la densité des vergers, une réduction de la dose utilisée et une réduction du temps de travail. Dans certains vergers, la hauteur des arbres peut s'avérer être une limitation et la certification doit être ajustée aux contraintes du verger (Philion, 2020).



Figure 10. Pulvérisateur Wanner certifié AirCheck (Source : IRDA).

Pour tous les sites, le réglage des buses du pulvérisateur AirCheck dans la parcelle à moindres risques a permis la réduction de la quantité d'eau appliquée lors des pulvérisations au cours de la saison. En effet, une meilleure distribution de la bouillie a permis de diminuer la quantité d'eau lors de l'application, tout en permettant une meilleure répartition des gouttelettes sur les feuilles, limitant ainsi les pertes liées à la dérive.

Sur une moyenne de cinq années, l'économie d'eau engendrée par le réglage des buses a varié selon les sites, allant de 15% à 45% d'eau en moins dans la parcelle à moindres risques, comparativement à la parcelle conventionnelle, et ce, même si le nombre de passages a été supérieur dans la parcelle à moindres risques pour la majorité des sites. La faible différence pour certains sites peut être expliquée par la différence de réglages entre les pulvérisateurs utilisés dans les deux régions, puisque certains producteurs utilisaient déjà un volume d'eau faible dans la parcelle conventionnelle (Tableau 2).

Pour des informations additionnelles concernant le pulvérisateur à distribution d'air optimisée, une capsule vidéo a été diffusée sur la chaîne YouTube de l'IRDA:

<https://www.youtube.com/watch?v=mOq6sLSyqAQ&t>

Tableau 2. Quantité d'eau (L) utilisée dans les différents sites en fonction des années et par type de parcelle. La différence absolue et le pourcentage de variation de la quantité d'eau qui a été utilisée lors des applications ont été calculés annuellement par site (nombre d'applications entre parenthèses).

Site	Année	Conventionnelle (L)	Moindres risques (L)	Différence absolue (L)	variation (%)
1	2018	12724 (15)	12521 (22)	-203 (-7)	-2
	2019	13600 (20)	6103 (26)	-7497 (-6)	-55
	2020	9604 (15)	5344 (29)	-4261 (-14)	-44
	2021	8942 (17)	3165 (22)	-5777 (-5)	-65
	2022	11322 (22)	5253 (25)	-6069 (-3)	-54
	Moyenne	11238 (18)	6477 (25)	-4761 (-7)	-42
2	2018	3944 (19)	1921 (23)	-2023 (-4)	-51
	2019	4500 (15)	2565 (19)	-1935 (-4)	-43
	2020	3349 (17)	2295 (25)	-1054 (-8)	-31
	2021	2274 (10)	1426 (12)	-848 (-2)	-37
	2022	3509 (17)	1516 (13)	-1993 (4)	-57
	Moyenne	3515 (16)	1945 (18)	-1570 (-2)	-45
3	2018	13658 (23)	8020 (26)	-5639 (-3)	-41
	2019	14472 (26)	8925 (31)	-5548 (-5)	-38
	2020	18550 (30)	10969 (33)	-7581 (-3)	-41
	2021	17256 (29)	9929 (33)	-7327 (-4)	-42
	2022	19314 (32)	11601 (37)	-7713 (-5)	-40
	Moyenne	16650 (28)	9889 (32)	-6761 (-4)	-41
4	2018	8890 (28)	8283 (27)	-608 (1)	-7
	2019	6826 (37)	6520 (32)	-306 (5)	-4
	2020	5027 (21)	3737 (18)	-1290 (3)	-26
	2021	7810 (25)	6581 (21)	-1229 (4)	-16
	2022	6539 (30)	4674 (23)	-1865 (7)	-29
	Moyenne	7018 (28)	5959 (24)	-1060 (4)	-15
5	2018	8500 (25)	5379 (30)	-3121 (-5)	-37
	2019	9758 (41)	6792 (45)	-2966 (-4)	-30
	2020	14180 (35)	8615 (52)	-5565 (-17)	-39
	2021	6470 (25)	4479 (24)	-1991 (1)	-31
	2022	8479 (26)	5459 (26)	-3020 (0)	-36
	Moyenne	9477 (30)	6145 (35)	-3333 (-5)	-35

23. Filets anti-insecte contre l'ensemble des ravageurs

La technique d'exclusion par filets consiste à déployer sur les pommiers des filets à maillage serré, afin de former une barrière physique contre les insectes ravageurs, et ce dans le but de cesser les traitements phytosanitaires contre les insectes et les acariens. Les filets permettent non seulement d'empêcher les insectes ravageurs d'accéder aux pommiers, mais aussi de baisser les populations d'insectes qui se trouvent (ou auraient pu entrer) à l'intérieur, en les empêchant de compléter leur cycle de développement. Les filets offrent aussi une protection contre la grêle, les oiseaux et certains mammifères. De plus, en l'absence d'insecticides, ils permettent aux acariens prédateurs de se multiplier et de lutter efficacement contre les acariens phytophages, réduisant à zéro le besoin en acaricides (Chouinard et al., 2017).

Le choix des filets est primordial, car la dimension des mailles est critique pour assurer l'exclusion des ravageurs clés. Il faut idéalement des mailles assez petites pour empêcher les ravageurs d'entrer, mais pas trop afin que le filet ne soit pas trop lourd, que son emprise dans le vent ne soit pas trop importante et qu'il ne coûte pas inutilement plus cher. De plus, des mailles de bonnes dimensions sont préférables pour permettre aux insectes bénéfiques (prédateurs et parasitoïdes) d'entrer et de se développer ensuite sous les filets puisqu'aucun insecticide ne sera appliqué. Il est aussi important d'avoir une bonne structure (poteaux et câbles) pour soutenir les filets afin d'éviter les bris et pour que le système soit pleinement efficace. De plus, puisque l'objectif est idéalement de cesser toute application de pesticides, il est préférable de choisir des cultivars résistants aux maladies (ou très tolérants, tel que la Honeycrisp face à la tavelure). Les filets sont installés le plus tôt possible en début de saison et demeurent fermés jusqu'au moment de la récolte, sauf en période de floraison pour permettre la pollinisation, ou lors des opérations pour la taille, l'éclaircissage manuel et les interventions phytosanitaires d'urgence si elles ne peuvent s'effectuer à travers le filet (Lacroix, 2020). Bien que les filets aient plusieurs avantages quant à la réduction des pesticides, l'ouverture et la fermeture des filets peuvent représenter un travail fastidieux et l'achat et l'installation (filet et structure), représenter un coût élevé. Les filets ont cependant une durée de vie d'au minimum 10 ans, la structure peut être la même que celle utilisée pour soutenir les pommiers et il existe des subventions et des programmes gouvernementaux pour tous producteurs voulant se tourner vers des méthodes à moindres risques, pouvant ainsi couvrir en partie les coûts nécessaires (Chouinard, 2021).

Dans le cadre de ce projet, les structures de soutien des filets ont été fabriquées sur mesure en fonction des largeurs de canopée propre à chacun des sites ayant utilisé cette technique. Les installations structurales ont été effectuées à la fin de la saison 2018. Les filets ont été installés et déployés au début de la saison 2019 dans les sites 1, 3 et 4. Les données ont été colligées de 2019 à 2022 pour les sites 1 et 3. Pour le site 4, dû à un épisode de vent destructeur lors de la récolte, seulement les observations de l'année 2019 ont été colligées. Étant donné l'exposition de cette parcelle au vent dominant et le manque de main-d'œuvre (2020 à 2022), le filet n'a pas été réinstallé dans cette vitrine. De façon générale, le temps lié aux manipulations des filets (ouverture, fermeture, réparations) a été une contrainte majeure à l'adoption des filets d'exclusion. Cependant, le retrait de la majorité des traitements phytosanitaires (insecticides et fongicides) dans les parcelles sous filets a permis des gains majeurs sur les indices de risques (non comptabilisés dans ce rapport).

De plus, les filets ont permis de réduire les dommages attribués à des épisodes de grêles, de diminuer les dommages de ravageurs sans compromettre la qualité et le rendement des fruits. Les résultats détaillés sont présentés dans la section *Étude de cas et focus sur deux pratiques à moindres risques*.

Pour des informations additionnelles concernant les filets anti-insecte, une capsule vidéo a été diffusée sur la chaîne YouTube de l'IRDA:

<https://www.youtube.com/watch?v=Ek8HXF136ZE>



Figure 11. Filet anti-insecte installé sur un monorang de pommiers (Source : IRDA).

Études de cas et focus sur deux pratiques à moindres risques

Cette section présente, pour chacun des sites, les données colligées au niveau de l’empreinte environnementale et sur la santé associée aux interventions phytosanitaires effectuées dans les parcelles conventionnelles et à moindres risques. Les coûts directs des applications sont également présentés ainsi que les données sur la qualité de la récolte (dommages sur fruits, calibre et rendement) lorsque disponibles. L’ensemble de ces éléments font d’abord l’objet d’une analyse globale pour l’ensemble de la durée du projet (analyse quinquennale) puis d’une analyse plus détaillée par année ou par type de produit.

Pour simplifier la présentation des résultats intégrés au rapport, seules les principales catégories de produits couramment utilisées dans une régie phytosanitaire en verger de pommiers ont été analysées : les répresseurs de maladies du pommier (fongicides et bactéricides), les répresseurs d’insectes et acariens (insecticides, acaricides et phéromones), les régulateurs (agents éclaircissants et autres régulateurs de croissance) et les répresseurs de mauvaises herbes (herbicides et désherbage mécanique).

Pour éviter de placer l’accent sur les régions pomicoles et pour éluder le biais de comparaisons entre les entreprises participantes, les résultats sont présentés sous forme d’études de cas. La thématique propre à chaque étude de cas a été basée sur l’observation générale des résultats intrinsèques à l’entreprise. Une analyse longitudinale du projet a permis de dégager des résultats liés à la régie phytosanitaire, à la variation des indices de risques, aux coûts d’applications, aux rendements et dommages sur fruits et également aux changements de pratiques observés sur cinq ans.

Parmi les 23 pratiques proposées, des données additionnelles ont été recueillies pour deux d’entre elles et sont présentées à la fin de cette section. Il s’agit des données récoltées dans les sites ayant utilisé la lutte par exclusion à l’aide de filets anti-insecte et dans les sites où des introductions d’acariens ont été réalisées.

Étude de cas 1 - Site misant sur l'introduction et l'adoption d'une régie fongique à faible IR

Analyse quinquennale – Impacts sur la santé, l'environnement, les coûts, le calibre des fruits et les dommages à la récolte

Ce site se démarque principalement par l'adoption de produits à moindres risques lors des interventions antifongiques. L'IRPest-S/ha associé aux fongicides de la parcelle sous régie conventionnelle s'est élevé en moyenne par année à 4139, comparativement à 2581 pour la parcelle sous régie à moindres risques, soit une diminution de 38 % (Annexe 9). L'IRPest-E/ha associé aux fongicides de la parcelle conventionnelle s'est quant à lui élevé en moyenne par année à 941, comparativement à 590 pour la parcelle à moindres risques, soit une réduction de 37% (Annexe 9). En tenant compte de l'ensemble des traitements phytosanitaires sur une période de cinq ans, l'adoption d'une régie à moindres risques a permis pour ce site de réduire de 40% les risques pour la santé et de 36% les risques pour l'environnement, tel que mesuré par l'IRPest/ha (Figure 12, Annexe 10). Les deux dernières années du projet se sont démarquées par une plus grande réduction des impacts sur la santé (60%) et les deux premières années par une grande réduction des impacts sur l'environnement (48%). Au niveau des coûts, une augmentation moyenne de 45% a été observée dans la parcelle à moindres risques (Figure 12, Annexe 10). Sur les cinq années, les applications effectuées dans la parcelle à moindres risques ont coûté en moyenne par année 577\$/ha de plus que celles effectuées dans la parcelle conventionnelle. Les insecticides à moindres risques ont été les principales applications responsables de cette augmentation. À l'inverse, la substitution de fongicides à indices de risques élevés par des matières actives à moindres risques a contribué à la diminution des coûts (Annexe 9).

En moyenne, pour les cinq années du projet, les calibres des fruits du cultivar Empire étaient très similaires entre les deux parcelles, tandis que pour la variété Spartan, les pommes provenant de la parcelle sous régie à moindres risques étaient de plus gros calibre que celles de la parcelle sous régie conventionnelle (Annexe 4).

Les insectes ont été la cause principale des dommages observés dans les deux types de parcelle (conventionnelle ou à moindres risques) et ce, peu importe le cultivar (Annexe 11). Les résultats moyens sur cinq ans indiquent aussi qu'une régie à moindres risques n'a pas d'impact négatif sur la qualité de la récolte et peuvent même réduire les dommages comparativement à la pratique conventionnelle.

Analyse détaillée – Impact sur la santé

La substitution du mancozèbe ou du métirame par le mélange bicarbonate de potassium et soufre ont efficacement réduit les indices de risques sur la santé. Par exemple, pour la saison 2019, sept applications de mancozèbe (IRPest-S/ha : 2352) et cinq applications de captane (IRPest-S/ha : 1430) ont à elles seules contribué à la majorité de l'indice de risque sur la santé dans la parcelle sous régie conventionnelle. Dans la parcelle à moindres risques, le remplacement de deux applications de mancozèbe et captane par un mélange bicarbonate et soufre (IRPest-S/ha : 40) a également permis de réduire l'impact sur la santé lors des années subséquentes. En 2021, six applications de métirame (IRPest-S/ha : 2616) ont été faites dans la parcelle conventionnelle, comparativement à deux applications de métirame

(IRPest-S/ha : 872) et quatre applications de bicarbonate de potassium et soufre (IRPest-S/ha : 65) dans la parcelle à moindres risques. Pour la dernière année (2022), un total de 11 applications de mancozèbe (IRPest-S/ha : 3569) a été fait dans la parcelle conventionnelle, comparativement à six applications de mancozèbe (IRPest-S/ha : 1512) et six applications de bicarbonate soufre (IRPest-S/ha : 100) dans la parcelle à moindres risques. L'adoption de produits fongiques à faible indice de risque dans la parcelle à moindres risques a ainsi permis d'atteindre une réduction, pour la dernière saison, de 53% des impacts sur la santé (IRPest-S/ha : diminution de 2133) (Annexe 9).

Ce site a également enregistré des réductions de l'indice de risque sur la santé au niveau des applications d'insecticides. Les matières actives telles que la lambda-cyhalothrine et le phosmet, majoritairement appliquées dans la parcelle conventionnelle, ont été délaissées dans la parcelle à moindres risques. Pour la parcelle conventionnelle, trois applications de phosmet (IRPest-S/ha : 889) et trois applications de lambda-cyhalothrine (IRPest-S/ha : 1318) ont été comptabilisées. La dernière saison a affiché la plus grande réduction des indices de risque sur la santé liés à l'application d'insecticides. Les applications d'insecticides dans la parcelle à moindres risques ont reposé principalement sur l'utilisation de trois applications d'attracticide à base de spinosad, (IRPest-S/ha : 15) qui ont remplacé les applications de phosmet. En somme, pour la dernière saison, les indices de risque sur la santé liés à l'utilisation d'insecticides ont diminué de 59% (IRPest-S/ha, parcelle conventionnelle : 1288 ; parcelle à moindres risques : 522) (Annexe 9).

Analyse détaillée – Impact sur l'environnement

Ce sont principalement les produits antifongiques utilisés dans les deux types de parcelles qui ont contribué aux différences observées au niveau des indices de risques sur l'environnement. L'utilisation de produits antifongiques à moindres risques a permis une réduction moyenne de 37% sur l'ensemble des années (IRPest-E/ha moyen par année : 940 pour la régie conventionnelle et 590 pour la régie à moindres risques). Lors de la première saison (2018), la substitution des produits antifongiques aux IRPest-E/ha élevés par des produits à moindres risques, tel que le mélange bicarbonate de potassium et soufre, a permis une réduction de 58% des indices de risque sur l'environnement. Lors des saisons 2019 et 2021, le carbaryl a été utilisé comme agent éclaircissant dans la parcelle conventionnelle, (IRPest-E/ha de 159 et 56, respectivement), et l'acide naphtylacétique a été utilisé seul (sans carbaryl) dans la parcelle à moindres risques (IRPest-E/ha de 2 et 5, respectivement) ce qui a permis de réduire les indices de risque sur l'environnement associé à la pratique utilisée pour l'éclaircissage de 95% (Annexe 9).

L'impact mesuré des insecticides n'a pas été aussi notable au niveau des indices de risque sur l'environnement qu'au niveau des indices de risque sur la santé. Une tendance inverse a même été observée en 2020 alors que les indices de risque sur l'environnement ont été plus élevés dans la parcelle à moindres risques que dans la parcelle conventionnelle (IRPest-E/ha de 256 et 185, respectivement). Lors de cette année, trois applications d'insecticides ont été réalisées dans la parcelle conventionnelle (thiaclopride, méthoxyfénoside, lambda-cyhalothrine) comparativement à 12 applications d'insecticides dans la parcelle à moindres risques, soit six applications d'attracticide à base de spinosad (GF-120) (IRPest-E/ha : 108), une application de lambda cyhalothrine (IRPest-E/ha : 90)

et une application de *Bacillus thuringiensis* (IRPest-E/ha : 1). Globalement, sur l'ensemble des années pour les insecticides, les indices de risque sur l'environnement ont toutefois été similaires, soit un IRPest-E/ha de 184 dans la parcelle conventionnelle et de 196 dans la parcelle à moindres risques. Par ailleurs, bien que les indices de risque sur l'environnement associés aux applications individuelles de spinosad aient été faibles (IRPest-E/ha : 25), les applications répétées de spinosad ont contribué à l'augmentation des indices de risque sur l'environnement dans les parcelles à moindres risques (Annexe 9).

Analyse détaillée – Impact sur les coûts

Globalement, la moyenne des coûts à l'hectare était plus élevée pour la parcelle à moindres risques (1865\$/ha) que pour la parcelle conventionnelle (1289\$/ha), ce qui représente une augmentation de 45% (Figure 12). Pour les cinq années, les insecticides appliqués dans la parcelle à moindres risques ont été majoritairement responsables de cette différence, car en moyenne, les applications annuelles d'insecticides ont coûté 553\$/ha de plus dans la parcelle à moindres risques. La différence observée a été principalement due à l'application de l'attracticide à base de spinosad contre la mouche de la pomme (GF-120), qui a coûté en moyenne 336\$/ha par saison, et du CpGV (ex. VIROSOFT CP4) qui a coûté en moyenne 304\$/ha par saison. Les coûts associés à l'application de ces deux produits ont représenté 26% des coûts totaux en insecticides appliqués dans la parcelle à moindres risques. C'est en 2021 que les coûts associés à l'utilisation de spinosad (GF-120) ont été les plus élevés, soit un total de 529\$/ha pour six applications et en 2019, pour le CpGV, soit un total 411\$/ha pour quatre applications (Annexe 9).

Pour les fongicides, la moyenne des coûts pour les produits appliqués dans la parcelle conventionnelle a été en moyenne de 641\$/ha annuellement, comparativement à 498\$/ha pour la parcelle à moindres risques, soit une diminution de 22%, ce qui correspond à 143\$/ha par saison. La plus grande baisse (40%) a été atteinte en 2018 et 2021 avec une diminution de 302\$/ha et 165\$/ha, respectivement. Le faible coût moyen pour une application du mélange de bicarbonate et soufre (24\$/ha), comparativement au mancozèbe (39\$/ha) ou au métirame (41\$/ha), a permis d'atteindre cette réduction (Annexe 9).

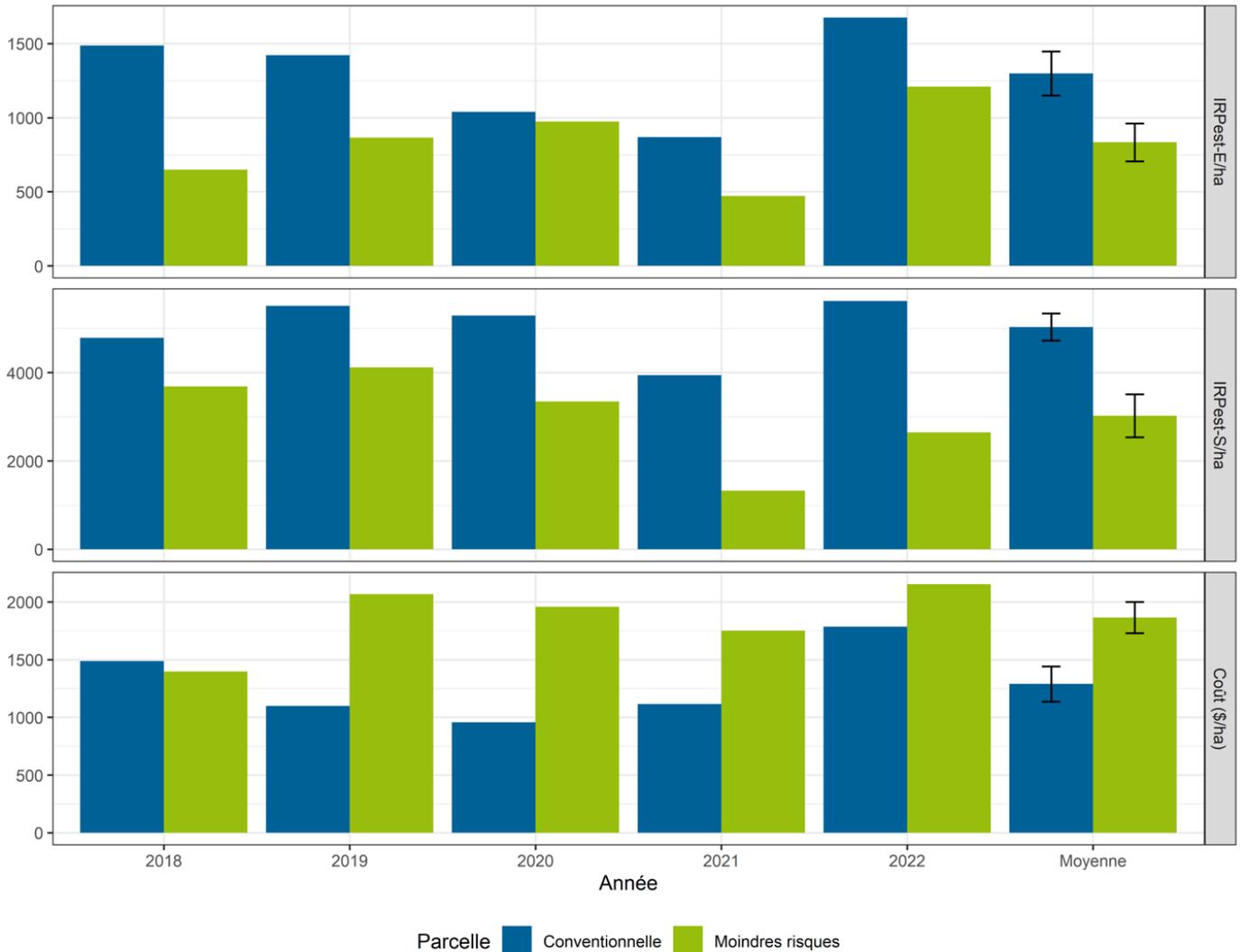


Figure 12. Impacts comparés de la régie à moindres risques et de la régie conventionnelle du site 1 (indices de risque santé et environnement et coûts directs).

Analyse détaillée – Impact sur le calibre des fruits

Pour l'ensemble des cinq années du projet, il n'y a eu aucune différence entre la parcelle conventionnelle et la parcelle à moindres risques quant au calibre des pommes du cultivar Empire (calibres moyens respectifs de 67.67 ± 0.18 mm et 68.09 ± 0.13 mm) (Annexe 3). Cependant, le calibre du cultivar Spartan était supérieur dans la parcelle à moindres risques (71.11 ± 0.17 mm), comparativement à la parcelle conventionnelle (68.41 ± 0.20 mm). Cette différence a été observée annuellement, avec une différence plus marquée entre les deux parcelles en 2018, 2020 et 2021. Pour ces trois années, les calibres moyens des fruits de la parcelle conventionnelle étaient environ 4 mm inférieurs à ceux de la parcelle à moindres risques (Annexe 4). Ces différences s'expliquent toutefois davantage par des différences quant à la disposition géographique et à l'âge des parcelles que par la différence entre les deux régies.

Analyse détaillée - Impact sur les dommages à la récolte

Pour les deux cultivars, il y a eu en moyenne plus de dommages dans la régie conventionnelle que dans la régie à moindres risques. Pour le cultivar Empire, cette différence est principalement attribuable à l'année 2020, où deux fois plus de dommages ont été observés dans la parcelle sous régie conventionnelle que dans celle sous régie à moindres risques, alors que pour le cultivar Spartan, cette différence a été observée principalement en 2018 et 2020. Pour les deux cultivars échantillonnés, la majorité des dégâts observés dans les deux régies étaient attribuables aux insectes, sauf en 2022, où la majorité des dégâts enregistrés étaient des malformations non-parasitaires. Pour le cultivar Empire, les principaux insectes responsables des dommages dans la régie à moindres risques étaient le carpocapse, alors que dans la régie conventionnelle, les dommages ont été principalement attribuables aux tordeuses, à la punaise terne et aux cochenilles. Dans le cultivar Spartan, le carpocapse et la punaise terne ont endommagé les fruits de façon similaire dans les deux régies, alors que la tordeuse à bandes obliques a endommagé plus de fruits dans la régie à moindres risques, alors que la mouche de la pomme en a endommagé plus dans la régie conventionnelle. De façon similaire, dans les deux régies et pour les deux cultivars, plusieurs dommages ont également été attribués à des bris mécaniques chaque année (Annexe 11). L'espacement entre les rangs ainsi que la largeur de la canopée ne permettent pas à la machinerie un passage libre, et de ce fait, les pommes aux extrémités des branches cumulent les dommages mécaniques à chaque passage de la machinerie.

Résumé site 1

- L'adoption de produits à moindres risques a permis une diminution des risques sur la santé de 40% ainsi qu'une diminution des risques sur l'environnement de 36%.
- Ces diminutions des risques ont été associées principalement aux fongicides notamment, le mélange de bicarbonate de potassium + soufre utilisé en substitution au métiram et au mancozèbe.
- Il y a eu une réduction de l'utilisation du phosmet et lambda cyhalothrine et une augmentation de l'utilisation de l'attracticide à base de spinosad (GF-120) et de CpGV.
- Les applications de carbaryl pour l'éclaircissage des fruits ont été substituées par des applications d'acide naphtylacétique lors de deux années sur cinq.
- L'utilisation de produits à moindres risques n'a pas affecté négativement le calibre.
- L'utilisation de produits à moindres risques a augmenté les coûts d'applications de 45%.
- Ce sont principalement les insecticides à moindres risques qui ont contribué à l'augmentation des coûts d'applications (notamment le GF-120 et le CpGV).

