

Rapport

Impact de l'infestation de *Varroa destructor* sur la survie, la qualité et la performance des reines de l'abeille domestique (*Apis mellifera L.*) hivernées en banques

Andrée Rousseau

Centre de recherche en sciences animales de Deschambault
1^{er} octobre 2024

Auteurs :

Andrée Rousseau¹, Mireille Levesque², Laurence Plamondon¹ et Pierre Giovenazzo²

Affiliations :

¹ Centre de Recherche en Sciences Animales de Deschambault, 120-A Chemin du Roy, Deschambault, QC G0A 1S0, Canada

² Département de biologie, Pavillon Vachon, Université Laval, Québec, QC G1V 0A6, Canada

Résumé

Depuis 2018, le Centre de recherche en sciences animales (CRSAD) et l'Université Laval ont collaboré pour développer une technique d'hivernage des reines d'abeilles, visant à améliorer l'autosuffisance en reines locales au printemps. L'objectif principal de l'étude était d'évaluer l'impact du parasitisme par *Varroa destructor* sur la survie et la qualité des reines hivernées. Les résultats ont montré que le taux d'infestation en varroa à l'automne affecte la survie des reines durant l'hiver. Les reines hivernées dans des banques faiblement infestées (0-1%; BFI) avaient un taux de survie moyen de $76.7 \pm 17.3\%$ alors que les reines hivernées dans des banques modérément infestées (2-5%; BMI) avaient un taux de survie réduit de 7%, soit $69.4 \pm 17.8\%$. Cependant, la différence d'infestation par le varroa n'affecte pas de manière significative les paramètres morphométriques (poids, longueur de l'abdomen) ni la fertilité (nombre et viabilité des spermatozoïdes). Concernant les pathogènes chez les reines, la nosémose a été détectée chez certaines reines à des niveaux faibles, notamment chez deux reines californiennes et deux reines du groupe BFI, mais aucun virus détectable n'a été trouvé chez les reines banquées. En revanche, les reines californiennes ont présenté des virus tels que BQCV, DWV-A, et DWV-B. L'étude a également comparé la performance en colonies des reines banquées à celles importées de Californie. Le succès d'introduction des reines en nucléi a atteint 94,4 %, sans différence significative entre les groupes. Cependant, dix jours après l'introduction, les reines californiennes ont montré une plus grande quantité de couvain non operculé que les reines BFI et BMI. En termes de performance des colonies, la quantité de couvain a été similaire entre les groupes de reines, avec une augmentation continue durant l'été. Toutefois, la production de miel était significativement plus faible dans les colonies avec des reines californiennes (2,6 kg) comparativement à celles avec des reines BFI (12,6 kg) et BMI (11,7 kg). Finalement, aucune différence significative n'a été détectée concernant la santé des colonies (varroa, virus et nosémose) entre les trois groupes. L'ensemble des résultats suggèrent que l'hivernage en masse des reines locales constitue une alternative viable aux importations de reines et pourrait renforcer l'autosuffisance de l'industrie apicole canadienne, tout en améliorant la résilience du secteur.

Abstract

Since 2018, the Centre de recherche en sciences animales (CRSAD) and Université Laval have collaborated to develop a technique for overwintering bee queens, aimed at improving self-sufficiency in local queens in the spring. The study's main objective was to assess the impact of *Varroa destructor* parasitism on the survival and quality of overwintered queens. The results showed that the level of Varroa infestation in autumn affects the survival of overwintered queens. Queens overwintered in low-infestation banks (0-1%; BFI) had an average survival rate of $76.7 \pm 17.3\%$, while queens overwintered in moderately infested banks (2-5%; BMI) had a reduced survival rate of 7%, or $69.4 \pm 17.8\%$. However, the difference in varroa infestation did not significantly affect morphometric parameters (weight, abdomen length) or fertility (sperm count and viability). Concerning pathogens in queens, nosema was detected in some queens at low levels, notably in two Californian queens and two queens from the BFI group, but no detectable viruses were found in the banqued queens. In contrast, the Californian queens showed viruses such as BQCV, DWV-A, and DWV-B. The study also compared the colony performance of banqued queens with those imported from California. Successful introduction of queens into nuclei reached 94.4%, with no significant difference between groups. However, ten days after introduction, the California queens showed a greater amount of uncapped brood than the BFI and BMI queens. In terms of colony performance, the amount of brood was similar between queen groups, with a continuous increase during the summer. However, honey production was significantly lower in colonies with Californian queens (2.6 kg) compared with those with BFI (12.6 kg) and BMI (11.7 kg) queens. Finally, no significant differences were detected in colony health (varroa, viruses and nosema) between the three groups. Taken together, the results suggest that mass overwintering of local queens is a viable alternative to queen imports and could enhance the self-sufficiency of the Canadian beekeeping industry, while improving the sector's resilience.

