

**STRATÉGIES D'ÉCLAIRCISSEMENT SANS CARBARYL APPUYÉES PAR
LA MODÉLISATION BIOCLIMATIQUE DU BILAN DES GLUCIDES
18-041-PPOQ**

DURÉE DU PROJET : 2019 / 2021

RAPPORT FINAL

Réalisé par :
Evelyne Barriault, MAPAQ et
William Doyon, PPQ
Jennifer Gagné, PPQ

1^{er} mai 2021

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

TITRE DU PROJET :
**STRATÉGIES D'ÉCLAIRCISSEMENT SANS CARBARYL APPUYÉES PAR LA MODÉLISATION
BIOCLIMATIQUE DU BILAN DES GLUCIDES**

NUMÉRO DU PROJET :
18-041-PPOQ

RÉSUMÉ DU PROJET

En pomiculture, de bonnes pratiques d'éclaircissage favorisent non seulement la qualité des fruits (calibre, couleur, taux de sucre, fermeté, etc.) mais aussi une meilleure régularité de la production année après année. C'est pourquoi, en 2019, Les Producteurs de pommes du Québec ont entrepris ce projet qui visait à se doter d'un outil de précision pour améliorer les pratiques d'éclaircissage tout en réduisant les risques pour la santé et l'environnement. Le modèle d'éclaircissage en fonction du bilan glucidique des pommiers (*Apple Carbohydrate Thinning Model*), développé à l'Université Cornell, a été intégré à l'outil informatique de prévisions des ravageurs en agriculture (CIPRA). Ceci permettra dorénavant à la majorité des pomiculteurs du Québec de mieux réussir leur éclaircissage en ajustant la dose de phytohormones selon le bilan glucidique des pommiers. Ce dernier sera produit en temps réel pour les 263 stations météo du réseau pommier réparties sur le territoire.

Dans un deuxième temps, des essais terrain ont été réalisés afin de valider le modèle, dans les conditions du Québec, et de comparer des stratégies d'éclaircissage avec et sans carbaryl. Durant les deux années du projet, les conditions qui favorisent un sur-éclaircissage (bilan glucidique négatif) ou un sous-éclaircissage (bilan glucidique positif) n'ont pas été rencontrées sauf pour une période d'éclaircissage où un bilan légèrement positif recommandait une diminution de 15 % de la dose standard. Dans ce contexte, il n'y a eu aucune différence significative entre les traitements à dose ajustée selon le bilan glucide et les traitements réalisés à la dose standard.

Les résultats des essais ont par ailleurs démontré qu'il est possible de réussir son éclaircissage sans l'usage du carbaryl tout en conservant la qualité des fruits. En effet, durant les deux saisons du projet, l'utilisation du carbaryl n'a pas engendré de différences significatives sur le taux de nouaison, le calibre moyen et la couleur des pommes à la récolte.

La stratégie d'éclaircissage sans carbaryl permet non seulement de réduire les délais de retour au champ et avant récolte, mais aussi de réduire l'indice de risque pour la santé de plus de 145 et l'indice de risque pour l'environnement de plus de 154, selon le nombre de traitements appliqués. La diffusion des résultats devrait encourager les pomiculteurs à adopter des stratégies d'éclaircissage sans carbaryl.

OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

Objectifs

Les objectifs du projet étaient tout d'abord de mettre à la disposition des pomiculteurs du Québec un **modèle prévisionnel automatisé** qui permet d'ajuster les doses de phytohormones selon le bilan glucidique des pommiers et d'en faire une **validation terrain**. Dans un deuxième temps, nous souhaitons également **démontrer qu'il est possible de réussir l'éclaircissage des pommiers sans l'usage du carbaryl** et ultimement, de favoriser l'adoption de pratiques d'éclaircissage sans carbaryl.

Aperçu de la méthodologie

1. **Mettre à la disposition des pomiculteurs du Québec un modèle prévisionnel automatisé qui permet d'ajuster les doses de phytohormones selon le bilan glucidique des pommiers.**

Le modèle de bilan glucidique des pommiers (*Apple Carbohydrate Thinning Model*) a été développé à l'Université Cornell (NY) par Alan Lakso et Terence Robinson et a fait l'objet de plus de 20 ans d'analyses et de suivis par les auteurs. Ce modèle est basé sur la production et la consommation de glucides par les pommiers. Ces derniers produisent des glucides durant le jour, via la photosynthèse. Plus il fait soleil, plus les arbres accumulent des glucides. Ces sucres sont ensuite utilisés pour leur croissance et la respiration cellulaire. La consommation de ces sucres dépend pour sa part de la quantité de fruits présents (charge en fruits) et de la température nocturne, puisque c'est durant la nuit que la respiration cellulaire est à son maximum. Ainsi, des journées ensoleillées et des nuits fraîches provoquent un surplus de glucides qui permettent aux arbres d'alimenter une grande quantité de fruits et rendent les arbres moins sensibles aux traitements d'éclaircissage. À l'opposé, des journées nuageuses (faible luminosité) et des températures élevées durant la nuit provoquent un déficit de glucides et rendent les pommiers plus sensibles aux traitements d'éclaircissage. Le processus d'accumulation-consommation se fait en continu. C'est la raison pour laquelle le modèle tient compte non seulement de la météo du jour où le traitement est effectué mais aussi des 2 jours précédents et des 4 jours qui suivent pour déterminer la sensibilité des pommiers à un traitement d'éclaircissage. À la lumière de ces informations, le modèle permet de recommander soit d'augmenter ou de réduire la dose d'agents éclaircissants de 15 à 30 % ou d'appliquer la dose standard lorsque le bilan est à l'équilibre.

En 2008, les producteurs et conseillers québécois présents à la *Clinique d'éclaircissage* de l'Université Cornell à Peru, NY, ont pu prendre connaissance des bilans glucidiques. En décembre 2008, T.L. Robinson faisait une présentation sur le sujet aux *Journées horticoles de Saint-Rémi*.

Durant quelques années, le Dr Robinson ou son collaborateur S.A. Hoying ont eu l'amabilité de nous produire quelques estimations pour Franklin et Frelighsburg, deux fois par saison. Quand le modèle originellement conçu sur le logiciel Stella a été transposé en Excel, l'agronome Paul-Émile Yelle (Au MAPAQ à l'époque) a pu en obtenir une copie de P.G. Schwallier, pomologiste en chef à l'Université d'État du Michigan, pour fins de vulgarisation auprès des pomiculteurs québécois. Une douzaine de bilans ont été produits en 2013 et jusqu'à un peu plus d'une trentaine en 2017, atteignant ainsi la limite de ce qui pouvait être produit sans automatiser le système.

Le Centre informatique de prévisions des ravageurs en agriculture (CIPRA) a été lancé en 1994. En jumelant des observations et des prévisions météorologiques en temps réel avec les modèles prévisionnels, il permet d'identifier les moments les plus appropriés pour les différentes interventions phytosanitaires. Au fil des années, il est devenu un outil indispensable et très apprécié par la majorité des conseillers en pomiculture du Québec. Il permet un accès facile à plus de 263 stations météo, reflétant ainsi la variabilité du climat observée entre les différentes régions agricoles de la province. C'est pourquoi CIPRA s'est avéré l'outil par excellence pour implanter le modèle de bilan glucidique des pommiers et le rendre disponible à un plus grand nombre de pomiculteurs.

Dans le cadre du projet, l'équipe de recherche en bioclimatologie et modélisation du CRD Saint-Jean-sur-Richelieu (AAC), concepteurs de CIPRA, a contacté les développeurs du modèle de bilan glucidique (*Apple Carbohydrate Thinning Model*) et du site NEWA (*Network for Environment and Weather Applications : [Apple CHO Thinning v2019](#)*) à l'Université Cornell (Terence Robinson, Keith Eggleston et Art Degaetano). Ces derniers ont fourni le code Python afin d'intégrer leur modèle américain dans le logiciel CIPRA. Ceci permet dorénavant de générer des bilans de glucides en temps réel pour tout site à proximité d'une des 263 stations météo auxquelles a accès CIPRA. Un exemple des tableaux générés par CIPRA pour ce modèle est présenté en ANNEXE I.

2. Démontrer qu'il est possible de réussir l'éclaircissage des pommiers sans l'usage de carbaryl et faire la validation terrain des doses de phytohormones ajustées selon les recommandations du modèle de bilan glucidique.

L'éclaircissage chimique des fruits est la méthode 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, un insecticide à large spectre, est également couramment utilisé en combinaison avec les produits à base d'hormones. Bien qu'il ait un léger effet éclaircissant, c'est surtout pour sa faculté d'améliorer l'efficacité des produits à base d'hormone que le carbaryl est utilisé. En raison de sa toxicité pour l'environnement, notamment sur la faune auxiliaire et ses risques pour la santé, certains pomiculteurs songent à adopter des stratégies d'éclaircissage sans carbaryl. Les délais de retour au champ (4 à 15 jours) et avant récolte (75 jours) sont aussi très contraignants pour les utilisateurs.

Les phytohormones comme l'acide naphthalène acétique (ANA) et la benzyl-6 aminopurine sont des produits à faibles risques pour la santé et l'environnement qui peuvent donner de bons résultats sans l'ajout de carbaryl. Toutefois, la stratégie d'éclaircissage doit être modifiée, lorsque le carbaryl n'est pas utilisé. Par exemple, il est recommandé de commencer les traitements d'éclaircissage dès la floraison et de répéter les traitements plusieurs fois (au besoin 3-4 traitements) avant que les pommes atteignent 15 mm de diamètre. L'ajustement de la dose en fonction du bilan glucidique des pommiers permet d'accroître l'efficacité des traitements d'éclaircissage.

