

**AMÉNAGEMENTS FLEURIS EN POMICULTURE : AUGMENTER LA BIODIVERSITÉ ET LA SURVIE  
HIVERNALE DES BOURDONS POUR ASSURER DE MEILLEURS RENDEMENTS**

**BIO 05**

DURÉE DU PROJET : 05-2017 À 09-2020

**RAPPORT FINAL**

Réalisé par :  
Amélie Gervais<sup>1</sup>, Marc J. Mazerolle<sup>1</sup>, Marc Bélisle<sup>2</sup>, Luc Belzile<sup>3</sup> et Valérie Fournier<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Université Laval, <sup>2</sup>Université de Sherbrooke, <sup>3</sup>IRDA

1<sup>er</sup> mai 2020

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.

**AMÉNAGEMENTS FLEURIS EN POMICULTURE : AUGMENTER LA BIODIVERSITÉ ET LA SURVIE  
HIVERNALE DES BOURDONS POUR ASSURER DE MEILLEURS RENDEMENTS**

**NUMÉRO DU PROJET : BIO- 05**

**RÉSUMÉ DU PROJET** (Maximum 20 lignes)

La fleur du pommier est autostérile, c'est-à-dire qu'elle doit recevoir un grain de pollen d'une autre variété de pommes pour produire un fruit. Les insectes pollinisateurs ont donc un rôle essentiel en pomiculture puisqu'ils assurent la pollinisation croisée. Les reines bourdons (*Bombus* spp.), qui sont actives tôt au printemps, sont reconnues comme étant le groupe d'insectes pollinisateurs le plus efficace dans cette culture. Ainsi, il serait avantageux de pouvoir accroître leur présence et leur survie hivernale en offrant des sites de nidification et des ressources florales à deux moments clés dans les vergers, soit au printemps et à l'automne. Le but de ce projet était d'évaluer l'impact d'aménagements fleuris (e.g., haies brise-vent, bandes fleuries), déjà existants et bien établis dans les vergers, sur la diversité, l'abondance et la survie des reines bourdons, de même que sur les rendements en pommes. Les reines bourdons de 12 vergers du sud de la province ont été marquées, relâchées et parfois recapturées au printemps et à l'automne 2017, 2018 et 2019. Parmi ces 12 fermes, six possédaient des aménagements alors que les six autres n'en possédaient pas. De plus, des pommes ont été récoltées en 2018 et 2019 pour comparer leur qualité en fonction de la présence des aménagements. Les résultats obtenus indiquent que le nombre total de reines capturées différait en fonction des saisons et des aménagements. Les captures de reines étaient significativement plus élevées sur les fermes avec aménagement. De plus, nos résultats suggèrent que la probabilité d'occurrence de l'espèce *Bombus ternarius* diminue avec l'augmentation de l'intensité de l'usage d'intrants (pesticides) sur la ferme. Pour la qualité des pommes, les aménagements ont semblé avoir un effet négatif sur certains paramètres.

## OBJECTIFS ET APERÇU DE LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif général de ce projet de trois ans était d'examiner l'impact d'aménagements déjà existants sur la biodiversité des bourdons retrouvés dans les vergers de pommiers du sud du Québec. Les objectifs spécifiques étaient de: 1) déterminer l'impact des aménagements sur la richesse, l'abondance et la survie hivernale des reines de bourdons (années 1, 2, 3); 2) déterminer l'influence des aménagements sur le taux de pollinisation des fleurs de pommier et les rendements en fruits (années 2, 3); et de 3) réaliser une analyse de rentabilité économique propre aux aménagements en pomiculture, mais pouvant aussi s'adapter à d'autres cultures du Québec (année 3).

Douze fermes pomicoles (6 vergers avec et 6 vergers sans aménagements) ont été sélectionnées en Montérégie et en Estrie (**Annexe 1**; Tableau A1). Aux printemps 2017, 2018 et 2019, un total de 12 heures de recherche (dans une même période de 48h) par ferme a été effectué, séparé en 6 visites d'une heure par groupe de deux personnes, pour capturer, marquer et recapturer (CMR) les reines bourdons présentes sur les fleurs de pommiers. Les reines, capturées au filet, étaient placées dans une cage à piston puis marquées à l'aide d'une combinaison de couleurs unique appliquée à l'aide de stylos à peinture non toxique afin d'identifier chaque individu recapturé pendant les sessions de capture subséquentes (**Annexe 1**; Figure A1). Les reines recapturées étaient notées puis relâchées au site même de capture. Pour toute capture, les coordonnées géographiques (via GPS), la date, l'heure et l'espèce de bourdons ont été notées. La même méthodologie a été utilisée aux automnes (septembre-octobre) 2017 et 2018, sauf que l'aire d'échantillonnage n'était plus limitée uniquement aux pommiers sur la ferme. Pour évaluer la qualité des pommes, nous avons sélectionné et identifié au hasard, à l'aide d'un ruban, 30 bouquets floraux au printemps, pour ensuite récolter, à l'automne, la pomme la plus près du ruban. Cela fut fait pour les saisons 2018 et 2019.

Des modèles linéaires généralisés mixtes [1] ont été utilisés pour estimer l'influence des aménagements sur la richesse spécifique des reines bourdons, leur abondance relative, ainsi que la qualité des pommes récoltées lors de l'étude. L'estimation de l'abondance par CMR afin de corriger pour une probabilité de détection imparfaite n'a pu être réalisée puisque le taux de recapture brut était trop faible (taux global = 3.70%). Toutefois, des modèles d'occupation de sites prenant en compte l'influence de certains facteurs (ex. température) sur la probabilité de détection [2] ont pu être utilisés pour évaluer l'impact des aménagements sur la probabilité d'occurrence des différentes espèces de bourdons. Les différents modèles sont présentés à **l'Annexe 2**. Nous avons estimé les tailles d'effet des différentes variables explicatives considérées par inférence multimodèle basée sur le critère d'information d'Akaike [3]. Pour ce qui est de la survie hivernale des reines, aucune reine marquée à l'automne n'a été recapturée au printemps suivant. Nous n'avons donc pas pu évaluer ce paramètre. L'ensemble des analyses ont été réalisées dans l'environnement R (version 3.5.0; [4]), notamment à l'aide des bibliothèques glmmTMB [5], unmarked [6] et AICcmodavg [7].

### *Analyse de rentabilité*

L'analyse économique se limitait aux coûts et ne considérait pas les bénéfices. Les coûts privés des aménagements ont été subdivisés en deux catégories. La première est temporelle et évalue les coûts d'implantation à l'année 1 ainsi que les coûts d'entretien qui surviennent lors des années subséquentes, et ce, pendant toute la période de renouvellement de l'aménagement. L'autre subdivision inclut des coûts découlant autant de l'implantation des aménagements que de leur entretien. Les détails de cette analyse se trouvent à **l'Annexe 3**.

## RÉSULTATS SIGNIFICATIFS OBTENUS

### Résultats descriptifs généraux

Au cours des trois années du projet, 4765 reines ont été capturées avec, en moyenne, 1453 captures par printemps et 214 captures par automne (Tableau 1). Ces captures ont été effectuées sur 12 fermes des régions de la Montérégie et de l'Estrie. Chaque capture a été géo-référencée et représentée sur des cartes (**Annexe 4**). En moyenne ( $\pm$  écart type),  $119 \pm 106$  et  $17 \pm 20$  reines ont été capturées par ferme au printemps et à l'automne, respectivement. L'écart important entre les deux saisons s'explique par la grande facilité à trouver les bourdons au printemps lors de la floraison des pommiers, alors qu'à l'automne les ressources florales se font beaucoup plus rares. Au total, huit espèces ou morpho-espèces (regroupement d'espèces morphologiquement similaires) ont été capturées dans le cadre de l'étude. L'espèce la plus abondante était de loin *Bombus impatiens*, suivi par le groupe *B. bimaculatus* et *B. ternarius* (**Annexe 5**; Figure A14).

**Tableau 1.** Nombre de reines capturées par année ainsi que par saison sur 12 vergers du sud du Québec.

Années du projet	Nombre de captures	
	Printemps	Automne
2017	1136	253
2018	1788	154
2019	1434	-

### Richesse des espèces dans les vergers

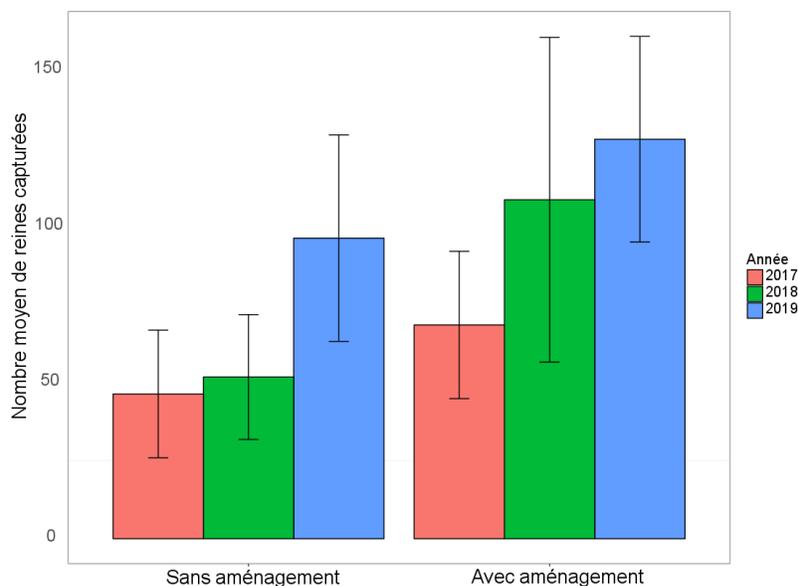
Plusieurs modèles ont été ajustés pour évaluer l'effet des aménagements et d'autres facteurs liés à la ferme, à l'année (2017, 2018 ou 2019) ou à la saison (printemps ou automne) sur la richesse en espèces (**Annexe 2**, Tableau A2). Seul un effet de la saison a été trouvé. Celui-ci se traduisait par une plus grande richesse au printemps ( $0.52$ , 95% IC [ $0.22$ ,  $0.81$ ]<sup>1</sup>) qu'à l'automne. Le modèle qui expliquait le mieux la richesse en espèces incluait l'année, la saison et la présence d'aménagements (Modèle #6; Poids d'Akaike<sup>2</sup> =  $0.25$ , tableau A2), suivi par le modèle qui incluait les mêmes variables et l'intensité des intrants utilisés à la ferme (Modèle #7; Poids d'Akaike =  $0.19$ , tableau A2).