Introduction

L'hivernage en masse des reines, communément appelé le banquage de reines, est une stratégie intéressante pour obtenir un grand nombre de reines élevées localement tôt au printemps. Différentes méthodes ont été testées afin de maintenir un grand nombre de reines vivantes pendant plusieurs jours ou plusieurs mois : en laboratoire (Edwards et Poole 1971; Giovenazzo 1992; Poole et al. 1073), dans des nucléi ou petites colonies constituées de quelques cadres d'abeilles et de couvain (Reid 1975; Siuda et al. 2011) ou dans des colonies fortes appelées banques de reines (Reid 1975; Wyborn et al. 1993; Gençer 2003). Durant l'été, le maintien d'une banque de reines à l'intérieur d'une seule colonie est une pratique courante. Ces banques offrent aux apiculteurs l'accès à des reines fécondées prêtes à être introduites en colonies lors de moments favorables. Le banquage de reines consiste à placer les reines dans des cagettes individuelles positionnées à l'intérieur d'un cadre spécialement conçus qui est placé au centre d'une colonie banque (Topitzhofer et Sagili 2022). Ces colonies sont orphelines afin de limiter l'agressivité envers les reines en cagettes. Les colonies réceptrices sont préparées de façon à contenir un très grand nombre de jeunes abeilles nourrices et d'abondantes réserves de miel et de pollen (Wyborn et al. 1993; Gençer 2003). En été, une banque de reines peut contenir jusqu'à 96 reines pouvant être maintenues en bonne condition pour une durée d'au moins trois mois (Griffin 1996; Harp 1967). L'utilisation de banques de reines durant l'hiver pose davantage de défis puisque les abeilles forment une grappe serrée lorsque la température est sous 10°C. Cette grappe d'abeilles se déplace dans la colonie pour avoir accès aux réserves de miel; cela affecte la survie des reines banquées puisqu'elles peuvent être isolées des soins des abeilles nourrices (Prabucki et al. 2003). De plus, il n'y a pas de renouvellement de la population d'abeilles ouvrières puisque les colonies réceptrices sont orphelines. Wyborn et collaborateurs (1993) ont testé différentes techniques afin de conserver des banques de reines de novembre à avril en Colombie-Britannique. Un taux de survie de 60% a été obtenu en plaçant les reines dans des cagettes de bois grillagées dans des colonies très fortes et orphelines. Les facteurs les plus importants pour la survie des reines étaient le nombre d'abeilles ouvrières de la colonie banque, l'abondance de réserve de nourriture ainsi que l'importance de placer les reines au centre de la grappe d'abeilles.

Dans une précédente recherche sur l'hivernement des reines (Innov'Action 2018-2023), une survie des reines de 84% et 73% ont été obtenu du mois de novembre à avril lorsque les banques de reines contenant 40 reines sont maintenues à 16°C, soit une température supérieure à la température de formation de la grappe (Rousseau et Giovenazzo 2021). En revanche, lors d'une troisième année d'essais, les banques contenant 40 reines et maintenues aux mêmes conditions (16°C et 40-60% d'humidité relative) ont eu un taux de survie de seulement 29% d'octobre 2020 à avril 2021. Une possible explication de cette différence pourrait être un impact négatif du parasitisme par le varroa sur la survie des abeilles de la colonie banque, résultant en davantage de mortalité chez les reines banquées. De plus amples connaissances sur l'impact de la santé des abeilles des colonies réceptrices sur la survie et la qualité des reines est donc nécessaire afin de perfectionner la technique d'hivernement des reines et obtenir des reines en santé qui performent bien en colonies le printemps suivant.