Afin de vérifier si le modèle permet d'améliorer l'efficacité des traitements d'éclaircissage et de produire un résultat satisfaisant sans l'usage du carbaryl, des essais ont été réalisés durant 2 saisons (2019 et 2020) dans deux vergers, un verger commercial situé à Havelock et le verger de recherche de l'IRDA situé à St-Bruno-de-Montarville). Ces essais ont également permis de valider le modèle de bilan glucidique et les traitements à doses ajustées en sol québécois. Des données dont : le taux de nouaison, le calibre, le poids, la fermeté, le taux de sucre et la coloration des fruits ont été recueillies afin de comparer les traitements avec et sans carbaryl dans les deux

vergers et la dose normale et la dose ajustée au verger de l'IRDA. De plus, les indices de risque pour la santé et l'environnement de chaque traitement ont été estimés.

Description des parcelles et traitements comparés

Verger commercial, Havelock

Au verger d'Havelock, les essais se sont déroulés dans une parcelle de pommiers nains de la variété Honeycrisp sur porte-greffe B9 (ANNEXE II). Les traitements ont été répliqués sur 4 blocs générés de façon aléatoire. La parcelle se situe dans la portion sud du verger, près d'une forêt. Elle se compose de 10 rangées de pommiers nains. Chaque bloc compte 5 rangées de pommiers. Les blocs sont aléatoirement subdivisés en deux pour chaque traitement. Pour chaque subdivision, les mesures ont été prises sur 4 pommiers près du centre de la subdivision pour un total de 16 pommiers échantillonnés par traitement. L'ANNEXE III illustre le dispositif d'éclaircissage de la parcelle. Puisque le pulvérisateur utilisé au verger commercial n'a pas de rideaux, seuls des pommiers situés dans les rangées centrales de chaque bloc ont été choisis pour l'échantillonnage afin d'éviter la contamination par la dérive. L'ANNEXE IV montre un pulvérisateur similaire à celui utilisé sur cette parcelle.

La dose d'ANA a été établie selon la méthode TRV (Fiche 61 du guide PFI) pour des arbres dont le gabarit étaient à 43 % du volume de référence. Ainsi, la dose standard d'ANA à 10 ppm était de 375 ml/ha (dose de référence étant de à 876 ml/ha sur l'étiquette de *FRUITONE L.*) La dose de *SEVIN* était de 1 L/ha dans la parcelle avec carbaryl.

Les traitements suivants ont été comparés :

AC/ANA-AJ Avec carbaryl et une dose d'ANA ajustée en fonction du bilan glucidique.

SC/ANA-AJ Sans carbaryl, mais une dose d'ANA ajustée en fonction du bilan glucidique.

Traitements effectués

Le tableau 1 montre les traitements effectués en 2019 et 2020 au verger commercial. En 2019, les traitements avec et sans carbaryl ont été appliqués à la même date. En 2020, la stratégie sans carbaryl a été modifiée afin d'intervenir plus tôt, c'est-à-dire dès le stade à 80 % de la floraison (le 23 mai 2020). En effet, les interventions hâtives font partie des stratégies pour réussir l'éclaircissage sans carbaryl (Sazo et al., 2016 et Barriault, E. 2019). Ainsi, le 23 mai, la dose de Fruitone appliquée a été de 275 ml/ha puisque le modèle recommandait de réduire de 15 % la dose des traitements d'éclaircissage. Aucun traitement n'a été fait dans la parcelle avec carbaryl le 23 mai. La parcelle avec carbaryl a reçu un seul traitement en 2020 puisque l'objectif d'éclaircissage a été rapidement atteint (voir plus bas le suivi de la nouaison effectué à l'aide du *Predicting Fruitset Model*).

Tableau 1. Composition des traitements au verger commercial d'Havelock

2019					
Traitement	Description			1 ^{ère} pulvérisation Calice 7 juin 2019	2 [°] pulvérisation Pommes ≈ 8-10mm 17 juin 2019
AC/ANA-AJ	Avec carbaryl ANA dose ajusté			SEVIN XLR 1 L/ha	SEVIN XLR 1 L/ha FRUITONE dose std.
SC/ANA-AJ	Sans carbaryl ANA dose ajusté			FRUITONE dose std.	FRUITONE dose std.
2020					
Traitement	Description		1 ^{ère} pulvérisation 80% floraison 23 mai 2020	2 [°] pulvérisation Calice 2 juin 2020	
AC/ANA-AJ	Avec carbaryl ANA dose ajusté			SEVIN XLR 1 L/ha	
SC/ANA-AJ	Sans carbaryl ANA dose ajusté		FRUITONE - 15%	FRUITONE dose std.	

Verger expérimental de l'IRDA

Au verger de l'IRDA, les essais ont été faits dans une parcelle de pommiers nains de la variété Honeycrisp sur porte-greffe B9 et M26 (ANNEXE II). Les traitements ont été répliqués sur 4 blocs générés de façon aléatoire. Les blocs se situent dans la portion D01 du verger, près de la forêt. Chaque bloc est composé de 2 rangées de pommiers subdivisés en deux traitements. Pour chaque subdivision, les mesures ont été prises sur les 4 pommiers au centre de la subdivision, pour un total de 16 pommiers échantillonnés par traitement. Les deux premiers blocs sont composés de pommiers nains sur porte-greffe Budagovsky 9 (B.9) plantés à 1 m de distance. Les deux derniers blocs sont composés de pommiers nains sur porte-greffe Malling 26 (M.26) espacés de 1,25 m sur le rang. L'ANNEXE III illustre le dispositif des traitements d'éclaircissage dans la parcelle. Afin d'éviter la contamination entre les rangées par la dérive des produits, les traitements ont été appliqués à l'aide de pulvérisateurs à rideaux. L'ANNEXE IV montre le pulvérisateur utilisé sur cette parcelle.

La dose standard d'ANA à 10 ppm a été établie à 313 ml/ha, pour des arbres dont le gabarit était à 35,7 % du TRV de référence, dont la dose est à 876 ml/ha sur l'étiquette de *FRUITONE L*. La dose de *SEVIN* était de 1 L/ha dans la parcelle avec carbaryl.

Les traitements suivants ont été comparés :

- AC/ANA** Avec carbaryl et une dose standard d'ANA.
- AC/ANA-AJ** Avec carbaryl et une dose d'ANA ajustée en fonction du bilan glucidique.
- SC/ANA** Sans carbaryl, mais une dose standard d'ANA.
- SC/ANA-AJ** Sans carbaryl, mais une dose d'ANA ajustée en fonction du bilan glucidique.

Traitements effectués

Le tableau 2 montre les traitements effectués en 2019 et 2020 au verger expérimental de l'IRDA. Tel qu'au verger MJ commercial, les traitements avec et sans carbaryl ont été effectués à la même date en 2019, mais la stratégie sans carbaryl a été modifiée l'année suivante. En 2020, un traitement d'éclaircissage au Fruitone a été réalisé par erreur par les employés du verger, à notre insu. Toutefois, cette pulvérisation a été appliquée sur la parcelle en entier; sur tous les traitements. Le 25 mai, les traitements d'éclaircissage sans carbaryl ont été effectués comme prévu par notre équipe. La dose du traitement SC/ANA-AJ a été réduite de 15 % tel que

recommandé par le modèle de bilan glucidique. Le 4 juin, puisque les bilans glucides moyens étaient à l'équilibre, les doses standards de chaque produit ont été appliquées sur leurs blocs respectifs. Le suivi de la Nouaison, réalisé à l'aide du modèle de prédiction de la nouaison (*Predicting Fruitset Model*), nous a permis de déterminer que l'objectif de nouaison était atteint (voir **Suivi de la nouaison**).

Tableau 2. Composition des traitements au verger expérimental de l'IRDA

2019					
Traitement	Description			1 ^{ère} pulvérisation Calice 7 juin 2019	2 ^e pulvérisation Pommes ≈ 8-10mm 16 juin 2019
AC/ANA	Avec carbaryl ANA dose standard			SEVIN XLR 1 L/ha	SEVIN XLR 1 L/ha FRUITONE dose std.
AC/ANA-AJ	Avec carbaryl ANA dose ajusté			SEVIN XLR 1 L/ha	SEVIN XLR 1 L/ha FRUITONE dose std.
SC/ANA	Sans carbaryl ANA dose standard			FRUITONE dose std.	FRUITONE dose std.
SC/ANA-AJ	Sans carbaryl ANA dose ajusté			FRUITONE dose std.	FRUITONE dose std.
2020					
Traitement	Description	1 ^{ère} pulvérisation 100% floraison 24 mai 2020	2 ^e pulvérisation 100% floraison 25 mai 2020	3 ^e pulvérisation Calice 4 juin 2020	
AC/ANA	Avec carbaryl ANA dose standard	Traitement par erreur: FRUITONE - 15%		SEVIN XLR 1 L/ha	
AC/ANA-AJ	Avec carbaryl ANA dose ajusté	Traitement par erreur: FRUITONE - 15%		SEVIN XLR 1 L/ha	
SC/ANA	Sans carbaryl ANA dose standard	Traitement par erreur: FRUITONE - 15%	FRUITONE dose std.	FRUITONE dose std.	
SC/ANA-AJ	Sans carbaryl ANA dose ajusté	Traitement par erreur: FRUITONE - 15%	FRUITONE - 15%	FRUITONE dose std.	