### Abondance relative et présence des espèces dans les vergers

L'abondance relative des reines capturées a été modélisée de la même façon que la richesse (**Annexe 2**; Tableau A2). Toutefois, contrairement à cette dernière, la présence d'aménagements a eu un effet positif sur le nombre de reines capturées ( $0.68$ , 95% IC [ $0.04$ ,  $1.33$ ]; Fig. 1). L'intensité des intrants utilisés à la ferme, quant à elle, n'a pas eu d'effet sur l'abondance relative des reines ( $-0.11$ , 95% IC [ $-0.49$ ,  $0.27$ ]). Le meilleur modèle pour expliquer les variations d'abondance était composé des variables suivantes : l'année, la saison et la présence des aménagements (Modèle #6; Poids d'Akaike =  $0.49$ ; Tableau A2).

<sup>1</sup> On peut s'attendre à ce que 95% des intervalles de confiance contiennent la vraie valeur du paramètre estimé si l'échantillonnage était répété identiquement un grand nombre de fois. Si cet intervalle croise zéro, cela peut être interprété comme l'absence de preuve pour un effet.

<sup>2</sup> Le poids d'Akaike du modèle représente le degré relatif de support envers un modèle pour expliquer les variations de la variable réponse et ce, compte tenu des modèles candidats considérés et des données.



**Figure 1.** Nombre moyen de reines capturées par ferme en fonction de la présence ou non d'aménagements pour les trois années de l'étude. Les captures moyennes par ferme sont représentées avec leur écart type respectif sous la forme de barres d'erreur.

La probabilité d'occurrence de seulement trois espèces a pu être analysée (*B. ternarius*, *B. terricola* et le Groupe *B. borealis*) du fait que les autres espèces capturées étaient trop rares ou trop abondantes pour être compatibles avec les modèles d'occupation de sites (**Annexe 2**; Tableau A3). L'occurrence des trois espèces évaluées n'a pas varié avec la présence d'aménagement sur les fermes (*B. ternarius* : -1.25, 95% IC [-1.12, 0.87]; *B. terricola* : 0.01, 95%IC [-0.67, 0.69]; Groupe *B. borealis* : -0.34, 95%IC [-1.52, 0.84]). Pour *B. ternarius*, le meilleur modèle incluait l'intensité des intrants utilisés de la ferme avec la saison (Modèle #14; Poids d'Akaike = 0.72; Tableau A3). En effet, plus la ferme utilisait une grande intensité d'intrants, plus la probabilité d'y trouver *B. ternarius* diminuait (-1.25, 95%IC [-2.2, -0.29]; Fig. 2). Pour *B. terricola* et le Groupe *B. borealis*, les meilleurs modèles incluaient respectivement la saison (Modèle #13; Poids d'Akaike = 0.30; Tableau A3) et la température de l'air (Modèle #1; Poids d'Akaike = 0.22; Tableau A3) comme variables influençant la probabilité de détection. Cela signifie qu'aucune variable évaluée n'avait d'influence sur l'occurrence de ces espèces.

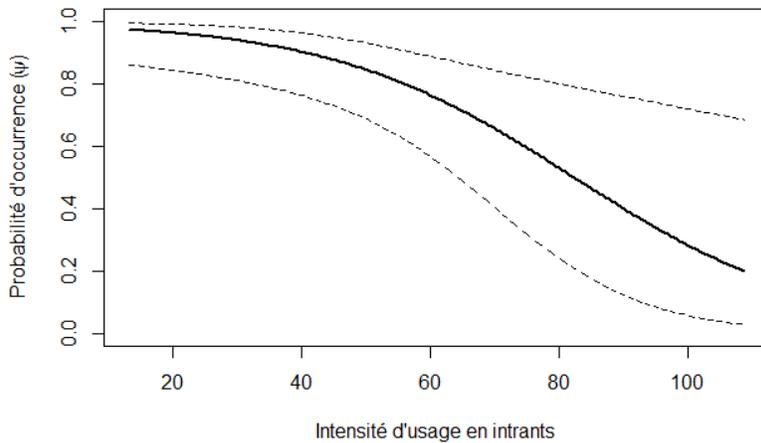
### Qualité des pommes

L'influence de l'intensité des intrants, de la présence d'aménagements et de leur interaction sur les caractéristiques des pommes ont été évaluées à l'aide de modèles linéaires généralisés mixtes (**Annexe 2**; Tableau A4; Modèle 1). La masse et le diamètre des pommes n'étaient pas affectés ni par l'intensité des intrants utilisés, ni par les aménagements. Le niveau de sucre mesuré des pommes (échelle de Brix<sup>3</sup>) augmentait avec l'usage d'intrants (0.67, 95% IC [0.15, 1.19]), mais diminuait avec la présence d'aménagements (-0.53, 95% IC [-0.99, -0.07]). Une autre mesure de qualité des pommes était le nombre de pépins. Pour obtenir une pomme jugée « parfaite », celle-ci doit contenir 10 pépins, à raison de deux pépins par carpelle [8]. Pour évaluer la qualité des pommes ou leur niveau de « perfection », la valeur absolue de la différence entre 10 et le nombre de pépins trouvés dans la pomme a été utilisée. Sur la base

<sup>3</sup> L'échelle de Brix sert à mesurer, en degrés, la fraction de saccharose (sucre) dans un liquide.

de cet indice, le niveau de « perfection » était plus faible en présence d'aménagements (0.28, 95% IC [0.08, 0.48]).

À titre exploratoire, des modèles linéaires mixtes généralisés ont été calculés pour évaluer le niveau d'association entre la qualité des pommes et l'abondance relative des bourdons de chaque ferme (**Annexe 2**; Tableau A4; Modèle 2). Aucun effet important de l'abondance des bourdons n'a été retrouvé sur la « perfection » des pommes (0.00, 95% IC [-0.004, 0.004]) ou sur le taux de sucre (-0.001, 95% IC [-0.002, 0.002]). Cependant, un effet négatif de l'abondance des bourdons a été trouvé sur le poids (-0.06, 95% IC [-0.09, -0.02]) et le diamètre des pommes (-0.01, 95% IC [-0.02, -0.004]). Ainsi, les pommes semblaient légèrement plus petites, en termes de masse et de diamètre, lorsque les bourdons étaient plus abondants sur la ferme. Il est important de préciser que ces résultats ne font pas nécessairement état de liens de cause à effet, mais peuvent suggérer la présence d'effets confondants découlant d'autres caractéristiques associées aux fermes.



**Figure 2.** Probabilité d'occurrence de *B. ternarius* en fonction de l'intensité de l'usage en intrants (pesticides) dans les vergers du sud du Québec. Les lignes pointillées représentent les intervalles de confiance à 95%. L'indice d'intensité de chaque ferme a été calculé selon la formule présentée à l'**Annexe 6**.

### Analyse de rentabilité

Les références de coût d'implantation et d'entretien (incluant les matériaux) sont présentées au Tableau A5 (**Annexe 3**). Les coûts d'implantation varient souvent entre 2,00 et 4,00 \$/m<sup>2</sup> alors que les coûts d'entretien varient plutôt autour de 0,20 \$/m<sup>2</sup>/année. Ces résultats convergent avec les Références économiques du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) ayant été réalisées dans le passé et si on indexait celles-ci à des valeurs contemporaines (CRAAQ, 2007, 2008). Afin de mieux comparer aux haies brise-vent établies sur les fermes participantes du projet, il est plus approprié de retenir les données des aménagements # 5 à 7 dans le Tableau A5 (**Annexe 3**), soit des aménagements arbustifs et arborescents. Ainsi, les coûts d'implantation se situeraient davantage dans le haut de l'intervalle évoqué précédemment, soit 4,00 \$/m<sup>2</sup>.

Une adaptation importante aux données du Tableau A5 doit toutefois être faite dans le contexte du projet, soit la production de pommes. En effet, ici le coût d'opportunité représente le bénéfice abandonné en occupant des superficies cultivables par des aménagements. Les marges sur coûts variables sont utilisées pour estimer ce bénéfice abandonné et celles-ci dans la production de pommes sont élevées, en raison de la valeur de la production aussi élevée. En proportion des coûts illustrés dans le Tableau A5, les coûts d'opportunités peuvent majorer

les coûts d'implantation de 8 à 30 % (0,30 \$/m<sup>2</sup> et 1,20 \$/m<sup>2</sup> par rapport à 4,00 \$/m<sup>2</sup>). Par rapport aux coûts d'entretien, les coûts d'opportunités peuvent multiplier ceux-ci dans de larges proportions, ce qui met en évidence l'importance de considérer ces coûts selon les contextes de production. En production de pommes, le marché visé par l'entreprise aura un impact puisque sa marge sur coûts variables fluctue en fonction du marché. Pour plus de détails sur l'analyse de rentabilité, voir l'**Annexe 3**.

## **DIFFUSION DES RÉSULTATS**

Les résultats ont été présentés au congrès scientifique annuel de la Société d'entomologie du Québec en 2017 et en 2019. Les résultats ont aussi été présentés devant une quarantaine de professionnels qui œuvrent dans la culture de la pomme au Québec dans le cadre d'une des journées annuelles JARIT organisées par l'IRDA & le Réseau-pommier qui s'est tenue le 13 février 2020 à Orford. Finalement, une présentation orale aura lieu à l'hiver 2021 à la journée d'information en pomiculture pour les producteurs.

Un autre livrable du projet est un petit guide illustré qui documente les espèces de bourdons retrouvées en pomiculture dans le sud du Québec, lequel contient aussi des observations effectuées dans le cadre du projet. Cet ouvrage sera distribué aux producteurs participants et diffusé gratuitement sur la plateforme Agri-Réseau. Le rapport annuel et la fiche technique, une fois approuvés, seront diffusés sur Agri-Réseau. Pour terminer, un manuscrit scientifique sera soumis à l'automne 2020 à un journal scientifique révisé par les pairs.

## **APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE**

Les aménagements, et pas seulement ceux impliquant l'ajout de ressources florales (ex. haies brise-vent), semblent avoir un effet positif sur l'abondance de bourdons sur les fermes. En effet, le nombre de reines capturées dans les vergers avec aménagement, toutes saisons confondues, était en moyenne plus élevé que le nombre de reines capturées dans les vergers sans aménagement. La plus grande présence de bourdons sur les fermes peut éventuellement être positive financièrement pour les producteurs de pommes. En effet, ces derniers paient des sommes non négligeables pour louer des ruches d'abeilles domestiques, une espèce non indigène du Québec, pour assurer la pollinisation des pommiers au printemps [9]. Or, un nombre élevé de bourdons sur la ferme pourrait réduire, voire même éliminer le besoin de louer des ruches d'abeilles domestiques. En effet, les bourdons sont beaucoup plus efficaces, travaillent plus longtemps et à des températures plus basses que l'abeille domestique [10].