Étude de cas 2 – Site misant sur la réduction des intrants et une tolérance plus élevée aux risques posés par les ennemis du pommier

Analyse quinquennale – Impact sur la santé, l’environnement, les coûts, le calibre des fruits et les dommages à la récolte

Dans ce site, les matières actives à fort impact sur la santé ou l’environnement sont peu utilisées et la tolérance aux risques posés par les insectes ravageurs et maladies (les seuils d’intervention) est ajustée à la hausse. En conséquence, les indices de risque sur l’environnement et la santé ont été faibles dans les deux parcelles. Avant même sa participation au projet, ce site n’utilisait plus de carbaryl comme agent d’éclaircissage, utilisait peu d’acaricides et favorisait déjà l’attracticide à base de spinosad (GF-120) contre la mouche de la pomme. Sur une période de cinq ans, l’utilisation de produits à moindres risques a permis des gains au niveau des indices de risque sur la santé, variant de 149 à 2919, soit une réduction moyenne de 42% en comparaison avec la parcelle conventionnelle (Figure 13, Annexe 10). Les principales matières actives responsables de cette réduction sont les antifongiques. La substitution de certaines matières actives aux indices de risque sur la santé élevés (ex : métirame) par des matières actives à moindres risques (ex : bicarbonate de potassium) en a été la principale cause (Annexe 12).

Au niveau des indices de risque sur l’environnement, la transition vers des produits à moindres risques a permis une réduction pour la majorité des saisons par rapport à la parcelle sous régie conventionnelle (2018, 2020 et 2022). Cependant, une légère augmentation a été observée les deux autres saisons (2019 et 2021). La différence moyenne sur cinq ans a été de 1% à la hausse (Figure 13, Annexe 10). Le choix d’insecticides à faible impact sur l’environnement (ex : attracticide à base de spinosad) dans la parcelle à moindres risques explique les réductions observées, alors que des applications localisées d’acaricides et d’insecticides (deltaméthrine) peuvent expliquer les augmentations observées (Annexe 12).

La moyenne quinquennale des coûts directs pour les applications de pesticides dans la parcelle à moindres risques a été de 1278\$/ha, comparativement à 1225\$/ha dans la parcelle conventionnelle, soit une augmentation de 4%. Les coûts ont été plus élevés lors de trois saisons sur cinq dans la parcelle à moindres risques, soit une augmentation moyenne de 14% de plus que la parcelle conventionnelle (169\$/ha de plus). Pour deux saisons sur cinq, une réduction des coûts de 28% a été observée pour la parcelle à moindres risques, soit une réduction moyenne de 125\$/ha (Figure 13, Annexe 10). Les variations observées peuvent être attribuées aux conditions biotiques et abiotiques propres au verger de l’entreprise.

En moyenne, le calibre des pommes du cultivar McIntosh était très similaire dans les deux parcelles, alors que pour le cultivar Cortland, les pommes étaient de plus gros calibre dans la parcelle sous régie conventionnelle (Annexe 4).

Le nombre total de dommages observés dans les deux types de parcelles a augmenté d’année en année pour les deux cultivars évalués. Les insectes et les maladies ont représenté les deux principaux types de dommages observés dans les deux régies, à l’exception de 2022, où la majorité des dommages ont été attribuables à la grêle (Annexe 13).

Analyse détaillée – Impact sur la santé

Les antifongiques à moindres risques ont été les principaux responsables des réductions des indices de risque sur la santé observées dans la parcelle à moindres risques pour l'ensemble des années. En moyenne, les indices de risques sur la santé ont été réduits de 42% comparativement à la parcelle conventionnelle. Cette réduction est attribuable principalement à l'utilisation restreinte de certains fongicides ayant un indice de risque sur la santé élevé. Par exemple, à la saison 2019, 10 applications de métirame (IRPest-S/ha : 4360) ont été effectuées dans la parcelle conventionnelle, comparativement à trois applications de métirame (IRPest-S : 1309) et neuf applications de bicarbonate et soufre (IRPest-S : 180) dans la parcelle à moindres risques. Cette stratégie a permis à l'entreprise de réduire les indices de risque sur la santé de 65% pour les fongicides (Annexe 12).

Au niveau des insecticides, la moyenne quinquennale de réduction des indices de risque sur la santé a été de 35% (IRPest-S/ha : 244 pour la parcelle conventionnelle et 158 pour la parcelle à moindres risques). La proportion des indices de risque sur la santé associée aux insecticides a été relativement faible, comparativement à celles associée aux produits antifongiques (Annexe 12). En somme, peu d'applications contenant du phosmet et du novaluron ont été effectuées dans la parcelle à moindres risques, ces deux insecticides ayant été remplacés par des applications de spinosad ou de CpGV.

Analyse détaillée – Impact sur l'environnement

Pour les deux premières saisons du projet (2018-2019), malgré une diminution du nombre d'applications de métirame, les indices de risques sur l'environnement associés aux matières actives antifongiques ont été plus élevés dans la parcelle à moindres risques que dans la parcelle sous régie conventionnelle (4% de plus en moyenne). La tendance inverse a été observée en 2020 et 2022, alors que les indices de risque sur l'environnement ont été réduits de 8% en moyenne, comparativement à la parcelle à régie conventionnelle (Annexe 12). Cette réduction est attribuable à la substitution ou au retrait de certaines matières actives telles que le pyriméthanil ou le métirame dans la parcelle à moindres risques. Au niveau des insecticides, la substitution du phosmet par le spinosad dans la parcelle à moindres risques a également permis de diminuer les indices de risque sur l'environnement. Par exemple, pour la saison 2020, une application de phosmet (IRPest-E/ha : 68) a été effectuée dans la parcelle conventionnelle, comparativement à six applications de spinosad (GF-120) dans la parcelle à moindres risques (IRPest-E/ha : 25), ce qui a engendré une réduction de 63% (Annexe 12).

Analyse détaillée – Impact sur les coûts

Malgré les substitutions ou retraits d'applications de certaines matières actives dans la parcelle à moindres risques, une augmentation de seulement 4% des coûts a été observée, soit 53\$/ha en moyenne sur une période de cinq ans (Figure 13, Annexe 10). En 2020, l'utilisation du CpGV dans la parcelle à moindres risques a eu comme effet d'augmenter les coûts de façon importante. Lors de cette saison, cinq applications de CpGV ont été effectuées dans la parcelle à moindres risques, pour un total de 637\$/ha, soit une augmentation de 200% pour les insecticides. Au niveau des fongicides, acaricides et bactéricides, la différence de coûts entre la parcelle conventionnelle et celle à moindres risques a été relativement faible (Annexe 12).

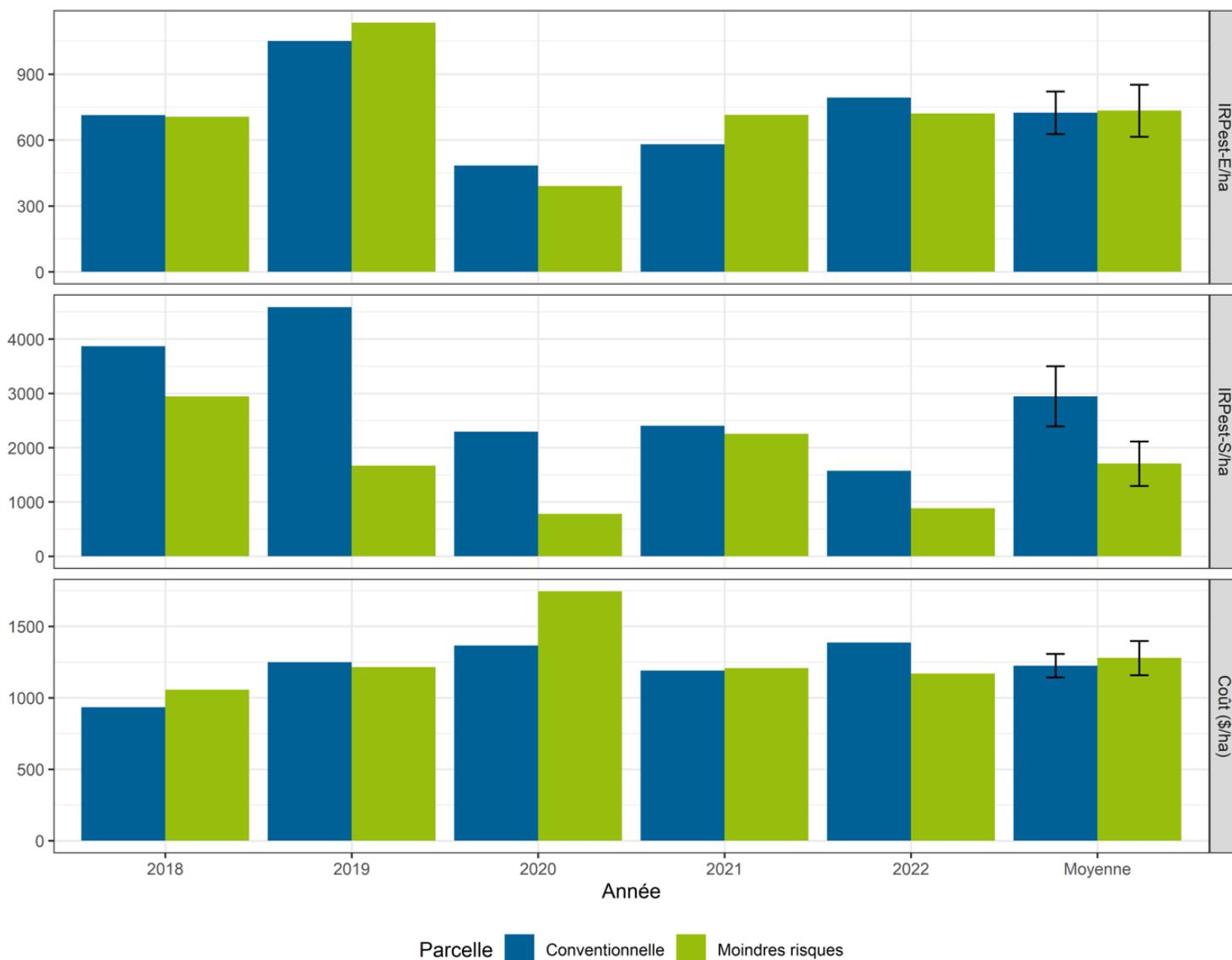


Figure 13. Impacts comparés de la régie à moindres risques et de la régie conventionnelle du site 2 (indices de risque santé et environnement et coûts directs).

Analyse détaillée - Impact sur le calibre des fruits

Pour l'ensemble des cinq années du projet, il y a eu peu de différences entre la parcelle conventionnelle et la parcelle à moindres risques quant au calibre des pommes du cultivar McIntosh (calibres moyens respectifs de 68.0 ± 0.1 mm et 67.9 ± 0.1 mm) (Annexe 3). Cependant, les pommes du cultivar Cortland ont affiché des calibres légèrement supérieurs dans la parcelle conventionnelle (75.44 ± 0.18 mm) que dans la parcelle à moindres risques (74.88 ± 0.19 mm). Cette différence est attribuable à l'année 2019, où les calibres moyens dans la parcelle conventionnelle étaient de $77.3 \text{ mm} \pm 0.3$, comparativement à 73.9 ± 0.4 mm dans la parcelle à moindres risques (Annexe 4).

Analyse détaillée - Impact sur les dommages à la récolte

Pour le cultivar Cortland, les fruits de la parcelle sous régie à moindres risques ont toujours eu plus de dommages, principalement en 2018 et 2019. Les maladies (principalement la tavelure) ont représenté une portion importante des dommages observés et ont été davantage répertoriées dans la parcelle à moindres risques. Les dommages d'insectes ont également représenté une grande proportion des dommages observés, particulièrement en 2018 et 2019 dans la parcelle à moindres risques et en 2020 dans les deux parcelles, principalement causés par les punaises et d'autres insectes. Pour le cultivar McIntosh, il y a eu davantage de dommages attribuables aux insectes dans la parcelle conventionnelle, alors que ce sont les maladies qui ont majoritairement été la cause des dommages observée dans la parcelle à moindres risques. Pour les deux cultivars, des dommages causés par le gel ont été observés en 2021 et 2022 et la grêle a représenté la grande majorité des dommages en 2022 (Annexe 13).

Résumé site 2

- L'utilisation de matières actives antifongiques à faibles risques a diminué les indices de risque sur la santé de 42%.
- L'utilisation accrue du bicarbonate de potassium a permis une réduction des indices de risque sur la santé, atteignant jusqu'à 65% certaines années.
- La substitution des applications de phosmet par l'attracticide à base de spinosad a permis une réduction des indices de risque sur l'environnement de 63%.
- Globalement, les coûts directs pour les applications de pesticides dans la parcelle à moindres risques n'ont pas différencié de façon importante. L'utilisation de CpGV a cependant doublé les coûts des insecticides l'année où il a été utilisé.
- L'utilisation de produits à moindres risques n'a pas eu d'effets négatifs sur les calibres.

Étude de cas 3 – Site misant principalement sur l’intégration d’insecticides à moindres risques

Analyse quinquennale – Impact sur la santé, l’environnement, les coûts, le calibre des fruits et les dommages à la récolte

La réduction du bilan moyen de l’indice de risque sur la santé a été de 30% dans la parcelle à moindres risques, comparativement à la parcelle conventionnelle (IRPest-S/ha : 7256 et 5053, respectivement) (Figure 14, Annexe 10). La plus grande réduction (37%) a été observée lors de la saison 2021. Les réductions observées des indices de risques sur la santé ont été attribuées à l’utilisation d’insecticides contenant des matières actives à moindres risques. Par exemple, en ce qui a trait à la lutte à la mouche de la pomme, la substitution du phosmet par le GF-120 a permis à elle seule une réduction de 95% des indices de risque sur la santé (Annexe 14).

Au niveau des indices de risque sur l’environnement, la réduction moyenne sur les cinq années du projet a été de 10% dans la parcelle à moindres risques (IRPest-E/ha : 1412), par rapport à la parcelle conventionnelle (IRPest-E/ha : 1573) (Figure 14, Annexe 10). Bien que cette réduction ait été plus faible que celle observée au niveau des indices de risque sur la santé, des éléments comme le retrait du carbaryl et l’utilisation de l’acide naphtylacétique comme régulateur de croissance pour l’éclaircissage dans la parcelle à moindres risques ont permis des réductions notables des indices de risque sur l’environnement (Annexe 14).

Au niveau économique, les applications effectuées dans la parcelle à moindres risques ont coûté en moyenne 19% de plus (346\$/ha) que les applications réalisées dans la parcelle conventionnelle (Figure 14, Annexe 10). Cette augmentation de coûts dans la parcelle à moindres risques a été attribuée aux applications répétées de GF-120, responsables de 85% des coûts totaux d’insecticides appliqués dans cette parcelle (Annexe 14).

En moyenne, le calibre des pommes (cultivars Empire et McIntosh) a été légèrement supérieur dans la parcelle sous régie conventionnelle que dans la parcelle à moindres risques (Annexe 3). Le nombre de dommages a beaucoup varié selon les années et les tendances observées au sein d’une même année étaient similaires pour les deux cultivars échantillonnés. En moyenne, sur les cinq années du projet, le nombre total de dommages (toutes causes confondues) a été similaire dans les deux régies. Les dommages attribuables aux insectes ont représenté la plus grande proportion de dommages observés dans les deux régies et pour les deux cultivars (Annexe 15).

Analyse détaillée – Impact sur la santé

La substitution d’applications de phosmet dans la parcelle à moindres risques par des applications d’attracticide à base de spinosad a permis de réduire considérablement les indices de risque sur la santé. Un total de 15 applications de phosmet (IRPest-S/ha : 3555) a été effectué sur cinq ans dans la parcelle conventionnelle, comparativement à 31 applications d’attracticide à base de spinosad (IRPest-S/ha : 155) dans la parcelle à moindres risques. Cette substitution a permis à elle seule une réduction de 95% des indices de risque sur la santé, soit une réduction brute de 3400 unités IRPest-S/ha associée à la

parcelle à moindres risques. Pour les saisons 2019, 2021 et 2022, la réduction de l'indice de risque sur la santé des insecticides appliqués a été de 70% en moyenne, soit une diminution respective des IRPest-S/ha de 1007, 1002 et 1501 unités. Ces trois saisons ont été majoritairement responsables de la réduction globale de l'indice de risque sur la santé des insecticides, soit une réduction moyenne de 3512 unités sur un total de 4564. La régie d'application de matières actives antifongiques a été similaire dans les deux types de régies, à l'exception de l'utilisation du bicarbonate de potassium dans la parcelle à moindres risques lors des deux premières années (respectivement un traitement en 2018 et trois traitements en 2019). En conséquence, la diminution observée des indices de risque sur la santé liée aux fongicides a été attribuable principalement à l'utilisation du pulvérisateur AirCheck avec des buses anti-dérive. L'utilisation d'une technique de réduction de la dérive a permis d'abaisser en moyenne de 18% l'indice de risque sur la santé des applications antifongiques dans la parcelle à moindres risques, comparativement à la parcelle conventionnelle. De ce fait, à régie phytosanitaire identique entre les deux parcelles, l'utilisation du pulvérisateur AirCheck avec buses anti-dérive a permis d'obtenir une réduction des indices de risque sur la santé, tant au niveau des applications de fongicides que celles reliées aux insecticides (Annexe 14).

Analyse détaillée – Impact sur l'environnement

La réduction des indices de risques sur l'environnement a été plus difficile à atteindre sur ce site que celle des indices de risque sur la santé. Une réduction de 10% des indices de risque sur l'environnement a été observée en moyenne sur cinq ans pour la régie à moindres risques par rapport à la régie conventionnelle. Pour les trois premières années du projet, cette réduction fut de l'ordre de 18%, alors qu'en contrepartie, lors des deux dernières années, les indices de risque sur l'environnement ont été légèrement plus élevés dans la parcelle à moindres risques (Figure 14, Annexe 10). Les applications répétées d'attracticide à base de spinosad effectuées dans cette parcelle peuvent expliquer en partie les gains plus faibles obtenus en matière de risque sur l'environnement. Comme mentionné précédemment, la substitution du phosmet par l'attracticide à base de spinosad dans la parcelle à moindres risques a permis une réduction au niveau des indices de risque sur la santé. Cependant, les applications répétées d'attracticide à base de spinosad ont eu comme effet d'égaliser les indices de risques sur l'environnement aux applications de phosmet dans la parcelle conventionnelle. Au total, 31 applications d'attracticide ont été effectuées dans la parcelle à moindres risques, soit en moyenne six applications par saison. L'ensemble de ces traitements a totalisé un IRPest-E/ha de 775. À l'inverse, 15 applications de phosmet ont été effectuées dans la parcelle conventionnelle pour un IRPest-E/ha total de 840 sur 5 ans. Cette réduction de 7% des indices de risque sur l'environnement est relativement faible en comparaison de la réduction obtenue de 95% au niveau des indices de risque sur la santé pour les mêmes comparaisons d'applications de matière actives (Annexe 14).

Au niveau des agents d'éclaircissage des fruits, le carbaryl (IRPest-E/ha : 159) a été substitué par l'acide naphtylacétique (IRPest-E/ha : 1) en première année du projet (2018) dans la parcelle à moindres risques, ce qui a permis une réduction de 99% des indices de risques sur l'environnement. Toutefois, dans les conditions où elles ont été appliquées, les applications d'acide naphtylacétique n'ont pas permis un éclaircissage chimique suffisamment efficace. De plus, par manque de main-d'œuvre, un éclaircissage manuel n'a

pas été effectué, laissant une surcharge de fruits dans les arbres. Malgré les efforts pour conserver les applications d'acide naphtylacétique, l'éclaircissage chimique a principalement été basé sur l'utilisation du carbaryl de 2019 à 2020 dans la parcelle à moindres risques ainsi que dans la parcelle conventionnelle. Au global, le retrait et la substitution de certains insecticides et agents d'éclaircissage ont permis des réductions notables des indices de risque sur l'environnement lors deux premières années du projet dans la parcelle à moindres risques par rapport à la parcelle conventionnelle (respectivement 19% et 32%) (Annexe 14).

Analyse détaillée – Impact sur les coûts

De façon générale, à l'exception de la saison 2021, les coûts d'applications de produits phytosanitaires ont augmenté progressivement d'une saison à l'autre pour les deux types de régie. Le nombre d'applications effectuées par saison peut en partie expliquer cette augmentation, celui-ci étant passé de 31 applications en 2018 à 49 applications en 2022. Par ailleurs, le coût à l'hectare des insecticides a toujours été supérieur dans la parcelle à moindres risques que dans la parcelle conventionnelle, principalement en raison de la substitution du phosmet par l'attracticide à base de spinosad (GF-120). Une seule application de phosmet coûte en moyenne 56\$/ha, comparativement à 80\$/ha pour le GF-120. Cette différence de coût s'accroît lorsqu'il est mis en relation avec le nombre d'applications saisonnières. Sur cinq ans, 15 applications de phosmet ont été effectuées dans la parcelle conventionnelle (865\$/ha) comparativement à 31 applications d'attracticide dans la parcelle à moindres risques (2472\$/ha). L'utilisation du GF-120 a ainsi représenté environ 85% des coûts en insecticides dans la régie à moindres risques pour ce site, et ce, à chaque saison. Par exemple, pour la saison 2019, le coût total des insecticides appliqués dans la parcelle à moindre risque a été de 571\$/ha, desquels 485\$ étaient reliés aux six applications d'attracticide à base de spinosad (GF-120) (Annexe 14).

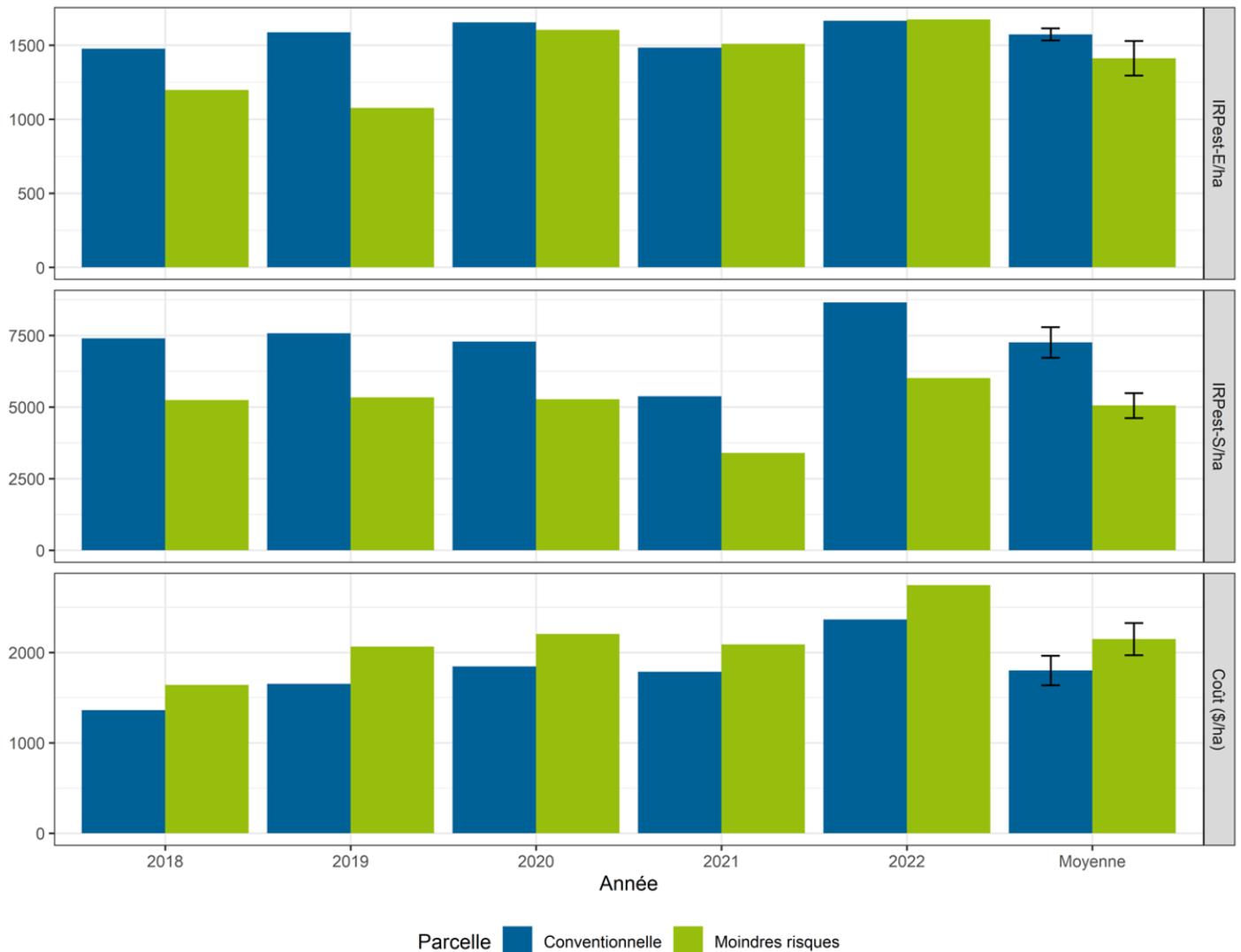


Figure 14. Impacts comparés de la régie à moindres risques et de la régie conventionnelle du site 3 (indices de risque santé et environnement et coûts directs).

Analyse détaillée - Impact sur le calibre des fruits

Globalement, sur les cinq années du projet et pour les deux cultivars, le calibre des fruits était légèrement plus gros dans la parcelle conventionnelle que dans la parcelle à moindres risques. Pour le cultivar Empire, les calibres moyens pour l'ensemble des années étaient de 70.3 ± 0.1 mm dans la parcelle conventionnelle et de 69.3 ± 0.1 mm dans la parcelle à moindres risques (Annexe 3). Cette différence est principalement attribuable aux trois premières années du projet, pour lesquelles le calibre des pommes a été en moyenne de 2 à 4 mm supérieurs dans la parcelle conventionnelle (4 mm en 2018 et 2 mm en 2019 et 2020) (Annexe 4). Pour le cultivar McIntosh, les calibres moyens pour l'ensemble des années étaient de 71.2 ± 0.1 mm dans la parcelle conventionnelle et de 70.7 ± 0.1 mm dans la parcelle à moindres risques. Cette faible différence est principalement attribuable aux

années 2018 et 2020, pour lesquelles le calibre des pommes de la parcelle conventionnelle et de la parcelle à moindres risques ont été respectivement de 4 mm supérieurs en 2018 et d'environ 2 mm supérieur en 2020 (Annexe 4). Il faut rappeler que 2018 correspond à l'année où l'éclaircissage des fruits dans la parcelle à moindre risque a été réalisé en utilisant l'acide naphtylacétique. Les deux applications effectuées n'ayant pas permis un éclaircissage chimique efficace et un éclaircissage manuel n'ayant pu être effectué, il n'est pas surprenant qu'une différence plus importante ait été observée entre les deux parcelles lors de cette saison.

Analyse détaillée - Impact sur les dommages à la récolte

Pour les deux cultivars, la quantité de dommages a beaucoup varié d'une année à l'autre. Cependant, sur les cinq années du projet et en incluant tous les types de dommages, des niveaux similaires de dommages ont été observés dans les deux types de parcelles. En 2021, il y a eu environ deux fois plus de dommages dans la parcelle conventionnelle que dans la parcelle à moindres risques, alors que la situation inverse a été observée en 2022. La majorité de ces dommages ont été attribués aux insectes. Pour le cultivar Empire, les dommages d'insectes ont été principalement causés par les cochenilles, le carpocapse et la punaise terne. Il y a eu peu de dommages attribuables aux maladies sur les fruits du cultivar Empire, à l'exception de l'année 2020, où les maladies ont représenté la majorité des dommages comptabilisés dans la parcelle conventionnelle. À l'inverse, pour le cultivar McIntosh, c'est dans la parcelle à moindres risques que les plus grandes proportions de dommages attribuables aux maladies ont été observées, principalement en 2018, 2019 et 2020 (Annexe 15).