L’acarien prédateur *Varroa destructor* est considéré comme l’une des principales menaces à la santé et à la survie de l’abeille domestique (LeConte et al. 2010; Guzman-Novoa et al. 2010). Le parasitisme par le varroa a plusieurs impacts négatifs sur la santé des abeilles : réduction du poids, diminution de la durée de vie, de l’immunité et altération de certains comportements comme le vol et l’orientation (Morfin et al. 2023; Noël et al. 2020). L’espérance de vie des abeilles qui passeront l’hiver est cruciale pour la survie de la colonie jusqu’au retour des conditions favorables au butinage et au développement de la colonie. En effet, afin de survivre aux hivers en climat tempéré, les abeilles se sont adaptées de différentes façons : d’abord, la reine cesse de pondre vers la fin de l’été avec la fin de la disponibilité des ressources (Mattila et Otis 2007). Ce sont donc les abeilles produites à la fin de la saison apicole qui passeront l’hiver et recommenceront l’élevage du couvain au printemps. Ces abeilles ont une durée de vie supérieure aux abeilles qui sont produites durant l’été; 22-24 semaines pour les abeilles d’hiver comparativement à 4-6 semaines pour les abeilles d’été (Page et Peng 2001). Afin de survivre à l’hiver, les abeilles d’hiver doivent posséder suffisamment de réserves énergétiques autant au niveau individuel qu’au niveau de la colonie (Alaux et al. 2017). Au niveau de la colonie, les abeilles vont stocker les réserves de miel ou de sirop nécessaires à la thermorégulation de la colonie entière (maintien de la température à 24-28°C; Ohmolt 1987). Au niveau individuel, les abeilles d’hiver doivent également stocker de grandes réserves de nutriments, notamment les protéines emmagasinées dans les corps gras (Mattila et Otis 2007). Ces protéines, acquises principalement par la consommation de pollen, leur permettent de vivre plus longtemps, de produire de la chaleur et de reprendre l’élevage du couvain au printemps (Seeley et Visscher 1985). La préparation à l’hiver ainsi que la santé des abeilles durant les mois d’hiver sont des facteurs déterminant la santé et la survie de la colonie. C’est pendant la période hivernale que la varroose cause le plus de mortalité puisque sa population atteint un pic à la fin de l’été et que les abeilles d’hiver parasitées sont celles qui doivent survivre jusqu’au retour des ressources au printemps (Guzman-Novoa et al. 2010; Doke et al. 2015).

Dans le cadre de ce projet, nous nous sommes intéressés à l’impact du parasitisme par *Varroa destructor* dans les banques sur la survie et la qualité des reines après l’hiver. De plus, le projet visait à suivre la performance et la survie des reines issues des banques une fois introduites en colonies au printemps et comparer leur performance à celles de reines provenant de l’importation.

Matériel et méthodes

Élevage de reines et préparation des banques

En août 2022, 600 reines ont été produites par trois centres d’élevage de reines du Québec :

- 1) Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD; <http://crsad.qc.ca/>, QC, Canada; 46°67'50.6''N, 71°91'44.9''O);
- 2) Miels d’Anicet ([https:// mielsdanicet.com](https://mielsdanicet.com), QC, Canada; 46°72'49.4''N, 75°43'57.2''O);
- 3) Rayons de miel (<https://rayons-de-miel.business.site/>, QC, Canada; 46°10'83.9''N, 71°39'78.2''O).

Les reines ont été élevées en nucléi de fécondation et fécondées naturellement. Elles ont été récoltées une fois pondeuses et chaque reine a été transférée dans une cagette californienne (California Mini Queen Cages, Mann Lake Ltd., Hackensack Minnesota USA #HD-398). Les reines ont été acheminées au CRSAD en voiture en les plaçant dans des boîtes de cartons grillagées contenant du candi (pâte molle de saccharose) et de l'eau (éponges imbibées). Des abeilles nourricières ont été secouées dans chaque boîte contenant les cagettes de reines afin de s'assurer du bon soin des reines. Les reines ont toutes été reçues au CRSAD le 30 août 2022 et ont été conservées dans une pièce noire à 30°C jusqu'à la formation des banques de reines le 31 août 2022.