De plus, les résultats suggèrent un effet négatif de l'usage important de pesticides sur l'espèce *B. ternarius*. Cette espèce de bourdon, qui peut être très abondante au printemps, est beaucoup moins présente sur les fermes qui utilisent un apport élevé en intrants. L'usage raisonné des pesticides devrait toujours être utilisé dans un cadre de lutte intégrée, et ce, dans tous les vergers du Québec.

Enfin, une explication possible de l'association négative entre la qualité des pommes et les aménagements pourrait être que les entreprises qui utilisent les aménagements pour substituer partiellement les pesticides dans la lutte aux ravageurs pourraient trouver un compromis entre les fruits trop endommagés pour leurs clients et les fruits « parfaits » exigés par le marché au détail. Dans ce contexte, le fait que les producteurs obtiennent une qualité moindre de fruits avec les aménagements ne serait pas une « faiblesse » en soi, mais simplement un choix de gestion en fonction de leur stratégie de mise en marché [11]. Une étude plus approfondie serait toutefois nécessaire pour valider cette association négative.

## POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Pour toute question ou demande d'information sur le projet, veuillez contacter Mme Amélie Gervais : [amelie.gervais.bio@gmail.com](mailto:amelie.gervais.bio@gmail.com)

## REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé en vertu du volet 4 du programme Prime-Vert 2013-2018 et il a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ).

## RÉFÉRENCES

1. Bolker, B. M., M. E. Brooks, C. J. Clark, S. W. Geange, J. R. Poulsen, M. H. H. Stevens, et J.-S. S. White. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in ecology & evolution* 24:127-135
2. MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. A. Royle, K. H. Pollock, L. L. Bailey, et J. E. Hines. 2006. *Occupancy estimation and modeling*. Academic Press, New York, New York, USA.
3. Burnham, K. P., et D. R. Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference. A practical information-theoretic approach*. 2<sup>e</sup> édition. Springer-Verlag, New York, New York, USA.
4. R core team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing [Internet]. Vienna, Austria; 2018. Disponible: <https://www.r-project.org/>.
5. Brooks, M. E., K. Kristensen, K. J. van Benthem, A. Magnusson, C. W. Berg, C. A. Nielsen, et al. 2017. GlimmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *R Journal* 9: 378–400. Disponible: <https://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-066/RJ-2017-066.pdf%0Ahttps://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-066/index.html>
6. Fiske, I. et R. Chandler. 2011. unmarked: An R Package for Fitting Hierarchical Models of Wildlife Occurrence and Abundance. *Journal of Statistical Software*, 43(10), 1-23. URL: <http://www.jstatsoft.org/v43/i10/>.
7. Mazerolle, M.J. 2019. AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 2.2-2. <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg> .
8. Brault, A.-M. et D. de Oliveira. 1995. Seed Number and an Asymmetry Index of 'McIntosh' Apples. *HortScience* 30: 44-46.
9. Institut de la statistique du Québec. 2018. Statistiques relatives à la location de colonies à des fins de pollinisation selon e type de culture, Québec. Consulté le 30 avril 2020. [Internet] [https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/agriculture/apiculture-miel/statistiques\\_location\\_colonies\\_pollinisation.html#an=2018](https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/agriculture/apiculture-miel/statistiques_location_colonies_pollinisation.html#an=2018)
10. Frier, S. D., C. M. Somers et C. S. Sheffield .2016. Comparing the performance of native and managed pollinators of Haskap (*Lonicera caerulea*: Caprifoliaceae), an emerging fruit crop. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 219: 42-48.
11. Belzile, L. et J. Li. 2014. « Analyse de la performance technico-économique et agroenvironnementale des fermes pomicoles québécoises ». IRDA. 32 p. [https://irda.blob.core.windows.net/media/5183/belzile-et-al-2014-analyse\\_performance\\_technico\\_economique\\_agroenvironnementale\\_fermes\\_pomicoles.pdf](https://irda.blob.core.windows.net/media/5183/belzile-et-al-2014-analyse_performance_technico_economique_agroenvironnementale_fermes_pomicoles.pdf)

## ANNEXE 1

**Tableau A1.** Tableau qui présente les caractéristiques des fermes participantes. Ces fermes sont en monocultures de pommes (Pomme) ou en polyculture (Mixte).

Ferme	Région	Cultures	Aménagement	Superficie (ha)
1	Estrie	Mixte	Haie brise-vent	34
2	Montérégie	Mixte	Haie brise-vent	16
3	Montérégie	Pomme	Haie brise-vent	29
4	Montérégie	Pomme	Aucun	18
5	Estrie	Pomme	Haies composites	5
6	Estrie	Pomme	Aucun	18
7	Montérégie	Pomme	Aucun	8
8	Estrie	Pomme	Aucun	17
9	Montérégie	Pomme	Haies composites	9
10	Estrie	Mixte	Cultures intercalaires	8
11	Estrie	Pomme	Aucun	9
12	Montérégie	Pomme	Aucun	16



**Figure A1.** Reine bourdon marquée de blanc, rouge et bleu sur le thorax. La cage à piston, couramment utilisé en apiculture, permet de maintenir la reine en position. Les crayons utilisés étaient non toxiques et résistaient à l'eau.

## ANNEXE 2

**Tableau A2.** Liste des modèles candidats utilisés pour évaluer la richesse et l'abondance relative des reines bourdons capturées. Les modèles linéaires généralisés mixtes ont été calculés en utilisant le logiciel R avec glmmTMB. L'identité des sites était considérée comme effet aléatoire et les distributions statistiques utilisées avec une fonction de lien log étaient respectivement la distribution de Poisson et la loi binomiale négative pour la richesse et l'abondance.

#	Modèles pour la richesse en espèces et l'abondance relative
1	~ Année
2	~ Année + Intrants
3	~ Année + Aménagements
4	~ Année + Saison
5	~ Année + Saison + Intrants
6	~ Année + Saison + Aménagements
7	~ Année + Saison + Intrants + Aménagements
8	~ Année + Saison + Intrants + Aménagements + Intrants : Aménagements
9	~ Année + Saison + Intrants + Aménagement + Intrants : Saison

**Tableau A3.** Liste des modèles candidats utilisés pour évaluer la probabilité d'occurrence des espèces en utilisant le logiciel R et la librairie Unmarked version 0.12-2 [6].

Modèles d'occupation de site des espèces		
#	Probabilité de détection	Occupation du site
1	~ Température	~1
2	~ Température	~ Saison
3	~ Température	~ Intrants
4	~ Température	~ Intrants + Aménagements
5	~ Température	~ Aménagement
6	~ Température	~ Saison + Intrants + Aménagements
7	~ Heure du jour	~1
8	~ Heure du jour	~ Saison
9	~ Heure du jour	~ Intrants
10	~ Heure du jour	~ Intrants + Aménagements
11	~ Heure du jour	~ Aménagements
12	~ Heure du jour	~ Saison + Intrants + Aménagements
13	~ Saison	~ 1
14	~ Saison	~ Intrants
15	~ Saison	~ Intrants + Aménagements
16	~ Saison	~ Aménagements

**Tableau A4.** Description du modèle utilisé pour évaluer la qualité des pommes dans le cadre de ce projet. Les modèles linéaires généralisés mixtes ont été calculés en utilisant le logiciel R. Tous les modèle incluait l'identité du site en tant qu'effet aléatoire.

Qualité des pommes	Loi statistique utilisée (lien)	Modèles utilisés
Masse	Normale (identité)	(Mod1) ~ Intrants + Aménagement + Intrants : Aménagements (Mod2) ~ Abondance des bourdons
Diamètre	Normale (identité)	
Échelle de Brix	Normale (identité)	
"Perfection"  10- nbre de pépins	Poisson(log)	



INSTITUT DE RECHERCHE  
ET DE DÉVELOPPEMENT

EN AGROENVIRONNEMENT

RAPPORT FINAL

# AMÉNAGEMENTS FLEURIS EN POMICULTURE : AUGMENTER LA BIODIVERSITÉ ET LA SURVIE HIVERNALE DES BOURDONS POUR ASSURER DE MEILLEURS RENDEMENTS

## ANALYSE ÉCONOMIQUE

**Auteur ou responsable scientifique : Luc Belzile, économiste, M. Sc.**

Collaborateur ou co-auteur : Valérie Fournier Ph.D.

Professeure titulaire

Amélie Gervais, M. Sc.

Rapport présenté à : Valérie Fournier Ph.D., professeure titulaire

Université Laval

Date : 2020-04-27

Projet IRDA # : 400037

L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille à chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

#### **Notre mission**

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

#### **Notre vision**

En 2016, l'IRDA est reconnu à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

#### **Pour en savoir plus**

[www.irda.qc.ca](http://www.irda.qc.ca)

## PARTENAIRES



UNIVERSITÉ  
LAVAL



## MISE EN CONTEXTE ET MÉTHODOLOGIE

L'amélioration de la biodiversité naturelle en milieu agricole procure différents bénéfices, tout en générant des coûts. À l'échelle globale, les bénéfices sont autant publics que privés. Au chapitre des bénéfices publics, l'amélioration de la biodiversité peut contribuer à réduire certaines externalités environnementales, comme la pollution de l'eau par les pesticides. Un autre bénéfice public peut être la satisfaction des citoyens de jouir d'espaces naturels plus riches pour des activités de villégiature, entre autres. Ces derniers bénéfices peuvent être mesurés par différentes méthodes en économie de l'environnement visant à évaluer le consentement à payer des citoyens pour des biens environnementaux.

Les bénéfices et les coûts privés, pour leur part, sont ceux survenant strictement à l'échelle de la ferme. Les bénéfices privés se mesurent en termes d'impact sur les rendements (i.e. plus grande part des rendements protégée grâce aux insectes bénéfiques) et/ou de réduction de coûts des pesticides à un même niveau de rendements. En d'autres mots, les bénéfices à la ferme attendus des aménagements fleuris proviennent de la substitution potentielle des pesticides par la protection naturelle des rendements que procure la biodiversité. Une autre classe de bénéfices privés, particulièrement en horticulture, a trait à la qualité des produits. C'est le cas dans la production de pomme, où le prix obtenu varie en fonction de la qualité des fruits. Ainsi, pour une entreprise qui vise surtout le marché de la pomme de transformation, où la qualité requise des fruits est moindre, les aménagements fleuris pourraient apporter la protection de la culture suffisante. Le prix obtenu serait moindre que pour le marché des pommes fraîches, mais les coûts seraient aussi réduits par l'économie de pesticides.