Résumé site 3

- La substitution du phosmet par l'attracticide à base de spinosad a permis à elle seule une réduction de 95% des indices de risques sur la santé associés à la lutte contre la mouche de la pomme.
- Lors de la première année, le retrait du carbaryl et l'utilisation de l'acide naphtylacétique dans la parcelle à moindres risques ont permis de réduire de 99% les indices de risque sur l'environnement associés à l'éclaircissage des fruits, mais n'ont pas donné de résultats satisfaisants pour le contrôle de la charge en fruits.
- Globalement, le nombre total de dommages (toutes causes confondues) a été similaire dans les deux régions. Toutefois, les dommages d'insectes ont été observés en plus grand nombre dans l'une ou l'autre des parcelles selon l'année et le cultivar.
- Les programmes de traitements phytosanitaires visant les maladies ont été similaires dans les deux parcelles.
- L'utilisation de produits à moindres risques a augmenté de 19% les coûts d'applications sur cinq ans.

Étude de cas 4 – Site misant sur la préservation des acariens prédateurs et l'utilisation d'insecticides à moindres impacts sur la santé et l'environnement

Analyse quinquennale – Impact sur la santé, l'environnement, les coûts, le calibre des fruits, le rendement et les dommages à la récolte

Pour ce site, des réductions majeures (45%) ont été observées sur cinq ans au niveau des indices de risque sur la santé dans la parcelle à moindres risques par rapport à la parcelle conventionnelle (IRPest-S/ha de 4359 comparativement à 2382, respectivement) (Figure 15, Annexe 10). La réduction observée s'explique par le retrait, lors de trois saisons sur cinq, de produits antifongiques (ex. mancozèbe) et d'acaricides (ex. cyflumétofrène et spiroadiclofène) ayant des indices de risque sur la santé élevés ainsi que par l'adoption d'insecticides à plus faible risque pour la santé (ex. l'attracticide à base de spinosad) (Annexe 16).

Les indices de risque sur l'environnement ont quant à eux diminué de 18% en moyenne sur cinq ans dans la parcelle à moindres risques (IRPest-E/ha : 892) par rapport à la parcelle conventionnelle (IRPest-E/ha : 1082) (Figure 15, Annexe 10). Au niveau des risques environnementaux liés aux acaricides, la substitution des matières actives à impact environnemental plus élevé par des alternatives à moindre impact a permis d'atteindre une baisse de 26% sur cinq années. Au niveau des insecticides, le retrait de certaines applications de lambda-cyhalothrine et de chlorantraniliprole et l'utilisation occasionnelle de l'attracticide à base de spinosad ont également contribué à la réduction des risques sur l'environnement (Annexe 16). En plus de cette réduction d'impact au niveau des insecticides et acaricides, une légère diminution de l'impact environnemental a aussi été observée pour les applications antifongiques dans la parcelle à moindres risques, soit une baisse quinquennale moyenne de 9% par rapport aux applications dans la parcelle conventionnelle. Cette réduction peut être attribuée à l'utilisation du bicarbonate de potassium dans la parcelle à moindres risques à raison de quatre applications en moyenne par saison (IRPest-E/ha : 4) comparativement à deux en moyenne dans la parcelle conventionnelle (Annexe 16).

Globalement, les coûts moyens à l'hectare associés à la régie à moindres risques (1216\$/ha) ont été 10% plus bas que ceux de la régie conventionnelle (1352\$/ha). Pour trois des cinq saisons, ces coûts ont été 20% plus bas (réduction de 314\$/ha) dans la parcelle sous régie à moindres risques, alors que l'inverse a été observé les deux autres saisons, avec des coûts environ 12% plus élevés (augmentation de 130\$/ha) (Figure 15, Annexe 10). La réduction plus importante observée en 2022 peut être attribuée aux acaricides qui ont été appliqués en plus grand nombre dans la parcelle sous régie conventionnelle (cinq applications) comparativement à la parcelle sous régie à moindres risques (deux applications). Cette différence a permis de réduire les coûts de 514\$/ha dans la parcelle sous régie à moindres risques, soit 29% de réduction par rapport à la parcelle conventionnelle (Annexe 16).

Le rendement réel a été plus faible de 17% dans la parcelle sous régie à moindres risques, à l'exception de la dernière année du projet, où il y a eu une augmentation de 5% (Annexe 7). Aucune différence marquée au niveau des calibres des fruits n'a été observée entre les deux parcelles sur les cinq années (Annexe 3). Pour le cultivar Cortland, en moyenne sur

les cinq années, les dommages à la récolte ont été assez similaires dans les deux parcelles (9% plus élevés dans la parcelle à moindres risques). Pour le cultivar Spartan, les dommages ont été fortement supérieurs dans la parcelle à moindres risques, soit quatre fois plus élevés. En général, dans les deux parcelles, ce sont les petits calibres, les bris mécaniques, les insectes et les malformations qui ont représenté la plus grande proportion de dommages. En moyenne sur les cinq années, le nombre de fruits présentant un dommage mécanique a été 67% plus élevé dans la parcelle à moindres risques que dans la parcelle conventionnelle. Il en fut de même pour les fruits avec un petit calibre, avec environ 47% plus de dommages associés aux petits calibres dans la parcelle à moindres risques (Annexe 17).

Analyse détaillée – Impact sur la santé

Pour ce site, à partir de la deuxième année, les indices de risque sur la santé ont été réduits de plus de moitié dans la parcelle à moindres risques par rapport à la parcelle conventionnelle. Les saisons 2019 et 2022 ont été responsables de la plus grande réduction brute, soit 2569 en moyenne (réduction de 51%). En 2019, les IRPest-S/ha pour la régie conventionnelle étaient de 5262, comparativement à 2422 pour la régie à moindres risques (réduction de 54%). En 2022, les IRPest-S/ha de la régie conventionnelle étaient de 4812, comparativement à 2514 pour la régie à moindres risques (réduction de 48%) (Figure 15, Annexe 10). Ces diminutions, ainsi que celles des autres années, ont été principalement attribuées à la réduction des applications de fongicides à indices de risques élevés, dont le mancozèbe, qui ont partiellement été remplacés par l'utilisation du mélange bicarbonate de potassium et soufre. Par exemple, en 2019, 10 applications de mancozèbe (IRPest-S/ha: 2430) ont été effectuées dans la régie conventionnelle, comparativement à seulement deux applications (IRPest-S/ha: 390) dans la régie à moindres risques. En 2022, quatre applications en moins de cette matière active ont été effectuées dans la parcelle à moindres risques ainsi qu'une application en moins de captane. Lors de cette même année, le retrait d'une application de benzovindiflupyr a également contribué à la diminution observée (réduction de 26%). Certaines années, le retrait de différentes applications d'insecticides ou acaricides à indices de risque élevés a également participé à la réduction des risques sur la santé observée dans la parcelle à moindres risques. Ce fut notamment le cas en 2022, avec le retrait d'un traitement insecticide contenant du lambda-cyhalothrine (IRPest-S/ha : 440) et en 2021, avec la substitution d'un traitement d'acaricide à base de spiroadiclofène (IRPest-S/ha : 709), par un autre à base de cyflumetofène (IRPest-S/ha : 160). À noter que l'utilisation d'une technique de pulvérisation anti-dérive a également permis de réduire les indices de risque sur la santé. Par exemple lors de la saison 2019, pour la même matière active (captane) et pour un même nombre d'applications (cinq), une réduction de 43% a été observée entre la régie à moindres risques (IRPest-S/ha : 731) et la régie conventionnelle (IRPest-S/ha : 1276) (Annexe 16).

Analyse détaillée – Impact sur l'environnement

La réduction globale de 18% observée au niveau des indices de risque sur l'environnement a été attribuée principalement aux matières actives à moindres risques utilisées pour la lutte aux insectes en 2019, 2020 et 2022 ainsi qu'à la substitution de certains acaricides en 2022. Pour la saison 2019, la réduction a atteint 33% et peut être expliquée en partie par l'utilisation du chlorantraniliprole (IRPest-E/ha : 91) exclusivement dans la régie

conventionnelle. Pour la saison 2020, l'application d'attracticide à base de spinosad en remplacement de cinq applications de phosmet (IRPest-E/ha : 120) et le retrait de deux applications de spinosad (Success) (IRPest-E/ha : 125) et d'une application de novaluron (IRPest-E/ha : 49) dans la parcelle à moindres risques ont permis une réduction de 64% des indices de risques sur l'environnement liés aux insecticides. Pour la saison 2022, au niveau des acaricides, le nombre d'applications a été plus élevé, soit cinq applications de plus dans la parcelle à régie conventionnelle (IRPest-E/ha : 541) que dans celle sous régie à moindres risques (deux applications) (IRPest-E/ha : 163). Une diminution de 70% des indices de risque sur l'environnement a ainsi été causée principalement par le fait qu'une application de pyridabène et, dans une moindre mesure, d'acéquinocyl et d'abamectine ont été évitées dans la régie à moindres risques (Annexe 16).

Analyse détaillée – Impact sur les coûts

De façon globale, les coûts directs liés aux traitements bactéricides effectués dans la régie à moindres risques (161\$/ha) ont été 35% inférieurs comparativement à ceux de la parcelle sous régie conventionnelle (249\$/ha). Par exemple, pour la saison 2020, le coût des trois applications de streptomycine (504\$/ha) effectuées dans la régie conventionnelle a été 43% plus élevé que les deux applications de streptomycine (114\$/ha) et l'application de *Aureobasidium pullulans* (171\$/ha) dans la régie à moindres risques. La réduction du nombre d'applications d'acaricides a également eu un effet direct sur les coûts. Par exemple, en 2022, seulement deux applications d'huile minérale (132\$/ha) ont été effectuées dans la parcelle sous régie à moindres risques, alors que dans celle sous régie conventionnelle, en plus des deux applications d'huile minérale (211\$/ha), une application d'acéquinocyl (187\$/ha), une application de pyridabène (130\$/ha) et une d'abamectine (93\$) ont été effectuées. Cela s'est traduit par une augmentation de 70% (377\$/ha) des coûts liés aux acaricides dans cette parcelle. Pour les insecticides, des coûts plus élevés ont été encourus en 2021 pour la parcelle sous régie à moindres risques, alors que l'inverse fut observé les autres années. Les applications d'attracticide à base de spinosad ont été principalement utilisées dans la régie à moindres risques (Annexe 16).

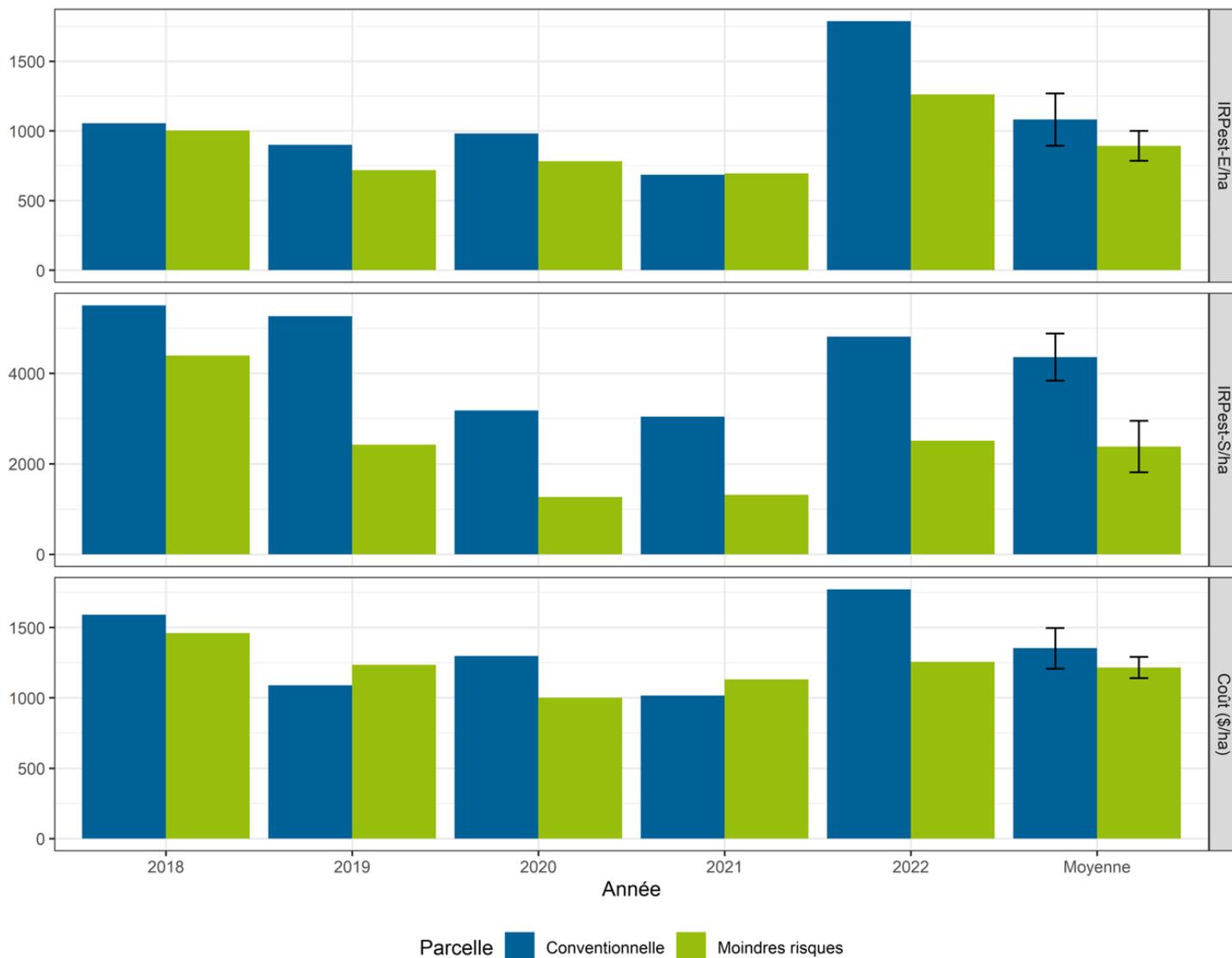


Figure 15. Impacts comparés de la régie à moindres risques et de la régie conventionnelle du site 4 (indices de risque santé et environnement et coûts directs).

Analyse détaillée - Impact sur le calibre des fruits et le rendement réel

Pour l'ensemble des cinq années du projet, il y a eu peu de différences quant au calibre des pommes entre la parcelle conventionnelle et la parcelle à moindres risques (cv. Cortland) (Annexe 4). Le calibre moyen des pommes était de 74.6 ± 0.5 mm dans la parcelle conventionnelle et de 74.5 ± 0.5 mm dans la parcelle à moindres risques (Annexe 3). À l'exception de l'année 2022, le rendement a cependant toujours été inférieur dans la parcelle sous régie à moindres risques. C'est en 2018 qu'a été observée la plus grande différence de rendement, avec 67t/ha pour la régie à moindres risques et 44t/ha pour la régie conventionnelle, alors qu'en 2019, le rendement global a été le plus faible de toutes les années du projet, soit 42t/ha pour la parcelle à moindres risques et 47t/ha pour la parcelle conventionnelle (Annexe 7).

Analyse détaillée - Impact sur les dommages à la récolte

De façon générale, il y a eu plus de dommages dans la parcelle sous régie à moindres risques que dans la parcelle sous régie conventionnelle, mais la différence observée a été beaucoup plus importante pour le cultivar Spartan que le cultivar Cortland. En effet, pour le cultivar Spartan, peu de dommages ont été comptabilisés dans la parcelle conventionnelle, tandis qu'un nombre important de fruits ont été déclassés en raison de petits calibres dans la parcelle sous régie à moindres risques. Pour le cultivar Cortland, la majorité des dommages observés ont été attribuables à divers agents abiotiques (bris mécanique, frottement, etc.) ainsi qu'aux insectes et aux petits calibres (Annexe 17).

Résumé site 4

- L'utilisation de matières actives à faible impact et le retrait du mancozèbe et du spiroadiclofène dans la parcelle à moindres risques ont diminué de 45% les indices de risque sur la santé.
- Les réductions des indices de risques sur l'environnement observées pour les fongicides ont été attribuées principalement à l'utilisation du bicarbonate de potassium.
- La réduction des risques sur l'environnement pour les insecticides a été en partie obtenue par le retrait de certaines applications d'insecticides contenant du lambda-cyhalothrine ou du chlorantraniliprole et par l'utilisation de l'attracticide à base de spinosad pour la lutte contre la mouche de la pomme.
- Le coût à l'hectare moyen associé à la régie à moindres risques (1216\$/ha) a été 10% plus bas que celui de la régie conventionnelle (1352\$/ha).
- Il n'y a eu aucune différence marquée entre les deux parcelles quant au calibre des fruits.
- L'utilisation de produits à moindres risques n'a pas affecté de façon importante la qualité des fruits à la récolte.

Étude de cas 5 – Site misant sur un gain de confiance progressif pour l’implantation d’une régie à risque réduit

Analyse quinquennale – Impact sur la santé, l’environnement, les coûts, le calibre des fruits, le rendement et les dommages à la récolte

Durant les deux premières années du projet, le mancozèbe, le métirame et le benzovindiflupyr ont été fréquemment utilisés dans les deux types de parcelles. En début de projet, l’éclaircissage des fruits reposait également sur l’utilisation du carbaryl et ce, dans les deux parcelles. Ce n’est qu’à partir de la troisième année que des produits à moindres risques pour la lutte aux maladies ont été davantage utilisés. Toutefois, des réductions des indices de risques sur la santé (40%) et sur l’environnement (9%) ont été observées en moyenne sur les cinq années, principalement reliées aux insecticides. La diminution de l’utilisation de certains fongicides (mancozèbe et métirame) et d’un acaricide (spirodiclofène) ont contribué à la diminution des indices de risques sur la santé dans la parcelle à moindres risques. Les diminutions des indices de risques sur l’environnement ont quant à elles été attribuées à une diminution de l’utilisation de certains acaricides (huile minérale), fongicides (mancozèbe, métirame) et agents d’éclaircissage (carbaryl) (Annexe 18).

L’analyse quinquennale des coûts a révélé une légère hausse de 50\$/ha dans la parcelle à moindres risques, comparativement aux applications dans la parcelle conventionnelle. En moyenne, les coûts des applications ont été de 2086\$/ha pour la régie conventionnelle et de 2136\$/ha pour la régie à moindres risques (Figure 16, Annexe 10). Bien qu’en tenant compte de tous les types de produits, ces coûts soient assez similaires pour les deux parcelles, les coûts reliés aux applications d’insecticides ont quant à eux été plus élevés dans la parcelle sous régie à moindres risques. Les applications d’attracticide à base de spinosad (GF-120) ont été majoritairement responsables de cette augmentation (Annexe 18).

En moyenne, il n’y a eu aucune différence marquée entre les deux parcelles quant au calibre des fruits des deux cultivars échantillonnés (Annexe 3). En 2020, le rendement du cultivar Spartan a été largement supérieur dans la parcelle à moindres risques, comparativement à la parcelle conventionnelle, alors que l’inverse a été observé en 2022. Pour le cultivar McIntosh, le rendement a été assez similaire dans les deux parcelles, à l’exception de l’année 2021, où un rendement inférieur a été observé dans la parcelle à moindres risques (Annexe 8).

En moyenne, sur les cinq années, très peu de dommages ont été compilés pour le cultivar Spartan et ces dommages étaient similaires dans les deux parcelles. Pour le cultivar McIntosh, il y a eu en moyenne une plus grande quantité de dommages dans la parcelle à moindres risques que dans la parcelle sous régie conventionnelle. C’est principalement en 2022 qu’un niveau beaucoup plus important de dommages a été observé (Annexe 19).

Analyse détaillée – Impact sur la santé

Une réduction importante des indices de risque sur la santé a été observée à partir de 2020, autant dans la parcelle sous régie conventionnelle que dans celle à moindres risques et cette

observation s'est maintenue pour les saisons subséquentes. Les indices de risques sur la santé ont toutefois été, dès 2018, environ 40% inférieurs dans la parcelle sous régie à moindres risques, comparativement à celle sous régie conventionnelle (Figure 16, Annexe 10). Le pulvérisateur AirCheck avec buses anti-dérive et les insecticides utilisés ont été responsables de la réduction observée entre les deux parcelles. En effet, lors de la première année du projet, le nombre d'applications de produits antifongiques a été similaire entre les deux parcelles, soit neuf applications de mancozèbe et quatre applications de métirame. Pour la saison 2019, le constat a été relativement similaire, à l'exception d'une légère diminution du nombre d'applications de mancozèbe dans la parcelle à moindres risques, soit un total de 19 applications (IRPest-S/ha : 5153) dans la parcelle conventionnelle, en comparaison à 13 applications (IRS : 2666) dans la parcelle à moindres risques. Le retrait de six applications de mancozèbe dans la parcelle à moindres risques a permis une réduction des risques sur la santé de 48% pour cette matière active. Les applications de mancozèbe dans la parcelle à moindres risques ont été substituées en 2019 par quatre applications de bicarbonate de potassium et soufre (IRPest-S/ha : 75). En 2020, le cumul des indices de risques sur la santé de la parcelle conventionnelle a été de 4364, comparativement à 1701 pour la parcelle à moindres risques. Cette fois, la diminution de 61% a été attribuée principalement aux changements de matières actives antifongiques plutôt qu'aux insecticides. Au total, cinq applications de métirame (IRPest-S/ha : 2180) ont été effectuées, contrairement à une application de métirame (IRPest-S/ha : 145), 17 applications de soufre (IRPest-S/ha : 242) et sept applications de bicarbonate (IRPest-S/ha : 33) dans la parcelle à moindres risques (Annexe 18). Bien que la réduction des impacts sur la santé observée soit élevée, l'indice de risque sur la santé d'une des matières actives fongique n'a pas été comptabilisé dans le sommaire. Il s'agit de l'octanoate de cuivre (CUEVA), qui a été appliqué à huit reprises dans la parcelle à moindres risques en 2020 et dont la cotation de risques (santé et environnement) n'est pas intégrée au registre de SAgE pesticides. De ce fait, la réduction observée sur les indices de risques sur la santé pour la parcelle à moindres risques est probablement légèrement moindre. Pour les deux dernières années, les traitements phytosanitaires ont été similaires entre les deux parcelles. Ainsi, la réduction observée a été de 32% au niveau des indices de risques sur la santé. Le retrait (2018 et 2021) ou la substitution (2020 et 2022) du carbaryl par l'acide naphtylacétique dans la parcelle à moindres risques a également permis une réduction de 60% des indices de risques sur la santé (Annexe 18).

Analyse détaillée – Impact sur l'environnement

De façon générale, une réduction de 9% a été observée au niveau des indices de risques sur l'environnement dans la parcelle à moindres risques. Les deux premières années ont affiché des réductions majeures, respectivement 412 (20%) et 301 (14%) (Figure 16, Annexe 10). Pour la saison 2018, deux applications de carbaryl (IRPest-E/ha : 300) ont été effectuées dans la parcelle conventionnelle, comparativement à aucune application dans la parcelle à moindres risques. De plus, trois applications de phosmet (IRPest-E/ha : 432) ont été effectuées dans la parcelle conventionnelle, comparativement à deux applications de phosmet (IRPest-E/ha : 186) dans la parcelle à moindres risques. L'utilisation complémentaire de six applications d'attracticide à base de spinosad (IRPest-E/ha : 150) a

permis le retrait d'une application de phosmet, ce qui a permis une réduction de 22% des indices de risques. Pour la saison 2019, les 19 applications de mancozèbe (IRPest-E/ha : 848) ont été responsables de la grande majorité des indices de risque sur l'environnement de la parcelle conventionnelle, comparativement à 13 applications de mancozèbe (IRPest-E/ha : 670) dans la parcelle à moindres risques. Conjointement à ces 13 applications, trois applications de bicarbonate de potassium (IRPest-E/ha : 3) et quatre applications de soufre (IRPest-E/ha : 92) ont permis de réduire les indices de risques sur l'environnement dans la parcelle à moindres risques. Pour la saison 2020, une augmentation de 49% des indices de risques sur l'environnement a été observée dans la parcelle à moindres risques (sans compter les huit applications d'octanoate de cuivre qui n'ont pu être comptabilisées). L'augmentation des indices de risque sur l'environnement dans la parcelle à moindres risques est attribuable aux insecticides, principalement l'attracticide à base de spinosad, qui a été utilisé à sept reprises dans la parcelle à moindres risques (IRPest-E/ha : 175), alors qu'il n'a pas été utilisé dans la parcelle conventionnelle (Annexe 18).

Analyse détaillée – Impact sur les coûts

De façon globale, le coût moyen des applications effectuées dans la parcelle sous régie conventionnelle (2136\$/ha) a été similaire à celui associé à la parcelle sous régie à moindres risques (2136\$/ha) (Figure 16, Annexe 10). Une différence notable a toutefois été observée au niveau des insecticides en 2018, 2019 et 2020. Les applications répétées d'attracticide à base de spinosad (GF-120) dans la parcelle sous régie à moindres risques sont responsables des coûts plus élevés associés à cette parcelle. Par exemple, en 2020, les coûts d'applications du GF-120 (560\$/ha) ont représenté 65% du coût total des insecticides utilisés dans la parcelle à moindres risques (854\$/ha). Cela s'est traduit par des coûts liés aux insecticides plus de deux fois plus élevés dans cette parcelle que dans celle sous régie conventionnelle. Lors des deux dernières années, des applications de GF-120 ont été intégrées au programme de lutte aux insectes utilisé dans la parcelle à régie conventionnelle, ce qui explique qu'une telle différence n'a pas été observée en 2021 et 2022. En 2022, le coût des applications d'insecticides dans la parcelle à moindres risques (750\$/ha) a même été inférieur à celui observé pour la parcelle conventionnelle (788\$/ha). D'une année à l'autre, l'utilisation de certains produits a fait varier les coûts d'applications observés dans l'une ou l'autre des parcelles. Par exemple, en 2018, les acaricides appliqués dans les deux parcelles, notamment l'huile (293-439\$/ha) et le bifenazate (326-328\$/ha), ont été en partie responsables des coûts plus élevés observés lors de cette saison. De la même façon, l'utilisation du prohexadione de calcium (APOGEE) comme régulateur de croissance (2020 et 2022) et de l'acequinocyl comme acaricide (2020) a également occasionné une augmentation des coûts lors de ces saisons. Au niveau du coût des fongicides, de façon globale, peu de différences ont été observées entre les deux types de parcelles. En 2019, 2021 et 2022, on a observé un coût inférieur de 2% en moyenne dans la parcelle à moindres risques, alors qu'en 2018 et 2020, le coût des fongicides pour la parcelle à moindres risques a été supérieur de 13% en moyenne, comparativement à la parcelle conventionnelle (Annexe 18).

