

Rapport

Impact de différents types de sucre de nourrissage automnal sur la survie, la santé et la performance des colonies d'abeilles

Andrée Rousseau et Laurence Plamondon
Centre de recherche en sciences animales de Deschambault
21 février 2025

Résumé

Au Canada, les apiculteurs supplémentent leurs colonies avec du sucre à l'automne afin d'assurer leur survie durant l'hiver, période où les ressources florales sont absentes. Le sirop de sucre est le choix prédominant en raison de sa grande disponibilité, de sa stabilité chimique et de sa facilité d'utilisation. Cependant, les prochaines révisions des normes biologiques canadiennes interdiront l'utilisation de sirop de sucre conventionnel, obligeant ainsi à se tourner vers le miel ou le sirop de sucre biologique comme ressources hivernales. Les conséquences de cette transition sur la survie des colonies, leur développement, leur productivité et la prévalence des pathogènes restent insuffisamment caractérisées. Cette étude a évalué des colonies d'abeilles nourries avec du sirop de sucre conventionnel, du sirop de sucre biologique, du miel d'été ou du miel d'automne. Les principaux paramètres analysés incluaient la survie hivernale, le développement des colonies, la production de miel et la prévalence des pathogènes (*Varroa destructor*, *Nosema* spp. et six virus). De plus, les coûts économiques des stratégies d'alimentation alternatives ont été examinés. Les résultats indiquent que le sirop de saccharose biologique, le miel d'été et le miel d'automne constituent des alternatives viables au sirop de saccharose conventionnel pour l'hivernage. Toutefois, une gestion rigoureuse du poids des colonies après l'alimentation automnale est essentielle pour éviter la famine. Dans la plupart des cas, un minimum de neuf cadres de miel par colonie logée dans une chambre à couvain unique de type Langstroth, ou quatre cadres accompagnés de 12 litres de sirop de saccharose biologique, permettait un hivernage réussi. Cependant, des ajustements peuvent être nécessaires selon la taille de la colonie et la rigueur de l'hiver. Aucune différence statistiquement significative n'a été observée en ce qui concerne le développement du couvain et de la population d'abeilles, la production de miel ou la prévalence des pathogènes entre les différents régimes alimentaires. Toutefois, le coût de l'hivernage avec neuf cadres de miel s'élevait à 237 \$ par colonie, représentant une augmentation de 713 % par rapport au sirop de saccharose conventionnel. Ces résultats suggèrent que, bien que les apiculteurs biologiques puissent hiverner efficacement leurs colonies en utilisant des sources alternatives de glucides, les contraintes financières et logistiques associées à l'alimentation à base de miel nécessitent une réflexion approfondie. Afin de réduire les risques économiques et d'optimiser la survie des colonies, des essais préliminaires sur un sous-ensemble de colonies sont recommandés avant toute mise en œuvre à grande échelle.

Mots-clés : abeille, biologique, hivernage, miel, nourrissage, sucre

Abstract

In Canada, beekeepers supplement their colonies with sugar in the fall to ensure survival during winter, when floral resources are absent. Sucrose syrup is the predominant choice due to its high availability, chemical stability, and ease of use. However, upcoming revisions to Canada's organic standards will prohibit the use of conventional sucrose syrup, necessitating a shift toward honey or organic sucrose syrup as overwintering resources. The implications of this transition on colony survival, development, productivity, and pathogen prevalence remain insufficiently characterized, particularly regarding economic viability. This study evaluated honey bee colonies fed with conventional sucrose syrup, organic sucrose syrup, summer honey, or fall honey. Key parameters assessed included winter survival, colony development, honey production, and pathogen prevalence (*Varroa destructor*, *Nosema* spp., and six viruses). Additionally, the economic costs of alternative feeding strategies were analyzed. Results indicate that organic sucrose syrup, summer honey, and fall honey are viable alternatives to conventional sucrose syrup for overwintering. However, precise colony weight management following fall feeding is critical to prevent starvation. In most cases, a minimum of nine honey frames per colony housed in a Langstroth single-brood chamber or four frames supplemented with 12 liters of organic sucrose syrup supported successful overwintering, although adjustments may be required depending on colony size and winter severity. No statistically significant differences were observed in brood and bee population development, honey production, or pathogen prevalence across feeding treatments. However, the cost of overwintering with nine frames of honey was \$237 per colony, representing an 713% increase compared to conventional sucrose syrup. These findings suggest that while organic beekeepers can effectively overwinter colonies using alternative carbohydrate sources, the financial and logistical constraints associated with honey-based feeding warrant careful consideration. To mitigate economic risk and optimize colony survival, preliminary trials on a subset of colonies are recommended prior to full-scale implementation.

Keywords: feeding, honey, honey bee, organic, overwinter, sugar

Introduction

Le nectar des fleurs est la principale source de sucre naturel récoltée par les abeilles butineuses. Le nectar est transporté dans le jabot des ouvrières jusqu'à la colonie, où il est ensuite conditionné par les abeilles. Celles-ci en réduisent le contenu en eau jusqu'à 16-20% d'humidité et y ajoutent des enzymes qui permettent de scinder les sucres complexes en sucres simples, puis les abeilles l'emmagasinent sous forme de miel dans les alvéoles (Brodsneider et Crailsheim 2010). Le sucre est utilisé pour la production d'énergie dont dépendent plusieurs fonctions métaboliques comme le vol et la thermorégulation, mais il peut également être converti et stocké sous forme de graisse (Taylor et al. 2019). Dans les climats tempérés tels que celui du Canada, les hivers longs, les périodes de floraison et de développement des colonies relativement courtes, ainsi que des conditions météorologiques souvent défavorables à l'activité des abeilles, nécessitent parfois l'intervention des apiculteurs pour fournir un nourrissage d'appoint en sucre ou en protéines (Honey bee Health Coalition 2024). Le coût énergétique associé à l'hivernement est très élevé et la colonie doit posséder suffisamment de réserves de sucre pour survivre jusqu'au retour des ressources alimentaires, soit un minimum de 6 mois en climat tempéré. Le coût de la thermorégulation durant les mois hivernaux est de 0.42 kg/semaine pour la survie de la colonie en absence de couvain et 0.84 kg/semaine lors du retour de l'élevage de couvain dans la colonie (Seeley et Visscher 1985). En préparation à l'hiver et au printemps, lorsque les sources de nectar sont déficientes, les apiculteurs supplémentent habituellement leurs colonies en sucre pour assurer la survie et le développement de la colonie durant les mois sans disponibilité de ressources florales et ainsi éviter que la colonie ne meure de faim. Différentes sources de sucre sont utilisées pour nourrir les colonies d'abeilles : sirop inversé, fondant, sirop de maïs à haute teneur en fructose (Brodsneider et Crailsheim 2010). L'utilisation des différents types de sucre dépend des pratiques en cours dans le pays où l'apiculture est pratiquée et des coûts associés aux différentes sources de sucre, mais c'est le sirop de sucrose (sucre de canne ou de betterave) qui est la source de sucre la plus utilisée et recommandée à cause de son abondance et de sa composition simple et stable (Seversen et Erickson 1984).

Le nourrissage des colonies au miel durant la période hivernale, bien que pratiqué, est une technique moins connue au Canada. En effet, la composition du miel est dépendante des sources florales, ce qui rend la généralisation de la technique de nourrissage beaucoup plus difficile. Plusieurs risques associés à l'hivernage des abeilles avec du miel comme seule source de glucides, tels que la cristallisation du miel et la dysenterie des abeilles, ont déjà été identifiés dans le passé (Alfonsus 1935, Fingler 1980, Gruzka 1979). La cristallisation du miel est un processus naturel lié au glucose présent en sursaturation dans certains types de miel (e.g. le miel de canola, *Brassica napus* L.). Des mortalités hivernales de colonies d'abeilles nourries au miel sont liées au manque de réserves et à la cristallisation du miel (Fingler 1980), le miel cristallisé dans les cadres étant indisponible pour les abeilles. Entre autres, les miels de pissenlit, d'érable, de mélilot et de luzerne sont à l'origine de mortalités liées à la cristallisation (Sladen 1920, Gooderham 1926). La solubilité du glucose est cependant influencée par d'autres composants du miel et les connaissances actuelles sont insuffisantes pour prédire la cristallisation (Bhandari et al. 1999). Il semblerait que l'ajout de sucrose au miel diminue la cristallisation jusqu'à un total de 34% de sucrose dans le mélange (Simpson 1952). La dysenterie est également une problématique associée à l'hivernement des colonies d'abeilles avec certains miels dont le taux d'humidité est trop élevé (Alfonsus 1935). Des miels produits en fin de saison et que les abeilles n'ont pas eu le temps de conditionner suffisamment, comme le miel d'aster ou de verge d'or, causent de la dysenterie et des mortalités (Sladen 1920, Gooderham 1926, Moeller 1978). Certains miels seraient cependant bénéfiques pour

l'hivernement des abeilles, comme par exemple, le miel de trèfle et de sarrasin (Sladen 1920, Gooderham 1926).

Les études sur le potentiel d'hivernement des colonies d'abeilles avec du miel ne sont pas récentes et peu d'études ont été réalisées dans un contexte climatique similaire à celui du Canada. De nombreuses informations sur l'impact du nourrissage des colonies d'abeilles à différentes alternatives au sucre raffiné sont donc manquantes : les conditions de succès, l'impact sur la survie de la colonie, la santé de l'abeille et la productivité de la colonie après l'hiver, etc. Dans ce projet, nous proposons un protocole expérimental permettant d'évaluer l'impact des différentes sources de sucre sur l'abeille domestique en contexte expérimental ainsi qu'en contexte de production biologique. Selon les Normes biologiques canadiennes de la Fédération biologique du Canada (OFC), qui s'appliquent pour les apiculteurs biologiques, la principale source de nourriture de l'abeille domestique doit être le nectar et le pollen récoltés par la colonie. Lors d'une pénurie régionale ou saisonnière de nourriture, ou pour le nourrissage des colonies en hiver, il est permis d'utiliser, par ordre de préférence : 1) du miel biologique provenant de l'exploitation; 2) du sucre biologique (par exemple, inversé, sirop, fondant); 3) du miel non biologique provenant d'une exploitation en période de conversion ou 4) du sucre non biologique non issu du génie génétique.

En décembre 2019, le Comité d'interprétation des normes (SIC) détermine que la période hivernale ne peut à elle seule justifier le nourrissage annuel récurrent des abeilles au sirop. En 2025, l'article 7.1.11.1 concernant le nourrissage des abeilles domestiques des Normes biologiques canadiennes sera donc révisé. Dans cette révision, il est prévu d'éliminer le sucre non biologique des possibilités offertes à l'apiculteur biologique, à moins que des données sur les impacts négatifs potentiels de l'hivernage des abeilles avec du miel ou du sucre biologique ne soient fournies. Les conditions nécessaires à la survie des colonies d'abeilles nourries au sirop de sucre raffiné sont connues : la quantité de sucre nécessaire jusqu'au retour des ressources, le moment du nourrissage, les diverses techniques pour administrer le sirop aux abeilles, etc. Il est également nécessaire d'évaluer l'impact de l'alimentation à base de sucre biologique des colonies d'abeilles pendant la longue période de confinement qu'est l'hiver. Le processus de production du sucre biologique n'est pas le même que celui du sucre raffiné, ce dernier ne laissant pas de matières non digestibles par l'abeille. La composition et la digestibilité du sucre biologique doivent être évaluées avant la révision de l'article 7.1.11.1 sur le nourrissage des abeilles, puisque l'information retrouvée dans la littérature ne permet pas de déterminer si ce type de nourrissage est sécuritaire. En plus d'évaluer les risques potentiels pour la survie des abeilles de l'utilisation exclusive du miel et du sucre biologique, les impacts économiques de tels changements sur le secteur de l'apiculture biologique devraient être évalués. Ces questions doivent être abordées avant la révision de l'article 7.1.11.1 sur l'alimentation des abeilles, et ce, afin de comprendre l'impact du nourrissage avec différents types de sucres sur la survie, la santé et la productivité des colonies d'abeilles domestiques. Il est également nécessaire d'évaluer l'impact de l'alimentation à base de sucre biologique des colonies d'abeilles pendant la longue période d'hivernement.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact du type de sucre de nourrissage des colonies d'abeilles sur la survie hivernale, la santé des abeilles et la productivité des colonies. Différents types de miels, du sirop de sucre biologique ainsi que du sirop de sucre conventionnel seront caractérisés et administrés à des colonies d'abeilles à l'automne afin d'évaluer la survie hivernale des colonies, la consommation hivernale en sucre, le développement des principales maladies apicoles ainsi que le développement de la colonie et la production de miel.