Concernant les coûts privés des aménagements, ceux-ci se présentent en deux subdivisions. Une première subdivision est temporelle, alors que l'on doit évaluer les coûts d'implantation à l'année 1 ainsi que les coûts d'entretien qui surviennent lors de la seconde année et les suivantes, et ce, pendant toute la période de renouvellement de l'aménagement. L'autre subdivision a trait aux éléments de coûts, lesquels peuvent se trouver autant en implantation qu'en entretien et qui sont classés selon les quatre catégories suivantes :

1. Coûts d'approvisionnement (semences, fertilisants, matériaux, etc.);
2. Coûts des opérations culturales mécanisées et semi-mécanisées (incluant la main-d'œuvre);
3. Coûts de main-d'œuvre (services-conseils et/ou supervision, opérations culturales manuelles, etc.);
4. Coûts d'opportunité, soit la marge sur coûts variables abandonnée lorsque l'aménagement occupe une surface normalement vouée à la culture principale.

Dans ce projet, l'analyse économique se limite à l'analyse des coûts et n'inclut pas l'évaluation des bénéfices. Ceux-ci ne peuvent pas être évalués étant donné que les résultats agronomiques n'affichent pas de différence significative, ni au niveau des rendements, ni au niveau de la qualité des fruits. Par conséquent, les résultats agronomiques ne permettent pas de faire une évaluation de l'impact des aménagements sur les revenus. Tel que mentionné précédemment, les bénéfices peuvent aussi être de nature publique mais il n'est pas dans les objectifs de ce projet d'effectuer cette évaluation.

En ce qui concerne les coûts des aménagements, des références génériques sont privilégiées pour deux raisons. Premièrement, les données de coût spécifiques à chaque entreprise participante ne sont pas disponibles relativement à l'établissement des aménagements. Pour l'ensemble des entreprises, ces aménagements sont constitués de haies brise-vent qui ont été établis il y a plus de dix ans, voire plus de trente ans dans un des cas. En deuxième lieu, les aménagements des entreprises participantes présentent des mélanges d'espèces bien précis qui ne reflètent probablement pas un cas plus général permettant d'élargir l'angle d'analyse.

## RÉSULTATS

Des travaux antérieurs à l'IRDA ont permis de générer des données génériques sur les coûts d'implantation et d'entretien de bandes riveraines présentant différentes combinaisons de végétaux (herbacée, arbustive, arborescente). L'ensemble des scénarios étaient tirés de l'ouvrage de Martineau (2014) et les coûts étaient évalués en utilisant l'outil dynamique du Groupe ProConseil. Bien que cette référence concerne surtout les aménagements implantés en bandes riveraines, elle demeure valable pour les aménagements implantés ailleurs qu'en bordure des cours d'eau.

Les références de coût d'implantation et d'entretien sont présentés au tableau A5. Les coûts d'implantation varient souvent entre 2,00 et 4,00 \$/m<sup>2</sup> alors que les coûts d'entretien varient plutôt autour de 0,20 \$/m<sup>2</sup>/année. Ces résultats convergent avec les *Références économiques* du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) ayant été réalisées dans le passé et si on indexait celles-ci à des valeurs contemporaines (CRAAQ, 2007, 2008). Afin de mieux comparer aux haies brise-vent établies sur les fermes participantes du projet, il est plus approprié de retenir les données des aménagements 5 à 7 dans le tableau A5. Ainsi, les coûts d'implantation se situent davantage dans le haut de l'intervalle évoqué précédemment, soit 4,00\$/m<sup>2</sup>.

Tableau A5. Coût d'implantation et d'entretien selon différents scénarios d'aménagement en bandes riveraines.

Scénario d'aménagement*	Coût d'implantation		Coût d'entretien	
	Année 1		Années 2 et suivantes	
	(\$/m.l.)	(\$/m2)	(\$/m.l.)	(\$/m2)
1. L'Extra-miel <sup>a</sup>	8,40	2,80	0,66	0,22
2. Prairie riveraine <sup>b</sup>	9,20	1,84	1,10	0,22
3. La « Panic générale » <sup>b</sup>	8,87	1,77	0,15	0,03
4. L'Extra biomasse <sup>b</sup>	25,80	5,16	N/A	N/A
5. L'arbustive <sup>a</sup>	10,20	3,40	0,20**	0,07
6. L'arborescente <sup>a</sup>	12,60	4,20	0,40-0,80	0,13 – 0, 27
7. La « Trois services » <sup>b</sup>	19,70	3,94	0,64 – 1,09	0,13 – 0,22

\* Martineau (2014);

a. bande de 3 mètres de large;

b. bande de 5 mètres de large;

\*\* À partir de l'année 3.

Une adaptation importante aux données du tableau A5 doit toutefois être faite dans le contexte du projet, soit la production de pomme. En effet, les références dans le tableau considèrent un coût d'opportunité relatif aux grandes cultures plutôt qu'à la production de pomme. Or, sur la base, des *Références économiques* du CRAAQ, les coûts d'opportunité en grandes cultures ne représentent que 0,02 à 0,08 \$/m<sup>2</sup>, en considérant les marges sur coûts variables variant entre 200 et 800 \$/ha dans ces cultures (céréales à paille, maïs-grain, soya). Toutefois, les marges sur coûts variables que l'on peut observer dans la production de pomme sont beaucoup plus élevées, ce qui augmente par le fait même le coût d'opportunité de l'établissement d'aménagements en vergers, si ces aménagements occupent une surface cultivable. Toujours selon les *Références économiques* (CRAAQ, 2016, 2017), de même que l'étude de coût de production du Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA, 2018), les marges sur coûts variables dans la production de pomme sont beaucoup plus élevées. Bien qu'elles soient aussi disparates en raison des particularités de la culture, les références citées les établissent tout de même entre 3 000 et 12 000 \$/ha, ce qui représente un coût d'opportunité variant entre 0,30 et 1,20 \$/m<sup>2</sup>. En proportion des coûts illustrés dans le tableau A5, les coûts d'opportunités peuvent donc majorer les coûts d'implantation entre 8 et 30 % (0,30 \$/m<sup>2</sup> et 1,20 \$/m<sup>2</sup> par rapport à 4,00 \$/m<sup>2</sup>). Par rapport aux coûts d'entretien,

les coûts d'opportunités peuvent multiplier ceux-ci dans de larges proportions, ce qui met en évidence l'importance de considérer ces coûts selon les contextes de production. En production de pomme, le marché visé par l'entreprise aura un impact puisque sa marge sur coûts variables fluctue en fonction du marché.

À ce sujet, le projet a été l'occasion de mener un sondage sommaire auprès des entreprises participantes. Sans prétention scientifique, les résultats de ce sondage permettent tout de même une réflexion exploratoire sur certaines questions. Ainsi, concernant le marché visé, il a été possible d'apprendre que les 12 entreprises participantes au projet mettent toutes en marché des pommes sur le marché frais, dans une proportion assez semblable à l'ensemble du secteur. En effet, celles-ci commercialisaient en moyenne 41 % de leur production sur le marché frais, alors que les 36 entreprises incluses dans l'étude du CEEPA (2018) y mettent en marché 47,3 % de leur volume. **Cela dit, à la fin du projet, 7 des 12 entreprises du projet avaient des aménagements sur leur ferme** et celles-ci se démarquent au chapitre des volumes destinés à la vente directe (transformation à la ferme et autocueillette), donc aux voies de commercialisation à valeur ajoutée. En effet, pour 5 de ces 7 entreprises, deux tiers des volumes produits sont commercialisés par l'entremise de la transformation à la ferme ou encore l'autocueillette. En comparaison, les entreprises enquêtées par le CEEPA ne consacrent que 1,4 % de leur volume à la vente directe et les références du CRAAQ font état de 2,5 % à cet effet. Dans ce contexte plus général, les entreprises de production de pomme vendent beaucoup plus de fruits à la transformation hors-ferme.

On peut alors se demander si les aménagements fleuris, dans la production de pomme, constituent un élément de marketing pour attirer la clientèle recherchée pour la vente directe, ce qui compenserait pour un coût d'opportunité des aménagements plus élevés dans le secteur. Les prix unitaires rapportés par le CRAAQ (2016) plaideraient d'ailleurs en ce sens, alors que ceux pour l'autocueillette s'élèvent à 25,00 \$/minot comparativement à 16,50 \$/minot pour la vente au marché frais et entre 2,00 et 5,00 \$/minot pour la vente à la transformation hors-ferme. Aussi, les 2 entreprises parmi les 7 ayant des aménagements en fin de projet, mais qui ne concentraient pas leur production vers les canaux de commercialisation à valeur ajoutée, affirmaient que leurs aménagements avaient été implantés sur des surfaces qui n'auraient pas reçu des cultures à revenus autrement. Ces deux entreprises ne compteraient donc pas de coût d'opportunité associé aux aménagements et par conséquent, n'auraient pas autant besoin des marchés à valeur ajoutée pour compenser.

Le sondage a été l'occasion de connaître la perspective des exploitants des 12 entreprises sur d'autres questions. Ainsi, d'abord, la quasi-totalité (11/12) a affirmé que le manque de biodiversité dans les milieux ruraux en général nuit à l'agriculture et que plus de biodiversité améliorerait les performances agricoles. Évidemment, cette réponse n'est probablement pas étonnante venant d'un groupe de producteurs d'un secteur horticole puisque la productivité des productions horticoles est plus dépendante de la biodiversité naturelle (i.e. incidence des insectes pollinisateurs). Toujours concernant les sept entreprises qui ont implanté des aménagements et concernant le facteur qui a déclenché leur décision à planter des aménagements fleuris, les réponses étaient réparties entre les services-conseils (2/7), un autre agriculteur (1/7), la formation (3/7) et d'autres raisons (1/7).

## RÉFÉRENCES

Centre de références en agriculture et agroalimentaire en agriculture (CRAAQ) :

- 2007. *Bande riveraine enherbée - Frais d'implantation, modèle agroenvironnemental (AGDEX 570/821)*. CRAAQ, 3 pages;
- 2008. *Brise-vents naturels - Frais d'implantation (AGDEX 573/821)*. CRAAQ, 6 pages;
- 2016. *Pommes - Budget d'exploitation (AGDEX 211/821a)*. CRAAQ, 15 pages;
- 2017. *Pommes - Haute densité de conduite à fuseau étroit - Budget à l'hectare (AGDEX 211/821b)*. CRAAQ, 7 pages.