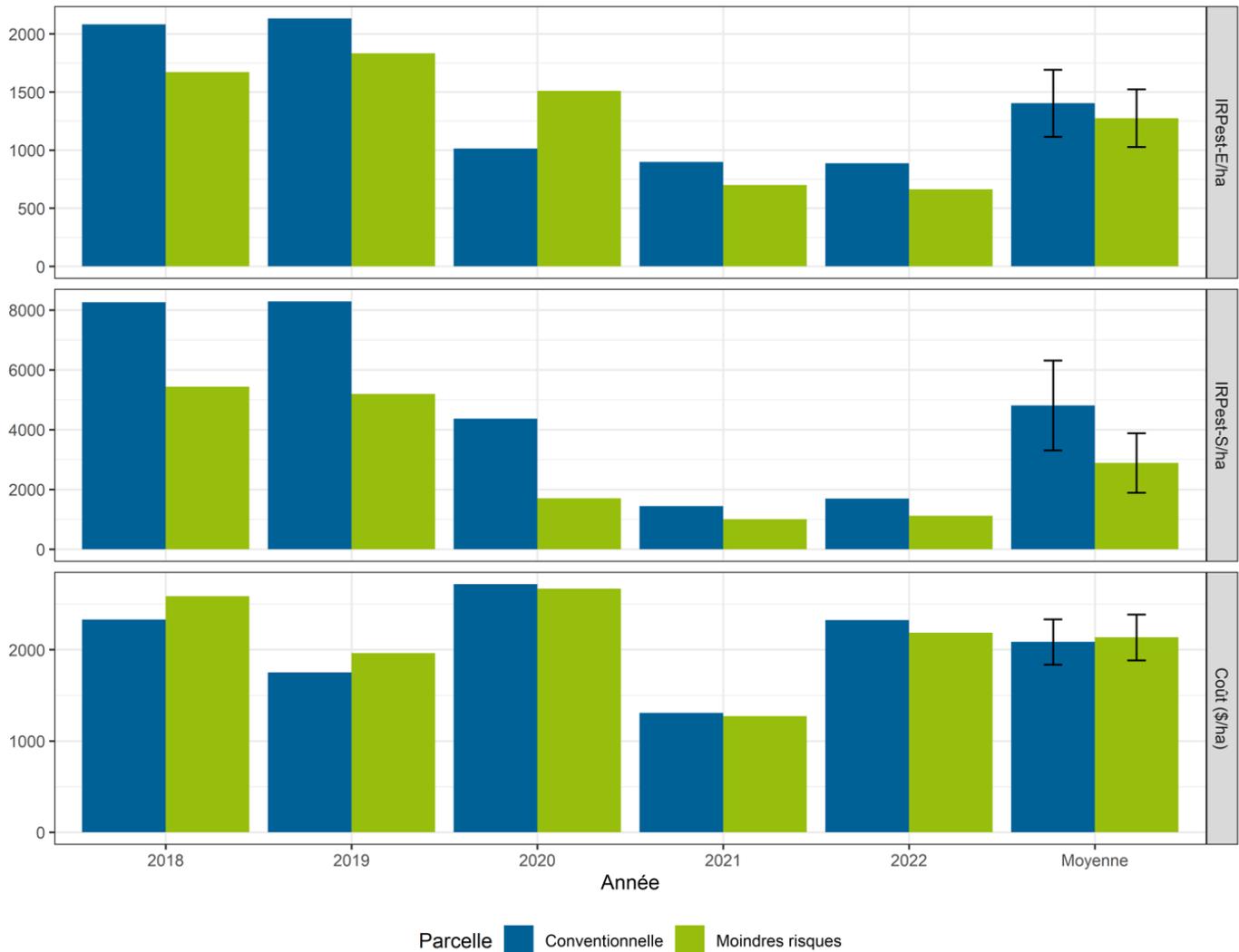


Figure 17. Impacts comparés de la régie à moindres risques et de la régie conventionnelle du site 5 (indices de risque santé et environnement et coûts directs).

Analyse détaillée - Impact sur le calibre des fruits et le rendement estimé

De façon globale, aucune différence marquée entre les deux parcelles n'a été observée quant au calibre des fruits lors des cinq années. Un calibre moyen d'environ 68 mm a été observé pour les deux cultivars (McIntosh et Spartan) (Annexe 3). En 2020, le rendement du cultivar McIntosh a été similaire dans les deux parcelles, soit en moyenne 42kg/arbre. Cependant, le rendement du cultivar Spartan pour cette même année a été de 12 kg/arbre supérieurs dans la parcelle à moindres risques que dans la parcelle conventionnelle. En 2021, le rendement de la Spartan a été comparable dans les deux parcelles, soit 34 kg /arbre. Pour cette même année, le cultivar McIntosh a eu un rendement supérieur d'environ 9 kg/arbre dans la parcelle conventionnelle, comparativement à la parcelle à moindres risques. Finalement, en 2022, le rendement du cultivar McIntosh a été légèrement supérieur dans la parcelle à moindres risques (50.87 ± 2.09 kg/arbre) comparativement à la parcelle

conventionnelle (46.74 ± 1.62 kg/arbre), alors que le rendement du cultivar Spartan a été beaucoup plus élevé dans la parcelle conventionnelle (49.80 ± 0.62 kg/arbre) que dans la parcelle à moindres risques (36.07 ± 0.82 kg/arbre) (Annexe 8).

Analyse détaillée – Impact sur les dommages à la récolte

Pour le cultivar McIntosh, la majorité des dommages observés ont été attribués aux maladies. L'année 2022 s'est démarquée par un nombre très important de dommages (maladies et malformations) observés dans la parcelle à moindres risques, comparativement à la parcelle conventionnelle et comparativement aux autres années. Le nombre de dommages attribués aux insectes a été relativement semblable dans les deux parcelles. Ces dommages ont été attribués principalement aux chenilles d'été, aux carpocapses et aux tordeuses dans la parcelle conventionnelle, alors que les dommages observés dans la parcelle à moindres risques ont été majoritairement causés par la punaise terne (Annexe 19).

Résumé site 5

- Ce site a considérablement réduit les applications de mancozèbe, métirame et benzovindiflupyr, et ce même dans la parcelle sous régie conventionnelle en fin de projet.
- L'utilisation de buses anti-dérive et la réduction du nombre d'applications de mancozèbe ont réduit en moyenne de 40% les indices de risque sur la santé dans la parcelle à moindres risques.
- L'utilisation du bicarbonate de potassium + soufre a contribué à diminuer les indices de risques sur l'environnement.
- L'adoption de l'attracticide à base de spinosad pour la lutte à la mouche de la pomme s'est traduite par une baisse des indices de risques à la santé dès les premières années dans la parcelle à moindres risques et également dans la parcelle conventionnelle lors des dernières années du projet.
- Les coûts liés aux applications d'insecticides ont été plus élevés, principalement dû aux applications de GF-120, mais globalement (tous types de produits confondus), la hausse des coûts dans la parcelle à moindres risques a été minime.
- Il n'y a eu aucune différence marquée entre les deux parcelles quant au calibre des fruits.
- Le nombre total de dommages a été similaire dans les deux régies pour le cultivar Spartan, mais supérieur dans la parcelle à moindres risques pour le cultivar McIntosh dû aux résultats de l'année 2022.

Résultats globaux sur l'ensemble des vitrines

Cette section présente les différences majeures observées en moyenne pour l'ensemble des sites participants.

Indices de risque sur la santé

Comme illustré à la figure 18, l'adoption d'une régie phytosanitaire intégrant des produits à moindres risques a effectivement permis une réduction des indices de risque sur la santé. De façon globale, cette réduction a été de 40% (30 à 45% selon les sites) (Annexe 10). Elle a été principalement modulée par la substitution de produits fongiques et acaricides à hauts risques, tels que le fluazinam, le mancozèbe, le métirame, le captane et le spiroadiclofène. La substitution de certains de ces produits antifongiques à hauts risques par le bicarbonate de potassium a permis de réduire les risques sur la santé dans tous les sites, mais de façon plus prononcée au site 1 (à partir de 2020), au site 2 (dès la première année) et au site 5 (même dans la parcelle sous régie conventionnelle). L'utilisation du mélange de bicarbonate de potassium et du soufre a été progressivement adoptée par les producteurs dans les parcelles à moindres risques et, dans certains sites, aussi dans la parcelle sous régie conventionnelle. Le nombre moyen d'applications en première année du projet était d'une application annuelle par site et a augmenté à cinq applications annuelles par site en dernière année. Lorsque les conditions météorologiques et la logistique de traitements l'ont permis, il a été même possible de contrôler efficacement les infections de tavelure en utilisant presque exclusivement le mélange de bicarbonate et de soufre - par exemple au site 2 en 2019 où neuf applications de ce mélange et seulement trois applications de métirame ont été effectuées en comparaison à dix applications de ce produit dans la parcelle conventionnelle.

La réduction observée des indices de risques sur la santé a également été modulée par l'utilisation du pulvérisateur AirCheck avec buses anti-dérive dans la parcelle à moindres risques. Pour une même matière active, à dose égale, cela a permis de diminuer les indices de risque sur la santé de 25%, autant pour les insecticides que pour les fongicides. La diminution brute engendrée par l'utilisation de ce mode de pulvérisation varie donc selon l'indice de risque initial associé à une matière active donnée. Par exemple, lors d'une application du fluazinam à une dose de 0,5L/ha, la réduction des indices de risques sur la santé attribuée au choix du type de pulvérisation (anti-dérive) se chiffre à 300 (Tableau 3). En comparaison, pour le lambda-cyhalothrine, à dose égale, l'utilisation de buses anti-dérive permet un gain réel qui se chiffre à 110. Le tableau 3 indique, pour différents produits ayant des indices de risques variés, la valeur des différences brutes des indices de risques sur la santé associée au type de pulvérisation utilisé.

Tableau 3. Exemples des différences observées au niveau des IRS en fonction du type de pulvérisation pour les acaricides, fongicides et insecticides en utilisant une dose appliquée similaire.

Traitement	Matière active	Dose	IRS pulvérisation haute	IRS pulvérisation anti-dérive	Différence des IRS
acaricide	ENVIDOR 240SC	0,75 L	782	587	195
	KANEMITE 15SC	2 L	19	14	5
fongicide	ALLEGRO 500F	0,5 L	1202	902	300
	SHARDACAPTAN48SC	3 L	532	399	133
	FOLPAN 80 WDG	3 kg	490	368	122
	KUMULUS	4 kg	20	15	5
	BICARBONATE DE POTASSIUM	4 kg	5	5	0
insecticide	MATADOR 120 EC	0,083 L	439	329	110
	IMIDAN WP	2,7 kg	393	295	98

Indices de risque pour l'environnement

Comme illustré à la figure 18, de façon globale, une réduction des risques sur l'environnement de l'ordre de 14% a été observée dans les parcelles à moindres risques. Cette diminution est relativement faible en comparaison avec celle obtenue pour les indices de risque sur la santé. Pour quatre des cinq sites, la réduction des indices de risque sur l'environnement a varié de 9% à 36%, alors que pour le site 2, les indices de risque sur l'environnement ont été légèrement plus élevés dans la parcelle à moindres risques (Annexe 10). Bien que cette variation soit marginale (1%), elle peut s'expliquer d'une part, par le fait qu'à deux occasions dans ce verger (2019 et 2021) certains insecticides ont été appliqués uniquement dans la parcelle à moindres risques. En effet, deux applications d'attracticide à base de spinosad ont été effectuées en 2019 et une application localisée de deltaméthrine en 2021 a été réalisée. De plus, certains produits antifongiques utilisés dans la parcelle à moindres risques ont également contribué à l'augmentation des indices de risques sur l'environnement mesurés pour ce site. Par exemple, bien que l'utilisation du mélange de bicarbonate de potassium et soufre permet des gains intéressants au niveau des risques à la santé comparativement au métirame, au niveau des risques sur l'environnement, il ne se démarque pas autant. Conséquemment, si un nombre élevé d'applications de ce mélange est requis, comme ce fut le cas en 2019, les indices de risques sur l'environnement associés à cette régie peuvent se rapprocher, ou même dépasser, ceux associés à un programme de lutte basé sur l'utilisation du métirame. La même chose peut également s'appliquer à l'attracticide à base de spinosad (GF-120). Étant donné le nombre élevé d'applications qui est souvent requis lors de l'utilisation de ce produit, dépendamment de la pression des populations de mouches et de la fréquence des précipitations, il peut en résulter une augmentation des indices de risque sur l'environnement associés à ce dernier.

Coûts directs des pratiques à moindres risques

La synthèse quinquennale des coûts indique une augmentation de 12% en moyenne dans la parcelle à moindres risques, comparativement à la parcelle conventionnelle (Figure 18). Cette augmentation moyenne se traduit par un coût supérieur de 178\$/ha sur une période de cinq ans (Annexe 10). Il a été observé que pour quatre des cinq sites, l'adoption d'une régie à moindres risques a contribué (de 2% à 45%) à l'augmentation des coûts moyens. Une réduction des coûts (10%) a été observée seulement pour le site 4. Les insecticides, les régulateurs de croissance et d'éclaircissage sont les principaux traitements phytosanitaires qui ont été responsables de l'augmentation des coûts dans la parcelle à moindres risques. À l'inverse, l'utilisation de fongicides à moindres risques a permis de réduire les coûts qui ont été observés dans la parcelle à moindres risques.

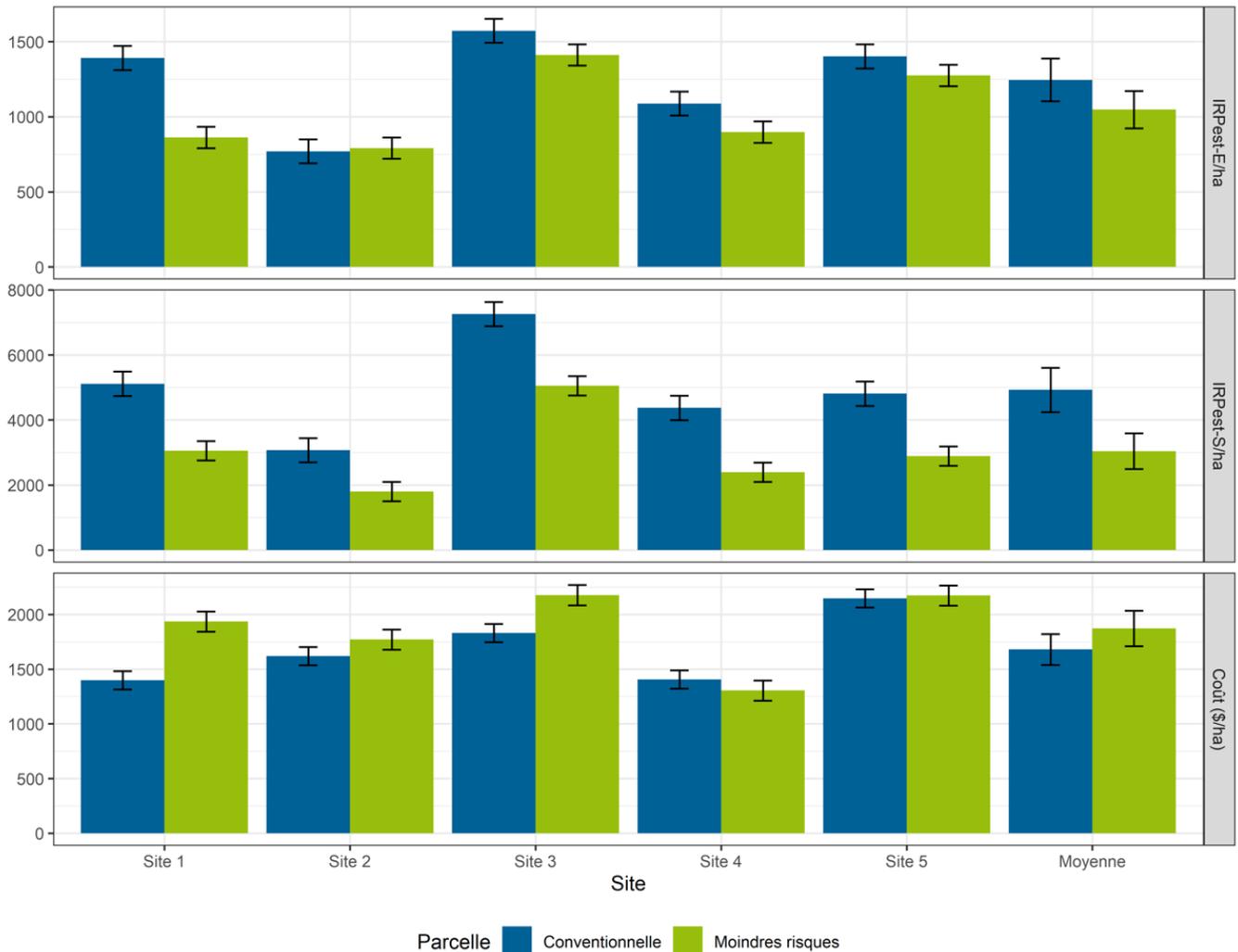


Figure 18. Synthèse des impacts comparés de la régie à moindres risques et de la régie conventionnelle pour l'ensemble des sites (indices de risque pour la santé et pour l'environnement et les coûts directs).

Focus sur une pratique à moindre risque : Exclusion par filets anti-insecte

Des filets d'exclusion ont été installés sur certains sites comme technique à moindres risques visant l'ensemble des ravageurs. Les sites 1, 3 et 4 (seulement 2019) ont mis en place une rangée de 100 m avec filet (programme de traitements réduits) et une rangée adjacente sans filet (conventionnelle), toutes avec le cultivar Honeycrisp. Le calibre des pommes de chaque parcelle a été mesuré en 2020 et 2022 pour le site 1 et de 2019 à 2022 pour le site 3. Les dommages sur fruits ont aussi été évalués pour les deux sites de 2019 à 2022. Au site 1, aucune application (fongicide, insecticide, acaricide, agent éclaircissant) n'a été effectuée dans les rangées sous filet. Il en est de même au site 3, à l'exception d'une application d'acaricide en juin 2021 effectuée à travers le filet et d'une application d'huile au printemps 2022 effectuée avant la fermeture des filets. La rangée sans filet a été traitée comme la parcelle sous régie conventionnelle.

Analyse détaillée - Impact sur le calibre des fruits

Pour le site 1, les pommes de la rangée sous filet avaient en moyenne un plus gros calibre (80.28 ± 0.31 mm) que les pommes de la rangée sans filet (75.65 ± 0.32 mm). Pour le site 3, le calibre moyen des pommes des deux rangées était relativement semblable, sauf en 2021, où le calibre des pommes sous filet (75.78 ± 0.60 mm) a été inférieur à celui des pommes de la parcelle sans filet (83.30 ± 0.92 mm) (Annexe 5).

Analyse détaillée - Impact sur les dommages à la récolte

Pour le site 1, il y a eu en moyenne plus de dommages sur les pommes à la récolte dans la rangée sans filet, comparativement à la rangée sous filet (200 pommes observées par parcelle, par année). Les pommes des deux rangées montraient des dégâts d'insectes, de maladie, de bris mécaniques et d'autres dégâts. Seules les pommes de la rangée sous filet ont présenté des dommages liés aux malformations et aux petits calibres, mais uniquement en 2021. Le point amer, prédominant dans les deux rangées en 2022, a affecté davantage les pommes de la rangée sans filet. La suie-moucheture a été la maladie la plus observée, affectant seulement les pommes de la rangée sous filet en 2021. La tordeuse a causé légèrement plus de dommages dans la rangée sous filet, alors que la punaise terne, la mouche de la pomme, le carpocapse, la cochenille et le charançon ont occasionné les principaux dégâts d'insectes dans la rangée sans filet (Annexe 20).

Le site 3 a eu en moyenne légèrement plus de dommages sur les pommes de la rangée sous filet (100 pommes observées par parcelle, par année). Les principaux dommages ont été attribués aux insectes (punaises, charançons, cochenilles, carpocapse et hoplocampe) et aux bris mécaniques, alors que les dommages observés dans la rangée sans filet ont été attribués aux maladies (blanc), aux malformations, au gel et autres dégâts. Les principaux ravageurs ayant causé des dommages sur les pommes de la rangée sans filet étaient les tordeuses et les punaises ternes (Annexe 21).

Focus sur une pratique à moindres risques : Introduction d'acariens prédateurs

Des introductions d'acariens prédateurs à partir de bois de taille ont été effectuées dans les parcelles à moindres risques aux sites 2 et 4 (en 2018, 2019 et 2021), au site 3 (en 2018 et 2021) et au site 5 (en 2018). En 2018, les introductions ont été réalisées à la fin juillet/début août en introduisant, dans chaque verger hôte, 400 branches venant du verger réservoir sélectionné. En 2019 et 2021, les introductions ont été réalisées en avril à partir du transfert de 1000-2000 branches de bois de taille par verger.

En termes de gestion des acariens ravageurs, un succès apparent a été observé au site 2, où l'introduction d'acariens prédateurs a précédé une diminution marquée d'acariens ravageurs et une augmentation d'acariens prédateurs avec un nombre de traitements limité (Annexe 22). Outre les applications d'huile effectuées lors de certaines saisons, les populations d'acariens ont été maintenues chaque année sous les niveaux dommageables sans recours à des applications additionnelles d'acaricides. Un portrait semblable fut toutefois observé dans la parcelle sans introduction. Ce genre d'observation est régulièrement rencontré dans les études de ce type, les prédateurs pouvant soit se disperser de différentes façons au-delà de la zone d'introduction, soit représenter les descendants d'individus qui étaient déjà présents dans le verger à de faibles densités. Aussi, les acariens prédateurs n'ont pas clairement montré de potentiel d'établissement à long terme et ont dû être introduits à trois reprises. La parcelle à moindres risques était aussi plus affectée par la présence d'acariens ravageurs que la parcelle conventionnelle.

Le site 3 a présenté un historique de traitements acaricides assez fréquents précédant et suivant les introductions de 2018 et 2021 (Annexe 23). De plus, les données de dépistages d'acariens prédateurs sont disponibles seulement en 2018. À cause de la fréquence des traitements et de l'absence de données disponibles sur les populations présentes d'acariens prédateurs, il est difficile de conclure si les introductions ont été bénéfiques pour cette entreprise dans les parcelles conventionnelles et à moindres risques. En 2021, l'introduction a aussi été faite dans les parcelles avec et sans filets (Annexe 24). Les populations d'acariens ravageurs ont diminué suivant l'introduction, mais ont remonté après la mi-juillet. Toutefois, cette tendance était aussi observable en 2020, et ce, sans introduction.

Au site 4, des applications d'huile et d'abamectine (parcelle conventionnelle) ont précédé l'introduction d'acariens prédateurs qui a été réalisée à la fin du mois de juillet 2018. (Annexe 25). Les dépistages effectués en août 2018 ont montré une présence accrue d'acariens prédateurs dans la parcelle à moindre risque comparativement à la parcelle conventionnelle. En 2019, la présence d'acariens prédateurs a été notée lors des dépistages, mais seulement en août après la montée des populations de tétranyques et une application d'acaricide a été réalisée dans les deux parcelles. En 2020, des applications d'huile en début de saison et d'acéquinocyl en cours de saison ont aussi été effectuées dans les deux parcelles. Une troisième introduction d'acariens prédateurs a été réalisée en début de saison 2021, combinée à des applications d'huile. Les dépistages réalisés au cours de cette saison n'ont toutefois pas révélé la présence de populations d'acariens prédateurs et des interventions acaricides ont à nouveau été effectuées durant la saison 2021 dans les deux

parcelles et la saison de 2022 dans la parcelle conventionnelle. En décimant les populations de tétranyques qui leur servent de nourriture, les applications répétées d'acaricides dans les parcelles avec introductions d'acariens prédateurs ont pu être néfastes à leur établissement. Il aurait possiblement été avantageux de tolérer provisoirement un niveau plus élevé d'acariens nuisibles dans la parcelle à moindres risques afin de favoriser davantage l'implantation et le développement des populations des prédateurs introduits.

Au site 5, la stratégie de lutte aux acariens a reposé généralement sur une application d'huile au printemps et sur une ou deux applications d'acaricides en saison en fonction des résultats du dépistage. Les introductions d'acariens ont été réalisées à une occasion, soit en 2018. Les populations d'acariens ravageurs et prédateurs ont fluctué au fil des années dans les deux parcelles. Celle à moindres risques a enregistré majoritairement plus d'acariens ravageurs que celle conventionnelle. Selon les données de dépistage, c'est surtout à partir de juillet que les acariens prédateurs étaient davantage présents, mais pas à toutes les années ou en nombre suffisant (Annexe 26).

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

La « mise en vitrine » de 23 pratiques à moindres risques dans le cadre de ce projet a permis aux producteurs de pommes du Québec de les voir à l'œuvre et de juger de leur pertinence pour leur entreprise. Bien qu'il s'agisse de pratiques éprouvées, elles avaient jusqu'à maintenant été peu utilisées au Québec pour différentes raisons (mauvaise perception, manque d'information ou de formation, coût plus élevé, etc.).

Les données prises et les événements tenus durant le projet auront permis à l'industrie pomicole de se mettre à niveau quant à ces pratiques, ce qui, nous l'espérons, permettra d'accélérer leur adoption. Ces pratiques sont toutes admissibles en production fruitière intégrée (PFI) et pourraient être considérées comme des pratiques obligatoires ou facultatives selon une évaluation qui pourrait être faite par les Producteurs de pommes du Québec.

Les pratiques suivantes sont à notre avis celles qui se sont le plus démarquées par leur popularité, leur efficacité et/ou leur capacité à réduire les risques, et constituent une cible de choix pour la mise sur pied et le renouvellement des programmes d'appui qui permettront à l'industrie pomicole québécoise de relever les nombreux défis qui l'attendent:

1. Bicarbonate de potassium contre la tavelure : pour son prix abordable et son innocuité;
2. Pulvérisation Aircheck : pour ses multiples attraits (économiques, agronomiques, écologiques, sociaux) et son applicabilité à toutes les pulvérisations;
3. Confusion sexuelle contre le carpocapse (et autres espèces lorsque disponible) : pour son innocuité et son efficacité peu importe les conditions météo et la résistance du ravageur ;
4. Lutte attracticide contre la mouche de la pomme (et autres espèces, lorsque disponible) : pour sa rapidité d'application et son innocuité;
5. Lutte physique contre les mauvaises herbes et les insectes (désherbage mécanique et filets) : pour leur caractéristique unique d'agir simultanément contre de multiples espèces sans besoin d'aucun pesticide

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Mikael Larose, M.Sc.

Chargé de projet - phytoprotection

IRDA

335, rang des Vingt-Cinq Est

Saint-Bruno-de-Montarville (Québec)

J3V 0G7

Bur :450-653-7368 poste 341

Cell :438-863-6515

mikael.larose@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Nous tenons à remercier nos différents partenaires pour leur implication et leur soutien dans la réalisation de ce projet :

Mélanie Noël et Jennifer Gagné, PPQ

Sylvain Caouette, Vergers et jardins Caouette

Marc-Antoine Lasnier et Derrick Trottier, Cidrerie Milton

Eric Saint-Denis et Anne Laurendeau, Verger Cœur de pomme

Martin Ferland, Verger Ferland

Stéphane et Luc Tremblay, Vergers Pierre Tremblay

Mathieu Gourdes-Vachon, agr.

Robert Maheux, club de pomiculture Yamaska

Maude Richard, Agropomme

François Gendron, CAE

Isabelle Turcotte, agr.