Matériel et méthodes

Afin d'évaluer l'impact du type de nourrissage d'automne sur l'abeille domestique, une première phase expérimentale s'est déroulée au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD). Le but de cette phase était de comparer les méthodes de nourrissage classique au sirop (conventionnel et biologique) avec des méthodes de nourrissage au miel (miel d'été et miel d'automne). Cette phase permettait de contrôler entièrement le dispositif expérimental. La seconde phase expérimentale s'est déroulée chez deux apiculteurs québécois certifiés biologiques. Cette phase visait à évaluer l'impact du type de nourrissage dans un contexte commercial et biologique.

Première phase expérimentale 2022-2023

Élevage de reines et préparation des colonies expérimentales

La phase expérimentale 2022-2023 s'est déroulée au CRSAD. Au mois de juin 2022, 50 reines sœurs issues du programme de sélection CRSAD-UL ont été produites. Ces reines pondeuses ont été introduites dans 50 nucléi préalablement préparés avec deux cadres de couvain et un cadre de miel/pollen. Les nucléi ont ensuite été distribués aléatoirement dans deux ruchers situés dans la ville de Pont-Rouge (ruchers Picard et 365). Le 24 août 2022, la force de la colonie a été évaluée afin de répartir équitablement les colonies dans les différents groupes expérimentaux. Le nombre d'ouvrières en développement (œufs, larves et pupes) a été évalué en mesurant la surface de couvain (largeur x longueur) sur chacun des deux côtés des 10 cadres de la chambre à couvain. La zone rectangulaire résultante est ensuite multipliée par 0.8 pour compenser la forme elliptique du motif du couvain. Un facteur de 25 cellules ouvrières par 6.25 cm^2 a été utilisé pour convertir la surface en nombre d'abeilles ouvrières immatures (Delaplane et al. 2013). La population en abeilles adultes de chaque colonie a également été estimée visuellement (Büchler et al. 2013). Le 1^{er} septembre 2022, un échantillon d'abeilles destiné à l'analyse des pathogènes (virus et *Nosema* spp.) a été prélevé, ainsi qu'un lavage à l'alcool pour évaluer le taux d'infestation en varroa. Les 50 colonies ont été réparties équitablement dans les cinq groupes expérimentaux suivants :

Miel d'été

À la mi-juillet, 80 cadres de miel operculé ont été récoltés dans des colonies situées dans un seul site en zone agricole avec prairies dans la ville de Pont-Rouge. Ces cadres ont été entreposés en caveau jusqu'au nourrissage. Le 15 septembre, la hausse à couvain inférieure des colonies nourries au miel d'été a été réaménagée de façon à y laisser deux cadres de pollen placés en périphérie de la hausse et à y ajouter, au centre, 8 cadres de miel operculés. Les cadres de couvain retirés de la hausse inférieure ont été placés dans une seconde hausse, placée au-dessus de la première, les deux hausses étant séparées par une grille à reine. La reine a été laissée dans la hausse du bas. Trois semaines plus tard, après l'éclosion de tout le couvain, la 2^e hausse a été récoltée afin de permettre un hivernement à une hausse, comme pour les autres groupes expérimentaux.

Miel d'automne

Au début septembre, 80 cadres de miel pleins, mais partiellement operculés ont été récoltés dans des ruches situées dans un seul site en zone agricole avec prairies dans la ville de Pont-Rouge. Le 15 septembre, la hausse à couvain inférieure des colonies nourries au miel d'été a été réaménagée de façon à y laisser deux cadres de pollen placés en périphérie de la hausse et à y ajouter, au centre, 8 cadres de miel operculés. Les cadres de couvain retirés de la hausse inférieure ont été placés dans une seconde hausse, placée au-dessus de la première, les deux hausses étant séparées par une grille à reine. La reine était laissée dans la hausse du bas. Trois semaines plus tard, après l'éclosion de

tout le couvain, la 2^e hausse a été récoltée afin de permettre un hivernement à une hausse, comme pour les autres groupes expérimentaux.

Mélange (miel d'automne 50% et sirop bio 50%)

Au début septembre, 40 cadres de miel pleins, mais partiellement operculés ont été récoltés de ruches situées dans un seul site en zone agricole avec prairies dans la ville de Pont-Rouge. Le 15 septembre, quatre cadres sans couvain ou avec couvain operculé sur le point d'éclore ont été retirés de la hausse à couvain de chaque colonie. Les cadres retirés ont été remplacés par quatre cadres de miel d'automne. Les cadres retirés ont été placés dans une seconde hausse, posée au-dessus de la première et séparée par une grille à reine. Une semaine plus tard (à la suite de l'éclosion du couvain operculé), la deuxième hausse a été récoltée afin de permettre un hivernement à une hausse, comme pour les autres groupes expérimentaux. Les colonies ont ensuite reçu 12 litres de sirop de sucre bio 2 : 1 dans un nourrisseur de surface de type Miller (Propolis etc., FE-1102).

Sirop de sucre conventionnel

Le sirop de sucre conventionnel a été acheté en vrac sous forme liquide (Saint-Stanislas-de-Kostka, Qc, Canada). Le 15 septembre 2022, les colonies recevant du sirop ont été descendues à une hausse à l'aide d'un chasse-abeilles (Propolis etc., BE-1200) et ont reçu chacune 15 litres de sirop de sucre 2 : 1 dans un nourrisseur de surface de type Miller. Une semaine plus tard, les colonies ont reçu huit litres supplémentaires de sirop de sucre 2 : 1 afin de compléter le nourrissage.

Sirop de sucre biologique

Le sirop de sucre biologique a été préparé à partir de sucre de canne biologique du Brésil en poches (Costco, Washington, É.-U.). Le 15 septembre 2022, les colonies recevant du sirop ont été descendues à une hausse à l'aide d'un chasse-abeilles (Propolis etc., BE-1200) et ont reçu chacune 15 litres de sirop de sucre 2 : 1 dans un nourrisseur de surface de type Miller. Une semaine plus tard, les colonies ont reçu huit litres de sirop de sucre 2 : 1 afin de compléter le nourrissage.

Traitements antiparasitaires et hivernement

En même temps que le nourrissage, un traitement Hopguard^{MD} II a été appliqué à toutes les colonies selon les recommandations du fabricant. Le 27 octobre 2022, les ruches ont reçu un traitement d'acide oxalique par égouttement. La taille de la grappe avant l'hiver a été déterminée en estimant le nombre total de cadres entièrement recouverts d'abeilles lorsque la température était inférieure à 10 °C. Le nombre de cadres recouverts d'abeilles en haut et en bas de la ruche a été noté, puis la moyenne a été calculée pour chaque colonie (Büchler et al. 2013). Les ruches ont été pesées à l'aide d'une balance portative (capacité de 160 kg, sensibilité minimale de 0.1 kg). Les ruches ont ensuite été déménagées dans deux ruchers d'hivernement et ont été emballées avec de l'isolant réfléchissant Thermofoil double bulle et un panneau isolant rigide R10 fait de polystyrène extrudé posé sur l'entre-couvercle de chaque ruche.

Évaluation de la survie, du développement de la colonie et des pathogènes

En avril 2023, les emballages des colonies ont été retirés. La taille de la grappe a été évaluée de la même façon qu'à l'automne et les ruches ont été pesées afin d'estimer la consommation hivernale en sucre. Les ruches qui pesaient moins de 24 kg ont été nourries avec quatre litres de sirop 2 : 1 afin d'éviter que les abeilles ne meurent de faim et toutes les autres colonies ont reçu 0.5 litre de sirop. La force de la colonie a été évaluée par la mesure du couvain et l'estimation de la population d'abeilles ouvrières (comme décrit précédemment) en mai et juin 2023 afin de déterminer le développement printanier des colonies. Des échantillons d'abeilles ont été prélevés en mai pour les analyses de pathogènes (virus et *Nosema* spp.) ainsi qu'un lavage à l'alcool pour le taux d'infestation en varroa. La production de miel des colonies a été estimée en soustrayant le poids des hausses à miel vides au poids des hausses à miel récoltées à la fin août 2023.

Analyses des miels

L'analyse méliissopalynologique des miels utilisés pour le nourrissage a été réalisée par l'entreprise Bizzbilles (Baie-Saint-Paul, Qc, Canada).

Deuxième phase expérimentale 2023-2024

Élevage de reines et préparation des colonies expérimentales

La phase expérimentale 2023-2024 s'est déroulée chez deux entreprises québécoises certifiées biologiques. La première semaine de juin, les deux apiculteurs ont préparé chacun 30 nucléi constitués de deux cadres de couvain et d'un cadre de miel/pollen, dans lesquels une jeune reine fécondée a été introduite. À la mi-août, l'équipe du CRSAD s'est déplacée chez les deux apiculteurs afin d'évaluer les colonies (couvain et population d'abeilles) et de récolter les échantillons pour les analyses virales, la nosérose, le taux d'infestation en varroa et les trois types de sucres (Échantillonnage 1B). Les 60 colonies (30 ruches par entreprise) ont ensuite été réparties équitablement dans les trois groupes expérimentaux suivants :

Miel d'été

En juillet, les apiculteurs ont mis de côté des cadres de miel partiellement operculés pour le nourrissage d'automne. Ces cadres ont été entreposés à faible humidité relative (40-45%) et à température pièce ne dépassant pas 40°C. Les apiculteurs ont procédé au nourrissage des colonies à la mi-septembre 2023. Pour chaque colonie du groupe nourri au miel d'été, la reine était localisée dans la hausse à couvain. La hausse à couvain était ensuite retirée du plateau afin d'y placer la hausse à miel contenant neuf cadres de miel d'été. Un cadre de couvain ainsi que la reine étaient ensuite insérés dans la hausse à miel. Une grille à reine était placée entre les deux hausses. De cette façon, la hausse à couvain est placée au-dessus de la grille à reine et de la hausse à miel contenant la reine (Figure 1). Trois semaines plus tard, lorsque le couvain avait émergé, la hausse à couvain a été retirée.

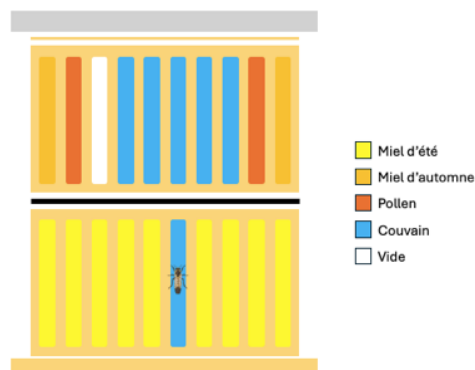


Figure 1. Technique de nourrissage automnale au miel permettant l'hivernage à une hausse à couvain utilisée pour la deuxième phase expérimentale (©Laurence Plamondon).

Sirop de sucre conventionnel

Le sirop de sucre conventionnel a été acheté en vrac liquide par l'apiculteur biologique #1 et préparé à partir de poches de sucre par l'apiculteur biologique #2. Au début septembre, les colonies recevant du sirop ont été descendues à une hausse à l'aide d'un chasse-abeilles et ont reçu une première quantité de sirop de sucre 2 :1 dans un nourrisseur individuel. Une semaine plus tard, les colonies ont reçu une deuxième dose de sirop de sucre 2 :1 afin de compléter le nourrissage. Chaque colonie a ainsi reçu un total de 24 litres de sirop.

Sirop de sucre biologique

Le sirop de sucre biologique de l'apiculteur #1 a été préparé à partir de poches de sucre de canne biologique du Mexique (IAM, Saint-Hubert, Qc, Canada). Le sirop de sucre biologique de l'apiculteur #2 a été préparé à partir de poches de sucre de canne biologique de la Colombie (Farinex, Boisbriand, Qc, Canada). Au début septembre, les colonies recevant du sirop ont été descendues à une hausse à l'aide d'un chasse-abeilles et ont reçu une première quantité de sirop de sucre 2 :1 dans un nourrisseur individuel. Une semaine plus tard, les colonies ont reçu une deuxième dose de sirop de sucre 2 :1 afin de compléter le nourrissage. Chaque colonie a ainsi reçu un total de 24 litres de sirop.