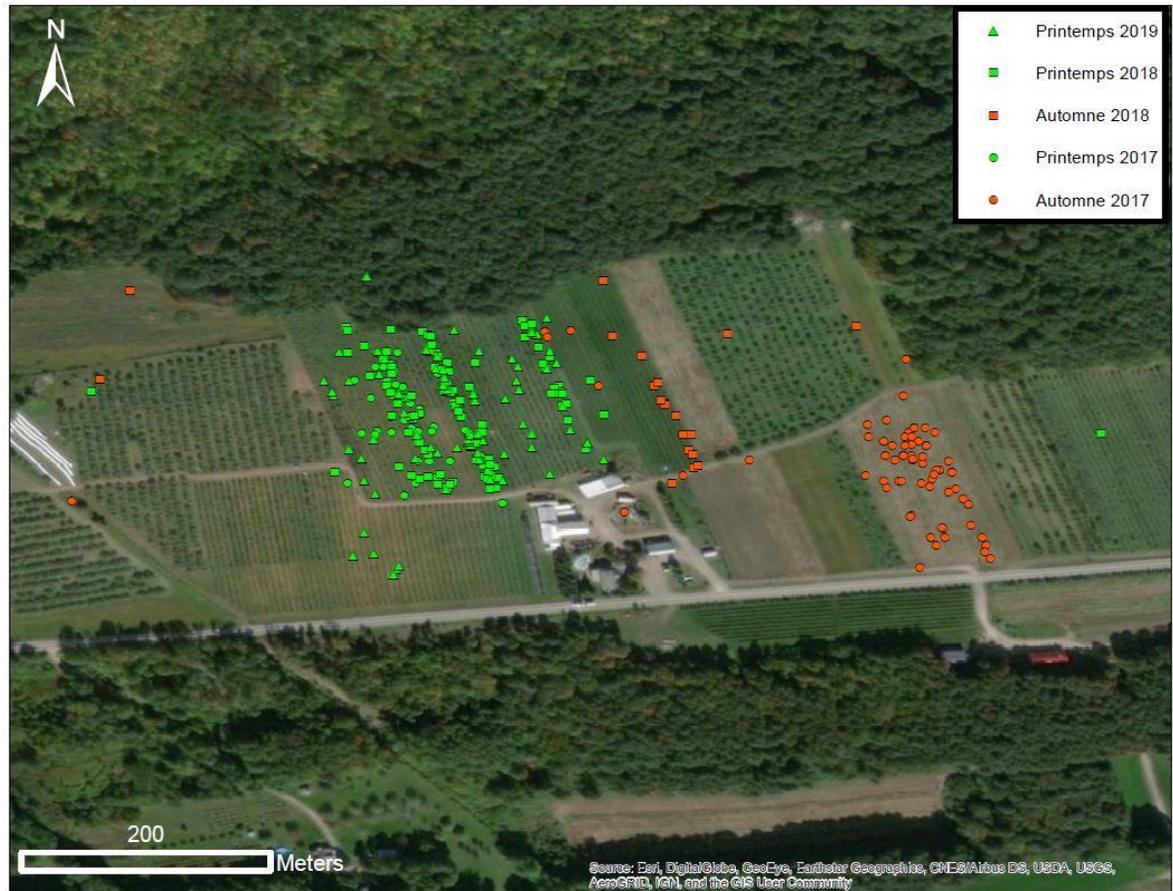
Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2018. *Étude sur le coût de production du secteur Pommes tardives 2016 - Rapport final*. CECPA, 53 pages.

Martineau, I. 2014. *À chacun sa bande – Guide des bandes riveraines en milieu agricole*. Club-conseil Gestrie-Sol, 24 pages.

**ANNEXE 4 : Photos aériennes des 12 fermes et captures des bourdons**



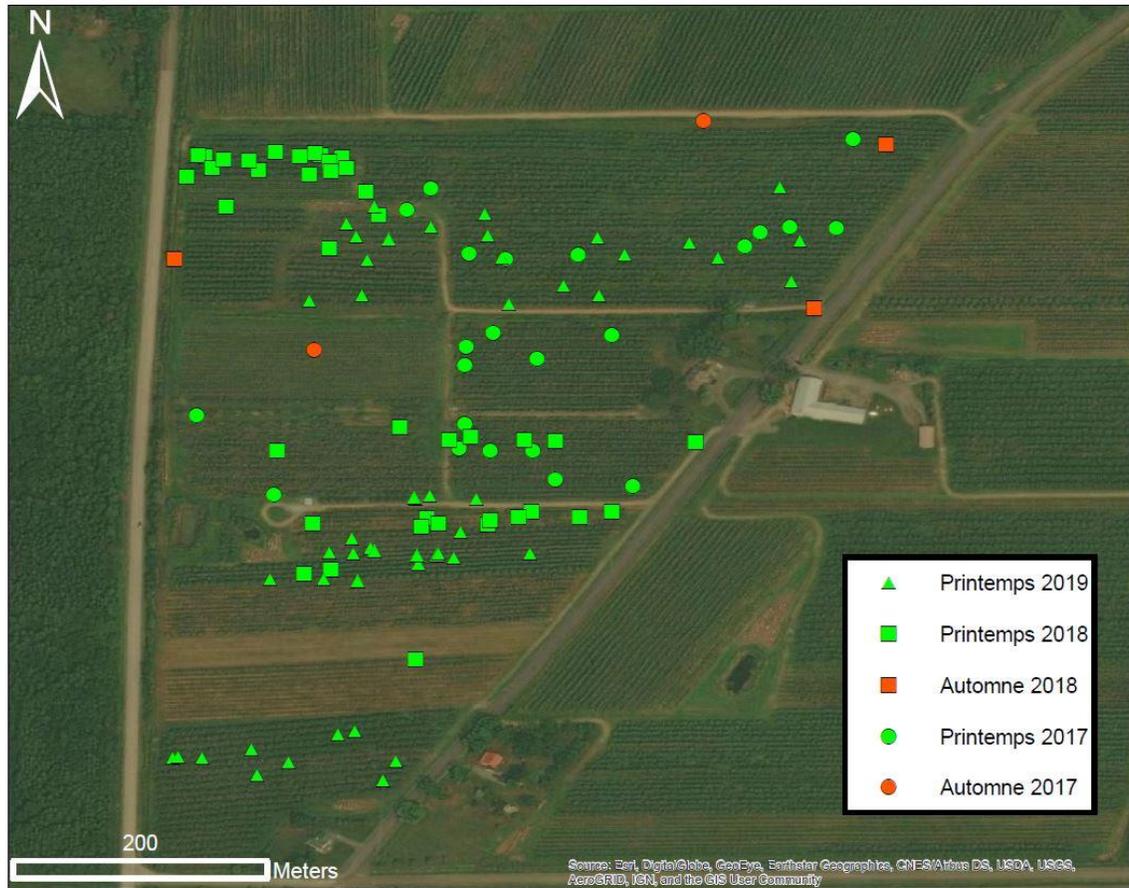
**Figure A2.** Photo aérienne de la Ferme #1 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme avec culture mixte située possédant des haies brise-vent.



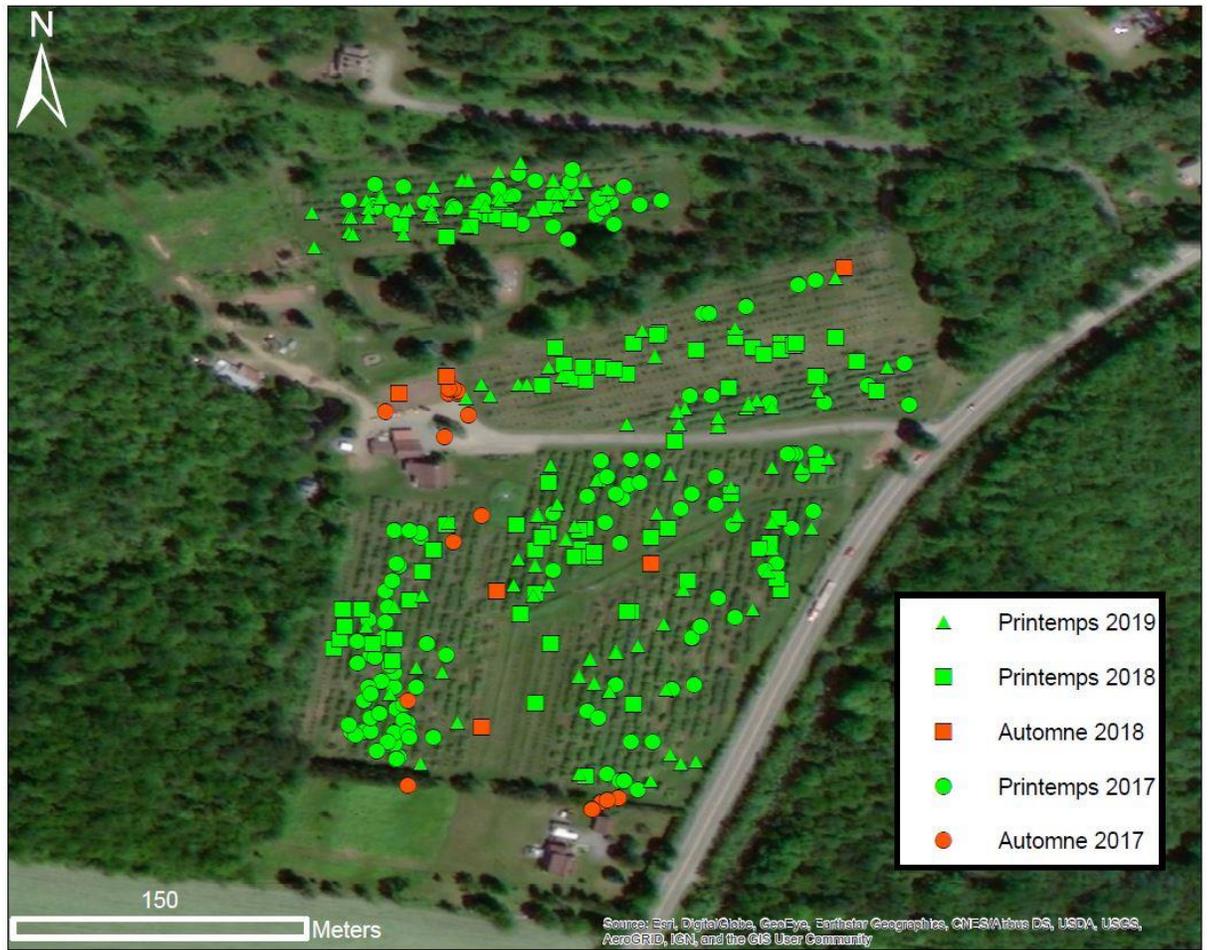
**Figure A3.** Photo aérienne de la Ferme #2 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme mixte possédant des haies brise-vent.