Christian Lacroix, MAPAQ direction régionale de Chaudière-Appalaches

Karine Bergeron, MAPAQ direction régionale de la Montérégie Est

Evelyne Barriault, MAPAQ direction régionale de la Montérégie Ouest

Caroline Turcotte, MAPAQ direction régionale de l'Estrie

Djamel Esselami et Jean-Baptiste Sarr, MAPAQ direction régionale des Laurentides

Stéphanie Tellier, MAPAQ direction régionale de la Capitale-Nationale

Elisabeth Fortier et Marie-Eve Bérubé, MAPAQ, Direction de la phytoprotection

Ainsi que toutes les personnes qui ont participé au cours des cinq années du projet.

Ce projet a été réalisé en vertu du volet 3 « Appui au développement et au transfert de connaissances en agroenvironnement » du programme Prime-Vert avec l'aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

ANNEXES

Annexe 1. Techniques proposées pour les parcelles sous régie à moindres risques.

Type de mesure	Techniques proposées	Période	Vitrines d'utilisation
Assainissement (10 pratiques)	<ul style="list-style-type: none"> Taille d'hiver et d'été 	Février-août	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Broyage des feuilles (machine Eliminae) 	Avril	Site 1, site 2, site 3, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Application d'urée au sol 	Printemps/Automne	
	<ul style="list-style-type: none"> Virus de la granulose du carpocapse (CpGV) 	Juin	Site 1, site 2
	<ul style="list-style-type: none"> Éclaircissage des fruits sans carbaryl 	Juin	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Élimination hôtes alternatifs 	Février-août	
		Mai	Site 2, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Introduction d'acariens prédateurs 	Annuellement	Site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Interdiction de produits toxiques aux acariens prédateurs¹ 	Post-floraison	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Paillis de bois raméal fragmenté et apport azoté au besoin² 	Printemps	Site 4
<ul style="list-style-type: none"> Pratiques qui visent à éviter la croissance rapide en été 	Mi-août	Site 2, site 4, site 5	
Suivi (4 pratiques)	<ul style="list-style-type: none"> Modèle prévisionnel <ul style="list-style-type: none"> RIMpro- Erwinia RIMpro 	Floraison	Site 1, site 2, site 3, site 5
		Avril-septembre	Site 1, site 2, site 3, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Modèle prévisionnel et interactif du carpocapse (modèle Agropomme) 	Mai-août	Site 4
	<ul style="list-style-type: none"> Dépistage avec seuil d'intervention <ol style="list-style-type: none"> Sphères rouges engluées Observations visuelles 	Juin-août	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
Mai-août		Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5	
Interventions (9 pratiques)	<ul style="list-style-type: none"> Désherbage mécanique² 	Printemps-été	Site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Interdiction de fongicides à haut IRPEQ 	Avril-septembre	Site 1, site 2, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Bicarbonate de potassium (B2K) et soufre 	Sur risques faibles	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5

	<ul style="list-style-type: none"> Lutte attracticide au GF-120 	Juillet-août	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Levure antagoniste <i>Aureobasidium pullulans</i> (BLOSSOM PROTECT) 	Sur risques faibles	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Prohexadione de calcium (APOGEE) 	Floraison	Site 2, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Confusion sexuelle du carpocapse³ 	Juin-septembre	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Huile suivie d'acaricides "verts" en rotation 	Juillet-août	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
	<ul style="list-style-type: none"> Pulvérisateur à distribution d'air optimisée (AirCheck) avec buses anti-dérive 	Avril-septembre	Site 1, site 2, site 3, site 4, site 5
Exclusion (1 pratique)	<ul style="list-style-type: none"> Filets anti-insecte contre l'ensemble des ravageurs⁴ 	Avril-septembre	Site 1, site 3, site 4

1- Il s'agit principalement de pyréthrianoïdes de synthèse.

2- Le choix exact de la pratique sera dépendant de la disponibilité et pourra débuter en première ou deuxième année

3- Cette technique agit sur une grande surface et la comparaison avec la régie conventionnelle n'est généralement pas possible.

4- Les filets seront utilisés dans une troisième parcelle, dans les sites où un cultivar peu sensible à la tavelure (ex. Honeycrisp) est disponible.

Annexe 2. Liste des évènements et réalisations qui ont eu lieu lors des cinq années du projet (2018 à 2022).

Mois	Année	Liste des réalisations	Participants
2018	Avril	Visite des vergers potentiels	IRDA, MAPAQ, club-conseil
	Mai	Installation des diffuseurs de phéromone	Site 1, Site 2, Site 5
		Téléconférence mensuelle	IRDA, MAPAQ, club-conseil
	Juin	Téléconférence mensuelle	IRDA, MAPAQ, club-conseil
		Rencontre fabrication Eliminae	IRDA
	Juillet	Réception désherbeur mécanique SALF	IRDA
		Fabrication structure filet d'exclusion	IRDA
		Désherbage mécanique	Site 1, Site 2
		Fabrication et livraison de pulvérisateur GF-120	Site 1, Site 2, Site 3, Site 4, Site 5
		Introduction acarien prédateur	Site 2, Site 3, Site 4, Site 5
		Téléconférence mensuelle	IRDA, MAPAQ, club-conseil
	Août		
	Septembre	Rencontre journaliste Julie Roy - Bulletin des agriculteurs	IRDA
		Création d'une plateforme web pour les activités reliées au projet	IRDA
		Création et remise aux producteurs des affiches Vitrine	IRDA, Site 1, Site 2, Site 3, Site 4, Site 5
	Octobre	Livraison et réception des pulvérisateurs WANNER	IRDA
		Téléconférence mensuelle	IRDA, MAPAQ, club-conseil
		Activités de formation et atelier sur les pulvérisateurs WANNER	Site 1, Site 2, Site 3, Site 4, Site 5
	Novembre	Installation des structures pour recevoir les filets d'exclusion	Site 1, Site 3, Site 4
Décembre	Présentation aux journées Saint-Rémi	IRDA	
Janvier			
Février	Téléconférence pour faire le bilan de la saison	IRDA, MAPAQ, club-conseil, Site 1, Site 2, Site 3, Site 4	
2019	Avril	Calibration des 5 pulvérisateurs	IRDA, Producteurs, club-conseil (2 à 4 conseillers et 2 à 15 producteurs par vitrine)
		Passage du broyeur à feuilles et à branches et captation vidéo	Dans les cinq vergers participants
		Introduction acariens prédateurs	Site 2, Site 4
	Mai	Installation des diffuseurs de phéromone	Site 1, Site 2, Site 5

		Installation des filets d'exclusion	Site 1, Site 3, Site 4
	Juin	Téléconférence mensuelle	IRDA, MAPAQ, club-conseil
		Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
	Juillet	Journées de démonstration : Désherbeur mécanique, filets d'exclusion, introduction acarien prédateur, IRS-IRE	IRDA, Site 2, Site 3
	Août	Désherbeur mécanique	Site 1
		Journées de démonstration : Désherbeur mécanique, filets d'exclusion, IRS-IRE	Site 5
	Septembre		
	Octobre		
	Novembre		
	Décembre	Présentation aux journées Saint-Rémi	Panel de producteurs animé par l'IRDA
		Téléconférence pour faire le bilan de la saison	IRDA, MAPAQ, club-conseil, Site 1, Site 2, Site 3, Site 4
	Janvier		
	Février		
2020	Avril	Calibration des 5 pulvérisateurs Wanner	IRDA, Producteurs, club-conseil Dans les trois vergers participants
	Mai	Installation des diffuseurs de phéromone	Site 1, Site 2, Site 5
		Installation des filets d'exclusion	Site 1, Site 3
	Juin	Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
	Juillet		
	Août		
	Septembre	Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
		Prise de mesures de calibre et poids	Site 1, Site 2, Site 5
	Octobre		
	Novembre		
	Décembre		
Janvier	Webinaire Réseau-Pommier et présentation des capsules vidéo	Panel de producteurs et conseillers animé par l'IRDA (plus de 50 participants, dont 60% de producteurs)	

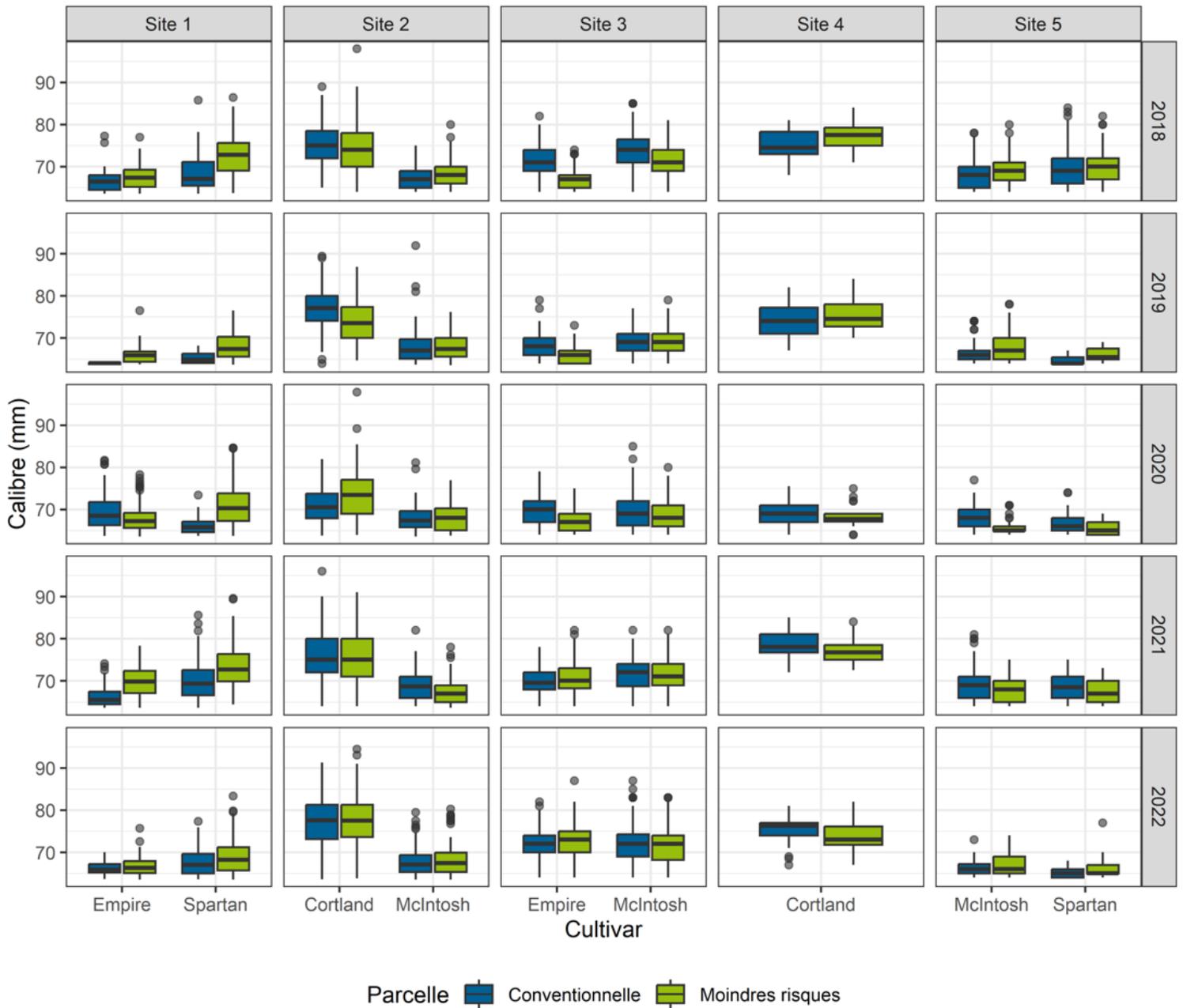
	Février		
2021	Avril	Calibration des 3 pulvérisateurs Wanner	IRDA, Producteurs, club-conseil Dans trois vergers participants
		Passage broyeur à feuille et à branche Eliminae	Site 1
		Introduction acariens prédateurs	Site 2, Site 3, Site 4
	Mai	Installation des diffuseurs de phéromone	Site 1, Site 2, Site 3, Site 5
		Installation des filets d'exclusion et amélioration du système d'ancrage	Site 1, Site 3
		Captation vidéo (capsules bicarbonate de potassium, broyeur à feuilles, filets)	Site 1, Site 2, Site 3
	Juin	Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
		Captation vidéo (capsule désherbeur)	Site 1
	Juillet	Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
		Captation vidéo (capsule GF-120)	Site 3, Site 4, Site 5
	Août	Journée de formation et démonstration	Site 1
	Septembre	Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
		Prise de mesures de calibre et poids	Site 1, Site 2, Site 5
	Octobre		
	Novembre	Réunion post saison	Cinq producteurs, conseillers clubs et MAPAQ
	Décembre		
Janvier	Présentation JARIT	Conseillers clubs	
Février	Présentation des résultats du projet lors des Webinaires Réseau-Pommier	Producteurs et conseillers, animé par l'IRDA (plus de 50 participants, dont 50% de producteurs)	
2022	Avril	Passage broyeur à feuille et à branche Eliminae	Site 1
	Mai	Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
	Juin		
	Juillet	Portes ouvertes Site 3	54 participants (IRDA, producteurs, conseillers club/MAPAQ)
Portes ouvertes cidrerie Milton		40 participants (IRDA, producteurs, conseillers club/MAPAQ)	

		Portes ouvertes Site 1	17 participants (IRDA, producteurs, conseillers club/MAPAQ)
		Portes ouvertes Site 4	32 participants (IRDA, producteurs, conseillers club/MAPAQ)
		Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
Août		Portes ouvertes Site 2	24 participants (IRDA, producteurs, conseillers club/MAPAQ)
		Utilisation du désherbeur mécanique	Site 1
Septembre		Prise de mesures de calibre et poids	Site 1, Site 2, Site 5
Octobre			
Novembre			
Décembre			
Janvier			
Février			

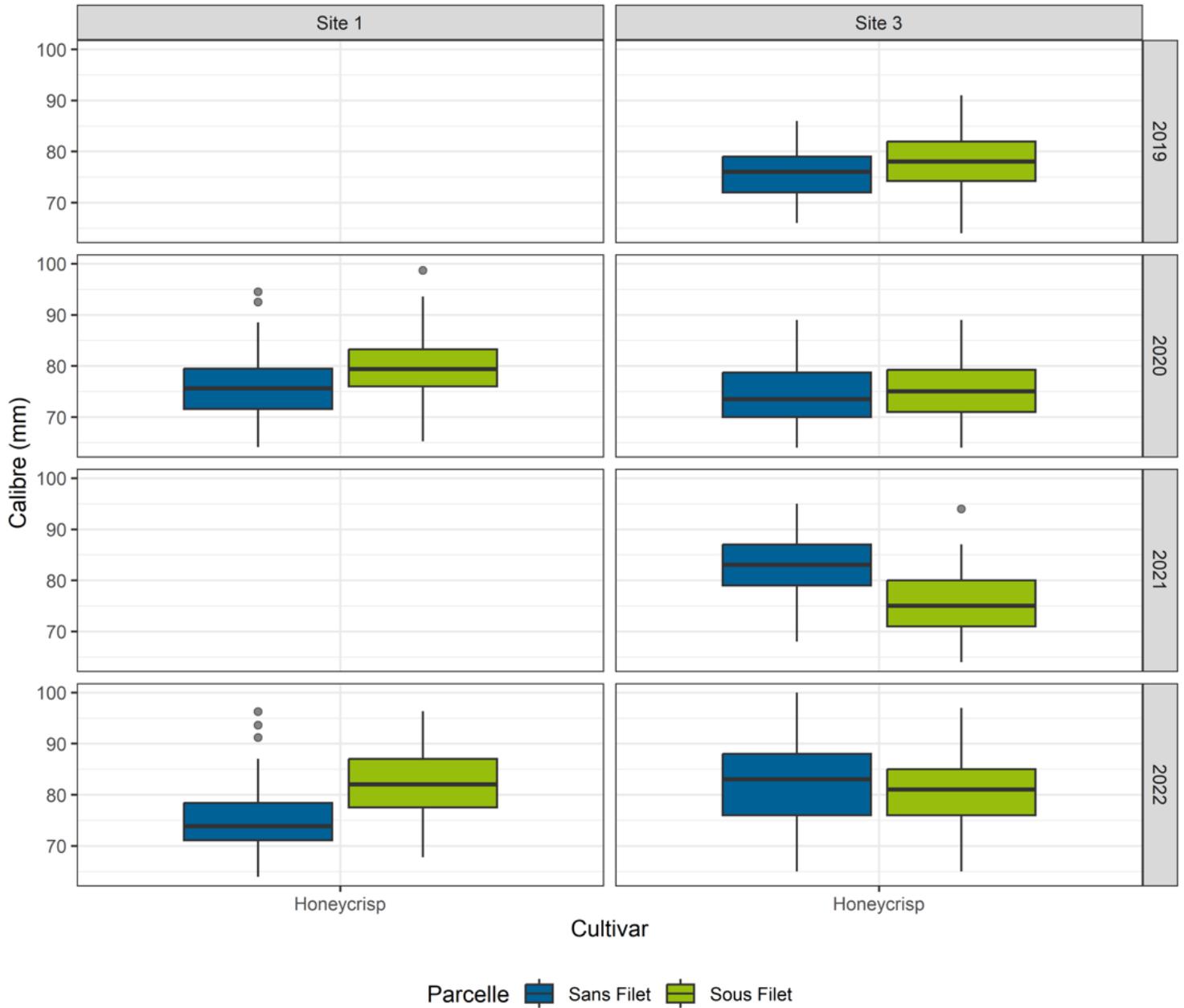
Annexe 3. Calibre moyen (\pm erreur type) des pommes observées selon les parcelles et les cultivars dans les différents sites (n= 5 années).

Sites	Cultivars	Parcelles	Calibre moyen (mm)	Erreur type
1	Empire	Conventionnelle	67.67	\pm 0.18
		Moindres risques	68.09	\pm 0.13
	Spartan	Conventionnelle	68.41	\pm 0.20
		Moindres risques	71.11	\pm 0.17
	Honeycrisp	Sans filet	75.65	\pm 0.32
Sous filet		80.28	\pm 0.31	
2	McIntosh	Conventionnelle	68.01	\pm 0.13
		Moindres risques	67.87	\pm 0.13
	Cortland	Conventionnelle	75.44	\pm 0.18
		Moindres risques	74.88	\pm 0.19
3	Empire	Conventionnelle	70.25	\pm 0.12
		Moindre risque	69.32	\pm 0.14
	McIntosh	Conventionnelle	71.24	\pm 0.14
		Moindres risques	70.69	\pm 0.13
	Honeycrisp	Sans filet	78.60	\pm 0.37
Sous filet		77.13	\pm 0.35	
4	Cortland	Conventionnelle	74.64	\pm 0.47
		Moindres risques	74.49	\pm 0.47
5	Spartan	Conventionnelle	68.32	\pm 0.20
		Moindres risques	68.61	\pm 0.20
	McIntosh	Conventionnelle	67.93	\pm 0.15
		Moindres risques	68.05	\pm 0.16

Annexe 4. Calibre moyen (\pm erreur type) des pommes observées dans les différents sites, selon les différentes parcelles et cultivars, pour chaque année du projet.



Annexe 5. Calibre moyen (\pm erreur type) des pommes observées dans deux sites où l'exclusion par filet anti-insecte a été mise en place, pour les parcelles avec et sans filet à chaque année du projet.

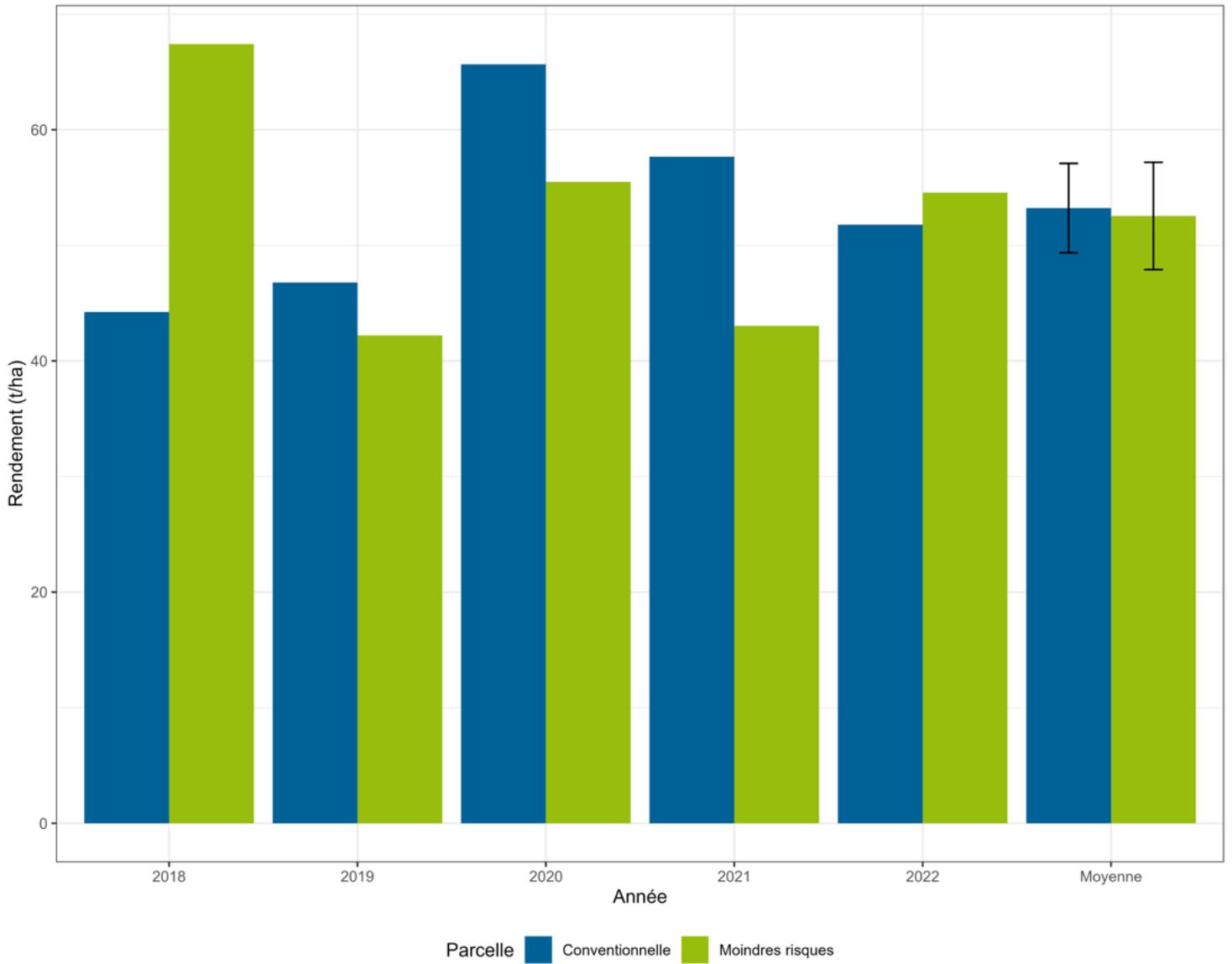


Annexe 6. Nombre de pommes observés pour l'évaluation des dommages à la récolte, selon les sites, l'année, le cultivar et la parcelle.

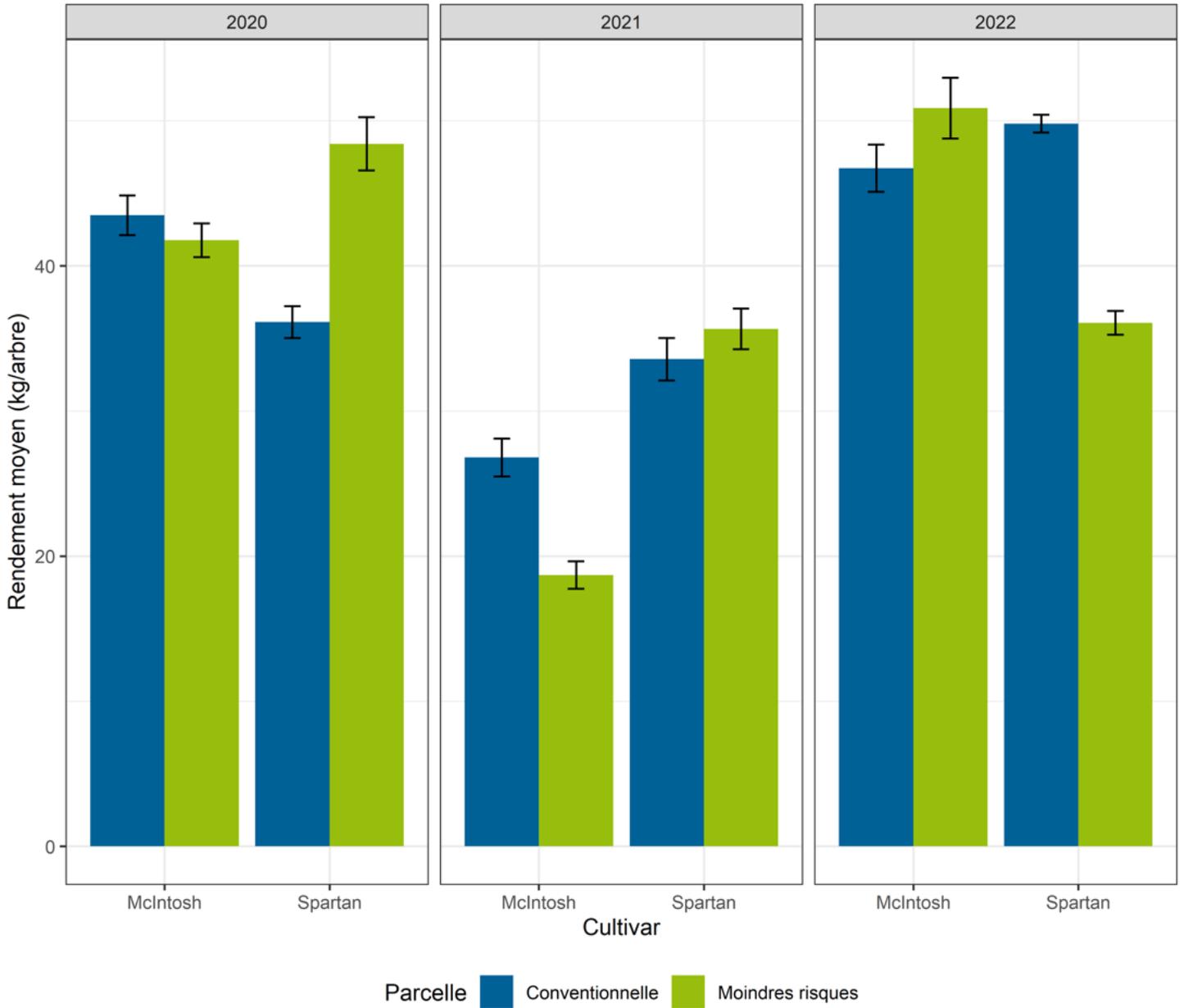
Site	Année	Cultivar	Nombre de pommes observées	
			Conventionnelle	Moindres risques
1	2018	Empire	500	500
		Spartan	500	500
	2019	Empire et Spartan	1050	1200
		Honeycrisp (filet)	200	200
	2020	Empire	500	500
		Spartan	500	500
		Honeycrisp (filet)	200	200
	2021	Empire	500	500
		Spartan	500	500
		Honeycrisp (filet)	200	200
	2022	Empire	500	500
		Spartan	500	500
Honeycrisp (filet)		200	200	
2	2018	Cortland	300	254
		McIntosh	250	250
	2019	Cortland	250	250
		McIntosh	260	250
	2020	Cortland	260	260
		McIntosh	260	260
	2021	Cortland	250	250
		McIntosh	250	250
	2022	Cortland	250	250
		McIntosh	250	250
3	2018	Empire	200	200
		McIntosh	200	200
	2019	Empire	200	200
		McIntosh	200	200
		Honeycrisp (filet)	100	100
	2020	Empire	200	200
		McIntosh	200	200
		Honeycrisp (filet)	100	100
	2021	Empire	200	200
		McIntosh	200	200
		Honeycrisp (filet)	100	100
	2022	Empire	200	200
McIntosh		200	200	
Honeycrisp (filet)		100	100	