Formation des banques et des groupes expérimentaux

Afin de sélectionner des colonies pour former les banques, un total de 46 colonies a été évalué pour la quantité de couvain totale en juillet et août 2022. Pour cela, la population de couvain (œufs, larves et pupes) a été évaluée en mesurant la surface sur chacun des deux côtés des 10 cadres de la chambre à couvain, et la surface a été convertie en nombre de cellules de couvain (Delaplane et al. 2013). Dans ces colonies, un premier lavage à l'éthanol au mois de juillet et un autre au mois d'août ont permis d'identifier des colonies présentant des taux d'infestation en *Varroa destructor* variant de 0 à 2%. Le 22 août 2022, 28 colonies ont été sélectionnées par groupe de deux afin que leur fusion donne des colonies contenant $59\ 000 \pm 2000$ cellules de couvain. Les colonies faiblement infestées (0-1% d'infestation en varroa) ont été fusionnées ensemble et que les colonies modérément infestées (1-2% d'infestation en varroa) ont été fusionnées ensemble. Avant la fusion de deux colonies, les reines pondeuses sont retirées. La fusion de deux colonies se fait en plaçant deux feuilles de papier journal entre les deux. Le 30 août, un cadre modifié contenant 40 reines en cagettes californiennes a été introduit au centre de la seconde hausse de chaque banque (**Figure 1**; voir Rousseau et Giovenazzo 2021 pour le protocole détaillé). Des enregistreurs de température et d'humidité relative (Hobo data logger U12-O13, Hoskin Scientific, Saint-Laurent, Quebec Canada) ont été installés sur le cadre de reines de chaque banque. Un total de 560 reines ont été hivernées à l'intérieur de 14 banques de reines contenant chacune 40 reines.

Un lavage à l'éthanol a été réalisé sur toutes les banques en octobre, pour créer deux groupes expérimentaux : groupe BFI : banques faiblement infestées en varroa (0-1% d'infestation) et groupe BMI : banques modérément infestées en varroa (2-5% d'infestation). Les deux groupes ont été comparés statistiquement afin de confirmer la différence dans leur taux d'infestation en varroa ($F=20.992$, $p=0.0006$). Les taux d'infestation des deux groupes ont été séparés ainsi puisque 1% d'infestation en varroa représente le seuil au-dessus duquel il est recommandé de traiter les colonies (MAPAQ, 2024). En septembre, les banques ont reçu un traitement Apivar® contre le varroa, soit 2 languettes par hausse à couvain comme recommandé par le fabricant et ont reçu du sirop de sucre 2 :1, à raison de 32 litres au total pour chaque banque.



Figure 1. Colonie banque résultant de la fusion de deux colonies à deux hausses (gauche) et un cadre contenant 40 reines en cagettes individuelles (20 reines par côté de cadre) installées dans un cadre modifié (droite). Crédit photos : A. Rousseau

Survie, mesures morphométriques et fertilité des reines

La survie des reines en banques a été vérifiée le 19 octobre 2022, soit 50 jours après leur introduction dans les colonies réceptrices. Les banques de reines ont été maintenues à l'extérieur durant cette période. Puis, les banques ont été placées dans une salle à environnement contrôlé, du 20 novembre 2022 au 17 avril 2023. La survie a été de nouveau vérifiée le 17 avril 2023 après une période d'hivernement intérieur de 139 jours.

Les mesures morphométriques (poids et longueur de l'abdomen) ont été mesurées à l'aide d'un vernier (modèle 938882, Mitutoyo SR44) et une balance (modèle KHA 203, Kilotech Inc., Québec, QC, Canada) pour un échantillon de reines avant la création des banques le 30 aout 2022 ($N = 13$ reines par éleveur), et de nouveau après l'hivernement le 17 avril 2023 ($N = 14$ reines par groupe expérimental, $N = 2$ par banque de reines). La fertilité des reines a été évaluée en comptant le nombre de spermatozoïdes et la viabilité des spermatozoïdes dans la spermathèque, comme décrit par Rousseau et al. (2021). Brièvement, les abdomens des reines échantillonnées ont été disséqués pour retirer la spermathèque selon la méthodologie décrite par Collins et Donoghue (1999). Chaque spermathèque a été rompu et homogénéisé dans 1 ml de tampon Kiev modifié (Moritz 1984 ; 0,3 g de glucose D+, 0,41 chlorure de potassium, 0,21 g de bicarbonate de sodium, 2,43 g de citrate de sodium 2 hydraté dans 100 ml d'eau déminéralisée). La dilution du sperme a été colorée avec un kit de viabilité des spermatozoïdes vivants/morts (L-7011 ; Life Technology Inc., Carlsbad, Californie, États-Unis) en utilisant les colorants SYBR-14 et de l'iodure de propidium. La viabilité des spermatozoïdes a été évaluée à l'aide d'un microscope Zeiss Observer Z1 équipé de filtres à fluorescence en notant les spermatozoïdes vivants et morts de 200 cellules sur quatre lames de sperme coloré de 10 μL .