Traitements antiparasitaires et hivernement

En même temps que le nourrissage, les apiculteurs ont appliqué un traitement Thymovar^{MD}. L'équipe du CRSAD est venue compléter les traitements avec un traitement d'acide oxalique par égouttement au début novembre 2023. Au même moment, des échantillons pour les analyses virales, la nosébose et le taux d'infestation en varroa ont été récoltés, les colonies ont été pesées, et la taille de la grappe a été évaluée tel que détaillé plus haut (Échantillonnage 2B). Les ruches ont ensuite été emballées individuellement avec de l'isolant réfléchissant Thermofoil double bulle ainsi qu'un panneau isolant rigide R10 fait de polystyrène extrudé posé sur l'entre-couvercle de chaque ruche.

Évaluation de la survie et du développement de la colonie et des pathogènes

En mai 2024, l'équipe CRSAD est retournée chez chacun des apiculteurs afin d'évaluer la survie des colonies du projet et faire l'évaluation de la reprise printanière. À la mi-avril, les colonies ont été pesées et la taille de la grappe a été évaluée comme décrit précédemment. Les colonies dont le poids était inférieur à 17 kg ont reçu un cadre de miel provenant de la hausse à couvain de l'automne précédent. À la mi-mai les colonies ont été évaluées pour la surface de couvain comme décrit précédemment. Un échantillon d'abeilles pour les analyses de pathogènes (virus et *Nosema* spp.) ainsi qu'un lavage à l'alcool pour le taux d'infestation en varroa a été prélevé dans chaque colonie (Échantillonnage 3B).

Nosema spp.

Les intestins de 60 abeilles ont été prélevés et déposés dans un mortier afin de broyer les tissus à l'aide d'un pilon, puis 30 mL d'eau distillée a été ajoutée et mélangée jusqu'à ce que la solution soit homogène. Le macérat a ensuite été transféré dans un tube, puis passé au vortex. Les spores de *Nosema* ont ensuite été quantifiées selon la méthode de Fries et al. (2013). Deux comptes ont été réalisés pour chaque échantillon et la moyenne arithmétique de ces comptes a été utilisée pour obtenir le nombre de spores par abeille : nombre de spores/abeille = nombre de spores moyen pour 5 carrés x facteur de dilution x 50 000.

Virus

Six des virus les plus communs de l'abeille ont été analysés : le virus de la paralysie chronique (Acute bee paralysis virus; ABPV), le virus de la cellule royale noire (Black queen cell virus; BQCV), le virus des ailes déformées variants A et B (Deformed wing virus; DWV-A, DWV-B), le virus israélien de la paralysie chronique (Israeli acute paralysis virus; IAPV) et le virus du Cachemire (Kashmir bee virus; KBV). Les abeilles ont été euthanasiées en les plaçant sur de la glace sèche. Tous les échantillons ont été conservés à -80°C jusqu'à l'analyse. Les analyses virales ont été réalisées par le CRSAD selon le protocole décrit par Plamondon et al. 2024.

Analyses des sirops et des miels

L'analyse méliissopalynologique des miels utilisés pour le nourrissage lors de la deuxième phase expérimentale a été réalisée par l'entreprise Bizzbilles (Baie-Saint-Paul, Qc, Canada). L'analyse physico-chimique des miels et des sirops a été réalisée par l'entreprise Environex (Québec, Qc, Canada).

Coût de nourrissage des différents types de sucre

Les coûts de nourrissage ont été estimés pour l'année 2024. Le prix du sucre conventionnel et biologique vendu en poches de 20kg provient du fournisseur Farinex (Boisbriand, Qc, Canada). Le prix du sirop conventionnel provient du fournisseur Stannabey (Saint-Stanislas-de-Kostka, Qc, Canada). Le prix du sirop biologique provient du fournisseur IAM (Saint-Hubert, Qc, Canada). Le prix du miel provient de l'étude technico-économique du secteur réalisé en 2022 (CECPA 2022). Les prix ne tiennent pas compte de la main-d'œuvre nécessaire pour préparer le sirop ni nourrir les colonies. La quantité de sucre granulé de référence utilisée pour le calcul des coûts de nourrissage par ruche est de 20 kg (CRAAQ 2020).

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec R (v.4.2) (R Core Team, Vienne, Autriche), et les résultats ont été interprétés avec un niveau de significativité de 0.05. Les variations des modèles ANOVA, estimées avec des modèles linéaires mixtes (nlme::lme [Pinheiro et Bates 2000] ; lme4::lmer [Bates et al. 2015]) et des modèles linéaires généralisés à effets aléatoires (lme4::glmer [Bates et al. 2015]), avec une famille binomiale et un lien logit, ont été réalisées selon le plan expérimental de chaque variable. Les effets fixes comprenaient le groupe et, le cas échéant, le temps et leur interaction. Les effets aléatoires comprenaient le rucher et la colonie. Les tests globaux pour les effets fixes ont été obtenus à l'aide de la fonction emmeans::joint_tests (Lenth 2022). Lorsqu'une différence significative était trouvée, des comparaisons par paires à l'aide de tests de Tukey ajustés ont été effectuées (fonctions emmeans::emmeans et emmeans::pairs [Lenth 2022]). La distribution normale et l'homogénéité des variances ont été validées sur les résidus du modèle avec le test de Shapiro-Wilk, l'histogramme et le tracé des résidus par rapport aux valeurs prédites. En présence d'hétéroscédasticité, les variances hétérogènes ont été modélisées en fonction du facteur problématique. Les données sur les spores ont été transformées à l'aide d'une transformation log+1 pour respecter l'hypothèse de normalité. Dans ce cas, les valeurs de p proviennent des modèles avec transformations, tandis que les moyennes et les intervalles de confiance à 95 % proviennent des modèles avec données non transformées. Pour tester les différences de mortalité, des tests du khi carré (χ^2) suivis de tests de Fisher ont été utilisés. Les résultats sont représentés à l'aide de ggplot2 (Wickham 2016).

Résultats

Première phase expérimentale 2022-2023

Analyses des sirops et des miels

Les analyses des miels sont disponibles en Annexe. L'analyse de la provenance florale des grains de pollen des miels utilisés pour le nourrissage des colonies en 2022 démontre qu'il s'agit de miels monofloraux. Le miel d'été est un miel monofloral de brassicacées puisqu'il dépasse le plus haut seuil établi pour ce taxon, soit 80 %. Dans ce miel, les pollens de brassicacées étaient assez semblables, ce qui pourrait être expliqué par une source florale unique, probablement d'origine

agricole telle que le canola et la moutarde. Le miel d'automne est un miel monofloral du groupe des eupatoires, asters et verges d'or. Aucune cristallisation du miel n'a été observée.

Mortalités hivernales

À l'automne 2022, un total de 46 colonies ont été préparées pour l'hivernement extérieur. Au printemps suivant, 36 colonies avaient survécu à la période hivernale, soit un taux de mortalité de 21.7%. Toutes les mortalités sont survenues dans les groupes nourris exclusivement au miel. On observe une différence significative de mortalité entre les groupes expérimentaux ($\chi^2 = 19.877$, $p < 0.0001$), indiquant que le type de nourrissage influence la survie des colonies durant l'hiver. Aucune dysenterie n'a été observée à l'entrée des ruches.

Tableau 1. Nombre de colonies hivernées à l'automne, de colonies survivantes au printemps et le pourcentage de mortalité durant l'hiver 2022-2023 dans chacun des groupes expérimentaux.

Groupe expérimental	N de colonies hivernées	N de colonies survivantes au printemps	% de mortalité
Miel d'automne	9	3	67
Miel d'automne + sirop bio	10	10	0
Miel d'été	9	5	44
Sirop conventionnel	9	9	0
Sirop biologique	9	9	0

Taille de la grappe et poids des colonies avant et après hivernement

La taille de la grappe est affectée significativement par le groupe ($F_{4,32} = 3.704$, $p = 0.0138$), le temps ($F_{1,32} = 130.241$, $p < 0.0001$) et leur interaction ($F_{4,32} = 5.926$, $p = 0.0011$). À l'automne, le groupe miel d'été et le groupe miel d'automne possèdent une taille de grappe moyenne plus faible que le groupe sirop biologique (moyenne \pm SE; 6.44 ± 0.581 cadres, 6.27 ± 0.583 cadres et 8.48 ± 0.581 cadres; respectivement). La taille de la grappe moyenne du groupe miel d'été est également plus faible que le groupe sirop conventionnel (8.24 ± 0.581 cadres). Au printemps, le groupe miel d'été possède une taille de grappe moyenne significativement plus faible que le groupe sirop biologique et miel d'automne (3.20 ± 0.647 cadres, 5.62 ± 0.581 cadres et 6.02 ± 0.817 cadres; respectivement). Au niveau de l'interaction, le groupe miel d'automne conserve une taille de grappe moyenne stable alors que la taille de grappe des autres groupes diminue (Figure 2).

Le poids de la ruche est affecté significativement par le groupe ($F_{4,32} = 17.194$, $p < 0.0001$) et le temps ($F_{1,32} = 297.364$, $p < 0.0001$), mais n'est pas affecté par leur interaction ($F_{4,32} = 0.669$, $p = 0.6184$). À l'automne, le groupe miel d'été et le groupe miel d'automne possèdent un poids moyen significativement plus faible que le groupe sirop biologique et sirop conventionnel (moyenne \pm SE; 32.5 ± 1.89 kg, 30.6 ± 1.90 kg, 42.3 ± 1.89 kg et 40.6 ± 1.89 kg; respectivement). Le poids moyen du groupe mélange est également significativement plus faible que le groupe sirop biologique (36.2 ± 1.86 kg). Au printemps, le groupe miel d'été et le groupe miel d'automne ont un poids moyen significativement plus faible que le groupe sirop biologique et le groupe sirop conventionnel (22.9 ± 2.03 kg, 20.2 ± 2.39 kg, 30.1 ± 1.89 kg et 29.8 ± 1.89 kg; respectivement) (Figure 3).

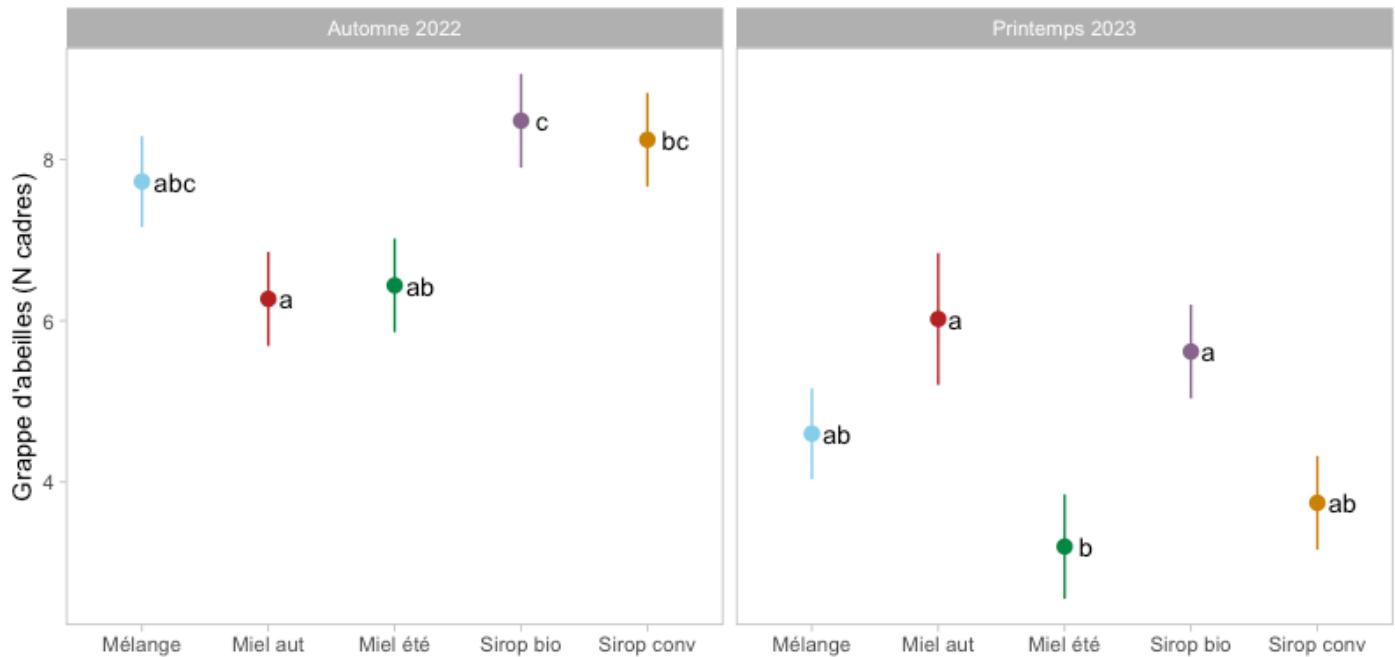


Figure 2. Taille de la grappe (nombre de cadres recouverts par les abeilles) à l'automne et au printemps en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE). Des lettres différentes à côté des valeurs indiquent une différence statistique significative entre les groupes ($p < 0.05$).