Déterminer la dose à appliquer

Durant la saison d'éclaircissage, les recommandations du modèle de bilan glucidique des pommiers ont été générées à un intervalle de 2 à 3 jours. Lorsque les pommiers sont en surplus de glucides, ils sont moins sensibles aux traitements d'éclaircissage. En conséquence, la dose d'ANA à appliquer doit être augmentée afin d'éclaircir efficacement. À l'inverse, lorsque les pommiers ont un déficit glucidique, il est recommandé de diminuer la dose d'ANA afin de ne pas sur-éclaircir les pommiers durant une période sensible. Une dose d'ANA standard est recommandée seule lorsque les bilans glucides moyens sont à l'équilibre, c'est-à-dire près de 0. L'ANNEXE V présente les recommandations suivies lors des pulvérisations d'éclaircissage en 2019 et 2020.

Tableau 3. Dosage en fonction des bilans glucides moyens sur 7 jours

Bilans glucides	Dose de produit éclaircissant
20 et plus	Augmenter la dose de 30%
0 à 20	Augmenter la dose de 15%
-20 à 0	Appliquer une dose standard
-40 à -20	Réduire la dose de 15%
-60 à -40	Réduire la dose de 30%

Suivi de la nouaison

Le suivi de la nouaison a été effectué à l'aide du modèle de prévision de la nouaison (*Predicting Fruitset Model*), développé à l'Université du Michigan (Philip Schwallier & Amy Irish-Brown, 2015). Selon ce modèle, les fruits persistants sont ceux dont le taux de croissance est supérieur à 50 % du fruit qui grossit le plus vite tandis que les fruits dont la croissance est inférieure vont chuter.

Il faut tout d'abord estimer le potentiel de production de chaque parcelle et ensuite déterminer les objectifs de nouaison. Ainsi, en comptant le nombre moyen de bouquets floraux par arbre et en multipliant ce nombre par 5 (moyenne de 5 fleurs par bouquet), nous avons obtenu le nombre de fleurs par arbre. Nous avons ensuite déterminé le nombre optimal de fruits par arbre à la récolte en mesurant le diamètre des troncs à 30 cm du sol à l'aide du gabarit de l'Université Cornell (*Cornell Apple Thinning Gauge*, ANNEXE VI). En comparant ces deux mesures, le % de nouaison minimale par parcelle a été déterminé. Afin de maintenir une marge de sécurité en cas de dommage d'insectes, de grêle ou autre, nous avons multiplié ce % de nouaison par 2. Cette opération permet de réduire les besoins d'éclaircissage manuel tout en conservant une marge de sécurité pour sélectionner uniquement les pommes les plus belles. Finalement, il a été déterminé qu'il devrait rester environ 8,5 % des fruits au verger commercial et 18 % des fruits au verger de l'IRDA après l'éclaircissage chimique.

Calcul 1. Exemple de calcul pour l'objectif de nouaison au verger MJ Bourdeau

Objectif de nouaison = ((Nbr. optimal de fruits par arbre) / (Nbr. de bouquets * 5)) * 100 * 2

Objectif de nouaison = ((53 fruits par arbre) / (244 bouquets * 5)) * 100 * 2

Objectif de nouaison = (53 fruits / 1220 fleurs) * 100 * 2

Objectif de nouaison = 4.26 % * 2

Objectif de nouaison ≈ 8.5 % des pommes doivent atteindre la nouaison

Dès la nouaison, 5 bouquets floraux ont été étiquetés sur chaque arbre échantillonné. Pour chaque bouquet, les fruits étaient numérotés de 1 à 5, tel que démontré par l'ANNEXE VII. Leur croissance a été mesurée à l'aide d'un vernier tous les 4-5 jours (ANNEXE VIII). Ensuite, ces données ont été compilées dans le fichier *Predicting Fruitset Model* (Philip Schwallier & Amy Irish-Brown, 2015) permettant d'évaluer l'efficacité du traitement et la nécessité d'un traitement additionnel.

Éclaircissage manuel

Lorsque les pommes atteignent un calibre supérieur à 20 mm, l'éclaircissage chimique n'est plus efficace. Si l'éclaircissage est mal réussi, les pomiculteurs doivent éclaircir les surplus manuellement, ce qui engendre des coûts élevés en main-d'œuvre. Il est cependant accepté dans la pratique de conserver une petite marge de sécurité, de fruit à éclaircir à la main, de façon à uniformiser la charge et peaufiner le travail en éliminant les pommes avec des défauts.

Après la chute de juin (en juillet), un éclaircissage manuel a été réalisé par les employés du verger commercial et par notre équipe au verger de l'IRDA, de façon à uniformiser la charge et supprimer les pommes présentant des défauts. La roulette *équilibrfruit* a été utilisée à l'IRDA pour estimer le nombre de fruits à enlever.

Données à la récolte dans les deux vergers

Afin d'évaluer les effets de chaque traitement sur la production, des pommes provenant de 8 pommiers (IRDA) et 10 pommiers (Verger commercial) ont été échantillonnées par traitement à la mi-septembre, avant la récolte. Aux deux sites, le calibre et la couleur de 10 pommes par arbre ont été notés. La coloration des pommes a été évaluée de façon qualitative à l'aide de la charte d'intensité de la couleur de la pomme Honeycrisp (Yelle, PE, 2012), en attribuant une cote de 1 pour la catégorie inacceptable, 2 et 3 pour les catégories "bon" et 4 pour la catégorie excellente. L'ANNEXE IX démontre l'évaluation des codes de couleur. À l'IRDA, le poids de 10 pommes a été mesuré, ainsi que leur taux de sucre (Brix) et leur fermeté. Le taux de sucre a été mesuré à l'aide d'un réfractomètre optique et la fermeté à l'aide d'un pressuromètre.

Statistiques

Pour chaque site, un ANOVA a été effectué pour chaque critère d'évaluation. Pour ceux qui s'avéraient significatifs, un test d'étendue multiple de Duncan (DMRT) a été complété afin de comparer les traitements. Par la suite, le test de Shapiro-Wilk et un diagramme Quantile-Quantile (ANNEXE X) ont été utilisés pour tester la normalité, et le test de Levene, pour tester l'homoscédasticité.

Puisque de multiples ANOVAs ont été effectués, une correction FDR a été appliquée à toutes les valeurs P simultanément. Ceci a réduit la probabilité d'erreur de type I, mais a augmenté la probabilité d'erreurs de type II. Afin que les résultats soient transparents, les deux valeurs P sont présentées.

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

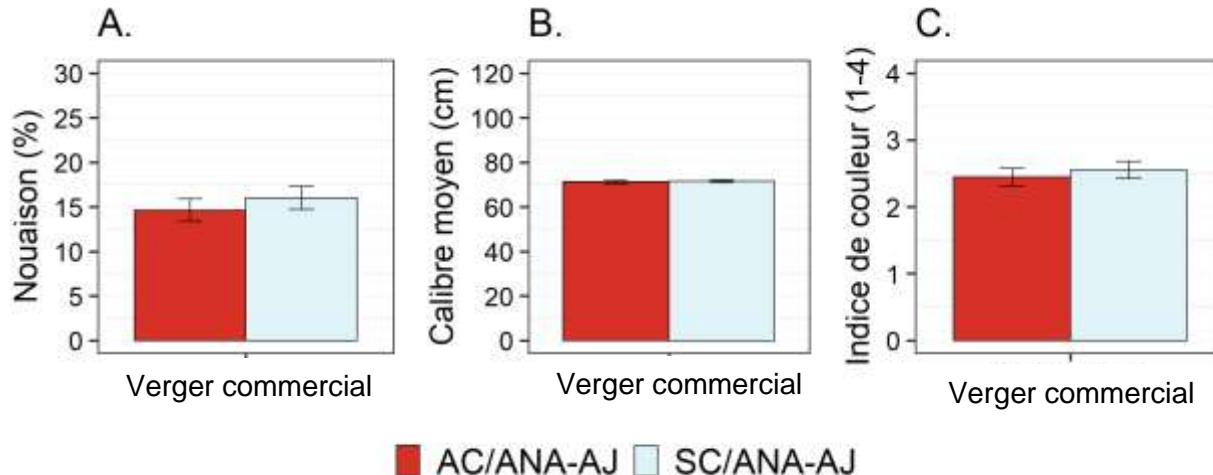
Vergers commerciaux à Havelock

Tableau 4. Comparaison des ANOVAs selon le traitement d'éclaircissage chimique au verger MJ Bourdeau. Les moyennes de chaque traitement sont suivies de leurs erreurs types. Les valeurs P avant et après correction FDR sont illustrées sous les moyennes. Les traitements significativement différents sont indiqués par une lettre. Dans ce cas-ci, aucune différence significative n'a été observée.

Traitement	Nouaison (%)	Calibre moyen (cm)	Indice de couleur (1-4)
AC/ANA-AJ	14.63 ± 1.25	71.20 ± 0.84	2.45 ± 0.14
SC/ANA-AJ	16.00 ± 1.30	71.44 ± 0.65	2.55 ± 0.13
ANOVA : F	0.5825	0.0511	0.3164
ANOVA : P	0.4482	0.8223	0.5771
ANOVA : P-FDR	0.7684	0.9893	0.8656

Figure 1. Comparaison des résultats selon le traitement d'éclaircissage chimique au verger commercial. Les moyennes sont représentées par les diagrammes à barres. Les erreurs types sont représentées par les barres d'erreur. Le seuil de signification est indiqué par une lettre. Dans ce cas-ci, aucune différence significative n'a été observée.