Afin de connaître le nombre de spermatozoïdes présents dans la spermathèque, le tube contenant le contenu de la spermathèque dilué dans 1000 µl de solution de Kiev (facteur de dilution) est utilisé. Chacune des deux chambres de l'hémacytomètre Cell-vu® est remplie avec approximativement 4 µl de la dilution de la spermathèque homogénéisée. Au total, deux lames d'hémacytomètre Cell-vu sont évaluées pour chaque capillaire de sperme pour un total de 4 comptes du nombre de spermatozoïdes par capillaire. Au microscope à contraste de phase, le nombre de spermatozoïdes présents dans les 100 carrés de la chambre de l'hémacytomètre sont comptés à un grossissement de 100x. Par la suite, une moyenne arithmétique des quatre comptes de spermatozoïdes est calculée et celle-ci est convertie en nombre de spermatozoïdes par ml (nb zoïdes/ml = nb moyen de zoïdes/100 carrés*50 000).

Le 4 mai 2023, la fertilité et les mesures morphométriques décrites ci-dessus ont également été évaluées pour 14 reines importées de la Californie, afin de les comparer aux deux groupes de reines banquées.

Santé des reines

Nosémose

Lors de l'évaluation des mesures morphométriques et de la fertilité des reines (17 avril 2023 pour les reines banquées et le 4 mai 2023 pour les reines californiennes), l'intestin de chaque reine est prélevé et déposé dans un mortier afin de broyer les tissus à l'aide d'un pilon puis 500µl d'eau distillée est ajouté et mélangé jusqu'à ce que la solution soit bien homogène. Le macérat est transféré dans un tube puis vortexé. Les spores de nosémose sont alors quantifiées selon la méthode de Fries et al. (2013). Quatre comptes ont été réalisés pour chaque échantillon et la moyenne arithmétique de ces comptes est ensuite utilisée pour obtenir le nombre de spore par reine : nombre de spores/reine = nombre de spores moyen pour cinq carrés x facteur de dilution x 50 000.

Virus

Six virus communs chez 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 reines 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 principales étapes de l'analyse virale sont basées sur les méthodes standard de recherche sur les virus (Plamondon et al. 2024). Les modifications suivantes ont été apportées afin de réaliser les analyses sur les reines : chaque tête de reine a été placée dans un tube 2 ml avec 0.25 ml de billes de céramique de 1,4 mm (P000927-LYSK0-A.0-BER, Bertin Instruments) et 0.6 ml réactif TRIzol (ThermoFisher, Waltham, MA). Les tubes ont ensuite été placés dans le Precellys Evolution équipé de Cryolys Evolution (P000062-PEVO0-A.0 & P000671-CLYS2-A.0, Bertin Instruments) rempli de glace sèche pendant 2 × 20 sec à 6800 rpm avec une température de refroidissement de 4°C. Le mélange a ensuite été incubé pendant cinq minutes à température ambiante. La préparation a ensuite

été centrifugée pendant 10 min à 12 000 g à 4 °C. Quatre cents microlitres du surnageant ont ensuite été transférés dans un tube de 2 ml, auquel 400 µl d'éthanol 100 % ont été ajoutés. L'ARN a ensuite été purifié à l'aide du kit Direct-zol RNA Miniprep (Zymo, Irvine, CA) conformément aux instructions du fabricant. L'extraction et la quantification a ensuite été réalisé de la même façon pour les abeilles ouvrières (Plamondon et al. 2024).

Introduction des reines en nucléi

Le 4 mai 2023, 36 nucléi ont été construits, chacun étant composé d'un cadre de couvain, un cadre de nourriture (sirop et pollen), un cadre vide, environ 1 kg d'abeilles, et un cadre nourrisseur rempli de sirop de saccharose 1 :1. Les nucléi ont ensuite été entreposés dans un caveau à 16°C à l'obscurité pendant 24h, afin de favoriser la rétention des abeilles dans leur nucléi. Le lendemain, les nucléi ont été transportés dans deux ruchers de la région de Portneuf : 24 nucléi au rucher Pagé (46°41'22.2"N 71°42'51.0"W) et 12 au rucher Beaudry (46°40'37.9"N 71°42'00.7"W).

Le même jour, 12 reines d'importation californienne, 12 reines du groupe BFI et 12 reines du groupe BMI ont été sélectionnées et introduites aléatoirement dans les nucléi. La proportion de chacun des trois groupes de reines était la même pour les deux ruchers. Le succès d'introduction des reines a été confirmé par la présence d'une reine pondeuse 10 jours suivant leur introduction (15 mai 2023). La performance initiale des reines a été évaluée en mesurant la surface occupée par le jeune couvain (œufs et larves non operculées) dans les nucléi, et la surface a été convertie en nombre de cellules de couvain (Delaplane et al. 2013).