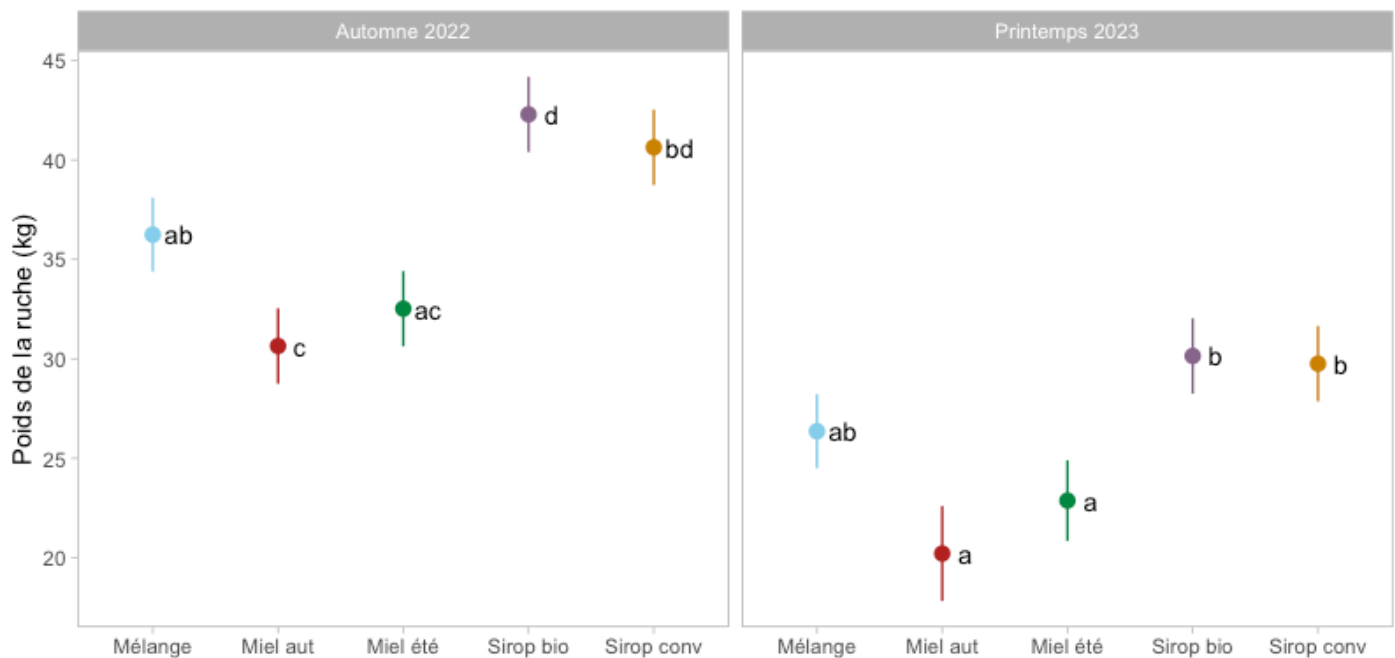


Figure 3. Poids de la ruche (kg) à l'automne et au printemps en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE). Des lettres différentes à côté des valeurs indiquent une différence statistique significative entre les groupes ($p < 0.05$).

Développement de la colonie

La population d'abeilles est affectée significativement par le groupe ($F_{4,32} = 5.525, p = 0.0017$), le temps ($F_{1,32} = 114.867, p < 0.0001$) et leur interaction ($F_{4,32} = 4.592, p = 0.0048$). Au printemps, au mois de juin, le groupe miel d'été et le groupe miel d'automne possèdent une population d'abeilles moyenne significativement plus faible que les autres groupes (moyenne \pm SE; 7.145 ± 1.74 cadres et 5.120 ± 1.75 cadres; respectivement). Au niveau de l'interaction, le groupe miel d'été et le groupe miel d'automne ont une croissance moyenne de la population d'abeilles plus faible que les autres groupes (Figure 4).

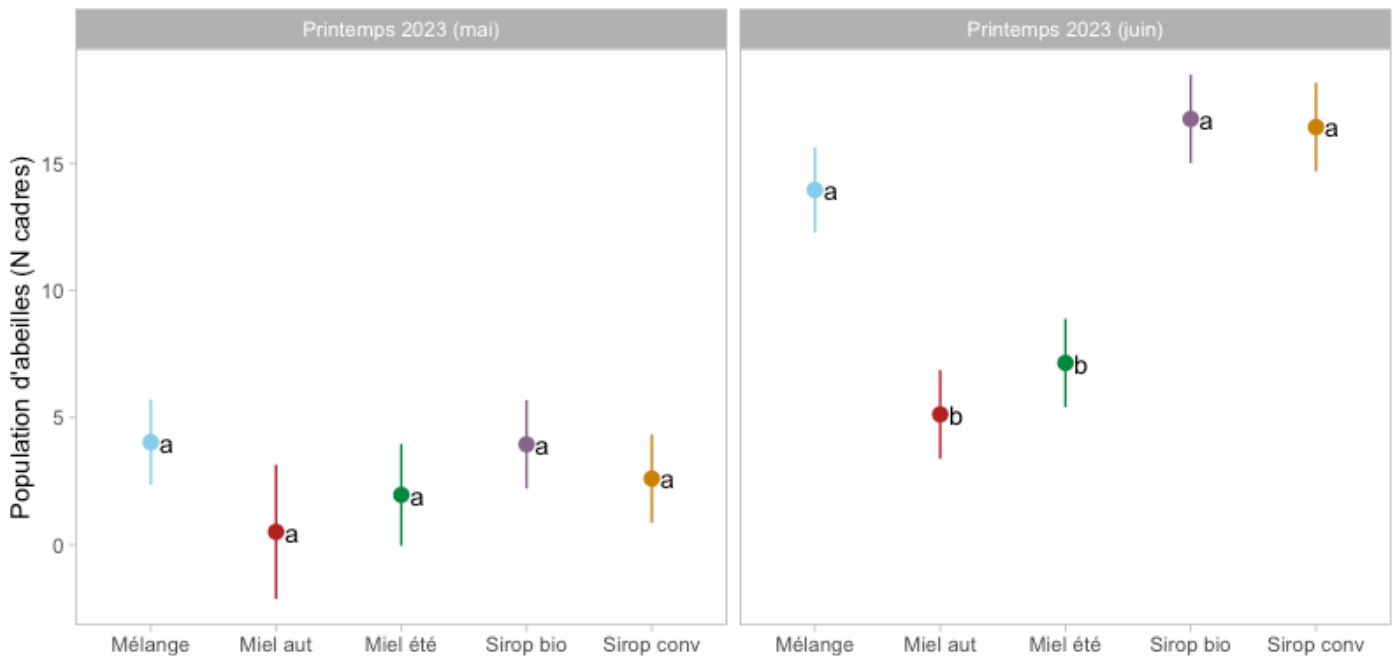


Figure 4. Population d'abeilles (nombre de cadres recouverts d'abeilles) en mai et en juin en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE). Des lettres différentes à côté des valeurs indiquent une différence statistique significative entre les groupes ($p < 0.05$).

Le couvain total est affecté significativement par le temps ($F_{4,30} = 114.416, p < 0.0001$). Le groupe ($F_{4,30} = 0.788, p = 0.5420$) et l'interaction du groupe et du temps ($F_{4,30} = 1.869, p = 0.1419$) n'ont pas d'effet significatif (Figure 5).

Production de miel

La production de miel de mai à août 2023 n'est pas significativement différente en fonction du type de nourrissage reçu à l'automne précédent ($F_{4,29} = 0.314, p = 0.8664$) (Figure 6).

Développement des pathogènes

Varroa destructor

Seulement cinq ruches, réparties dans les différents groupes expérimentaux, avaient un taux d'infestation en varroa supérieur à 0%, mais inférieur à 1% à l'automne 2022 ainsi qu'au printemps 2023.

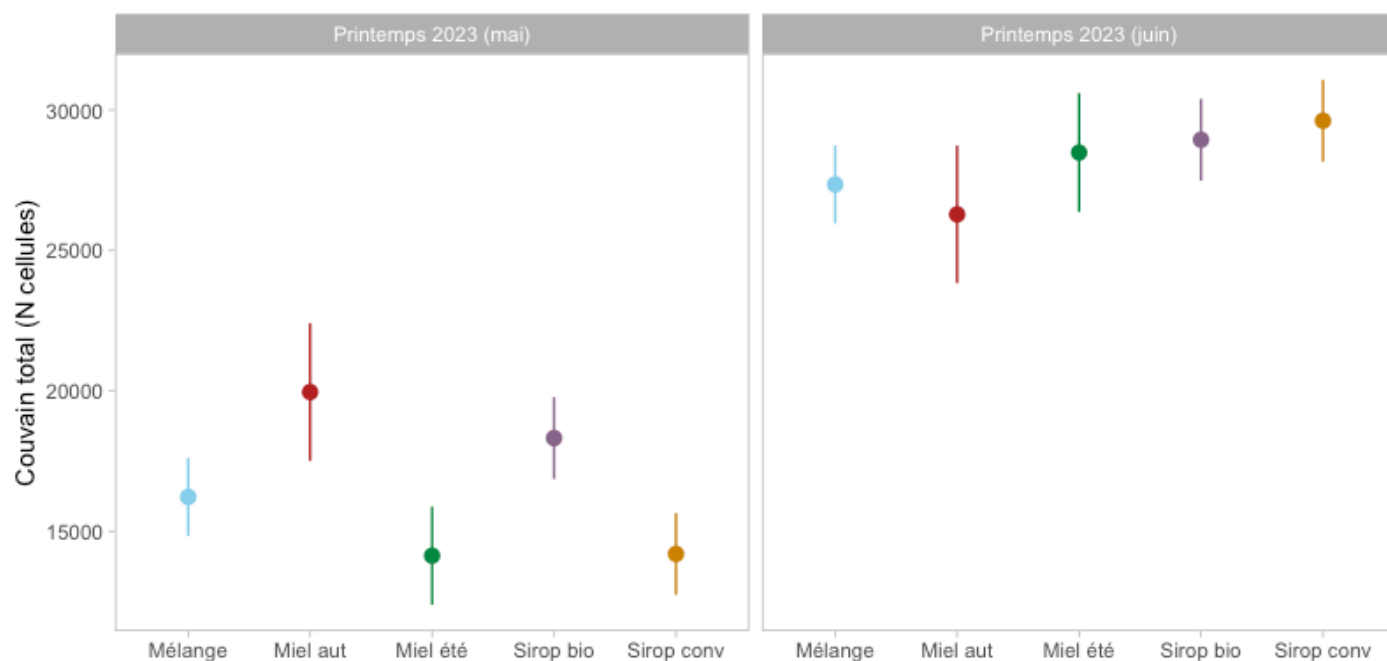


Figure 5. Population de couvain total (nombre de cellules d'œufs, de larves et de pupes) en mai et en juin en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE).

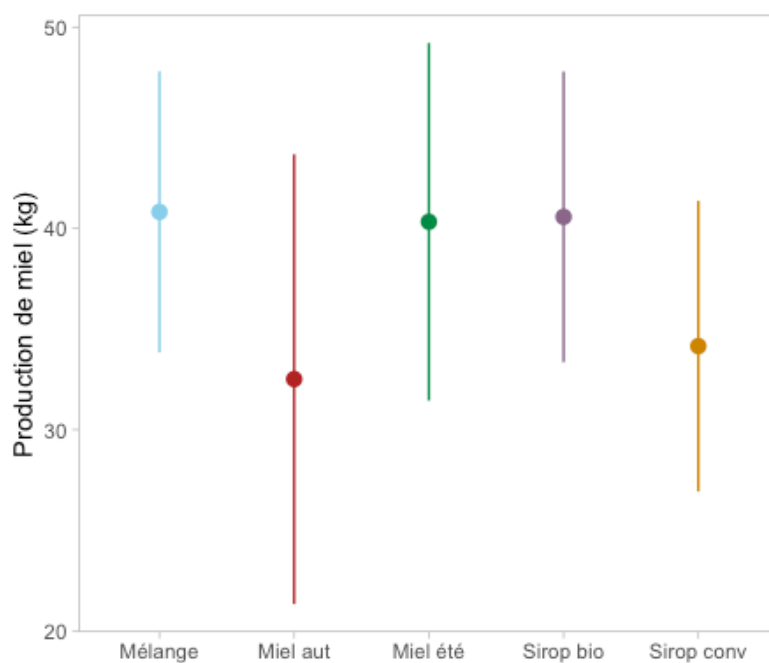


Figure 6. Production de miel (kg) de mai à août en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE).