<https://producteursdepommesduquebec.ca/actualites/assemblee-generale-annuelle-2023/>



Comparaison des traitements avec et sans carbaryl au verger commercial en 2019 et 2020:

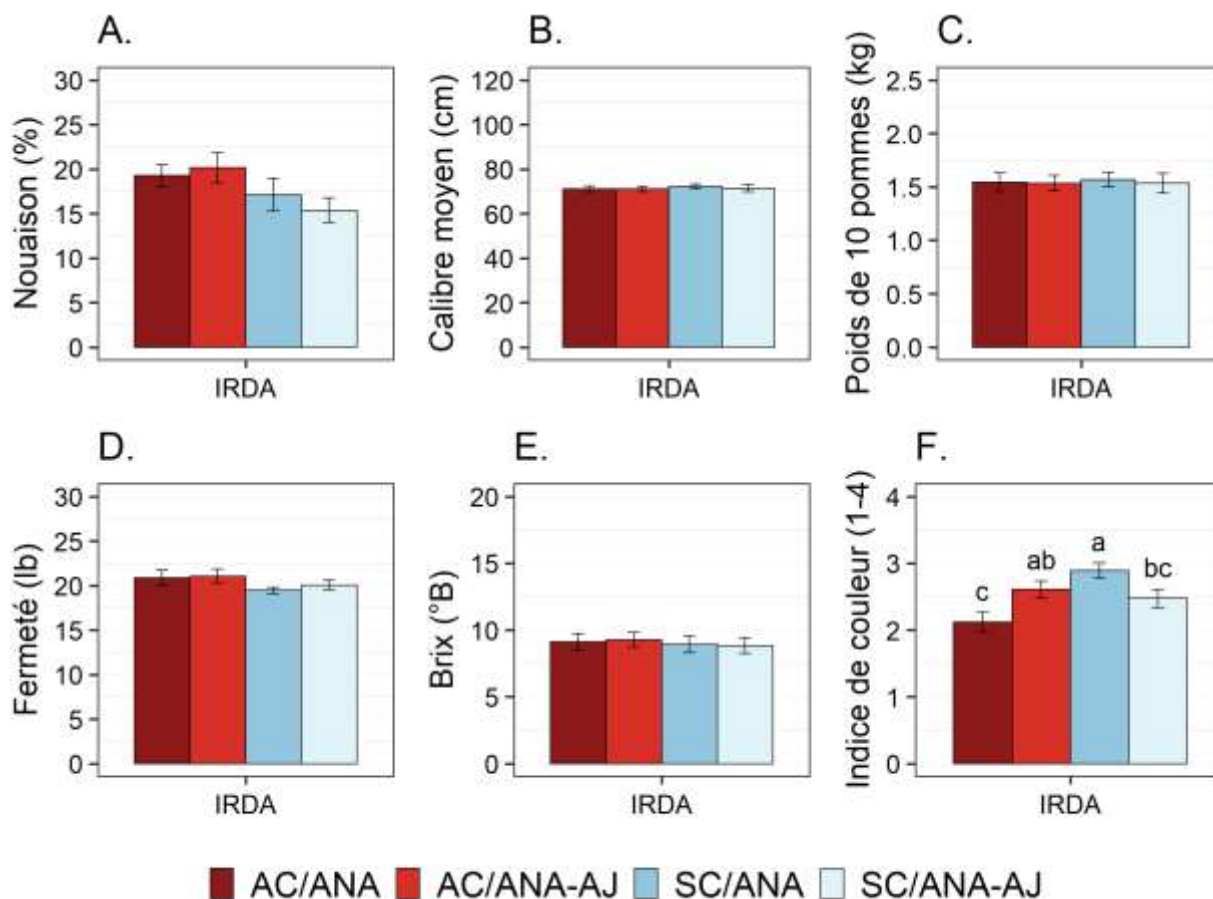
Tel qu'illustré par la figure 1, l'utilisation du carbaryl n'a pas engendré de différence significative sur le taux de nouaison, le calibre moyen et la couleur des pommes à la récolte. Durant les deux saisons du projet, il nous a été possible d'atteindre les objectifs d'éclaircissage, avec ou sans carbaryl, et ce, sans impact sur la qualité des pommes à la récolte.

Verger expérimental de l'IRDA

Tableau 5. Comparaison des ANOVAs selon le traitement d'éclaircissage chimique à l'IRDA. Les moyennes de chaque traitement sont suivies de leurs erreurs types. Les valeurs P avant et après correction FDR sont illustrées sous les moyennes. Le seuil de signification est indiqué par une lettre. Seules les moyennes qui présentent des lettres différentes sont significativement différentes selon le test d'étendue multiple de Duncan ($\alpha = 0.05$).

Traitement	Nouaison (%)	Calibre moyen (cm)	Poids de 10 pommes (g)	
AC/ANA	19.25 ± 1.28	71.14 ± 1.36	1545.00 ± 87.98	
AC/ANA-AJ	20.13 ± 1.70	71.10 ± 1.15	1533.75 ± 71.28	
SC/ANA	17.13 ± 1.83	72.31 ± 0.99	1567.33 ± 67.31	
SC/ANA-AJ	15.38 ± 1.37	71.29 ± 1.51	1531.88 ± 91.82	
ANOVA : F	1.8776	0.2036	0.0397	
ANOVA : P	0.1368	0.8935	0.9893	
ANOVA : P-FDR	0.3284	0.9893	0.9893	
Traitement	Fermeté (lb)	Taux de sucre (°B)	Indice de couleur (1-4)	
AC/ANA	20.86 ± 0.85	9.11 ± 0.61	2.12 ± 0.15	c
AC/ANA-AJ	21.04 ± 0.79	9.27 ± 0.54	2.61 ± 0.13	ab
SC/ANA	19.45 ± 0.36	8.93 ± 0.63	2.89 ± 0.12	a
SC/ANA-AJ	20.05 ± 0.57	8.84 ± 0.59	2.48 ± 0.14	bc
ANOVA : F	1.2095	0.1008	5.7981	
ANOVA : P	0.3141	0.9592	0.0015	**
ANOVA : P-FDR	0.6282	0.9893	0.0181	*

Figure 2. Comparaison des résultats selon le traitement d'éclaircissage chimique à l'IRDA. Les moyennes sont représentées par les diagrammes à barres. Les erreurs types sont représentées par les barres d'erreur. Le seuil de signification est indiqué par une lettre. Seules les moyennes qui présentent des lettres différentes sont significativement différentes selon le test d'étendue multiple de Duncan ($\alpha = 0.05$).



Les effets de l'éclaircissage chimique sur la couleur moyenne des pommes à la récolte

Selon les résultats obtenus au verger de l'IRDA, seule la coloration semblerait être affectée significativement par le choix de traitement d'éclaircissage chimique. Les pommes éclaircies avec ANA seulement (sans carbaryl) avaient tendance à être plus colorées. L'ANOVA pour l'indice de couleur était significative avant et après la correction FDR (Tableau 5). Par ailleurs, les conditions de normalité et d'homoscédasticité sembleraient être respectées selon les tests de Shapiro-Wilk ($W = 0,9790$; $P = 0,3467$) et Levene ($F = 0,4744$; $P = 0,7012$).

Les résultats du DMRT qui a suivi sont illustrés par le diagramme à bandes (Figure 2F). Ces résultats montrent que la rougeur des pommes était à son niveau le plus élevé dans le traitement SC/ANA, suivi des traitements AC/ANA-AJ, SC/ANA-AJ et SC/ANA. Une remarque particulière est qu'entre les traitements à doses standards, la rougeur était significativement plus prononcée dans le traitement sans carbaryl. Toutefois, la rougeur n'était pas significativement différente entre les traitements à doses ajustées.

Les traitements sans carbaryl ont reçu une pulvérisation d'ANA de plus par saison (Tableau 2). Dans une étude réalisée par Embree et coll. 2001, les auteurs ont observé une maturité accrue des pommes traitées avec ANA. Toutefois, les auteurs n'ont pas observé une intensification de la couleur dans leurs traitements avec ANA.

Considérant cette problématique, il est possible qu'une variable non mesurée, telle la radiation lumineuse, cause des variations de la coloration des pommes. La lumière joue un rôle important durant le développement de la pigmentation. Plus le fruit est exposé au soleil, plus la coloration des pommes est développée (Schupp et al., 2020). Nous avons observé une certaine hétérogénéité au niveau de la luminosité dans les parcelles de l'IRDA. Les arbres varient en hauteur, en largeur, en densité et en proximité à une forêt qui bloque le soleil en fin de journée. Il est possible que notre dispositif n'ait pas permis d'éliminer cette variation. La parcelle à l'IRDA est visuellement hétérogène en luminosité. À l'inverse, l'exposition au soleil des pommiers au verger MJ Bourdeau est beaucoup plus uniforme, et nous n'avons pas observé de différence significative par rapport à la coloration dans cette parcelle.