4	2018	Cortland	280	200
		Spartan	40	160
	2019	Cortland	220	220
		Spartan	NA	140
	2020	Cortland	200	220
		Spartan	100	140
	2021	Cortland	200	220
		Spartan	100	140
2022	Cortland	200	220	
	Spartan	100	140	
5	2018	McIntosh	200	200
		Spartan	200	200
	2019	McIntosh	250	250
		Spartan	250	250
	2020	McIntosh	250	250
		Spartan	250	250
	2021	McIntosh	250	250
		Spartan	250	250
2022	McIntosh	500	500	
	Spartan	200	200	

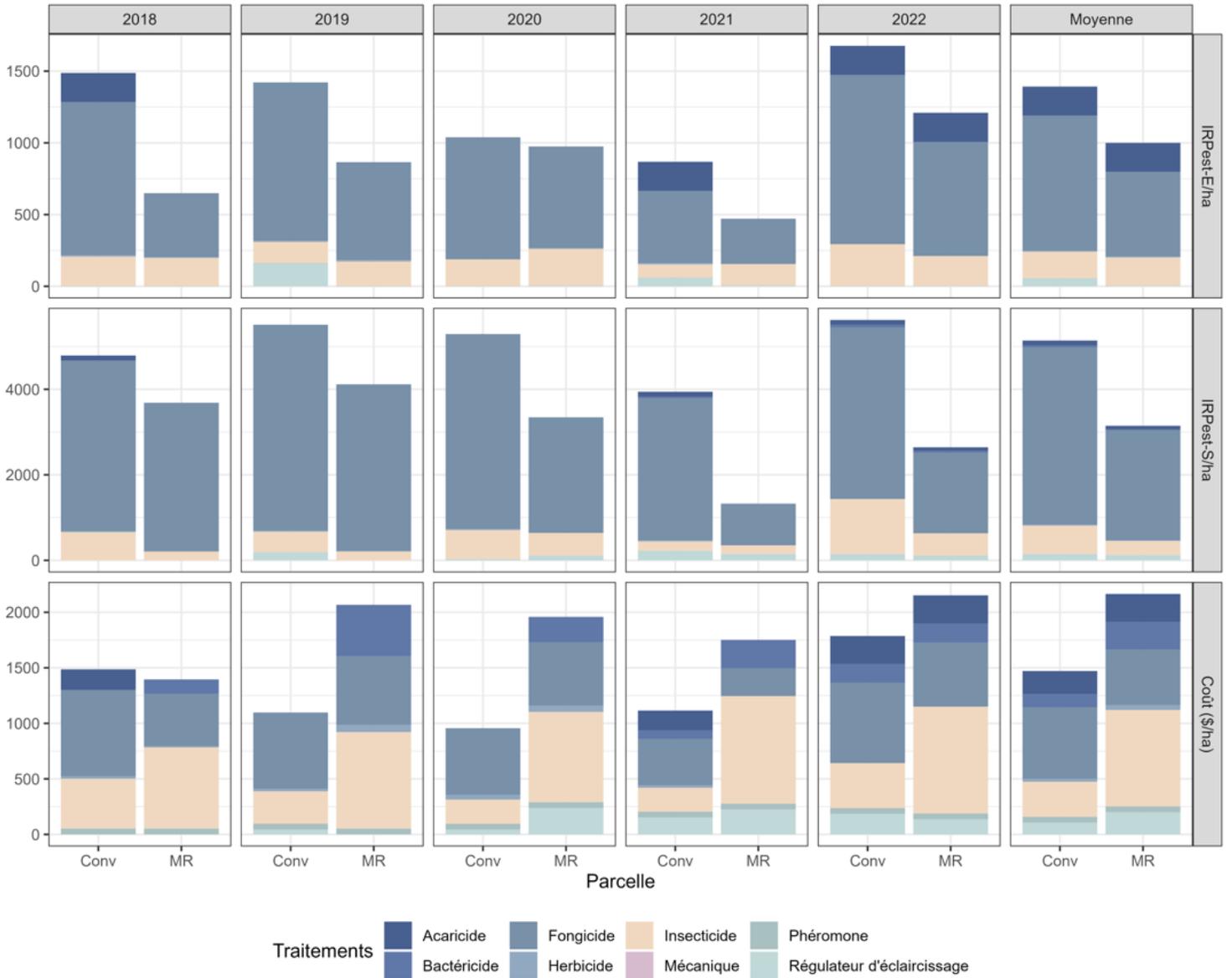
Annexe 7. Rendement réel à l'hectare au site 4 dans les deux types parcelles pour chaque année du projet.



Annexe 8. Rendement moyen estimé à l'hectare au site 5 pour les deux cultivars, dans les deux types parcelles et pour chaque année du projet.



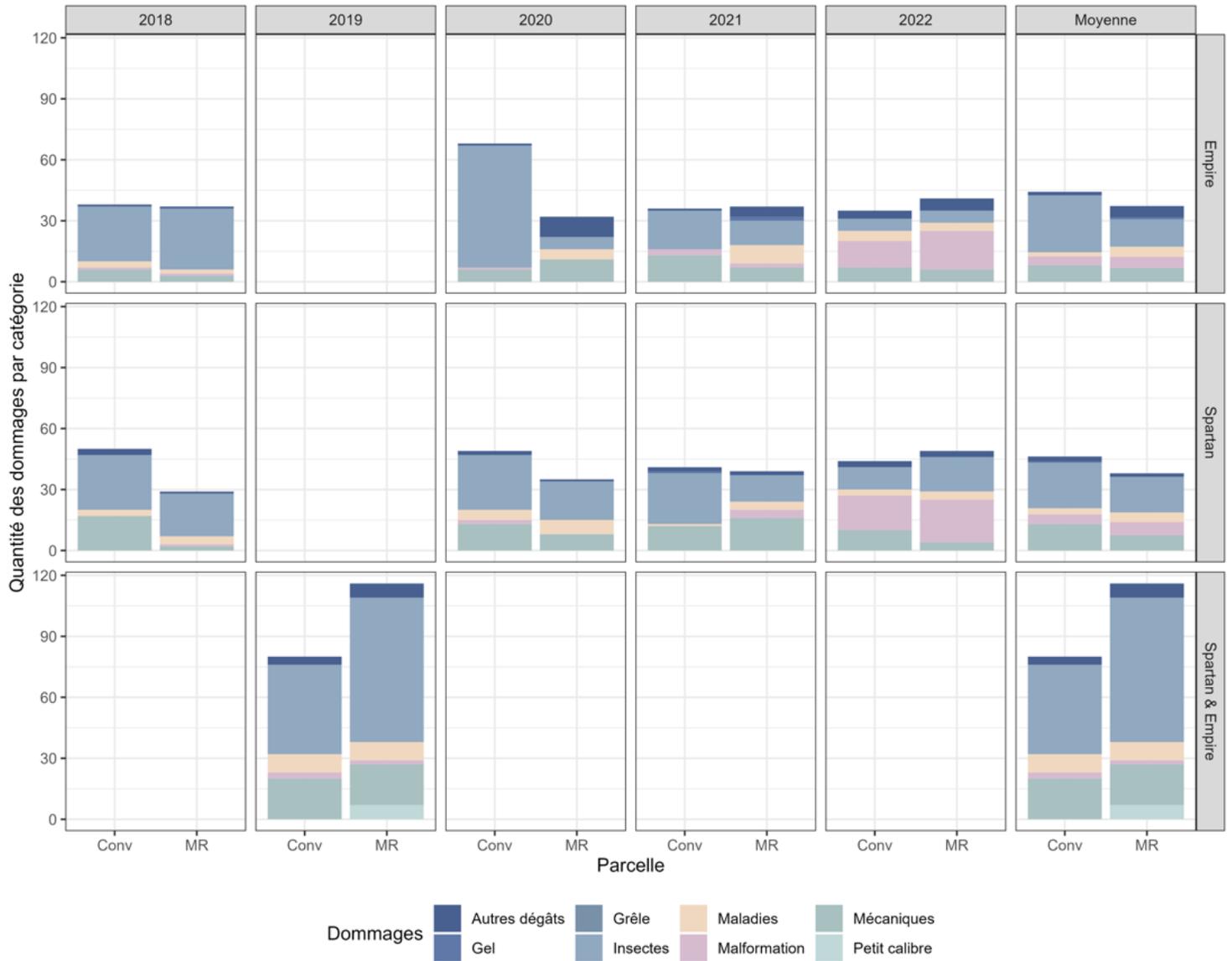
Annexe 9. Proportion des IRPest-E/ha, IRPest-S/ha et des coûts (\$/ha) pour le site 1 selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques).



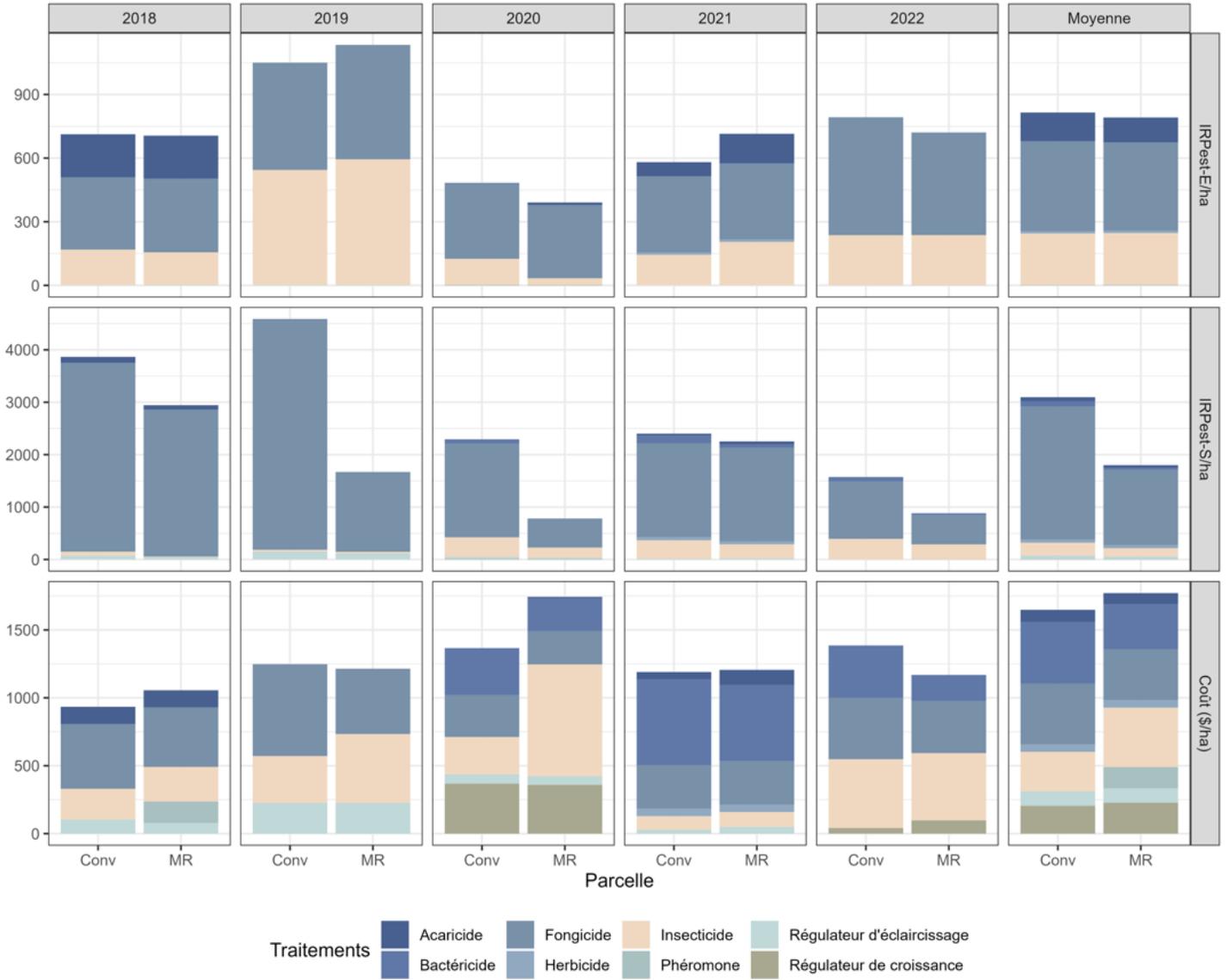
- 1 Annexe 10. Tableau récapitulatif des différences observées au niveau des indices de risque sur la santé et l'environnement et des coûts
- 2 directs liés aux applications effectuées dans les parcelles sous régime conventionnelle et à moindres risques en fonction des sites et des
- 3 années.

Verger	Année	IRPest-S/Ha			IRPest-E/Ha			Coûts/Ha (\$)		
		Conventionnelle	Moindres risques	Différence absolue IRPest-S	Conventionnelle	Moindres risques	Différence absolue IRPest-E	Conventionnelle	Moindres risques	Différence absolue coûts/Ha (\$)
Site 1	2018	4789	3687	-1102	1487	649	-838	1487	1396	-91
	2019	5509	4117	-1393	1421	865	-556	1098	2067	970
	2020	5290	3345	-1946	1039	975	-64	957	1959	1002
	2021	3942	1325	-2617	868	472	-396	1115	1752	637
	2022	5622	2644	-2978	1676	1209	-467	1787	2153	366
	Moyenne	5031	3023	-2007	1298	834	-464	1289	1865	577
Site 2	2018	3865	2945	-920	713	706	-7	934	1056	122
	2019	4588	1669	-2919	1050	1134	84	1248	1215	-34
	2020	2294	781	-1513	483	391	-92	1366	1744	378
	2021	2401	2252	-149	581	715	134	1190	1206	16
	2022	1574	883	-692	793	721	-72	1386	1169	-217
	Moyenne	2945	1706	-1239	724	733	9	1225	1278	53
Site 3	2018	7395	5241	-2155	1476	1197	-279	1362	1640	278
	2019	7577	5338	-2239	1586	1076	-511	1651	2064	414
	2020	7285	5272	-2013	1653	1602	-51	1846	2203	356
	2021	5371	3403	-1968	1483	1509	26	1784	2088	304
	2022	8655	6012	-2643	1664	1674	9	2364	2743	379
	Moyenne	7256	5053	-2203	1573	1412	-161	1801	2148	346
Site 4	2018	5502	4391	-1111	1055	1003	-52	1590	1461	-130
	2019	5262	2422	-2840	900	719	-181	1088	1234	146
	2020	3178	1267	-1911	981	783	-198	1298	1001	-297
	2021	3043	1316	-1727	685	694	10	1016	1130	114
	2022	4812	2514	-2298	1788	1262	-526	1770	1255	-514
	Moyenne	4359	2382	-1977	1082	892	-189	1352	1216	-136
Site 5	2018	8258	5430	-2828	2082	1670	-412	2330	2585	256
	2019	8289	5194	-3095	2133	1832	-301	1751	1964	213
	2020	4364	1701	-2663	1014	1509	495	2717	2667	-50
	2021	1441	1001	-441	898	700	-198	1308	1274	-35
	2022	1695	1119	-575	885	663	-222	2323	2187	-136
	Moyenne	4809	2889	-1920	1402	1275	-128	2086	2136	50

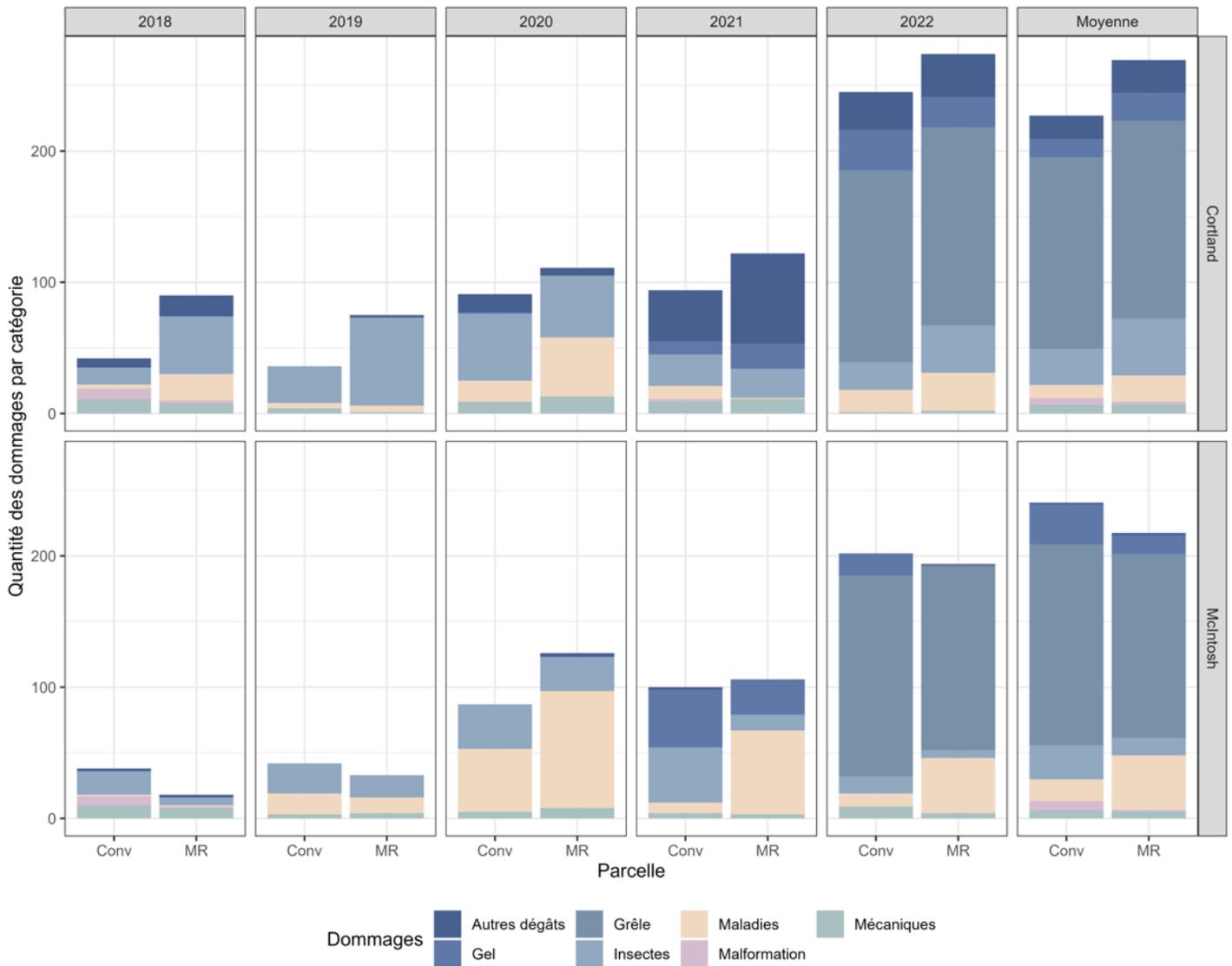
Annexe 11. Nombre total de dommages observés sur les pommes récoltées au site 1, selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques) et cultivars, pour chaque année du projet. Les différentes couleurs représentent différentes catégories de dommages. Le nombre de pommes observés lors de l'évaluation de dommages à la récolte est disponible à l'annexe 6.



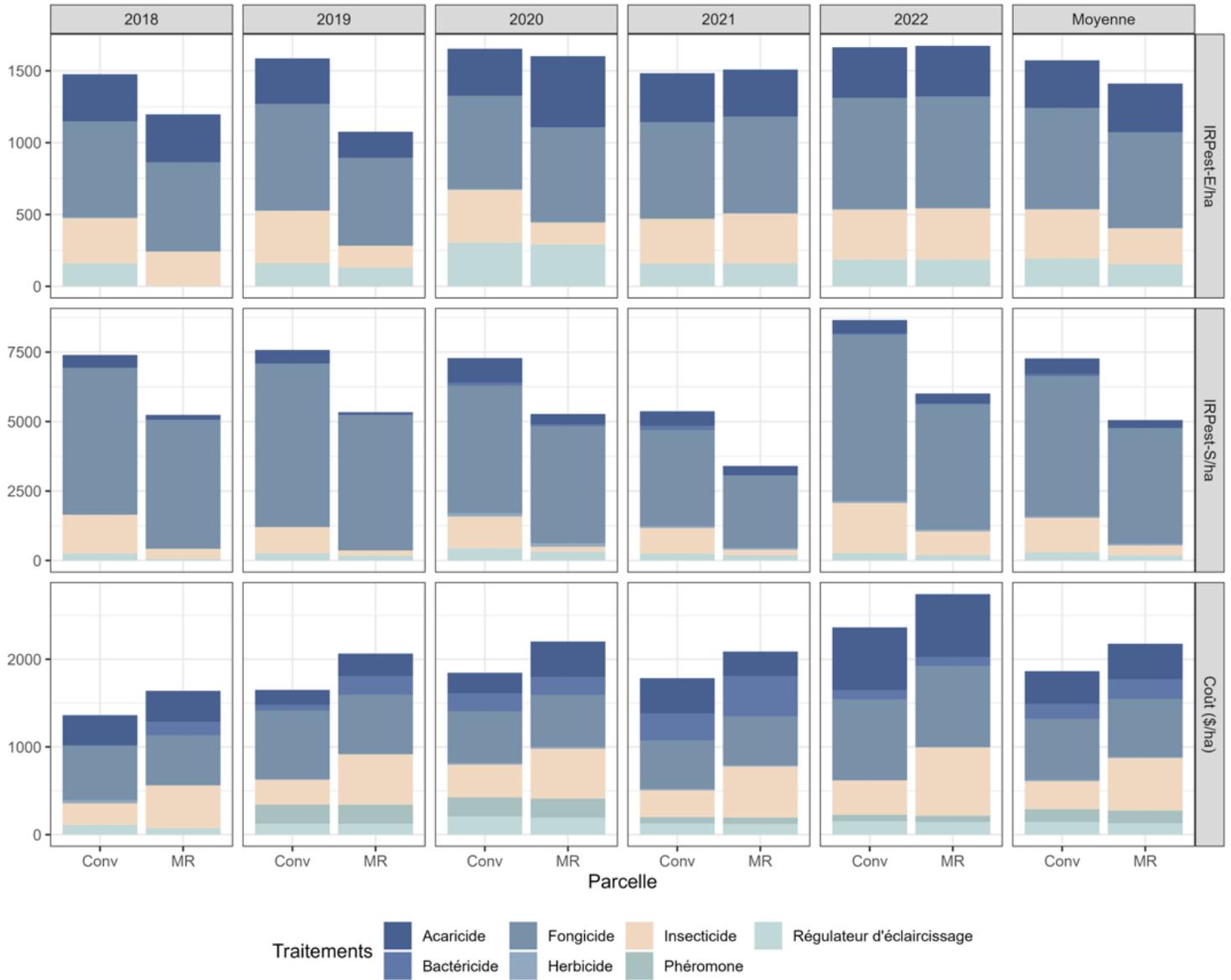
Annexe 12. Proportion des IRPest-E/ha, IRPest-S/ha et des coûts (\$/ha) pour le site 2 selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques).



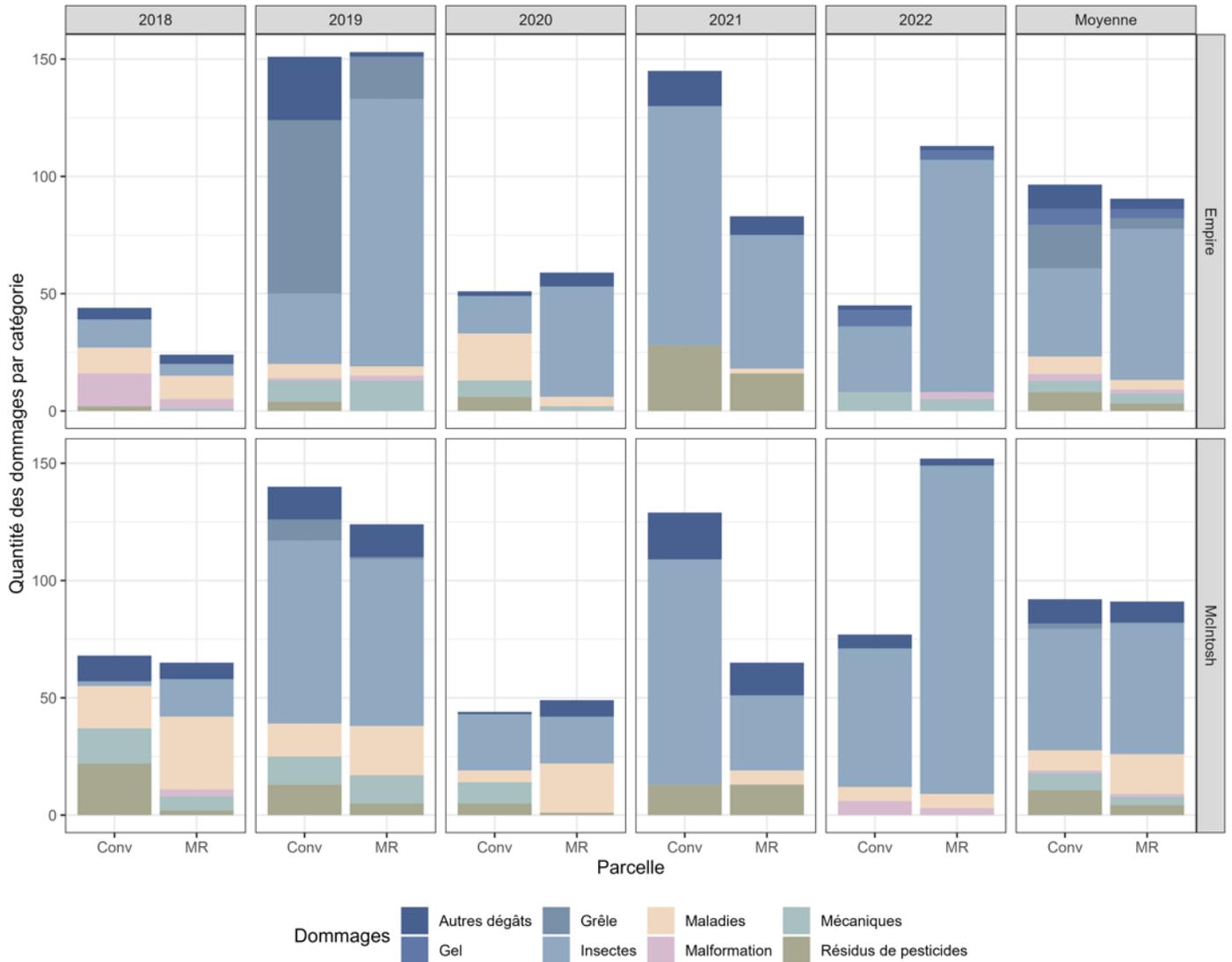
Annexe 13. Nombre total de dommages observés sur les pommes récoltées au site 2, selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques) et cultivars, pour chaque année du projet. Les différentes couleurs représentent différentes catégories de dommages. Le nombre de pommes observés lors de l'évaluation de dommages à la récolte est disponible à l'annexe 6.