Deuxième phase expérimentale 2023-2024

Analyses des sirops et des miels

Les analyses des sirops et des miels sont disponibles en Annexe. Les analyses palynologiques du miel de l'apiculteur #1 ayant servi au nourrissage des colonies du groupe expérimental miel montrent que ce miel contient plusieurs espèces qui sont sous-représentées, dont l'épilobe et les chardons. Dans la méthode de Saywer, qui prend en compte la représentativité des pollens, il n'y aurait pas de taxon qui dépasse le seuil de 45 %. Cependant, la principale source de nectar proviendrait de l'épilobe à une hauteur estimée de 40.9 %. En effet, c'est une plante dont le pollen est très peu présent dans le miel comparativement à sa contribution en nectar. Ce serait donc un miel polyfloral puisqu'aucune espèce ne se démarque des autres. La quantification des sucres montre que le miel de cet apiculteur est composé de 40% de fructose et 34% de glucose. Le sucrose, le maltose et le lactose sont tous présents à moins de 0.1%. Aucune cristallisation du miel n'a été observée.

Les analyses du miel de l'apiculteur #2 montre une proportion de *Rubus* sp. importante, mais insuffisante pour considérer ce miel comme monofloral. Cependant, on pourrait dire que ce serait un miel de rosacées puisque le pourcentage, en additionnant les *Rubus* sp. et les *Geum* sp., qui font aussi partie de cette famille, dépasse le seuil général de 45 % (Tableau 3). La quantification des sucres montre que le miel de cet apiculteur est composé de 40% de fructose et 32% de glucose. Le sucrose, le maltose et le lactose sont tous présents à moins de 0.1%. Aucune cristallisation du miel n'a été observée.

Mortalités hivernales

Des soixante colonies préparées par les deux apiculteurs biologiques durant l'été 2023, deux colonies sont devenues orphelines avant le nourrissage d'automne. À l'automne 2023, un total de 58 colonies ont donc été préparées pour l'hivernement extérieur. Au printemps suivant, 55 colonies avaient survécu à la période hivernale, soit un taux de mortalité de 5.2%. Les trois colonies appartenaient à l'apiculteur biologique #2 et faisaient partie du groupe nourri au miel. On observe une différence significative de mortalité entre les groupes expérimentaux ($\chi^2 = 7.0303$, $p = 0.02974$). De plus, aucune dysenterie à l'entrée des colonies n'a été identifiée.

Taille de la grappe et poids des colonies avant et après hivernement

La taille de la grappe est affectée significativement par le temps ($F_{1,52} = 12.037$, $p = 0.0011$). Le groupe ($F_{2,52} = 1.205$, $p = 0.3078$) et l'interaction du groupe et du temps ($F_{2,52} = 0.924$, $p = 0.4034$) n'ont pas d'effet significatif (Figure 7).

Le poids de la ruche est affecté significativement par le groupe ($F_{2,54} = 34.347$, $p < 0.0001$) et le temps ($F_{1,54} = 765.134$, $p < 0.0001$), mais leur interaction n'est pas significative ($F_{4,54} = 0.339$, $p = 0.7139$). Le groupe miel est significativement plus léger que le groupe sirop biologique et le groupe sirop conventionnel à l'automne (moyenne \pm SE; 26.2 ± 1.49 kg, 30.6 ± 1.47 kg et 31.1 ± 1.47 kg; respectivement) ainsi qu'au printemps (16.3 ± 1.48 kg, 20.3 ± 1.47 kg et 20.4 ± 1.47 kg; respectivement) (Figure 8).

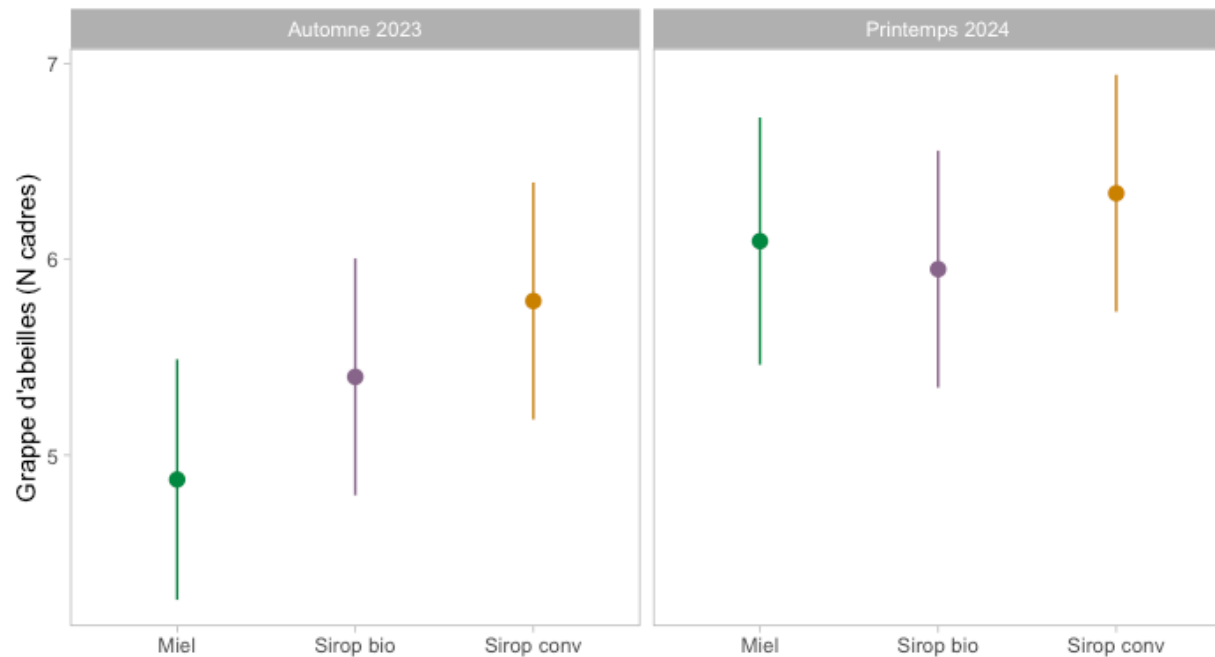


Figure 7. Taille de la grappe (nombre de cadres recouverts par les abeilles) à l'automne et au printemps en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE).

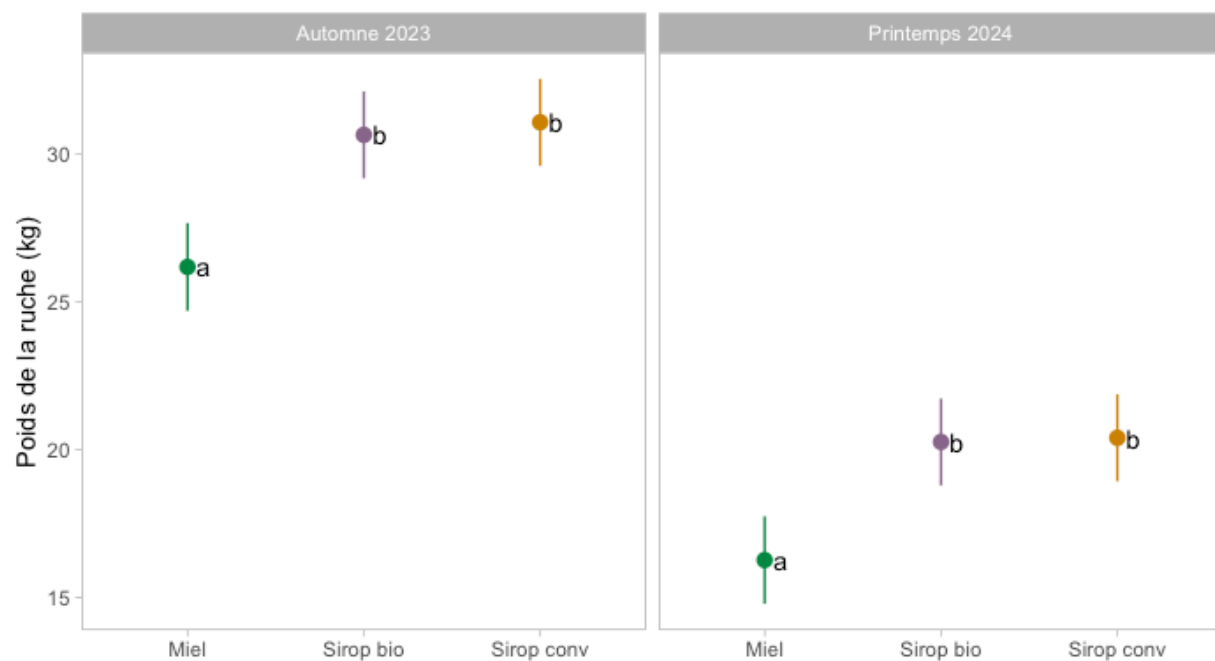


Figure 8. Poids des colonies (kg) à l'automne et au printemps en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE). Des lettres différentes à côté des valeurs indiquent une différence statistique significative entre les groupes ($p < 0.05$).

Développement de la colonie

La population d'abeilles et de couvain n'est pas significativement différente en fonction du type de nourrissage reçu à l'automne précédent ($F_{2,50} = 1.872$, $p = 0.1644$; $F_{2,50} = 0.712$, $p = 0.4955$; respectivement) (Figure 9).

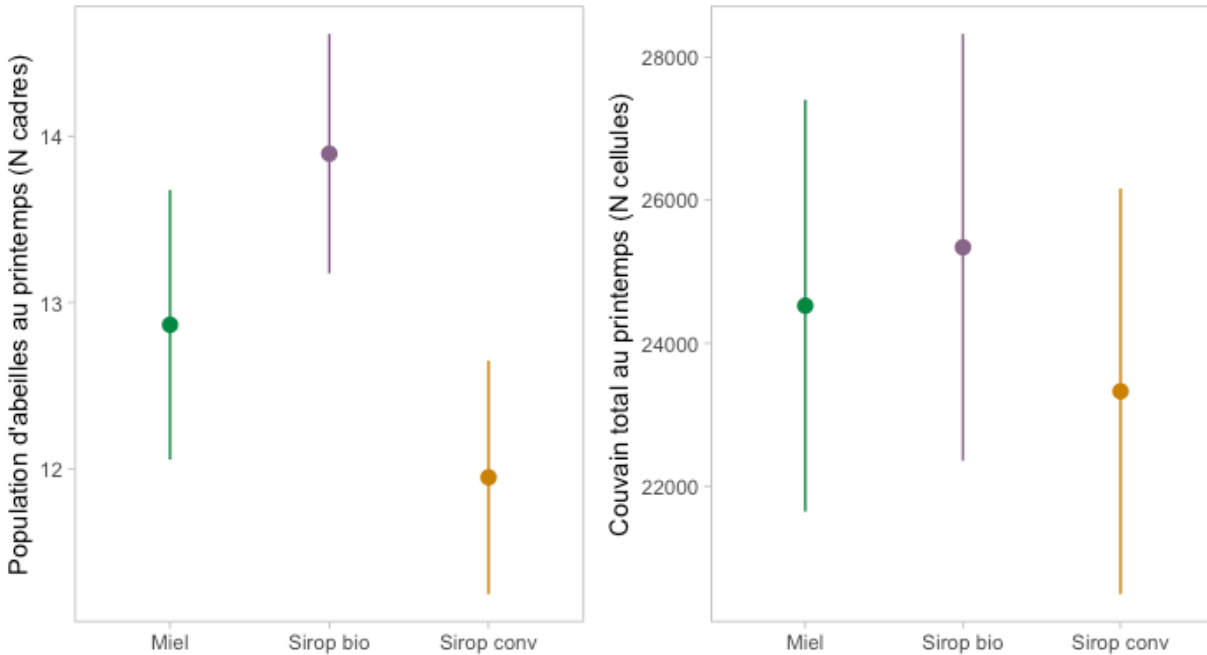


Figure 9. À gauche, la population d'abeilles (nombre de cadres recouverts d'abeilles) et, à droite, le couvain total (nombre de cellules d'œufs, de larves et de pupes) au printemps en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE).