Indices de risque pour la santé (IRS) et l'environnement (IRE)

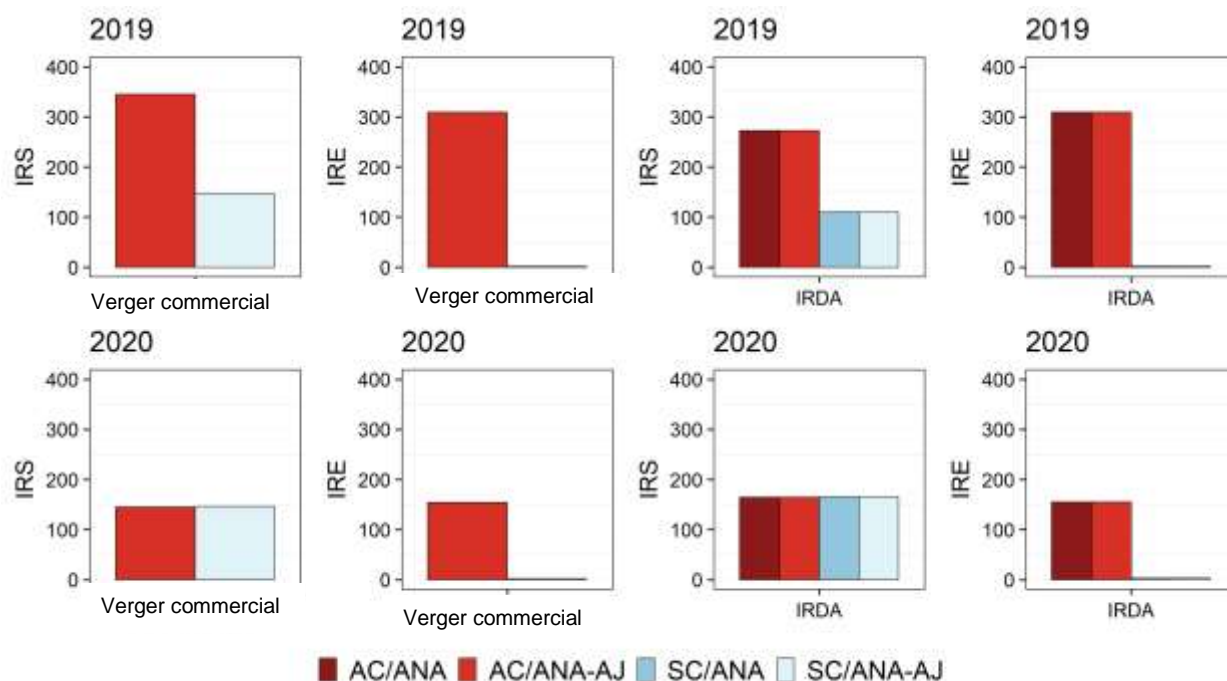
Tableau 6. Indices de risque par traitement

Site	Type de pulvérisateur	Produit/dose	IRS/traitement	IRE/traitement
Verger commercial	Jet porté	SEVIN XLR 1 L/ha	145	154
Verger commercial	Jet porté	Fruitone L 375 mL/ha ± 30 %	73	1
IRDA	Anti-dérive	SEVIN XLR 1 L/ha	109	154
IRDA	Anti-dérive	Fruitone L 313 mL/ha ± 30 %	55	1

Le tableau 6 montre les indices de risque pour la santé et l'environnement associés à chaque traitement. L'utilisation d'un pulvérisateur à rideau à l'IRDA permet de réduire les risques pour la santé, même en conservant la même dose de SEVIN. De plus, en éclaircissant sans carbaryl, il a été possible de diminuer les risques pour la santé et l'environnement associés à l'éclaircissage chimique (Figure 3). Par pulvérisation, l'IRS était plus élevé pour le carbaryl que pour l'ANA. Conséquemment, malgré un plus grand nombre de traitements durant la deuxième saison dans les parcelles sans carbaryl, l'indice de risque total pour la santé est égal dans les parcelles avec et sans carbaryl dans les deux vergers. Pour l'IRE, cette différence est encore plus importante puisque l'ANA présente un très faible risque pour l'environnement, soit un IRE de 1 comparativement à 154 pour le carbaryl.

Toutefois, la réduction de la dose d'ANA de 15 % dans les parcelles ajustées selon le modèle de bilan glucidique n'a pas eu d'effet significatif sur les indices de risque. Selon SAGe pesticides, les indices ne varient pas avec des ajustements mineurs de quantités. Le type de produit appliqué, le type de pulvérisateur et le nombre d'applications ont des plus gros effets.

Figure 3. Comparaison des indices de risque cumulés par saison selon le traitement d'éclaircissage chimique pour chaque verger.



DISCUSSION

Démontrer qu'il est possible de réussir l'éclaircissage des pommiers sans l'usage de carbaryl et faire la validation terrain des doses de phytohormones ajustées selon les recommandations du modèle de bilan glucidique

Le projet a permis de démontrer qu'il est possible d'atteindre les objectifs d'éclaircissage sans ajout de carbaryl dans les traitements. En 2019, les traitements avec et sans carbaryl ont été effectués à la même date. En 2020, la stratégie sans carbaryl a été légèrement modifiée pour intervenir plus tôt en saison, tel que recommandé par Sazo et al. (2016). Les traitements sans carbaryl n'ont pas eu d'impact négatif sur la qualité des fruits durant les deux années du projet.

En ce qui a trait à la validation des doses ajustées en fonction du bilan glucidique, les conditions météorologiques durant les deux années de l'essai n'ont pas provoqué de fluctuation majeure dans le bilan glucidique des pommiers. Les conditions qui induisent des risques de sur-éclaircissage (bilan négatif) ou de sous-éclaircissage (bilan positif) n'ont pas été rencontrées. En conséquence, pour les traitements ajustés, le modèle d'éclaircissage chimique en fonction du bilan glucidique des pommiers a généralement recommandé d'appliquer des doses standards de produit éclaircissant. Les seules exceptions étaient le 23 mai 2020 au verger commercial et le 25 mai 2020 au verger de l'IRDA où il était recommandé de réduire la dose de phytohormones appliquée par 15 %.

Tel que démontré par les pourcentages de nouaison, il nous a été possible d'atteindre nos objectifs d'éclaircissage pour tous les traitements, et ce, sans effet sur la qualité des pommes à la récolte.

Santé et environnement

En moyenne, la stratégie d'éclaircissage sans carbaryl a permis de réduire l'indice de risque pour la santé de 145 et l'indice de risque pour l'environnement de 154. Par ailleurs, l'éclaircissage sans carbaryl présente un avantage additionnel puisque le délai de réentrée est nettement plus court, soit 12 h pour le Fruitone et 4 à 14 jours pour le SEVIN. Les délais avant récolte sont également beaucoup moins longs, soit 5 jours pour Fruitone et 75 jours pour le SEVIN.

Intégration à CIPRA, Agrométéo Québec et la plateforme PFI le modèle d'éclaircissage chimique en fonction du bilan glucidique des pommiers

Les discussions se poursuivent entre l'équipe de recherche en bioclimatologie et modélisation du CRD Saint-Jean-sur-Richelieu (AAC) et les développeurs du modèle bilan glucidique (*Apple Carbohydrate Thinning Model*) et du site NEWA à l'Université Cornell (Terence Robinson, Keith Eggleston et Art DeGaetano). Ces derniers ont fourni le code en langage Python afin d'intégrer leur modèle dans CIPRA. Cela permettra dorénavant l'accès aux résultats des bilans glucidiques en temps réel et pour tout site situé à proximité d'une des 263 stations météo auxquelles a accès CIPRA. Un exemple des tableaux générés par CIPRA pour ce modèle est présenté en ANNEXE I. **Toutefois, il n'a pas été possible à ce jour d'obtenir les autorisations d'AAC et de l'Université Cornell pour rendre l'outil accessible publiquement à tous les utilisateurs du logiciel CIPRA.** Conséquemment, le modèle est intégré dans la version la plus récente de CIPRA et pourra être utilisé par les conseillers en pomiculture lorsque les autorisations de diffusion auront été obtenues. Toutefois, il ne sera pas possible à court terme de le rendre disponible publiquement sur Agrométéo Québec et la plateforme PFI du réseau pommier.

Faciliter l'adoption de stratégies d'éclaircissage sans carbaryl

Les délais importants pour le retour au champ et avant la récolte associés à l'utilisation du carbaryl rendent son usage compliqué pour les pomiculteurs. Dans le cadre de ce projet, les stratégies sans carbaryl ont donné de très bons résultats dans les deux vergers. Nous n'avons pas observé de différences significatives entre les traitements avec et sans carbaryl. Ces résultats vont sans doute encourager les pomiculteurs à adopter des pratiques sans carbaryl.

Ultimement, nous estimons que l'ajustement des doses offrira une meilleure efficacité des traitements, facilitant l'adoption de stratégies sans carbaryl. L'intégration dans CIPRA permettra aux conseillers pomicoles de mieux accompagner les pomiculteurs en leur fournissant des recommandations sur l'ajustement des doses afin de mieux réussir leurs traitements d'éclaircissage.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Les résultats ont été présentés lors d'une clinique d'éclaircissage en webdiffusion le 6 mai 2021.

Le modèle a été intégré dans CIPRA toutefois la version de CIPRA qui inclus le modèle n'est pas diffusée à tous à cause d'un problème de propriété intellectuelle entre l'université Cornell et Agriculture Canada. Même chose pour agrométéo et la plateforme PFI.

La situation sanitaire n'a pas permis de présenter le projet aux journées horticoles ni aux JARITs toutefois, la webdiffusion de la clinique d'éclaircissage a permis de rejoindre un grand nombre de personnes.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE

La qualité des pommes produites au Québec doit présenter une certaine stabilité afin de conserver une part de marché et concurrencer les pommes importées. Notamment, le calibre de nos fruits doit répondre aux exigences des normes Pommes Qualité Québec. De bonnes pratiques d'éclaircissage favorisent cela de même qu'une meilleure régularité de la production. En intégrant le modèle de bilan glucide dans CIPRA, les pomiculteurs se sont dotés d'un outil de précision pour améliorer la réussite de leurs traitements d'éclaircissage. L'amélioration des traitements d'éclaircissage chimique devrait permettre de réduire les coûts associés à l'éclaircissage manuel des pommiers (souvent supérieurs à 1000 \$/ha).

L'éclaircissage sans carbaryl permet non seulement de réduire les risques pour la santé et l'environnement, mais aussi les délais de réentrée et les délais avant récolte. La diffusion des résultats devrait encourager les pomiculteurs à adopter des stratégies d'éclaircissage sans carbaryl.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Jennifer Gagné, jgagne@upa.qc.ca 450 679-0540, poste 8126

Evelyne Barriault, agr., evelyne.barriault@mapaq.gouv.qc.ca 450-347-8341 poste 4286.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Paul-Émile Yelle (consultant), Dominique Plouffe (AAC), Jennifer Gagné (PPQ), Vicky Filion (CPSO), William Doyon (PPQ), Gérald Chouinard (IRDA), Gaétan Bourgeois (AAC), Karine Bergeron (MAPAQ), Evelyne Barriault (MAPAQ).