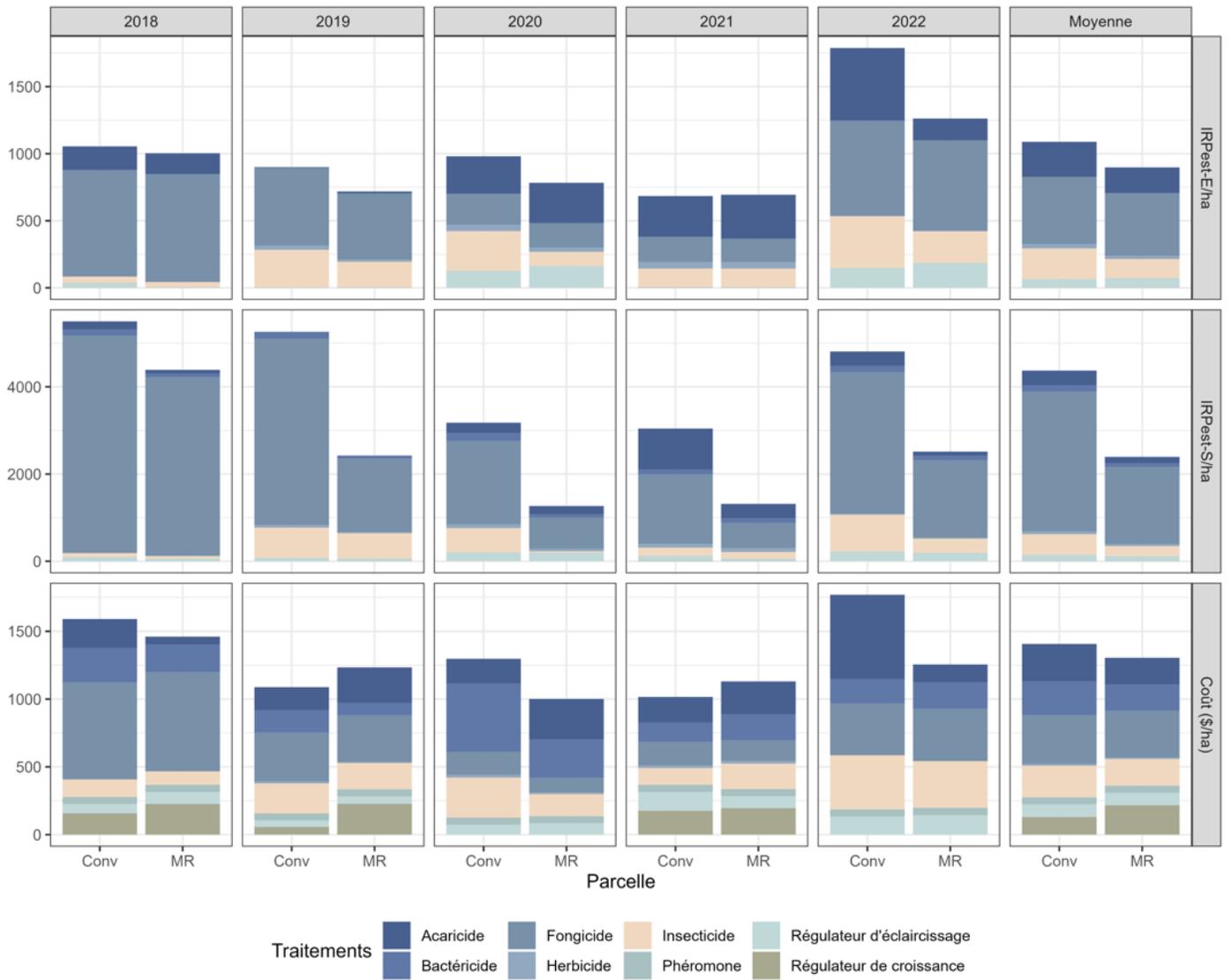
Annexe 14. Proportion des IRPest-E/ha, IRPest-S/ha et des coûts (\$/ha) pour le site 3 selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques).



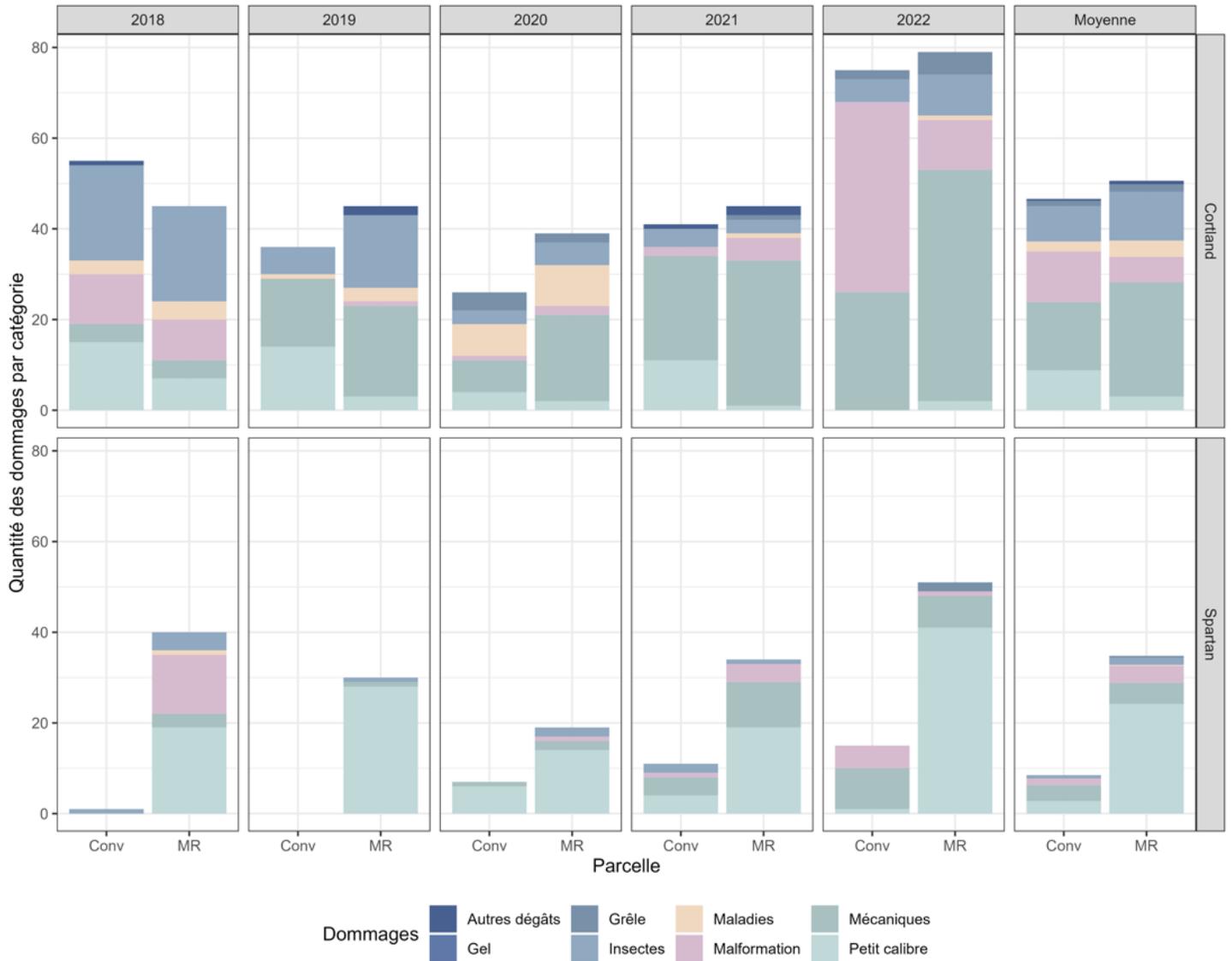
Annexe 15. Nombre total de dommages observés sur les pommes récoltées au site 3, selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques) et cultivars, pour chaque année du projet. Les différentes couleurs représentent différentes catégories de dommages. Le nombre de pommes observés lors de l'évaluation de dommages à la récolte est disponible à l'annexe 6.



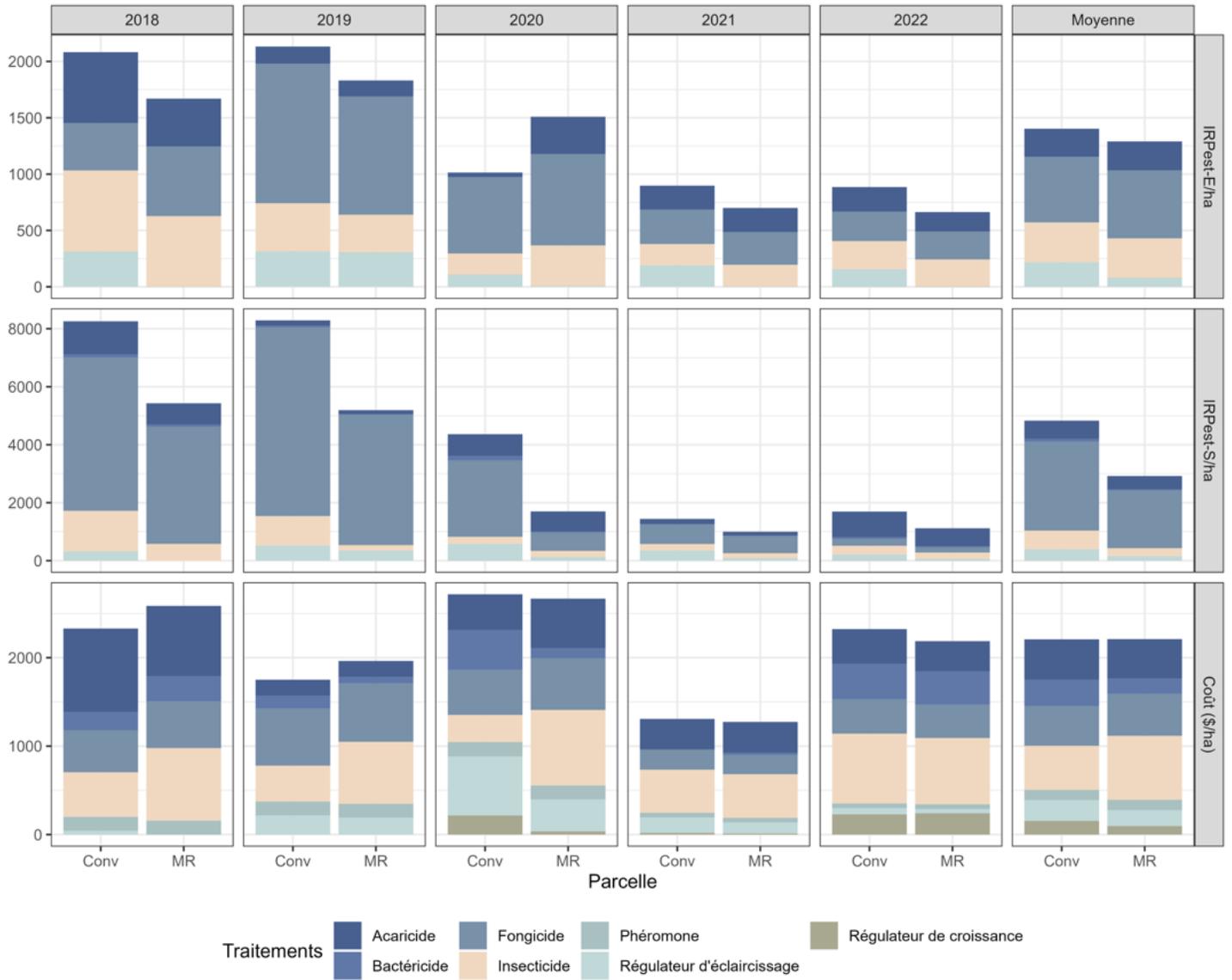
Annexe 16. Proportion des IRPest-E/ha, IRPest-S/ha et des coûts (\$/ha) pour le site 4 selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques).



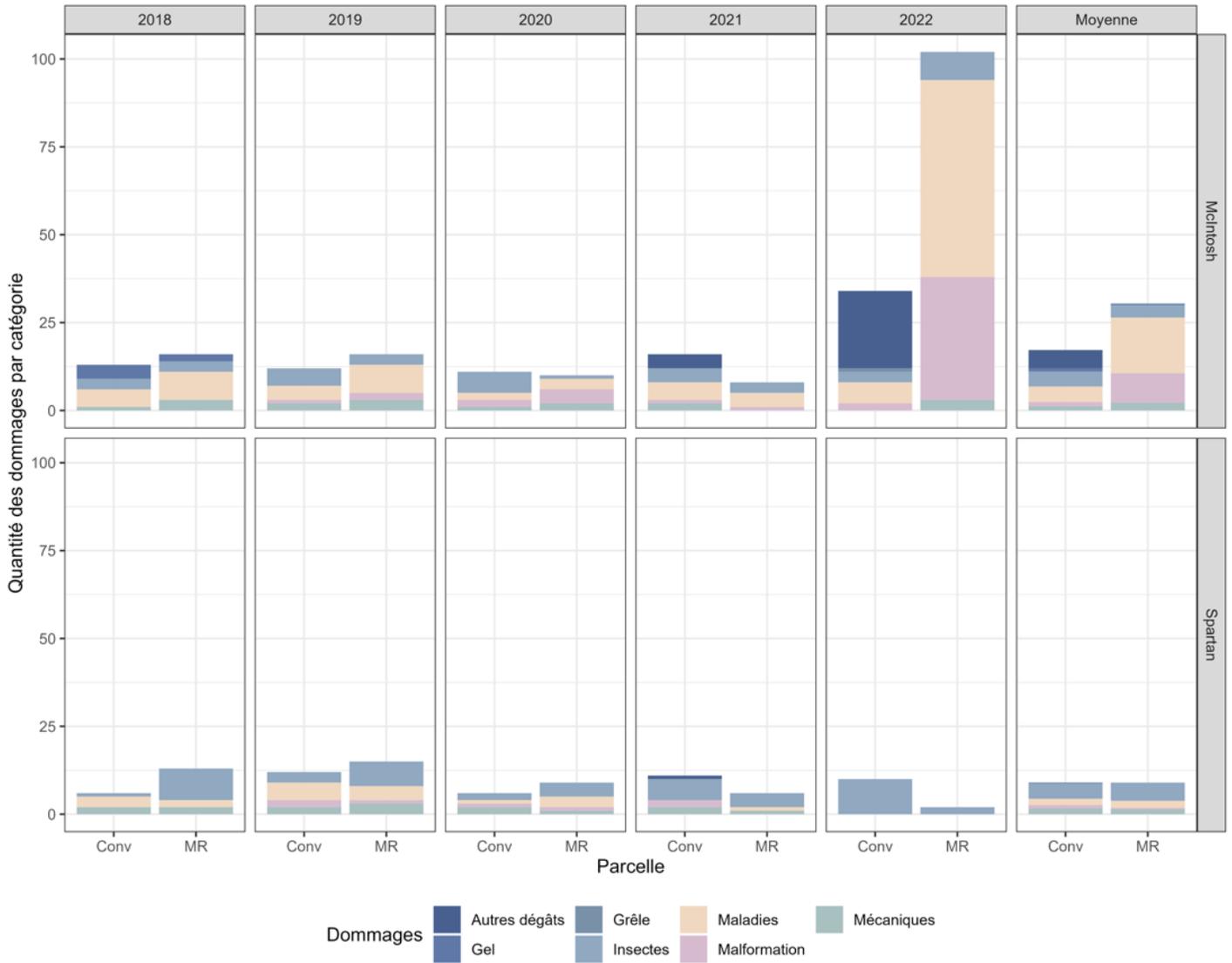
Annexe 17. Nombre total de dommages observés sur les pommes récoltées au site 4, selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques) et cultivars, pour chaque année du projet. Les différentes couleurs représentent différentes catégories de dommages. Le nombre de pommes observés lors de l'évaluation de dommages à la récolte est disponible à l'annexe 6.



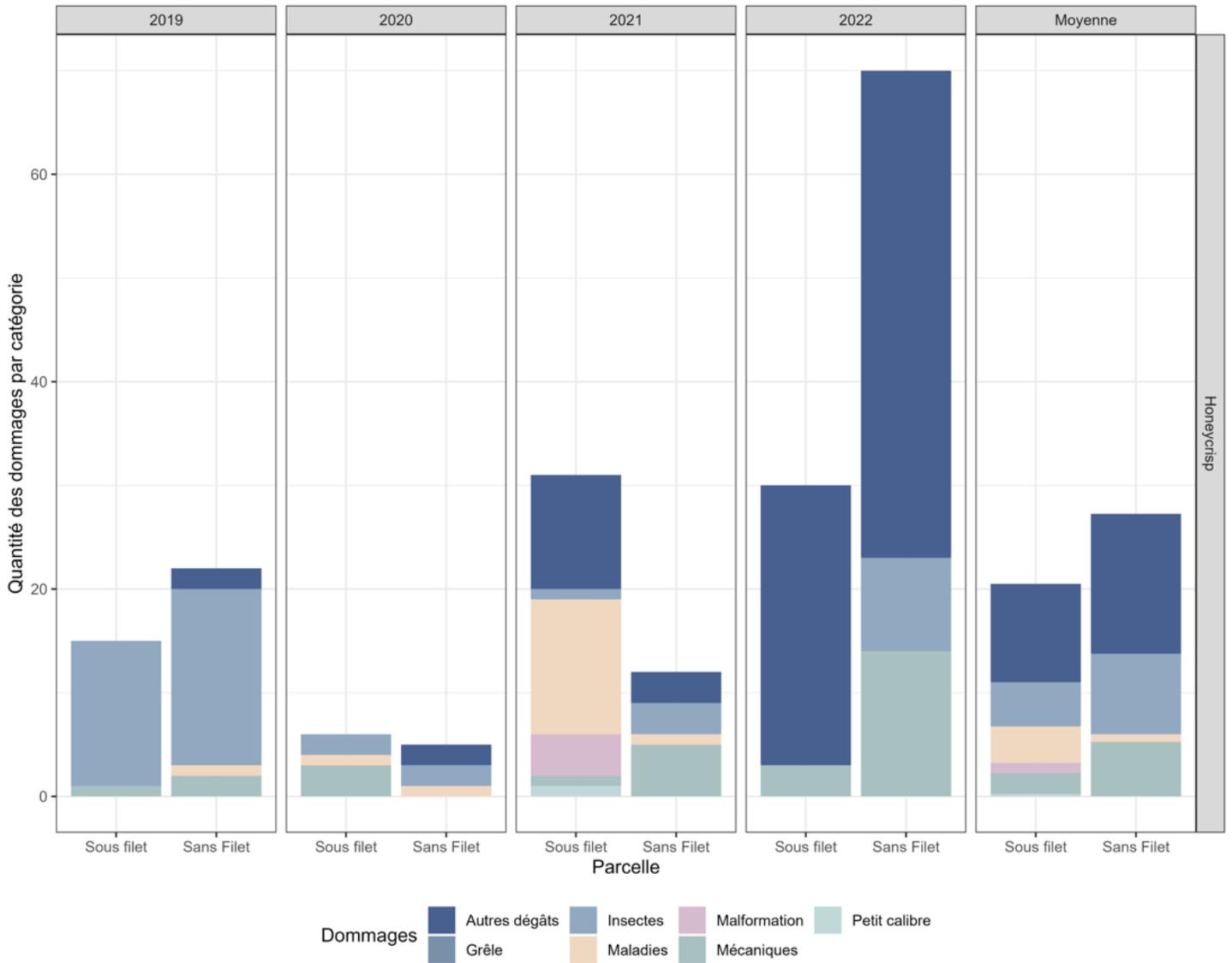
Annexe 18. Proportion des IRPest-E/ha, IRPest-S/ha et des coûts (\$/ha) pour le site 5 selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques).



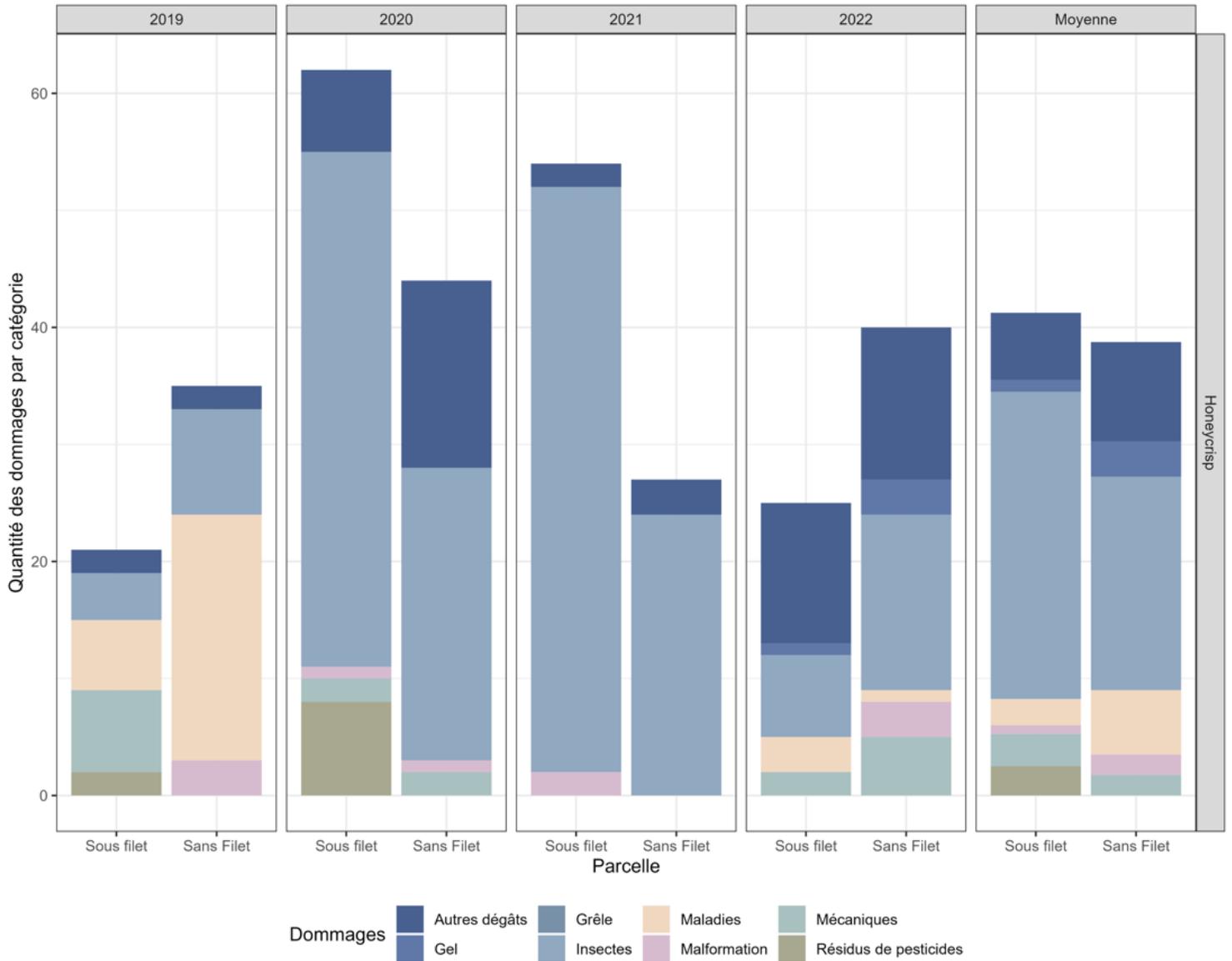
Annexe 19. Nombre total de dommages observés sur les pommes récoltées au site 5, selon les différentes parcelles (conv = conventionnelle ; MR = moindres risques) et cultivars, pour chaque année du projet. Les différentes couleurs représentent différentes catégories de dommages. Le nombre de pommes observés lors de l'évaluation de dommages à la récolte est disponible à l'annexe 6.