Développement des pathogènes

Varroa destructor

La totalité des colonies avait un taux d'infestation par le varroa égal à 0% à l'été 2023 et seulement 2 colonies avaient un taux d'infestation supérieur à 0%, mais inférieur à 1%, au printemps 2024.

Virus

La présence de tous les virus analysés n'est pas affectée par le type de nourrissage reçu à l'automne précédent. Seulement un effet du temps a été observé. Aucune colonie n'était positive à l'IAPV et au KBV (Figure 10).

Nosema spp.

La présence de spores de *Nosema* n'est pas affectée par le groupe ($F_{2,54.60} = 0.094$, $p = 0.910$) ni l'interaction du groupe et du temps ($F_{4,106.40} = 0.804$, $p = 0.5251$). Toutefois, l'effet du temps est significatif ($F_{2,106.99} = 34.325$, $p < 0.0001$) (Figure 11).

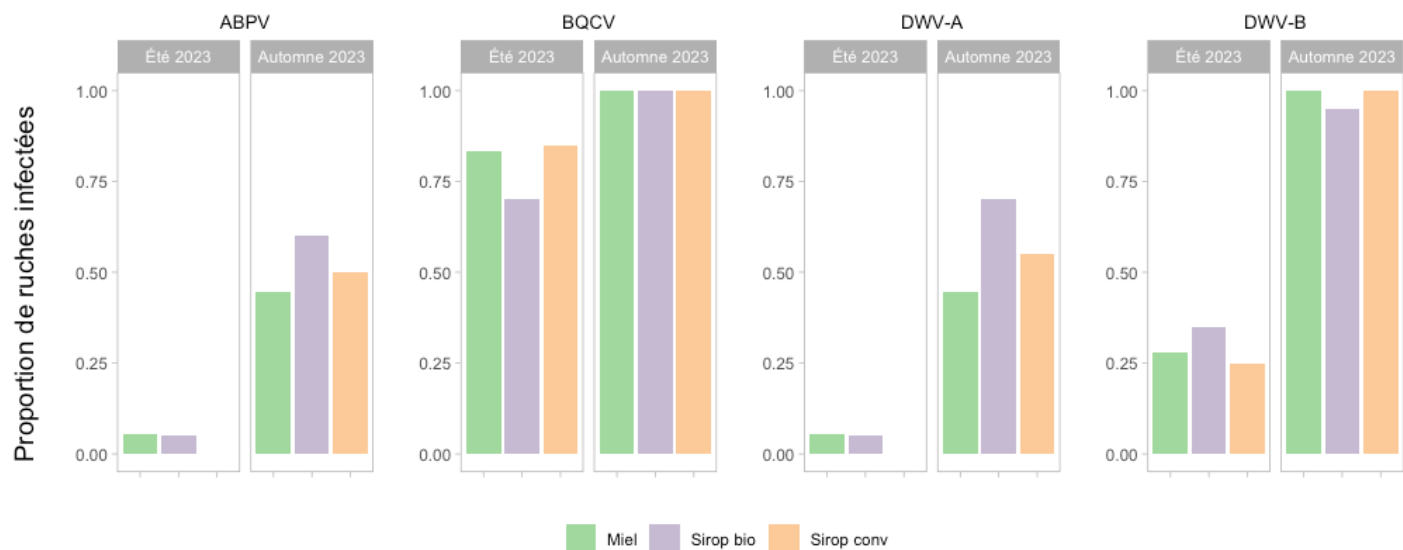


Figure 10. Proportion de ruches infectées par différents virus à l'été et à l'automne en fonction des groupes expérimentaux.

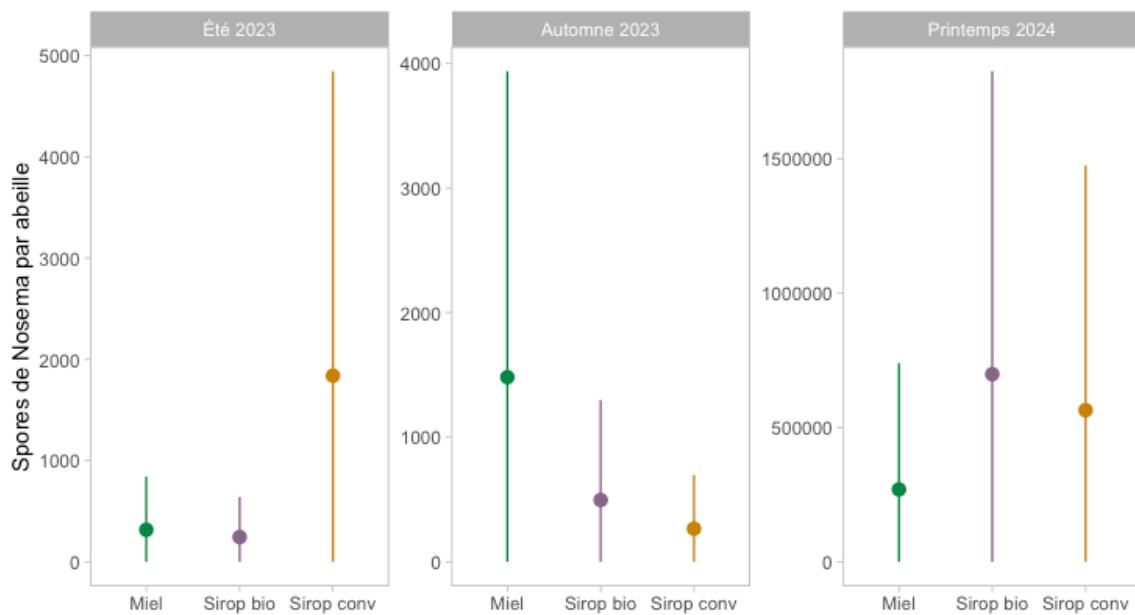


Figure 11. Nombre de spores de *Nosema* spp. par abeille à l'automne et au printemps en fonction des groupes expérimentaux (moyenne \pm SE).

Coût de nourrissage des différents types de sucre

Le coût de nourrissage diffère selon les types de sucre et sous quelle forme ils sont achetés (Tableau 2).

Tableau 2. Comparaison des coûts de nourrissage des différents types de sucre pour l'année 2024

Type de sucre	Prix/kg (\$ can) ¹	Coût/ruche (\$ can) ¹	% de coût supplémentaire ¹
Sirop conventionnel en vrac	1.46 ²	29.20	0 % (référence)
Sucre conventionnel en poche	1.50	30.00	+2.7%
Sirop biologique en vrac	2.14 ²	42.80	+46.6%
Sucre biologique en poche	1.74	34.72	+18.9%
Miel 9 cadres	10.55 ³	237.38	+712.9%

¹Les prix n'incluent pas la main-d'œuvre.

²Prix par kg de sucre granulé

³Coût de production du miel conventionnel

Discussion

Dans ce projet, nous avons testé l'impact du type de sucre de nourrissage des colonies d'abeilles à l'automne sur la survie, la santé et la productivité des colonies. La première phase visait à développer les techniques de nourrissage au miel et au sirop et la seconde phase visait à mettre en place et évaluer la faisabilité des différentes techniques de nourrissage chez deux apiculteurs biologiques. Nos résultats montrent qu'il est possible d'hiverner des colonies avec du miel, mais qu'une attention particulière doit être portée afin que les colonies possèdent une quantité suffisante de miel, soit un minimum de neuf cadres de miel. De plus, aucune différence n'a été notée entre le sucre biologique et le sucre conventionnel au niveau de la survie, du développement des colonies et des pathogènes.

Taille et poids des colonies et mortalité hivernale

La mortalité hivernale élevée obtenue dans les groupes nourris au miel d'été (44%) et au miel d'automne (67%) à la première phase du projet peut s'expliquer par le fait que huit cadres de miel ne sont pas suffisants pour maintenir en vie les colonies jusqu'au retour des ressources au printemps. En effet le poids des colonies nourries au miel d'été ou d'automne est de 4.5 kg inférieur par rapport aux colonies nourries au sirop conventionnel ou biologique juste après le nourrissage d'automne. Cette différence de poids se maintient également au printemps avec les colonies nourries au miel pesant en moyenne 3.8 kg de moins que les colonies nourries au sirop conventionnel ou biologique. Il semble que l'ajout du sirop biologique dans le groupe mélange ait permis d'atteindre un poids et une taille de colonie permettant de mieux survivre à l'hiver en comparaison au groupe nourri exclusivement au miel d'automne.

La perte de poids durant l'hiver est similaire entre tous les groupes expérimentaux. Ainsi, les colonies ont perdu en moyenne 10.6 kg. Cette perte de poids s'apparente à la perte de poids moyenne des cinq dernières années pour les colonies du CRSAD hivernées à l'extérieur, soit 9.3 ± 1.4 kg. La perte de poids similaire entre tous les groupes suggère que la mortalité des colonies dans les groupes nourris au miel aurait potentiellement pu être évitée si les colonies avaient reçu davantage de miel à l'automne. La seconde phase du projet a permis de confirmer que l'ajout d'un

neuvième cadre de miel améliore la survie hivernale des colonies nourries au miel, soit 100% chez le premier apiculteur et 89% chez le second apiculteur. Le poids de deux des trois colonies mortes durant l'hiver chez le second apiculteur (12.2 et 11.3 kg) peut indiquer que ces colonies sont mortes de faim durant l'hiver. Le poids de la troisième colonie (21.6 kg) indique que la colonie est morte avant l'hiver de cause inconnue en ayant pas ou peu consommé ses réserves. Il est important de noter que plusieurs ruches du groupe nourri au miel ont nécessité un nourrissage d'appoint au printemps. Il est donc aussi nécessaire de porter une attention particulière au poids des colonies nourries au miel dès que l'accès aux ruchers hivernaux est possible afin de prévenir que davantage de colonies ne meurent de faim en attendant que les premières ressources florales soient disponibles. Il est possible que l'hivernement des colonies à deux hausses plutôt qu'à une seule hausse aurait permis de diminuer les risques de manque de nourriture pour les colonies durant l'hiver dans les groupes nourris au miel. Dans ce projet, nous avons choisi de tester l'hivernement des colonies à une seule hausse de couvain afin d'en vérifier la faisabilité sachant que cette technique est préconisée au Québec, et de réduire les implications économiques pour les apiculteurs. Les résultats montrent qu'il est possible de maintenir les colonies nourries au sirop conventionnel, au sirop biologique, au miel d'été et d'automne et à un mélange de miel d'automne et de sirop durant l'hiver au Québec. Cependant, une attention particulière devrait être portée sur le poids des colonies à la suite du nourrissage et à la sortie de l'hivernement afin de s'assurer que les réserves de sucre soient suffisantes. Il est important de noter qu'à l'hiver 2023-2024, la température moyenne à l'échelle de la province a été de 5.2°C supérieure à la moyenne de référence (ECCC 2024). Toutefois, les températures hivernales varient d'une année à l'autre ce qui a pour effet d'influencer la consommation des abeilles hivernées à l'extérieur. De plus amples recherches dans différentes régions du Québec devront être menées afin de déterminer le poids sécuritaire à viser à l'automne afin d'assurer la survie hivernale des colonies d'abeilles peu importe les conditions météorologiques.