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES

L'équipe de réalisation du projet aimerait remercier Vincent Phillion, Valentin Joubert et le verger d'Havelock pour leur précieuse collaboration dans le déroulement du projet, notamment le traitement des parcelles, ainsi que Arianne Deshaies et Nathalie Beaudry (AAC) pour l'intégration du modèle américain de bilan des glucides et des fonctionnalités additionnelles dans le logiciel CIPRA.

« Ce projet a été réalisé dans le cadre du sous-volet 3.1 du programme Prime-Vert – Appui au développement expérimental, à l'adaptation technologique et au transfert technologique des connaissances en agroenvironnement avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation par l'entremise de la Stratégie phytosanitaire québécoise en agriculture (2011-2021). »

Remerciements à Terence Robinson, Keith Eggleston et Art Degaetano pour leur collaboration et le partage d'informations.

RÉFÉRENCES

Arseneault, M., et Cline, J. (2017). À l'aide! comment faire l'éclaircissage sans carbaryl? En ligne, consulté le 24 janvier 2020.

<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/hort/news/orchnews/2017/on-0417a2.htm>

Auguie, B. (2017). gridExtra: Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics. R package version 2.3. Disponible à <https://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>

Auguie, B. (2019). egg: Extensions for 'ggplot2': Custom Geom, Custom Themes, Plot Alignment, Labelled Panels, Symmetric Scales, and Fixed Panel Size. R package version 0.4.5. <https://CRAN.R-project.org/package=egg>

Barriault E. 2019. Stratégies d'éclaircissage. Est-il possible d'éclaircir sans carbaryl. Avertissements/Guide de Production Fruitière Intégré, réseau pommier. En ligne, consulté le 21 avril 2021.

Dennis, F.G. (2000). The history of fruit thinning. *Plant Growth Regulation* 31, 1-16.

Embree, C.G., Nichols, D.S., DeLong, J.M., et Prange, R.K. (2001). Certain chemical thinning treatments advance maturity of Paulared apple. *Canadian Journal of Plant Science*, 81(3), 499-501, 10.4141/P00-111. <https://doi-org.lib-ezproxy.concordia.ca/10.4141/P00-111>

Felipe de Mendiburu (2020). agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-3. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

Fox, J., et Weisberg, S. (2019). An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. Disponible à <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

Fox, J., Weisberg, S., et Price, B. (2020). carData: Companion to Applied Regression Data Sets. R package version 3.0-4. <https://CRAN.R-project.org/package=carData>

Greene, D.W., Lakso, A.N., Robinson, T.L., et Schwallier, P. (2013). Development of a Fruitlet Growth Model to Predict Thinner Response on Apples. *Hortscience* 48(5), 584–587.

Lakso, A.N., Robinson, T.L., et Greene, D.W. (2007). Using an apple tree carbohydrate model to understand thinning responses to weather and chemical thinners. *New-York Fruit Quarterly*, 15(3).

Lakso, A.N., et Robinson, T.L. (2011). Advances in predicting chemical thinner response of apple using a carbon balance model. *New-York Fruit Quarterly*, 19(1). Printemps 2011.

Lakso, A.N., et Robinson, T.L. (2015). Decision Support for Apple Thinning Based on Carbon Balance Modeling. Proc. IXth IS on Modelling in Fruit Research and Orchard Management. *Acta Hort.* 1068, 235-242.

Lakso, A.N., et Robinson, T.L. (2015). The "MaluSim" apple carbohydrate model and its use for improving consistency of chemical thinning. Présentation aux Mid-Atlantic Fruit and Vegetable Conference.

Lemon, J. (2006) Plotrix: a package in the red light district of R. *R-News*, 6(4): 8-12.

Plouffe, D., Bourgeois, G., Beaudry, N., Chouinard, G., et Choquette, D. (2014). CIPRA - Centre Informatique de Prévion des Ravageurs en Agriculture. Guide des cultures. Disponible à https://www.agrireseau.net/documents/Document_88744.PDF

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. Disponible à <https://www.R-project.org/>.

RECUPOM (2008). Fiche de culture: Honeycrisp. En ligne (consulté le 28 janvier 2020): <https://www.agrireseau.net/documents/73435/recupom-fiche-de-culture-de-la-honeycrisp>

Sazo, M.M., Francescatto, P., Sanahuja, J.L., 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), 6. <https://nyshs.org/wp-content/uploads/2017/03/Sazo-Pages-from-29-36-NYFQ-Book-Winter-2016-8.pdf>

Schwallier, P., et Irish-Brown, A., (2015). Predicting apple fruit set model. *New York Quarterly*, 23(1), 15-18. <http://shaponline.org/wp-content/uploads/2012/03/The-%E2%80%9CMaluSim%E2%80%9D-Apple-Carbohydrate-Model-and-Its-Use-for-Improving-Consistency-of-Chemical-Thinning-Alan-Lakso.pdf>.

Schupp, J., Farcuh, M., et Trause, M. (2020). *Apple Red Skin Coloration: A Grower's Checklist*. PennState Extension. Disponible à <https://extension.psu.edu/apple-red-skin-coloration-a-growers-checklist>

Wickham, H. (2011). The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1), 1-29. URL <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>.

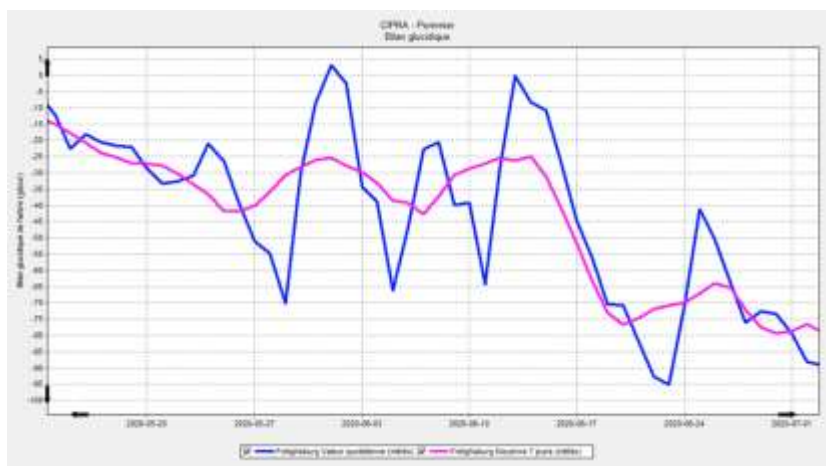
Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. Disponible à <https://ggplot2.tidyverse.org/>.

Wickham, H., et Pedersen, T.L. (2019). *gtable: Arrange 'Grobs' in Tables*. R package version 0.3.0. <https://CRAN.R-project.org/package=gtable>

Yelle, PE. 2012 Charte d'intensité de la coloration Honeycrisp. En ligne, consulté le 26 avril 2021: https://producteursdepommesduquebec.ca/wp-content/uploads/2013/12/charte-honeycrisp_final2012.pdf

ANNEXE I

Modèle de bilan glucidique intégré dans CIPRA (Frelighsburg, 2020)



Superficie par arbre :
 m²

Date du débournement :

Date de la pleine floraison :

Date de fin d'exécution du modèle :

Pourcentage de bourgeons à fruit :

Prédictions du modèle d'éclaircissage basé sur le bilan glucidique des pommiers							
Date	Temp Max (°C)	Temp Min (°C)	Rad Solaire (MJ/m2)	Bilan glucidique de l'arbre (g/jour)		Cumul des degrés-jours (4°C) (depuis la floraison)	Recommandation pour l'éclaircissage
				Quotidien	Moyenne 7 jours		
1/5	16.7	5.3	18.5	-8.76	-	0.0	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
2/5	16.8	2.7	22.2	-8.51	-	0.0	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
25/5	23.1	13.8	19.4	-26.4	-41.94	0.0	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
26/5	30.8	16.3	25.2	-39.52	-41.89	19.6	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
27/5	33.4	19.6	24.6	-51.14	-40.1	42.0	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
28/5	27.0	20.8	15.5	-54.67	-35.87	62.0	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
29/5	29.1	18.4	11.6	-70.12	-30.58	81.7	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
30/5	19.7	10.0	18.1	-30.44	-28.17	92.5	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
31/5	10.0	3.9	11.1	-8.39	-25.94	95.5	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
1/6	13.5	2.0	22.2	3.15	-25.39	99.2	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
2/6	15.9	3.7	22.5	-2.48	-27.76	105.0	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
3/6	13.4	11.0	8.5	-34.26	-29.8	113.2	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
4/6	24.0	11.0	24.5	-39.07	-33.17	126.8	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
5/6	27.9	14.7	24.7	-66.23	-38.53	144.1	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
6/6	24.1	11.3	19.3	-47.04	-39.22	157.8	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
7/6	19.1	9.5	20.7	-22.66	-42.8	168.1	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
8/6	20.4	9.1	22.7	-20.45	-37.33	178.8	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
9/6	19.6	13.1	16.6	-39.97	-30.64	191.2	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
10/6	24.1	12.5	23.2	-39.1	-28.58	205.4	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
11/6	25.8	14.5	16.2	-64.15	-27.18	221.6	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
12/6	22.3	10.9	23.0	-27.97	-25.37	234.3	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
13/6	12.3	6.6	15.4	-0.18	-26.18	239.7	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
14/6	19.2	7.9	22.9	-8.27	-25.05	249.2	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
15/6	21.7	8.1	25.5	-10.64	-31.11	260.1	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
16/6	24.8	11.1	25.6	-27.29	-41.22	274.1	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
17/6	27.6	14.4	25.1	-44.77	-51.68	291.1	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
18/6	30.1	16.0	26.1	-56.24	-63.4	310.1	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
19/6	29.9	19.0	22.5	-70.41	-73.09	330.6	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
20/6	31.0	19.1	23.7	-70.89	-76.79	351.6	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
21/6	31.8	19.8	23.8	-81.55	-74.64	373.4	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
22/6	32.3	20.7	23.3	-92.66	-71.8	395.9	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
23/6	31.7	20.8	22.5	-95.14	-70.78	418.1	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
24/6	24.6	16.5	12.6	-70.63	-70.0	434.7	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
25/6	23.9	13.4	22.0	-41.19	-67.14	449.4	Rouge=Danger de sur-éclaircissage
26/6	26.3	14.0	24.1	-50.5	-64.03	465.5	Rouge=Danger de sur-éclaircissage