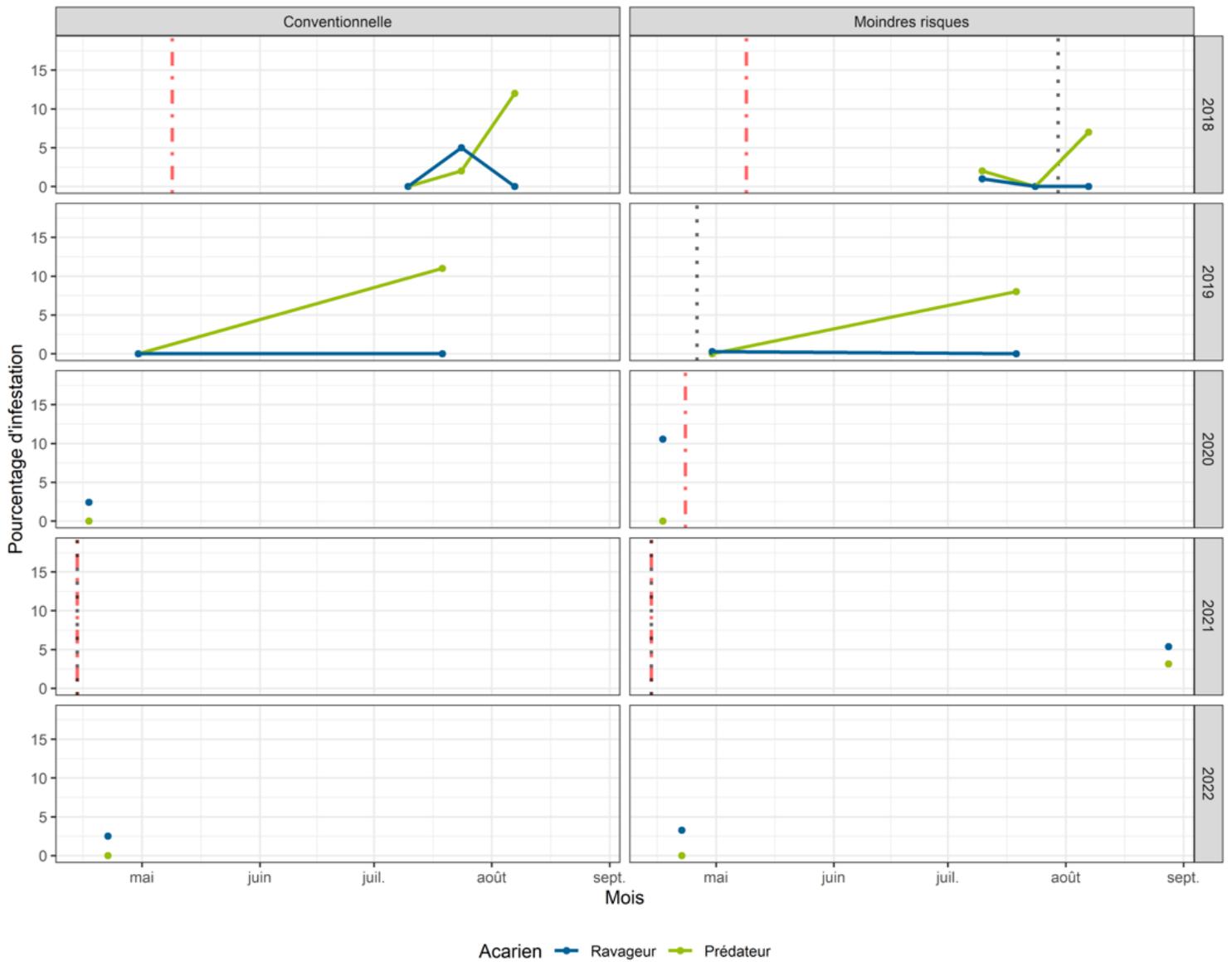
Annexe 20. Nombre total de dommages observés sur xxx pommes récoltées au site 1 dans les parcelles avec et sans filet, pour chaque année du projet. Les différentes couleurs représentent différentes catégories de dommages. Le nombre de pommes observés lors de l'évaluation de dommages à la récolte est disponible à l'annexe 6



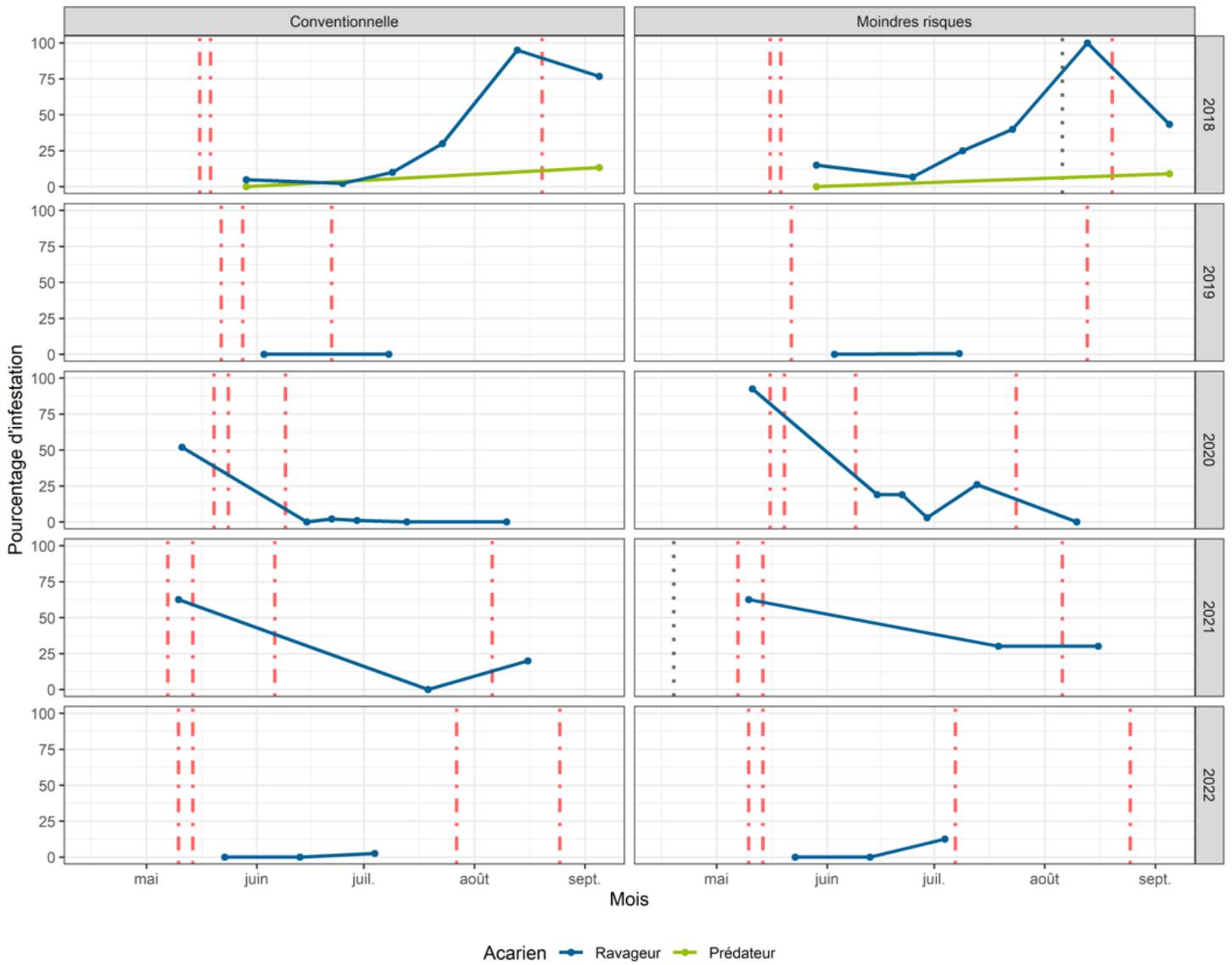
Annexe 21. Nombre total de dommages observés sur xxx les pommes récoltées au site 3 dans les parcelles avec et sans filet, pour chaque année du projet. Les différentes couleurs représentent différentes catégories de dommages. Le nombre de pommes observés lors de l'évaluation de dommages à la récolte est disponible à l'annexe 6



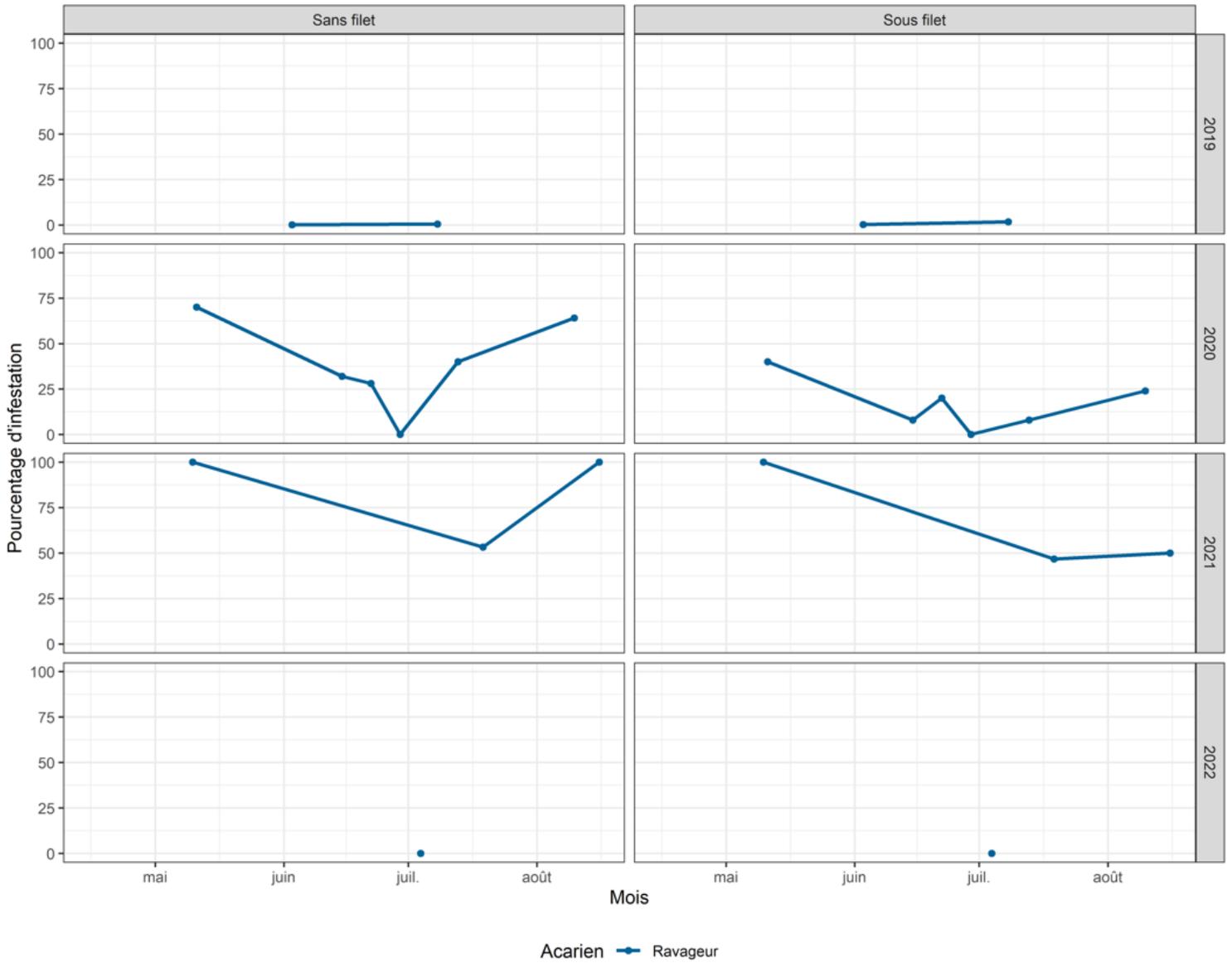
Annexe 22. Dépistage d'acariens site 2. Les lignes pointillées noires représentent les introductions d'acariens prédateurs et les lignes pointillées rouges les applications d'acaricides.



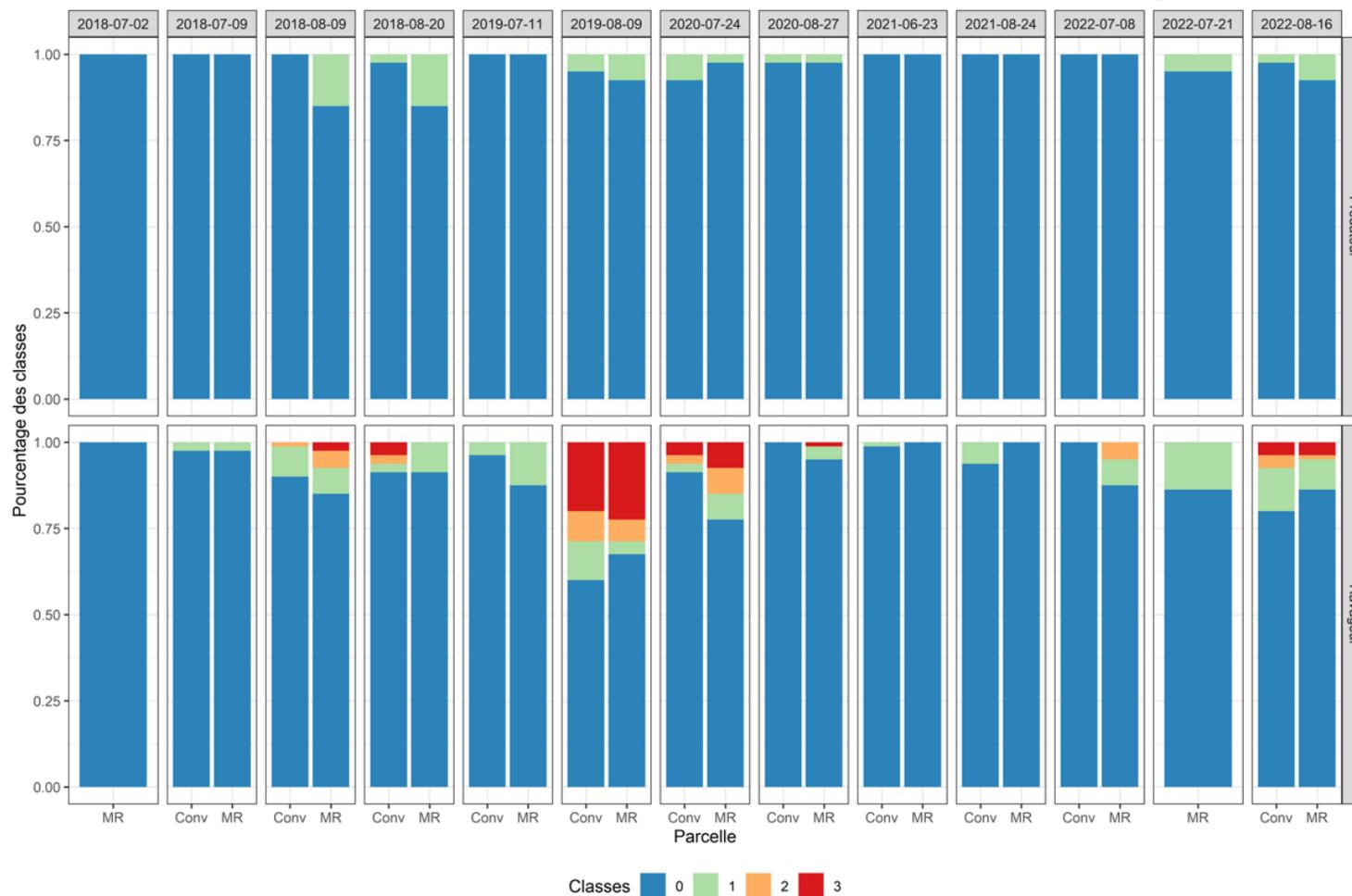
Annexe 23. Dépistage d'acariens site 3 (parcelles conventionnelles et à moindres risques).
 Les lignes pointillées noires représentent les introductions d'acariens prédateurs et les
 lignes pointillées rouges les traitements d'acaricides.



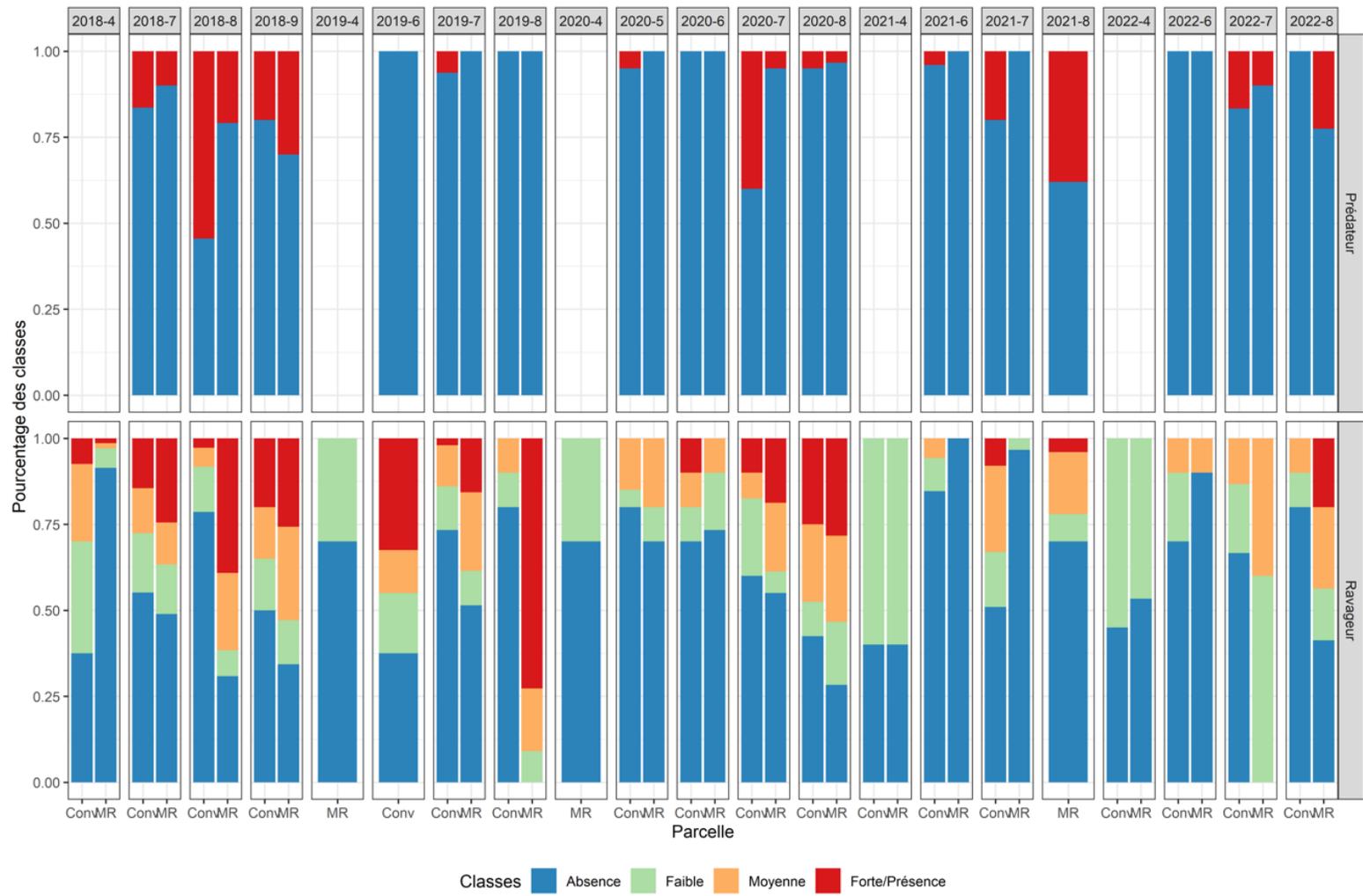
Annexe 24. Dépistage d'acariens site 3 (parcelles sous et sans filets). Les lignes noires représentent les introductions d'acariens prédateurs.



- 1 Annexe 25. Dépistage d'acariens site 4. Les introductions d'acariens prédateurs ont eu lieu le 31 juillet 2018, le 23 avril 2019 et le 13
- 2 avril 2021. L'importance des populations est présentée en pourcentage de feuilles infestées à différents niveaux, selon la méthode de
- 3 Binns et Bostanian (1988) pour les évaluations d'acariens *in situ*. Aucune forme mobile ni œuf = classe 0; 1 à 2 formes mobiles ou 1 à
- 4 3 œufs = classe 1; 3 à 4 formes mobiles ou 4 à 10 œufs = classe 2; et 5 formes mobiles ou 11 œufs et plus = classe 3.



Annexe 26. Dépistage d'acariens site 5. L'importance des populations est présentée en pourcentage de feuilles infestées à différents niveaux (Binns et Bostanian 1988). Ravageurs : aucune forme mobile ni œuf = classe 0; 1 à 4 œufs ou formes mobiles = classe 1; 5 à 10 œufs ou formes mobiles = classe 2 et 11 et + œufs ou formes mobiles = classe 3. Prédateurs : aucune forme mobile ni œuf = classe 0; 1 à 2 formes mobiles ou 1 à 3 œufs = classe 1; 3 à 4 formes mobiles ou 4 à 10 œufs = classe 2 et 5 formes mobiles ou 11 œufs et plus = classe 3.



RÉFÉRENCES

Barriault, E. 2019. Stratégies d'éclaircissage : est-il possible d'éclaircir ses pommiers sans carbaryl ? *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=22015>.

Barriault, E. 2020. Focus sur une pratique à moindres risques (3) : Le bicarbonate de potassium, un outil à faible risque contre la tavelure. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=22779>.

Boyer, L. 2021. Revue de littérature systématique sur le potentiel d'utilisation des paillis organiques à améliorer la qualité des sols et de la durabilité des vergers de pommes québécois. Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval.

Bostanian, N. J., et Binns, M. R. 1988. Binomial and Censored Sampling in Estimation and Decision Making for the Negative Binomial Distribution. *Biometrics* 44: 473–83.

Charbonneau, A. 2019. Focus sur une pratique à moindres risques (1) : La confusion sexuelle contre le carpocapse de la pomme. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=22386>

Chouinard, G. 2018. Réseau d'Alertes Phytosanitaires pommier. Bulletin d'information N° 4. *Agri réseau*. https://www.agrireseau.net/rap/documents/97935/pommier-bulletin-d_information-no-4-5-juin-2018?s=3225&page=1&a=1

Chouinard, G. 2019. Réseau d'Alertes Phytosanitaires pommier. Bulletin d'information N° 2. *Agri réseau*. https://www.agrireseau.net/rap/documents/100162/pommier-bulletin-d_information-no-2-17-mai-2019?s=3339&page=1&a=1

Chouinard, G. 2020a. Focus sur une pratique à moindres risques (2) : La lutte attracticide (GF-120) contre la mouche de la pomme. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=22736>

Chouinard, G. 2020b. Réseau d'Alertes Phytosanitaires pommier. Bulletin d'information N° 2. *Agri réseau*. https://www.agrireseau.net/rap/documents/103303/pommier-bulletin-d_information-no-2-co%C3%BBts-moyens-des-principaux-traitements-antiparasitaires?s=3429&page=1&a=1

Chouinard, G. 2021. Réseau d'Alertes Phytosanitaires pommier. Bulletin d'information non publié.

Chouinard, G. 2022. Réseau d'Alertes Phytosanitaires pommier. Bulletin d'information non publié. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=31819>

Chouinard, G. 2023. De nouvelles capsules vidéo sur les pratiques à moindres risques. *Réseau-Pommier*. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=24596>.

Chouinard, G. et Morin, Y. 2014. Fiche 65. Grilles de dépistage pour les vergers. Réseau-Pommier. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=6371>.

Chouinard, G., Morin, Y., Cormier, D., Maheux, R. et Bellerose, S. 2014a. Fiche 95. Les espèces utiles, ressource à protéger. *Réseau-Pommier*. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=6736>.

Chouinard, G., Morin, Y., Maheux, R., Bellerose, S. et Lachapelle, M. 2014b. Fiche 46. Insecticides homologués en pomiculture au Québec. *Réseau-Pommier*. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=6075>.

Chouinard, G., Pelletier, F., Cormier, D., Vanoosthuyse F. et Morin, Y. 2014c. Fiche 67. Dépistage des insectes et acariens : questions et réponses. Réseau-Pommier. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=6379>.

Chouinard, G., Pelletier, F., Cormier, D., Vanoosthuyse F. et Morin, Y. 2014d. Fiche 68. Méthodes de dépistage recommandées en PFI. Réseau-Pommier. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=6387>.

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

Chouinard, G., Pelletier, F. and Vincent, C. 2021. Pest Activity and Protection Practices: Four Decades of Transformation in Quebec Apple Orchards. *Insects*. 12:197.

Chouinard, G. 2021. Focus sur une pratique à moindre risque (4): la production de pommes sous filet d'exclusion monorangs. *Réseau-Pommier*. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=23038>

Cormier, D., Maheux, R., Bernier, D., Chouinard, G. et Morin, Y. 2014. Fiche 111. Les mauvaises herbes. Réseau-Pommier. <https://reseau-pommier.irda.qc.ca/?p=6949>.

Dryden, G.H., Nelson, M.A., Smith, J.T. and Walter, M. 2016. Postharvest foliar nitrogen applications increase *Neonectria ditissima* leaf scar infection in apple trees. *N Z Plant Prot* 69:230-237.

IRDA et AGRINOVA. 2013. Guide pour le montage et l'utilisation du broyeur de litière Eliminae. <https://www.agrireseau.net/reseau-pommier/documents/87338/guide-pour-le-montage-et-l-utilisation-du-broyeur-de-litiere-eliminae%E2%84%A2>.

Lacroix, C. 2020. Focus sur une pratique à moindres risques (4) : La production de pommes sous filets d'exclusion monorangs. Réseau-Pommier. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=23038>.

Larose, M., Gosselin, E., Philion, V. Pratiques à moindre risque, épisode 1: Le pulvérisateur à distribution d'air optimisée. 2022. IRDA Online. <https://www.youtube.com/watch?v=mOq6sLSyqAQ&t>

Larose, M., Gosselin, E., Chouinard, G. Pratiques à moindre risque, épisode 2: L'attracticide GF-120 contre la mouche à pomme. 2022. IRDA Online. <https://www.youtube.com/watch?v=tdGCO3rC7uQ>

Larose, M., Gosselin, E., Philion, V., Hébert, P.L. Pratiques à moindre risque, épisode 3: Le broyeur de feuilles. 2022. IRDA Online. <https://www.youtube.com/watch?v=j2tirBp4F5c>

Larose, M., Gosselin, E. Pratiques à moindre risque, épisode 4: Le désherbeur mécanique. 2022. IRDA Online. <https://www.youtube.com/watch?v=b8FV7PIzgRU&t>

Larose, M., Gosselin, E., Philion, V. Pratiques à moindre risque, épisode 5: Le bicarbonate de potassium. 2022. IRDA Online. <https://www.youtube.com/watch?v=NjO8oL0yuc&t>

Larose, M., Gosselin, E., Chouinard, G. Pratiques à moindre risque, épisode 6: Le filet d'exclusion. 2022. IRDA Online. <https://www.youtube.com/watch?v=Ek8HXF136ZE>

Légis Québec. 2022. *Loi sur la protection sanitaire des cultures*. Ministère de l'Emploi et de la Solidarité sociale. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/P-42.1>

Morin, Y. et Chouinard, G. 2014. Fiche 92. Le tétranyque rouge du pommier. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=6607>.

Morin, Y., Chouinard, G., Cormier, D. et Maheux, R. 2014b. Fiche 96. Description et efficacité des prédateurs d'acariens. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=6743>.

Pelz, K. S., Isaacs, R., Wise, J. C., and Gut, L. J. 2005. Protection of fruit against infestation by apple maggot and blueberry maggot (Diptera: Tephritidae) using compounds containing spinosad. *Journal of economic entomology*, 98(2), 432-437.

Philion, V. et M. Trapman. 2005. Validation du logiciel RIMpro pour faciliter la gestion des infections primaires de la tavelure du pommier. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), fiche synthèse.

Philion, V. 2014a. Fiche 49. Description des produits bactéricides, de lutte biologique et éliciteurs. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=8271>.

Philion, V. 2014b. Fiche 101. La tavelure : stratégies générales de lutte. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=6879>.

Philion, V. 2014c. Fiche 106. Le feu bactérien : stratégies de lutte. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=6932>.

Philion, V. 2020. Rapport final : Vérification de la possibilité technique d'améliorer un pulvérisateur à jet porté conventionnel en remplaçant le ventilateur. IRDA.

Philion, V. et Joubert, V. 2015. Rapport Mise au point sur l'utilisation du bicarbonate de potassium pour lutter contre la tavelure du pommier.

Philion, V. et Barriault, E. 2018. Fiche 37A. La fertilisation sans nuire à la phytoprotection. Réseau-Pommier. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=19671>.

Provost, C., Coderre, D., Lucas, E., Chouinard, G. et Bostanian, N.J. 2003. Impact d'une dose sublétale de lambda-cyhalothrine sur les prédateurs intraguildes d'acariens phytophages en vergers de pommiers. *Phytoprotection* 84(2), 105-113.

SAMUEL, O., DION, S., ST-LAURENT, L., APRIL, M.-H. (2007). Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement [en ligne]. Québec : ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation/ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs/Institut national de santé publique du Québec, 44 p. Consultable sur Internet : <<http://www.mapaq.gouv.qc.ca>>, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca>> et <<http://www.inspq.qc.ca>>.

Santé Canada, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. 2014. Décision d'homologation concernant la souche M du virus de la granulose de *Cydia pomonella*. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-produits-consommation/rapports-publications/pesticides-lutte-antiparasitaire/decisions-mises-jour/decision-homologation/2014/souche-virus-granulose-cydia-pomonella-rd2014-25.html>.

Sazo, M.M., Francescato, P., Sanahuja, J.L. and Robinson, T.L. 2016. Mechanical Blossom Thinning followed by 6-BA Shows promise as an alternative to thinning without carbaryl. *New York Fruit Quarterly* 24(4):p.6

Yee, W. L. 2007. Attraction, feeding, and control of *Rhagoletis pomonella* (Diptera: Tephritidae) with GF-120 and added ammonia in Washington state. *Florida Entomologist*, 665-673.

Yelle, P-E. 2014. Fiche 41. Taille et conduite pour un développement et une mise à fruit optimaux. *Réseau-Pommier*. <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=5977>.