Développement des colonies et production de miel

Dans la première phase du projet, les colonies ont été évaluées pour le développement de la population d'abeilles et de couvain au mois de mai, puis au mois de juin. La quantité de couvain moyenne est la même dans tous les groupes et augmente entre les deux évaluations, et ce, peu importe le type de nourrissage reçu à l'automne. La quantité d'abeilles augmentent aussi pour tous les groupes entre le mois de mai et le mois de juin. Ces résultats sont typiques du développement d'une colonie d'abeilles durant la saison apicole au Québec, soit un accroissement de la population d'abeilles qui double entre le mois de mai et le mois de juin (CRAAQ 2020). La quantité d'abeilles est semblable entre tous les groupes en mai. Cependant, au mois de juin, les groupes nourris uniquement en miel possèdent une population d'abeilles adultes significativement inférieure aux autres groupes. Il aurait été intéressant de poursuivre les évaluations au-delà du mois de juin afin de vérifier si cette différence perdure dans le temps ou non. Il importe de souligner que l'évaluation de la quantité d'abeilles adultes d'une colonie est une estimation visuelle de la couverture du cadre par les abeilles. De plus, l'estimation de la population d'abeilles peut varier avec les conditions météorologiques ainsi que le moment dans la journée où les évaluations sont faites et les résultats peuvent varier de façon notable (Chabert et al. 2021, Dainat et al. 2020, Hernandez et al. 2020). La quantité de couvain est une variable qui n'est pas affectée par les conditions météorologiques ou bien par le moment de l'évaluation. Ainsi, la quantité semblable de couvain entre les groupes au mois de juin peut nous indiquer qu'une évaluation de la population d'abeilles adultes au mois de juillet pourrait donner des résultats similaires entre les groupes. La production de miel sur l'ensemble de la saison apicole 2022, soit une moyenne de 38 kg par colonie

indique que l'effort de butinage a été le même pour l'ensemble des colonies sur la saison apicole et que la récolte moyenne de miel par colonie est supérieure à la moyenne québécoise pour 2022, soit 29.8 kg par colonie (ISQ 2022). Les résultats de la seconde phase, chez les apiculteurs biologiques, ne montrent également aucun impact du type de nourrissage reçu à l'automne sur la quantité de couvain et d'abeilles adultes au printemps. L'absence de différence dans les paramètres évalués entre le sucre biologique et le sucre conventionnel peut s'expliquer par le fait que les sirops biologique et conventionnel contiennent la même quantité de sucrose. En effet, le taux de consommation des sirops est similaire lorsque la concentration en sucre est la même (Pridal et al. 2023). Aucune différence n'a été observée entre le miel d'été et le miel d'automne sur les paramètres évalués sur les colonies. Il est possible de conclure que le type de nourrissage à l'automne n'a pas eu d'incidence sur le développement des colonies et la production à la saison suivante.

Développement des pathogènes

L'infestation en varroa n'a pas été influencée par le type de nourrissage donné à l'automne et est demeurée en dessous du seuil de traitement (MAPAQ 2024) dans tous les groupes et ce, pour les deux phases du projet. C'est dans la seconde phase du projet que le développement de la noséose ainsi que la présence des virus ont été évalués à l'automne et au printemps. La moyenne de spores par abeille est demeurée inférieure au seuil de dommage économique d'un million (Bailey et Ball 1991) et aucun impact du type de nourrissage n'a été détecté. De précédentes études réalisées en cagettes ont permis de démontrer un impact d'une nutrition plus complète des ouvrières comparativement à une diète en sirop de sucre sur la quantité de spores de noséose par abeille (Basualdo et al. 2014, Zheng et al. 2014). Ce serait principalement l'abondance et la diversité du pollen, plutôt que la source de sucre, qui pourrait améliorer la tolérance de l'abeille face aux pathogènes (Holt et Grozinger 2016). Puisque les colonies du projet avaient accès aux mêmes sources de pollen de l'environnement, cela pourrait expliquer qu'elles ne présentent pas de différences d'infestation pour le varroa, les spores de *Nosema* et la charge virale. Une autre hypothèse qui pourrait expliquer qu'aucun impact du type de nourrissage n'a été observé pour l'infestation de *Nosema* serait que l'hivernement à l'extérieur des colonies a permis aux abeilles d'effectuer des vols de propreté. Toutefois, selon différents travaux de recherche effectués au Canada, l'hivernage extérieur ne serait pas un des principaux facteurs permettant de réduire la charge de spores de *Nosema* (Punko et al. 2021, Williams et al. 2010).

Coûts des différentes techniques

L'analyse des coûts de l'utilisation des différentes sources de sucre pour le nourrissage d'une colonie d'abeilles a permis de classer les sources de la plus économique à la plus dispendieuse. Ainsi, le sirop conventionnel est le type de sucre le plus économique. Le sucre conventionnel acheté en poche de 20kg a un prix similaire au sirop conventionnel, mais nécessite une préparation pour être transformé en sirop. Le sucre biologique, acheté en poches de 20 kilogrammes revient à 4.72\$ de plus par colonie par rapport au sucre conventionnel et nécessite une préparation pour être transformé en sirop. Le sirop biologique a un coût supplémentaire de 46.6% par rapport au sirop conventionnel et est vendu prêt à l'emploi. Toutefois, sa disponibilité dans certaines provinces du Canada reste à vérifier. Le sirop conventionnel est donc une option simple, rapide et économique pour le nourrissage automnal. Le miel est l'option de nourrissage la plus dispendieuse, avec un coût 712.9% supérieur au sirop conventionnel, soit un peu plus de 242\$ de plus par ruche. De plus, le nourrissage au miel représente une perte de revenu net pour l'apiculteur, de l'ordre de 562\$ par ruche considérant que le prix moyen de vente du miel biologique est de 25\$/kg.

Conclusion et limites de l'étude

Ce projet visait à comparer la survie, le développement, la productivité et les principaux pathogènes de colonies d'abeilles ayant reçu différentes sources de sucre à l'automne. Peu de différences ont été notées entre les groupes expérimentaux pour les variables évaluées. En revanche, il est déjà connu que, par rapport à l'alimentation en miel, l'alimentation des colonies d'abeilles en sirop de sucrose entraîne une différence de contenu en gras ainsi qu'une différence d'expression de plus d'une centaine de gènes dans le corps adipeux des abeilles d'hiver (Quilan et al. 2023, Wheeler et Robinson 2014). Ainsi, il semble qu'au niveau physiologique, le statut nutritionnel soit différent chez les abeilles recevant du sirop comparativement aux abeilles recevant du miel. Nos résultats montrent qu'à l'échelle de la colonie, il y a peu d'impact du type de sucre donné aux abeilles à l'automne sur les performances et la résistance aux maladies à la saison suivante. Par contre, les implications des différences physiologiques soulignées dans les précédentes études pourraient faire l'objet de davantage de recherche afin d'établir clairement le statut nutritionnel idéal pour l'abeille domestique avant l'hiver.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière des Apiculteurs et Apicultrices du Québec (AADQ) et du Programme Innov'Action agroalimentaire, un programme issu de l'Accord Canada-Québec de mise en œuvre du Partenariat canadien pour l'agriculture conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Merci aux deux apiculteurs biologiques ainsi qu'à l'équipe apicole du CRSAD sans qui ce projet n'aurait pas été possible.

Merci également à l'Alberta Beekeepers Commission (ABM) et la British Columbia Honey Producers Association (BCHPA) pour leur intérêt envers ce projet.

Références

- Alfonsus, E.C. 1935. The cause of dysentery in honeybees. *Journal of Economic Entomology* 28(3): 568–576.
- Bailey, L. et Ball, B.V. 1991. *Honey Bee Pathology*, second ed. Academic Press, London.
- Basualdo, M., Barragan, S. et Antunez, K. 2014. Bee bread increases honeybee haemolymph protein and promote better survival despite of causing higher *Nosema ceranae* abundance in honeybees. *Environmental Microbiology Reports* 6: 396–400.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. et Walker, S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67(1):1–48.
- Bhandari, B., D'Arcy, B. et Kelly, C. 1999. Rheology and crystallization kinetics of honey: present status. *International Journal of Food Properties* 2(3): 217–226.
- Büchler, R., Andonov, S., Bienefeld, K., Costa, C., Hatjina, F., Kezic, N., Kryger, P., Spivak, M., Uzunov, A. et Wilde, J. 2013. Standard methods for rearing and selection of *Apis mellifera* queens. *Journal of Apicultural Research* 52(1):1–30.
- Brodschneider, R. et Crailsheim, K. 2010. Nutrition and health in honey bees. *Apidologie* 41(3), 278-294.
- Chabert, S., Requier, F., Chadoeuf, J., Guilbaud, L., Morison, N. et Vaissiere, B.E. (2021). Rapid measurement of the adult worker population size in honey bees. *Ecological Indicators* 122.
- Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 2020. *Gestion optimale du rucher*. 3e édition, Québec, CRAAQ, 166 pages.
- Centre d'étude sur les coûts de production en agriculture (CECPA). 2022. Étude technico-économique du secteur - Production apicole au Québec. [En ligne : https://www.agrireseau.net/documents/Document_111455.pdf].
- Dainat, B., Dietemann, V., Imdorf, A. et Charrière, J.D. 2020. A scientific note on the 'Liebefeld Method' to estimate honey bee colony strength: its history, use, and translation. *Apidologie* 51: 422–427.
- Delaplane, K.S., van der Steen, J. et Guzman-Novoa, E. 2013. Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. *Journal of Apicultural Research* 52: 1–12.
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). 2024. Bulletin des tendances et des variations climatiques.
- Fingler, B.G. 1980. *The effect of indoor wintering on honey bee colonies in Manitoba*. Master thesis, Manitoba.
- Fries, I., Chauzat, M.P., Chen, Y.P., Doublet, V., Genersch, E., Gisder, S., ... et Williams, G.R. 2013. Standard methods for *Nosema* research. *Journal of apicultural research* 52(1): 1–28.

- Gooderham, C.B., et Apiarist, D. 1926. *Wintering bees in Canada*. Agriculture and Agri-Food Canada.
- Gruszka, J. 1979. Indoor wintering of honey bee colonies in Manitoba.
- Hernandez, J., Maisonnasse, A., Cousin, M., Beri, C., Le Quintrec, C., et al., 2020. ColEval: Honeybee COLony Structure EVALuation for Field Surveys. *Insects* 11: 41.
- Honey bee Health Coalition 2024. Honey Bee Nutrition. A review and guide to supplemental feeding.
- Institut de la statistique du Québec. 2022. Portrait de l'apiculture au Québec en 2022. [En ligne : <https://statistique.quebec.ca/fr/produit/publication/portrait-apiculture-quebec-2022>].
- Lenth, R. 2022. _emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means.
- Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation (MAPAQ). 2024. Arbre décision pour le traitement contre le varroa. Pour le programme intégré de santé animale du Québec (PISAQ). [En ligne : https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/agriculture-pecheries-alimentation/sante-animale/PISAQ/FI-arbre-decisionnel-varroa-pisaq_MAPAQ.pdf].
- Moeller, F.E. 1978. Overwintering of Honeybee Colonies. Research Reports: 169. Madison. USDA.
- Pinheiro, J.C. et Bates, D.M. 2000. Mixed-Effects Models in S and S-PLUS. New York (NY): Springer.
- Plamondon, L., Paillard, M., Julien, C., Dubreuil, P., et Giovenazzo, P. 2024. Effects of summer treatments against *Varroa destructor* on viral load and colony performance of *Apis mellifera* colonies in Eastern Canada. *Journal of Insect Science* 24(3):14.
- Pridal, A., Musila, J. et Svoboda, J. 2023. Condition and Honey Productivity of Honeybee Colonies Depending on Type of Supplemental Feed for Overwintering. *Animals* 13: 323.
- Punko, R.N., Currie, R.W., Nasr, M.E., et Hoover, S. E. 2021. Epidemiology of *Nosema* spp. and the effect of indoor and outdoor wintering on honey bee colony population and survival in the Canadian Prairies. *PLoS One* 16(10).
- Quinlan, G., Döke, M.A., Ortiz-Alvarado, Y., Rodriguez-Gomez, N., Koru, Y.B. et Underwood, R. 2023. Carbohydrate nutrition associated with health of overwintering honey bees. *Journal of Insect Science* 23(6): 16.
- Seeley, T.D. et Visscher, P.K. 1985. Survival of honeybees in cold climates: the critical timing of colony growth and reproduction. *Ecological Entomology* 10(1): 81-88.
- Severson, D.W. et Erickson Jr, E.H. 1984. Honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony performance in relation to supplemental carbohydrates. *Journal of Economic Entomology* 77(6): 1473-1478.
- Simpson, J. 1952. The composition of the stores produced by bees from sugar syrup. *Bee World* 33(7): 112-117.

- Sladen, F.W.L. et Gooderham, C.B. 1920. Wintering bees in Canada.
- Taylor, M.A., Robertson, A.W., Biggs, P.J., Richards, K.K., Jones, D.F. et Parkar, S.G. 2019. The effect of carbohydrate sources: Sucrose, invert sugar and components of manuka honey, on core bacteria in the digestive tract of adult honey bees (*Apis mellifera*). *PLoS One* 14(12).
- Wheeler, M.M., et Robinson, G.E. 2014. Diet-dependent gene expression in honey bees: honey vs. sucrose or high fructose corn syrup. *Scientific reports* 4(1): 5726.
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York (NY), Springer-Verlag.
- Williams, G.R., Shutler, D., et Rogers, R.E. 2010. Effects at Nearctic north-temperate latitudes of indoor versus outdoor overwintering on the microsporidium *Nosema ceranae* and western honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of invertebrate pathology* 104(1): 4-7.
- Zheng, H.-Q., Lin, Z.-G., Huang, S.-K., Sohr, A., Wu, L. et Chen Y.P. 2014. Spore loads may not be used alone as a direct indicator of the severity of *Nosema ceranae* infection in honey bees *Apis mellifera* (Hymenoptera:Apidae). *Journal of Economic Entomology* 107: 2037–2044.