ANNEXE II

Parcelle au verger commercial d'Havelock



Parcelle au verger expérimental de l'IRDA



ANNEXE III

Dispositif de pulvérisation au verger commercial

		Boisé sud									
		Rangée									
Arbre		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
165											
164											
163											
.		X								X	
.			X								
.								X	X		
.			X								
.		X						X			
123											
122											
121											
120											
119											
118										X	
.			X								
.								X	X		
.					X						
.		X									
.			X						X		
83											
82											
81											
80											
79			X								
78								X			
.			X	X					X		
.											
.									X		
.		X						X			
43											
42											
41											
40											
39											
37											
.			X						X		
.		X									
.					X				X	X	
.											
.			X						X		
3											
2											
1											

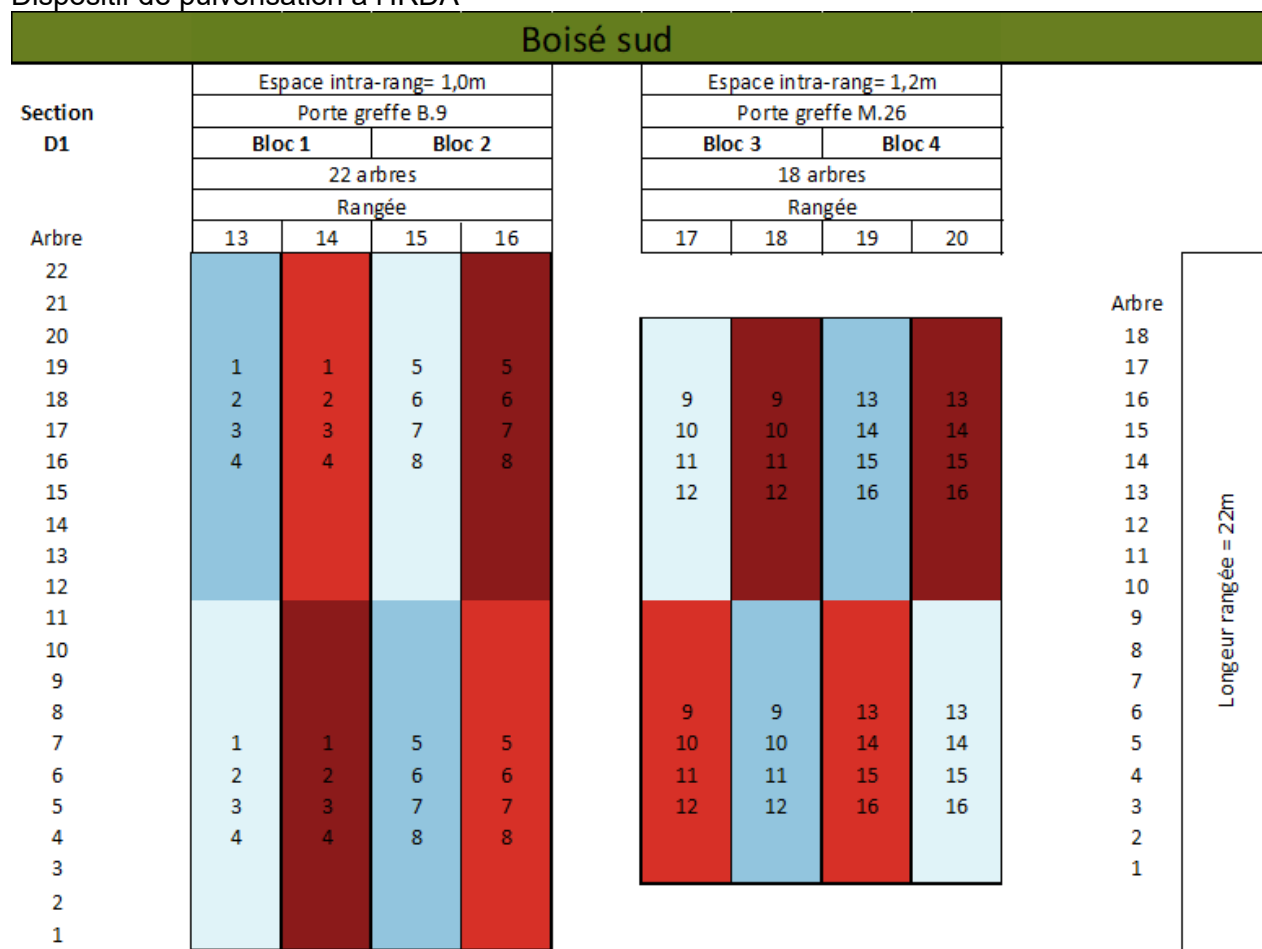
↓ Maison

Traitements

Acronyme	Description
AC/ANA-AJ	Avec Carbaryl. ANA dose ajustée selon le modèle de bilan glucide (10ppm ± 15 ou 30%).
SC/ANA-AJ	Sans Carbaryl. ANA dose ajustée selon le modèle de bilan glucide (10ppm ± 15 ou 30%).

X = Arbre identifié (5 bouquets numérotés pour suivre la nouaison et l'efficacité du traitement).

Dispositif de pulvérisation à l'IRDA



Traitements

Acronyme	Description
AC/ANA	Avec Carbaryl. ANA dose standard (10 ppm).
AC/ANA-AJ	Avec Carbaryl. ANA dose ajustée selon le modèle de bilan glucide (10ppm ± 15 ou 30%).
SC/ANA	Sans Carbaryl. ANA dose standard (10 ppm).
SC/ANA-AJ	Sans Carbaryl. ANA dose ajustée selon le modèle de bilan glucide (10ppm ± 15 ou 30%).

ANNEXE IV

Pulvérisateur à jet porté utilisé au verger commercial



Pulvérisateur à rideaux anti-dérive de l'IRDA



ANNEXE V

Bilans glucidiques lors des pulvérisations au verger commercial les 7 et 17 juin 2019

Franklin, Honeycrisp 7 juin 2019

Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
4 juin 2019	Pf + 6 jrs	7.4	19.2	25.57	12.8	-7.3	Dose normale
5 juin 2019		10.3	19.0	14.24	-19.3	-4.7	Dose normale
6 juin 2019	Calice	12.0	22.9	30.43	-5.7	-12.1	Dose normale
7 juin 2019	↑ Réel	9.1	25.0	26.03	-8.3	-17.6	Dose normale
8 juin 2019	↓ Préviation	8.0	25.0	27.27	-1.4	-15.8	Dose normale
9 juin 2019		8.0	30.0	29.55	-16.3	-17.9	Dose normale
10 juin 2019		18.0	27.0	16.08	-50.5	-19.8	Dose normale
11 juin 2019		16.0	24.0	23.63	-31.3	-20.5	Réduire de 15%
12 juin 2019		12.0	25.0	29.03	-4.3	-21.1	Réduire de 15%

Franklin, Honeycrisp 16 juin 2019

Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
13 juin 2019	Calice + 7 jrs	12.3	19.3	12.01	-24.2	-9.5	Dose normale
14 juin 2019		11.3	18.9	14.97	-7.4	-5.5	Dose normale
15 juin 2019		15.0	25.9	9.44	-60.3	-6.3	Dose normale
16 juin 2019	↑ Réel	12.0	23.0	25.37	8.6	-9.6	Dose normale
17 juin 2019	↓ Préviation	10.0	25.0	27.32	13.2	-11.5	Dose normale
18 juin 2019		11.0	26.0	29.76	11.4	-12.0	Dose normale
19 juin 2019		12.0	27.0	27.50	-0.2	-18.8	Dose normale
20 juin 2019		15.0	24.0	10.80	-50.2	-24.4	Réduire de 15%
21 juin 2019		16.0	25.0	22.65	-23.3	-30.7	Réduire de 15%

Bilans glucidiques lors des pulvérisations au verger MJ Bourdeau les 23 mai et 2 juin 2020

Franklin, Honeycrisp 24 mai 2020

Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
21 mai 2019	Déb + 25 jrs	9.1	26.0	27.06	-20.9	-19.1	Dose normale
22 mai 2019		9.9	29.0	29.14	-24.8	-24.1	Réduire de 15%
23 mai 2019		10.9	22.3	21.68	-18.6	-31.6	Réduire de 15%
24 mai 2019	↑ Réel	7.5	28.0	27.30	-16.0	-39.4	Réduire de 15%
25 mai 2019	↓ Préviation	16.0	22.0	13.41	-32.7	-42.3	Réduire de 30%
26 mai 2019		17.0	31.0	19.90	-53.8	-41.4	Réduire de 30%
27 mai 2019		19.0	31.0	19.80	-70.3	-48.9	Réduire de 30%
28 mai 2019		18.0	26.0	7.10	-83.1	-48.3	Réduire de 30%
29 mai 2019		15.0	25.0	19.47	-47.9	-41.8	Réduire de 30%