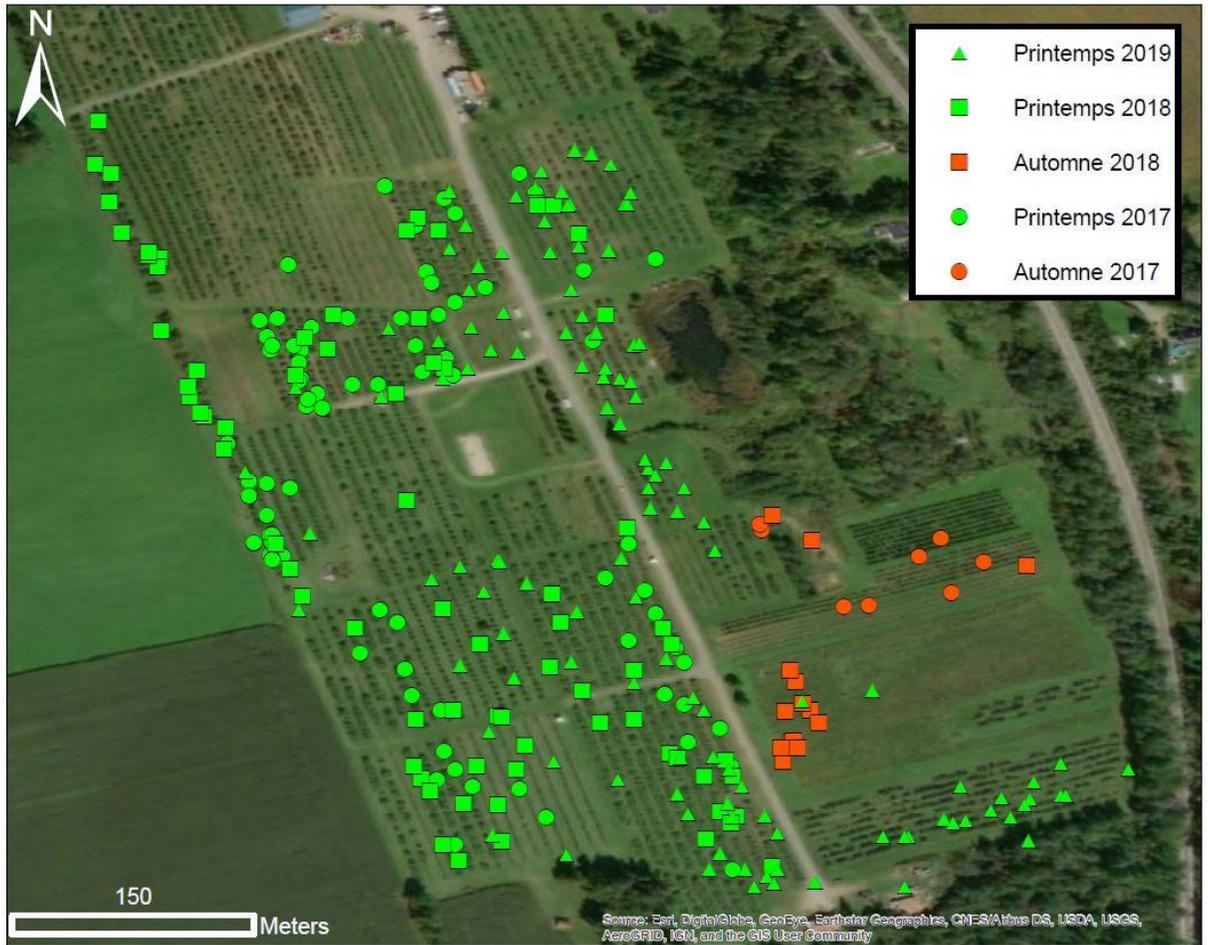
**Figure A4.** Photo aérienne de la Ferme #3 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole avec des haies brise-vent.



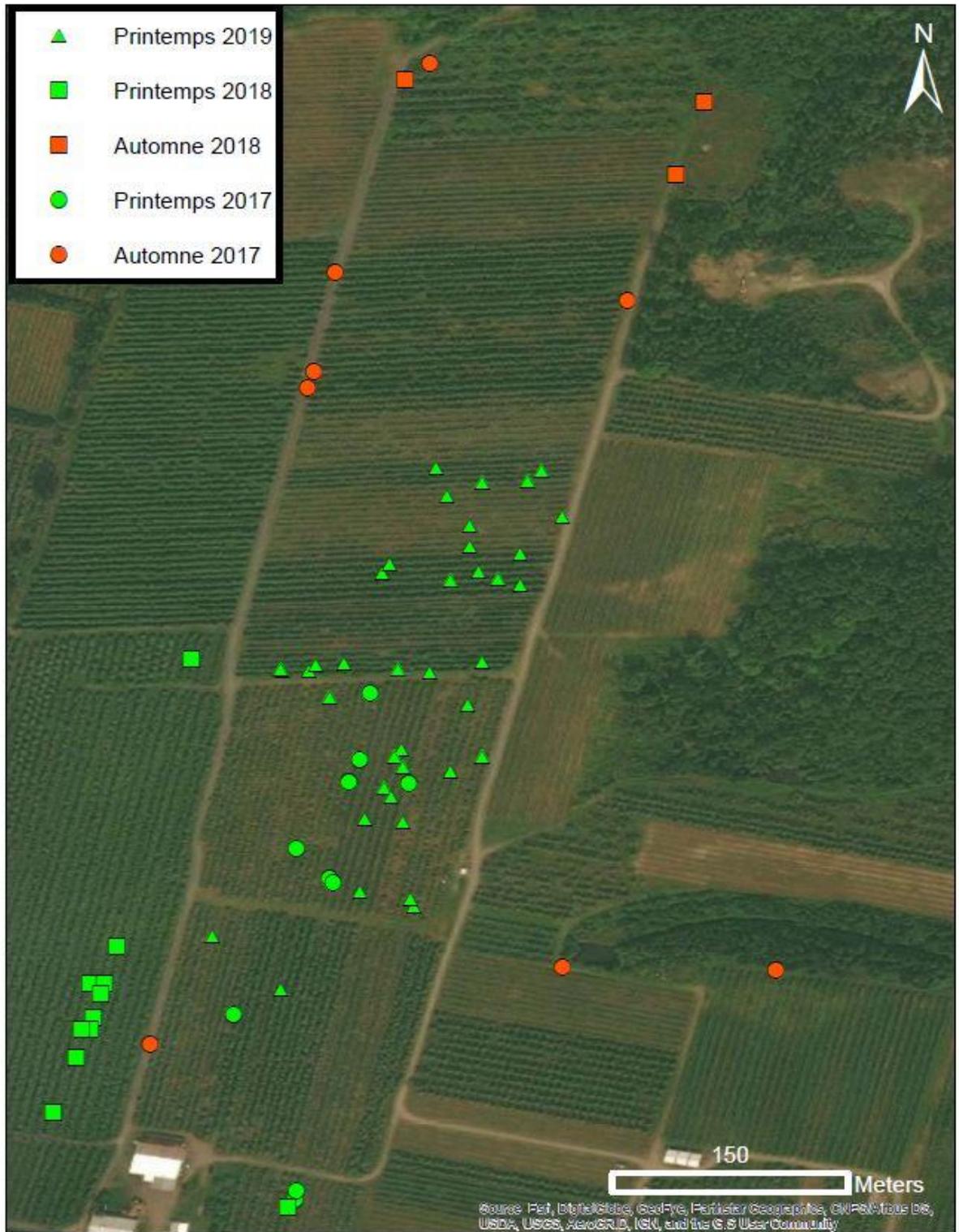
**Figure A5.** Photo aérienne de la Ferme #4 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole sans aménagement.



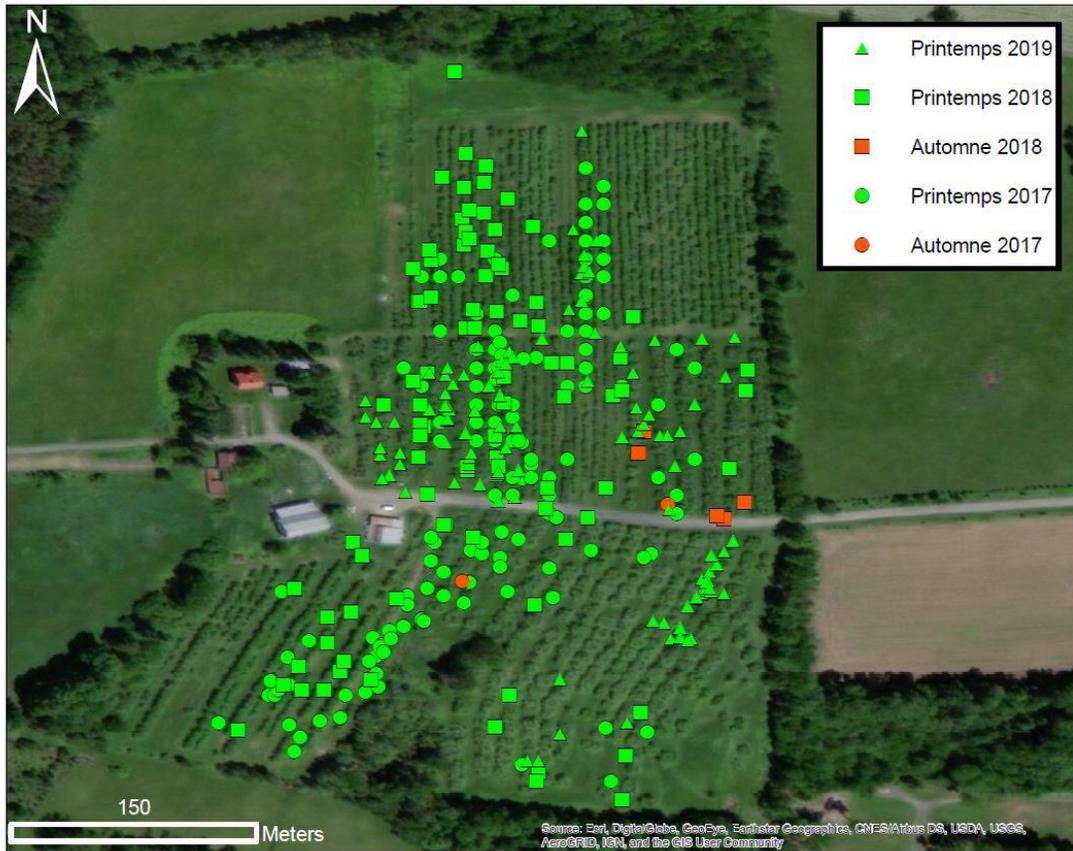
**Figure A6.** Photo aérienne de la Ferme #5 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole avec des haies composites.