Annexe

Service d'identification des miels et du pollen

Client : CRSAD (Georges Martin)
Numéro client : 131
Adresse : 120-A Chemin du Roy, Deschambault (Qc), G0A 1S0
Contact : 418-286-3353, poste 294, georges.martin@crsad.qc.ca
Échantillon : 23168
Date de récolte : Fin juin à mi-juillet 2022



Code client	Nom commun	Nom latin	Proportion
Été 2022	Brassicacées	<i>Brassica sp.</i>	84,2%
	Trèfles	<i>Trifolium sp.</i>	12,2%
	Gesses	<i>Lathyrus sp.</i>	1,3%
	Baies	<i>Rubus sp.</i>	0,7%
	Inconnus mélangés	<i>Inconnus mélangés</i>	0,3%
	Potentilles	<i>Potentilla sp.</i>	0,3%
	Nerpruns	<i>Rhamnus sp.</i>	0,3%
	Eupatoires/Asters/Verges d'or	<i>Eupatorium/Aster/Solidago sp.</i>	0,3%
	Vipérines	<i>Echium sp.</i>	0,3%

*Les résultats seront conservés pendant deux ans et le reste de l'échantillon de miel ou de pollen pendant un an.

Catégories de fréquence des grains de pollen dans les miels :

Très fréquent (>45%), fréquent (16-45%), rare (3-15%), sporadique (<3%)

Interprétation :

C'est un miel monofloral de brassicacées puisqu'il dépasse le plus haut seuil établi pour ce taxon, soit 80 %. Dans ce miel, les pollens de brassicacées étaient assez semblables, ce qui pourrait être expliqué par une source florale unique, probablement d'origine agricole. Pour l'identification précise, il faudrait connaître les cultures entourant le rucher.

Emile Gaumond, M. sc.

Mélistopalinologue

Raphaël Lavoie

Mélistopalinologue

Service d'identification des miels et du pollen

Client : CRSAD (Georges Martin)
Numéro client : 131
Adresse : 120-A Chemin du Roy, Deschambault (Qc), G0A 1S0
Contact : 418-286-3353, poste 294, georges.martin@crsad.qc.ca
Échantillon : 23169
Date de récolte : Mi-juillet à fin août 2022



Code client	Nom commun	Nom latin	Proportion
Aut 2022	Eupatoires/Asters/Verges d'or	<i>Eupatorium/Aster/Solidago sp.</i>	85,0%
	Vergerettes	<i>Erigeron sp.</i>	4,5%
	Trèfles	<i>Trifolium sp.</i>	4,2%
	Trèfle rouge	<i>Trifolium pratense</i>	3,3%
	Sumacs	<i>Rhus sp.</i>	0,9%
	Composées	<i>Asteraceae sp.</i>	0,9%
	Brassicacées	<i>Brassica sp.</i>	0,6%
	Renoncules	<i>Ranunculus sp.</i>	0,3%
	Salicaire pourpre	<i>Lythrum salicaria</i>	0,3%

*Les résultats seront conservés pendant deux ans et le reste de l'échantillon de miel ou de pollen pendant un an.

Catégories de fréquence des grains de pollen dans les miels :

Très fréquent (>45%), fréquent (16-45%), rare (3-15%), sporadique (<3%)

Interprétation :

Le seuil général veut qu'un miel soit considéré comme monofloral lorsqu'il dépasse 45 %. Dans le cas présent, il faut garder en tête que c'est un groupe, donc cela inclut plusieurs espèces. La différenciation au microscope n'est pas possible et leurs floraisons se chevauchent, ce qui rend difficile l'identification plus précise de l'origine florale.

Emile Gaumond, M. sc.
Mélissopalynologue

Raphaël Lavoie
Mélissopalynologue

Service d'identification des miels et du pollen

Client : CRSAD (Georges Martin)
 Numéro client : 131
 Adresse : 120-A Chemin du Roy, Deschambault (Qc), G0A 1S0
 Contact : 418-286-3353, georges.martin@crsad.qc.ca
 Échantillon : 23171
 Date de récolte : Fin juin à mi-juillet 2023



Code client	Nom commun	Nom latin	Proportion
Miel Apiculteur 1	Soya	<i>Glycine max</i>	29,5%
	Trèfles	<i>Trifolium sp.</i>	18,6%
	Chardons	<i>Cirsium sp.</i>	7,1%
	Sumacs	<i>Rhus sp.</i>	6,8%
	Inconnus mélangés	<i>Inconnus mélangés</i>	4,3%
	Eupatoires/Asters/Verges d'or	<i>Eupatorium/Aster/Solidago sp.</i>	3,7%
	Ombellifères	<i>Apiaceae sp.</i>	4,7%
	Vipérines	<i>Echium sp.</i>	3,7%
	Rosacées	<i>Rosaceae sp.</i>	3,1%
	Vescés	<i>Vicia sp.</i>	2,5%
	Tilleuls	<i>Tilia sp.</i>	2,2%
	Gesses	<i>Lathyrus sp.</i>	2,2%
	Éricacées	<i>Ericaceae sp.</i>	1,9%
	Composées	<i>Asteraceae sp.</i>	1,6%
	Lotiers	<i>Lotus sp.</i>	0,9%
	Baies	<i>Rubus sp.</i>	0,9%
	Luzernes	<i>Medicago sp.</i>	0,9%
	Saules	<i>Salix sp.</i>	0,6%
	Mélilot	<i>Melilotus sp.</i>	0,6%
	Épilobe à feuilles étroites	<i>Epilobium angustifolium</i>	0,6%
	Millepertuis	<i>Hypericum sp.</i>	0,6%
	Érables	<i>Acer sp.</i>	0,6%
	Nerpruns	<i>Rhamnus sp.</i>	0,6%
	Sureaux	<i>Sambucus sp.</i>	0,6%
	Herbe à poux	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	0,3%
	Astragales	<i>Astragalus sp.</i>	0,3%
	Trèfle rouge	<i>Trifolium pratense</i>	0,3%

*Les résultats seront conservés pendant deux ans et le reste de l'échantillon de miel ou de pollen pendant un an.

Catégories de fréquence des grains de pollen dans les miels :

Très fréquent (>45%), fréquent (16-45%), rare (3-15%), sporadique (<3%)

Interprétation :

Ce miel contient plusieurs espèces qui sont sous-représentées, dont l'épilobe et les chardons. Dans la méthode de Saywer, qui prend en compte la représentativité des pollens, il n'y aurait pas de taxon qui dépasse le seuil de 45 %. Cependant, la principale source de nectar proviendrait de l'épilobe à une hauteur estimée de 40,9 %. En effet, c'est une plante dont le pollen est très peu présent dans le miel comparativement à sa contribution en nectar. Ce serait donc un miel polyfloral puisqu'aucune espèce ne se démarque des autres.

Emile Gaumond, M. sc.

Mélessopalynologue

Raphaël Lavoie

Mélessopalynologue

Service d'identification des miels et du pollen

Client : CRSAD (Georges Martin)
Numéro client : 131
Adresse : 120-A Chemin du Roy, Deschambault (Qc), G0A 1S0
Contact : 418-286-3353, georges.martin@crsad.qc.ca
Échantillon : 23170
Date de récolte : Fin juin à mi-juillet 2023



Code client	Nom commun	Nom latin	Proportion
Miel Apiculteur 2	Baies	<i>Rubus sp.</i>	42,3%
	Rosacées	<i>Rosaceae sp.</i>	41,3%
	Érables	<i>Acer sp.</i>	6,9%
	Benoïtes	<i>Geum sp.</i>	3,6%
	Trèfles	<i>Trifolium sp.</i>	1,6%
	Inconnus mélangés	<i>Inconnus mélangés</i>	1,6%
	Cornouillers	<i>Cornus sp.</i>	0,3%
	Pigamons	<i>Thalictrum sp.</i>	0,3%
	Composées	<i>Asteraceae sp.</i>	0,3%
	Myosotis	<i>Myosotis sp.</i>	0,3%
	Impatiens	<i>Impatiens sp.</i>	0,3%
	Mélilots	<i>Melilotus sp.</i>	0,3%
	Saules	<i>Salix sp.</i>	0,3%
	Chênes	<i>Quercus sp.</i>	0,3%

*Les résultats seront conservés pendant deux ans et le reste de l'échantillon de miel ou de pollen pendant un an.

Catégories de fréquence des grains de pollen dans les miels :

Très fréquent (>45%), fréquent (16-45%), rare (3-15%), sporadique (<3%)

Interprétation :

La proportion de Rubus sp. est importante, mais pas assez pour considérer ce miel comme monofloral. Cependant, on pourrait dire que ce serait un miel de rosacées puisque le pourcentage, en additionnant les Rubus sp. et les Geum sp., qui font aussi partie de cette famille, dépasse le seuil général de 45 %.

Emile Gaumond, M. sc.
Mélissopalynologue

Raphaël Lavoie
Mélissopalynologue

Certificat d'analyse

No M2438073, version 1

Émis le: 2024-09-27

Client: **CRSAD (centre de recherche en sciences animales)**
Mme Laurence Plamondon
120-A CHEMIN DU ROY
DESCHAMBAULT, QUEBEC
G0A 1S0

No client: 30003
Tél.:
Téléc.:
No projet: 41259
Bon de commande: 20285

Copie conforme:

Mr Andree Rousseau - Courriel:andree.rousseau@crsad.qc.ca

Projet: Analyses chimiques alimentaires

Sous-projet: Analyses chimiques

No éch.	Description	Résultat	Unité	Spécifications	Analysé le
Nature: Aliment Prélevé le: 2024-08-01 Par: L. Plamondon Reçu le: 2024-09-17 Temp. réception: T.P.					
6639451	1. Miel Apiculteur 2				
	Sucrose	<0.1	%		2024-09-26
	Maltose	<0.1	%		2024-09-26
	Lactose	<0.1	%		2024-09-26
	Glucose	32.0	%		2024-09-26
	Fructose	39.8	%		2024-09-26
6639454	2. Miel Apiculteur 1				
	Sucrose	<0.1	%		2024-09-26
	Maltose	<0.1	%		2024-09-26
	Lactose	<0.1	%		2024-09-26
	Glucose	34.4	%		2024-09-26
	Fructose	40.4	%		2024-09-26
6639458	3. Sirop conv Apiculteur 2				
	Sucrose	70.2	%		2024-09-26
	Maltose	<0.1	%		2024-09-26
	Lactose	<0.1	%		2024-09-26
	Glucose	<0.1	%		2024-09-26
	Fructose	<0.1	%		2024-09-26
6639460	4. Sirop bio Apiculteur 2				
	Sucrose	69.3	%		2024-09-26
	Maltose	<0.1	%		2024-09-26
	Lactose	<0.1	%		2024-09-26
	Glucose	<0.1	%		2024-09-26
	Fructose	<0.1	%		2024-09-26
6639461	5. Sirop conv. Apiculteur 1				
	Sucrose	69.3	%		2024-09-26
	Maltose	<0.1	%		2024-09-26
	Lactose	<0.1	%		2024-09-26
	Glucose	<0.1	%		2024-09-26
	Fructose	<0.1	%		2024-09-26

Certificat d'analyse (suite)

No M2438073, version 1

Émis le: 2024-09-27

Projet: Analyses chimiques alimentaires

Sous-projet: Analyses chimiques

No éch.	Description	Résultat	Unité	Spécifications	Analysé le
6639462	6. Sirop bio Apiculteur 1				
	Sucrose	65.2	%		2024-09-26
	Maltose	<0.1	%		2024-09-26
	Lactose	<0.1	%		2024-09-26
	Glucose	<0.1	%		2024-09-26
	Fructose	<0.1	%		2024-09-26

Méthode d'analyse	Description	Référence externe	Procédure interne
Profil de sucres	Extraction/HPLC	AOAC 980.13	ILCA-019


Dominique Pelletier, Chimiste, Responsable technique
Geneviève Knapp, Chimiste, Site Sherbrooke

Apiculteur 1

- Ce certificat ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite de Eurofins EnvironeX
- Ce certificat d'analyse est la référence valide en cas de différence avec tout autre document transmis.
- Les résultats ne se rapportent qu'aux objets soumis à l'essai. - (PNA) indique un Paramètre Non Accrédité.
- Les résultats sont basés sur les échantillons tels que reçus.