Franklin, Honeycrisp 1 juin 2020

Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
29 mai 2020	Calice + 2 jrs	20.2	30.5	19.84	-87.7	-28.1	Réduire de 15%
30 mai 2020		9.1	22.3	17.77	-25.0	-23.5	Réduire de 15%
31 mai 2020	Nouaison	4.9	12.0	16.59	12.5	-12.7	Dose normale
1 juin 2020	↑ Réel	2.5	16.0	24.63	27.9	-3.4	Dose normale
2 juin 2020	↓ Préviation	9.0	22.0	16.93	-17.8	-2.9	Dose normale
3 juin 2020		12.0	18.0	7.32	-42.2	-3.2	Dose normale
4 juin 2020		12.0	21.0	27.72	3.2	-11.8	Dose normale
5 juin 2020		12.0	26.0	24.99	-13.5	-11.2	Dose normale
6 juin 2020		15.0	25.0	24.48	-20.8	-4.6	Dose normale

Bilans glucidiques lors des pulvérisations à l'IRDA les 7 et 16 juin 2019

St-Bruno, Honeycrisp 7 juin 2019

Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
4 juin 2019	Pf + 5 jrs	4.6	18.7	20.52	3.0	-9.7	Dose normale
5 juin 2019		8.6	20.2	19.47	-11.6	-5.7	Dose normale
6 juin 2019	Calice	11.4	24.6	29.65	-15.6	-11.1	Dose normale
7 juin 2019	↑ Réel	7.3	24.0	24.57	-3.7	-14.1	Dose normale
8 juin 2019	↓ Préviation	8.0	24.0	27.21	2.5	-13.0	Dose normale
9 juin 2019		12.0	27.0	29.35	-14.4	-11.4	Dose normale
10 juin 2019		15.0	26.0	16.11	-45.4	-14.0	Dose normale
11 juin 2019		16.0	24.0	24.70	-20.6	-15.2	Dose normale
12 juin 2019		12.0	26.0	28.92	-3.3	-15.4	Dose normale

St-Bruno, Honeycrisp 16 juin 2019

Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
13 juin 2019	Calice + 7 jrs	12.3	19.4	10.81	-27.6	-6.0	Dose normale
14 juin 2019		12.3	18.5	12.13	-18.9	-2.1	Dose normale
15 juin 2019		12.7	23.4	8.51	-47.1	-2.7	Dose normale
16 juin 2019	↑ Réel	11.9	23.0	24.65	10.8	-3.1	Dose normale
17 juin 2019	↓ Préviation	10.0	25.0	27.24	20.8	-3.6	Dose normale
18 juin 2019		12.0	25.0	27.46	16.3	1.3	Augmenter de 15%
19 juin 2019		13.0	26.0	28.70	13.6	-2.5	Dose normale
20 juin 2019		14.0	24.0	10.87	-30.9	-7.6	Dose normale
21 juin 2019		15.0	25.0	14.99	-23.3	-13.3	Dose normale

Bilans glucidiques lors des pulvérisations à l'IRDA les 25 mai et 4 juin 2020

St-Bruno, Honeycrisp 25 mai 2020

Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
22 mai 2020	Déb + 20 jrs	10.3	29.0	29.19	-26.6	-22.6	Réduire de 15%
23 mai 2020		12.9	22.3	29.31	-16.3	-23.9	Réduire de 15%
24 mai 2020		5.7	26.0	26.21	-9.0	-26.0	Réduire de 15%
25 mai 2020	↑ Réel	16.2	24.0	16.75	-26.2	-29.9	Réduire de 15%
26 mai 2020	↓ Préviation	18.0	32.0	25.56	-29.5	-30.5	Réduire de 15%
27 mai 2020		20.0	32.0	27.47	-30.8	-31.5	Réduire de 15%
28 mai 2020		19.0	29.0	20.63	-43.6	-33.8	Réduire de 15%
29 mai 2020		16.0	25.0	7.06	-57.4	-33.2	Réduire de 15%
30 mai 2020		13.0	22.0	24.77	-23.4	-33.2	Réduire de 15%

St-Bruno-de-Montarville, Honeycrisp 3 juin 2020

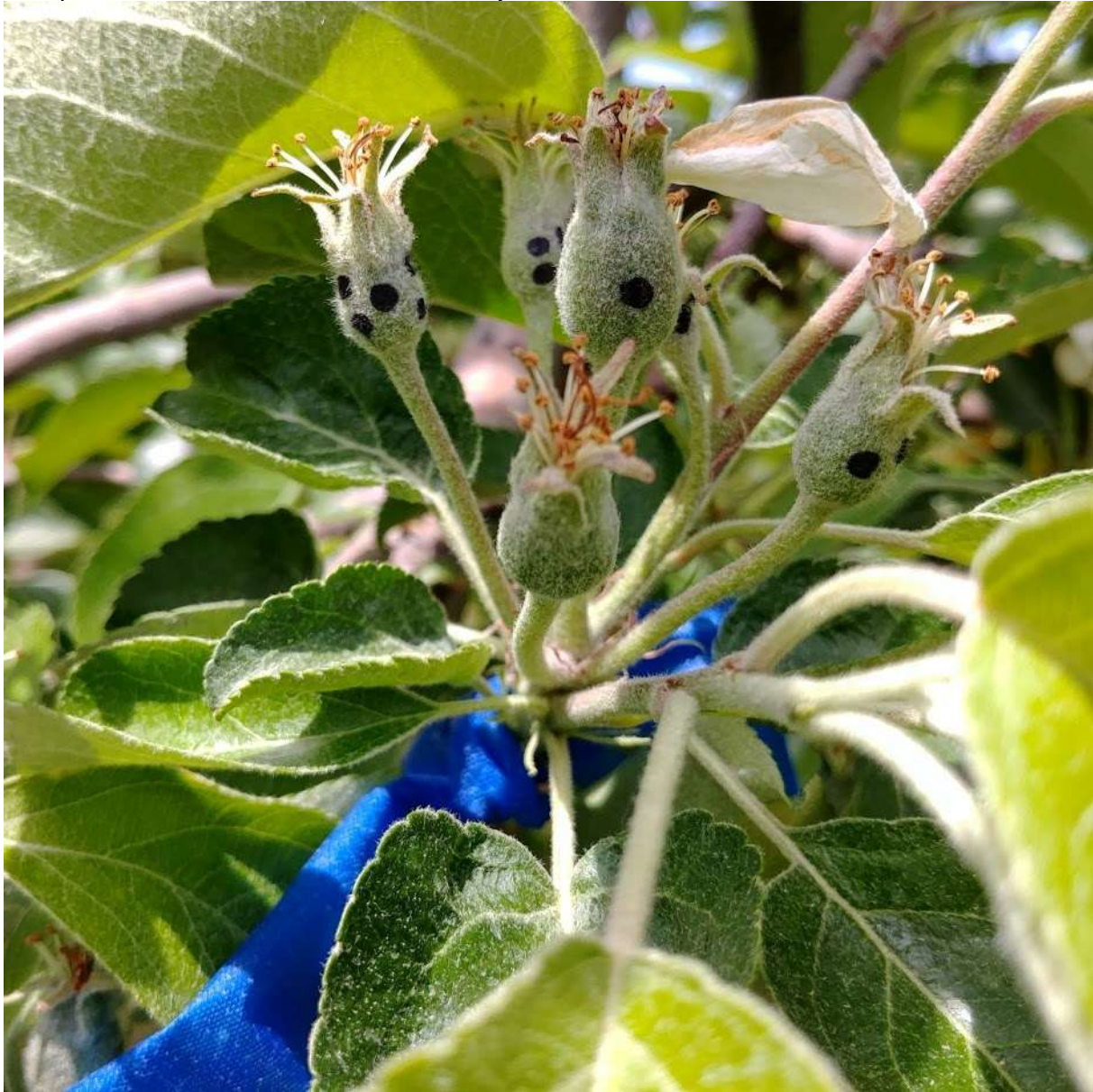
Date	Stade	T.Min (°C)	T.Max (°C)	Rad. (MJ)	Bilan Quotidien	Bilan Moy.7 jrs	Recommandation
31 mai 2020	Calice + 8 jrs	3.9	12.0	17.84	4.9	-24.8	Réduire de 15%
1 juin 2020		2.0	15.4	18.08	3.6	-21.3	Réduire de 15%
2 juin 2020		4.2	16.1	11.04	-12.8	-20.9	Réduire de 15%
3 juin 2020	↑ Réel	10.4	15.9	5.36	-43.0	-19.9	Dose normale
4 juin 2020	↓ Préviation	12.0	26.0	25.77	-32.7	-19.4	Dose normale
5 juin 2020	Nou. + 2 jrs	14.0	29.0	25.92	-46.6	-16.6	Dose normale
6 juin 2020		11.0	19.0	15.66	-20.0	-12.9	Dose normale
7 juin 2020		9.0	20.0	28.52	11.9	-9.1	Dose normale
8 juin 2020		9.0	23.0	28.21	7.6	-2.6	Dose normale

ANNEXE VI
Cornell Apple Thinning Gauge



ANNEXE VII

Bouquet floral avec fruits numérotés le 10 juin 2019




ANNEXE VIII

Mesure du calibre des pommes à l'aide d'un vernier électronique



ANNEXE IX

Évaluation qualitative de la coloration des pommes à l'aide de la charte d'intensité de la couleur de la pomme Honeycrisp.

1	
2	
3	
4	

ANNEXE X

Diagramme Quantile-Quantile (Q-Q *plot*) pour l'indice de couleur au verger de l'IRDA