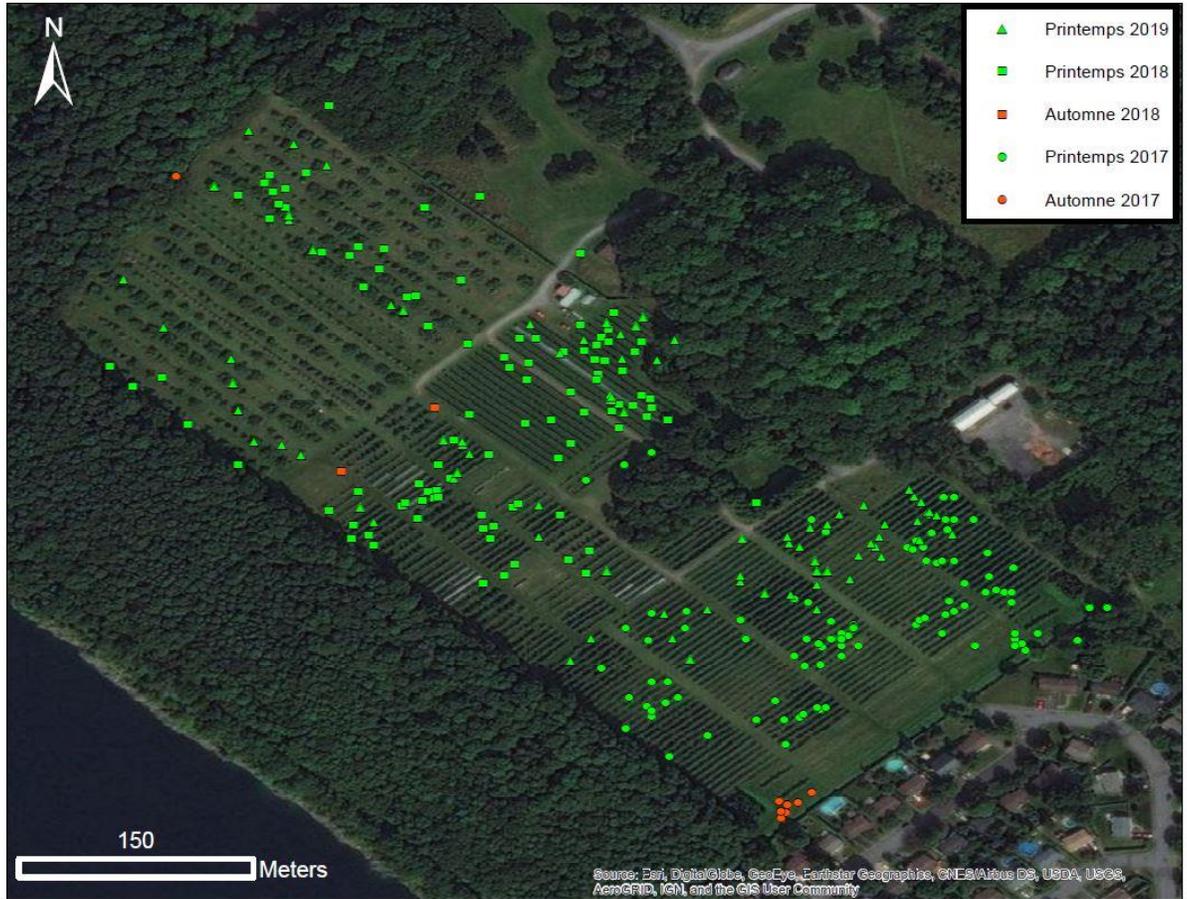
**Figure A7.** Photo aérienne de la Ferme #6 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole sans aménagement.



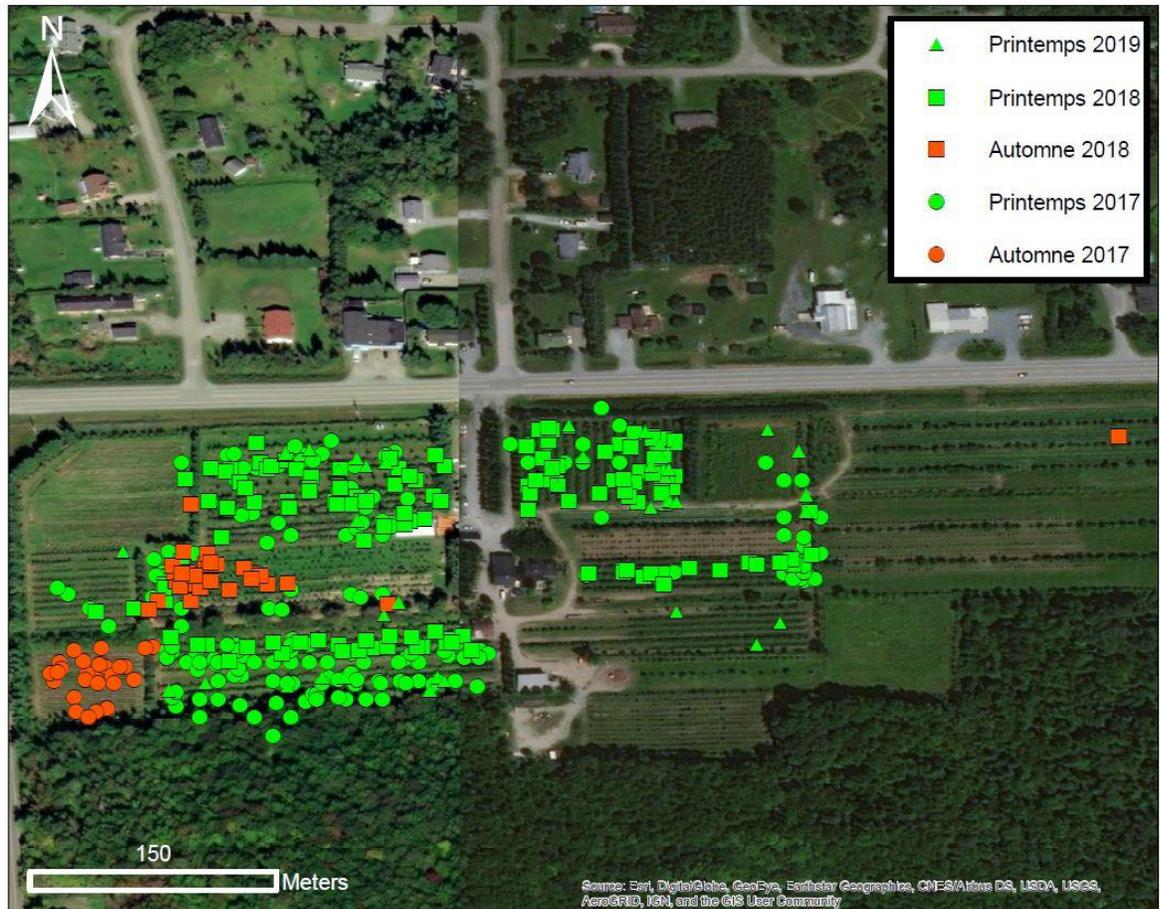
**Figure A8.** Photo aérienne de la Ferme #7 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole sans aménagement.



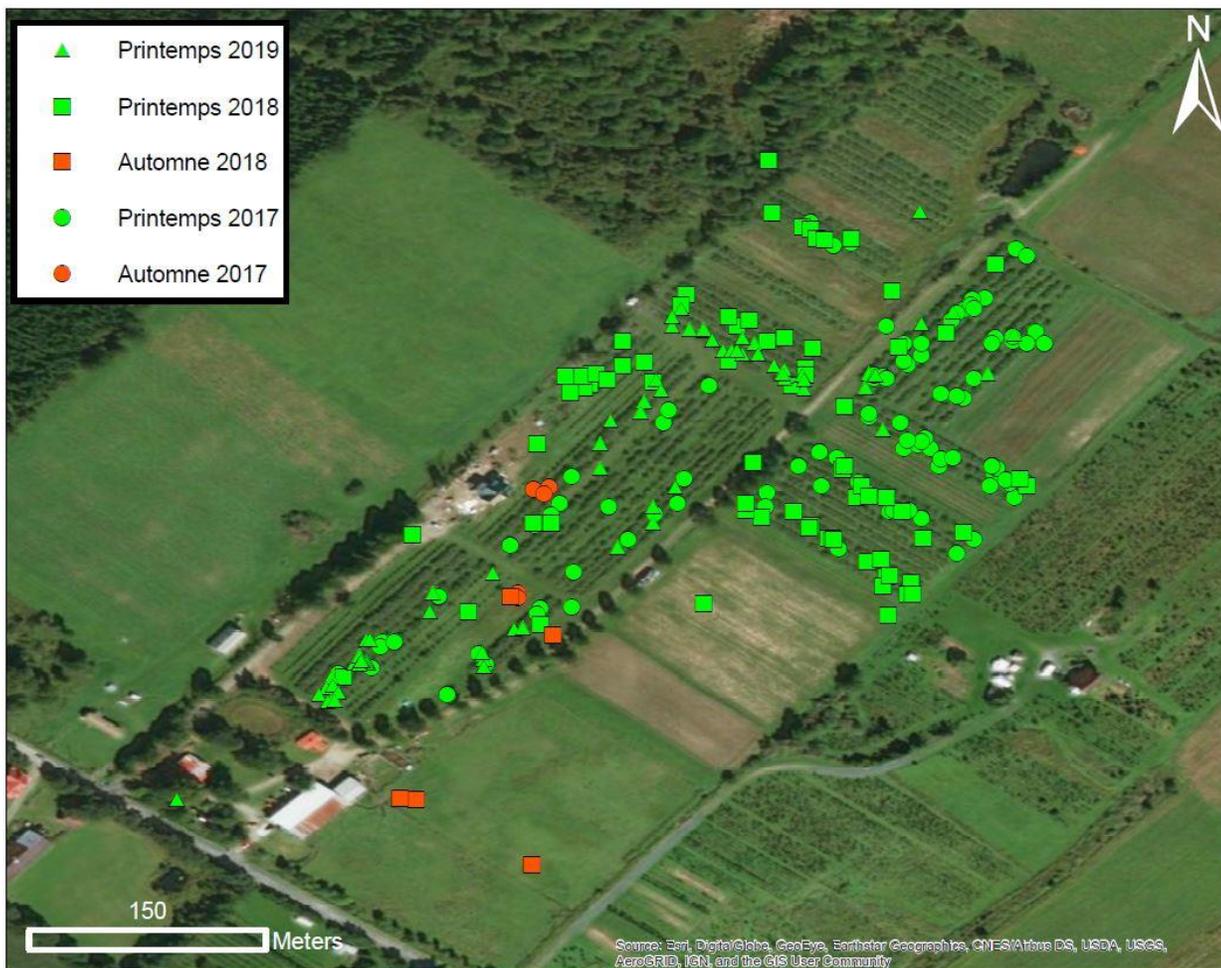
**Figure A9.** Photo aérienne de la Ferme #8 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole sans aménagement.



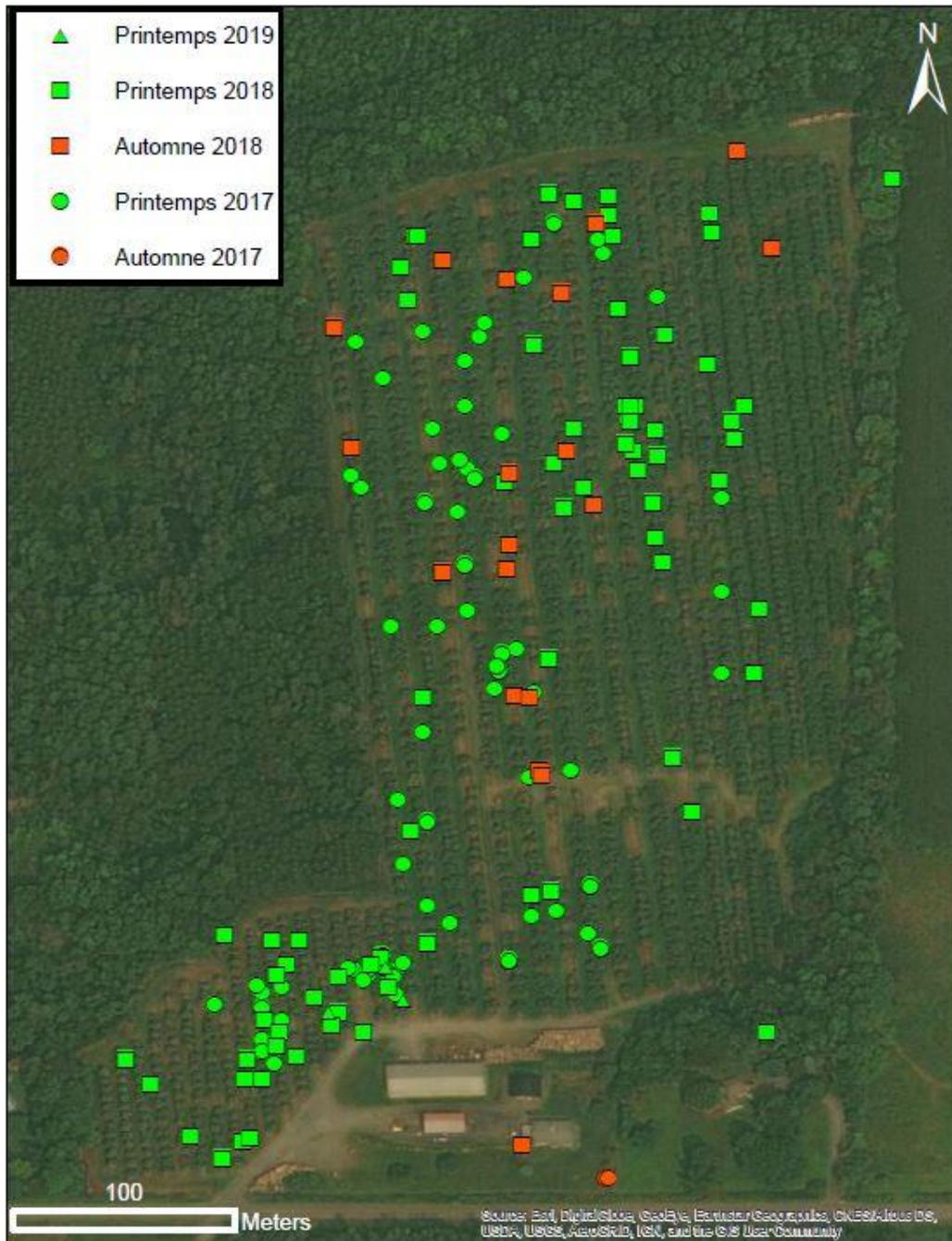
**Figure A10.** Photo aérienne de la Ferme #9 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole avec des haies composites.



**Figure A11.** Photo aérienne de la Ferme #10 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme mixte avec des cultures intercalaires.

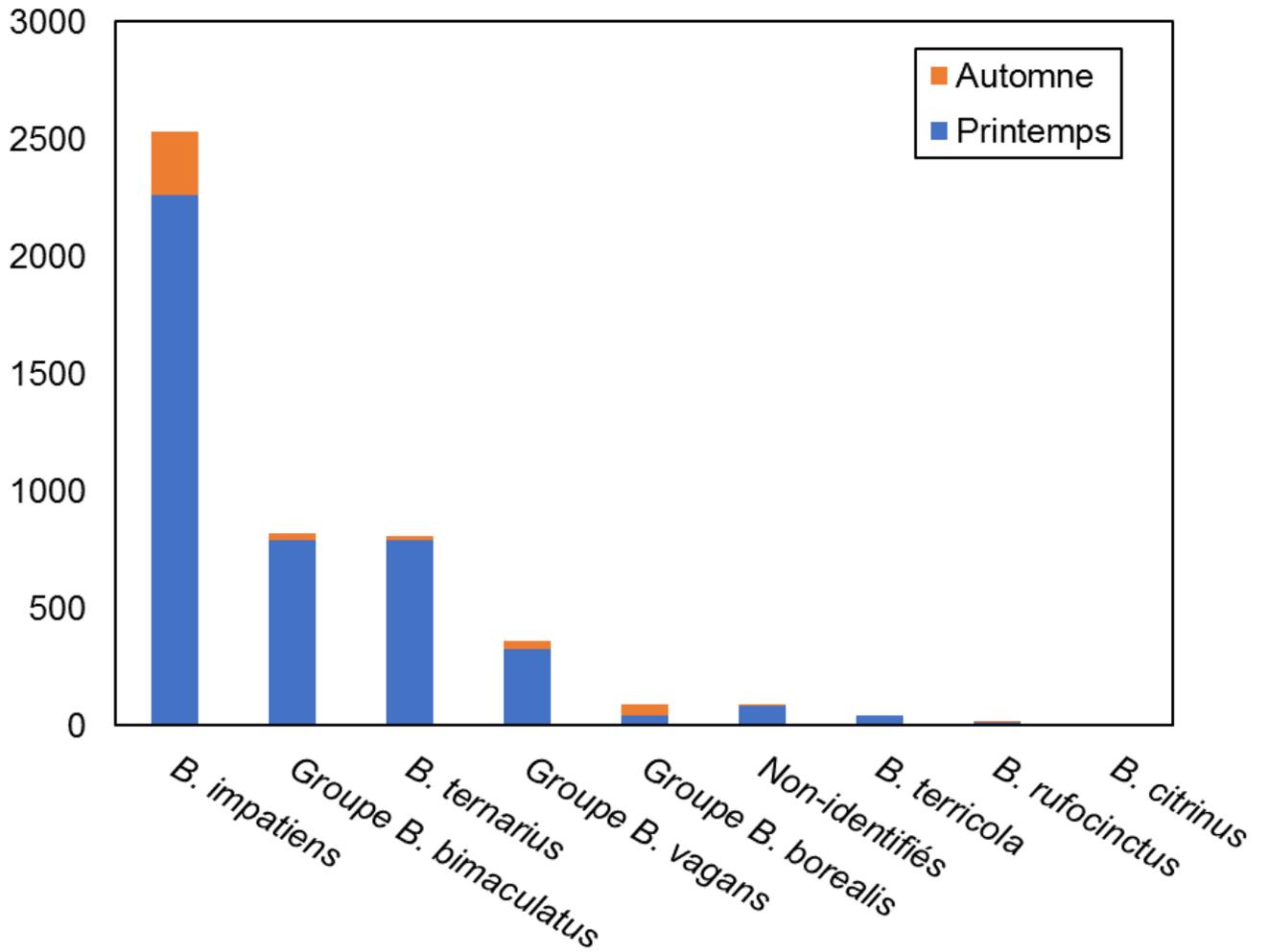


**Figure A12.** Photo aérienne de la Ferme #11 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole sans aménagement.



**Figure A13.** Photo aérienne de la Ferme #12 avec les captures du printemps identifiées en vert et les captures de l'automne identifiées en orange. L'année 2017 est représentée par des cercles, 2018 par des carrés et 2019 par des triangles. Ferme pomicole sans aménagement.

**ANNEXE 5 : Abondance de chaque espèce de bourdons**



**Figure A14.** Nombre de reines uniques capturées par espèce ou morpho-espèce, selon la saison pour les trois années du projet.

**ANNEXE 6** : Calcul de l'indice d'intensité de l'usage en intrants (pesticides)

$$\text{Intensité} = \sum_{i=1}^n (D_i \times A_i)$$

Où:

*n*: nombre total d'intrants utilisés pour une ferme donnée

*i*: un intrant utilisé

*D<sub>i</sub>*: la dangerosité de l'intrant *i* pour les abeilles (selon SAgE pesticides)

*A<sub>i</sub>*: Nombre d'applications de l'intrant *i* pour l'année 2017

$$D = \begin{cases} \text{Faible} = 1 \\ \text{Moyen} = 2 \\ \text{Élevé} = 3 \end{cases}$$