Suivi de la performance des colonies durant l'été

Un mois après l'introduction des reines (12 juin 2023), plusieurs paramètres de performance ont été évalués dans chaque colonie et sont énumérés ci-dessous. Chaque paramètre a été évalué à nouveau en juillet (10-07-2023) et en août (08-08-2023). Les colonies ont été gérées à une hausse à couvain, et une hausse à miel était rajoutée sur les ruches au besoin.

Population de couvain et d'abeilles

La surface de couvain operculé et non operculé a été mesurée sur chaque cadre de la hausse à couvain. La population d'abeilles de chaque colonie a aussi été dénombrée en estimant visuellement le nombre d'abeilles sur chaque côté de cadre de la ruche, un côté de cadre plein équivalant à 1200 abeilles.

Production de miel

Avant d'être installées sur les ruches, les hausses à miel ont été identifiées et pesées individuellement. À la fin de la saison, les hausses à miel ont été retirées et pesées. La production de miel des colonies a été estimée en calculant le gain de poids des hausses à miel.

Varroa destructor

Chaque mois, un échantillon d'environ 300 abeilles dans un pot de 120ml rempli d'éthanol a été récolté dans chaque colonie afin d'évaluer leur taux d'infestation en varroa. Le nombre de varroa dans l'échantillon a été dénombré par lavage à l'éthanol, tel que décrit par Dietemann et al. (2013). Ce nombre a été multiplié par 100 et divisé par le nombre d'abeilles dans l'échantillon, afin d'obtenir un nombre de varroa par 100 abeilles.

Nosémose

Un échantillon d'environ 100 abeilles a aussi été récolté dans chaque colonie et conservé à -80° C afin d'évaluer l'infestation en spores de nosémose. Les spores de nosémose ont été quantifiées selon la méthode décrite par Fries et al. (2013). Quatre comptes ont été réalisés pour chaque échantillon, et la moyenne arithmétique de ces comptes a été convertie en nombre de spores par abeille (nb de spores/abeille = nb de spores moyen pour 5 carrés X facteur de dilution X 50 000).

Virologie

À partir du même échantillon que pour la nosémose, les mêmes six virus que pour les reines ont été quantifiés : ABPV, BQCV, DWV-A, DWV-B, IAPV et KBV. Les principales étapes de l'analyse virale sont basées sur les méthodes standard de recherche sur les virus comme décrit dans Plamondon et al. 2023.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (R core Teams, 2021, v.4.1.2) et les résultats ont été interprétés avec un seuil de significativité de 0.05.

L'impact du taux d'infestation des banques sur la survie des reines a été évalué à l'aide d'un modèle linéaire mixte généralisé (*lme4 ::glmer*). Les mesures morphométriques, la fertilité des reines ainsi que les paramètres de performance des colonies ont été comparés entre les groupes avec des modèles linéaires mixtes (*nlme ::lme*). Le succès d'introduction des reines a été analysé à l'aide d'un modèle linéaire mixte généralisé (*lme4 ::glmer*) avec une famille binomiale. Les tests de corrélation ont été réalisés avec la fonction *cor.test* en utilisant la méthode de Pearson.

Les effets fixes des modèles étaient le groupe de reines, et lorsqu'applicable, le temps et leur interaction (pour les mesures répétées). Les effets aléatoires incluaient la banque et la provenance des reines, ainsi que les effets emboîtés du rucher et de la colonie (pour les mesures répétées). L'effet des groupes sur chaque variable a été interprété à l'aide de tableaux d'analyse de variance avec la fonction *emmeans ::joint_tests*. Lorsqu'une différence significative était présente, des comparaisons par paires ont été réalisées en utilisant des tests de Tukey ajustés afin de voir où se situait les différences (fonctions *emmeans ::emmeans* et *emmeans ::pairs*).

La normalité des résidus mis à l'échelle des modèles a été validée avec un histogramme, un test de Shapiro-Wilk (*shapiro.test*) et avec les valeurs de skewness et kurtosis (fonctions *moments ::skewness* et *moments ::kurtosis*). L'homoscédasticité a été vérifiée par un graphique des résidus versus les valeurs prédictives. En présence d'hétéroscédisticité, l'argument *weights* a été ajouté afin de modéliser les variances hétérogènes du facteur problématique. Afin de respecter la normalité des résidus, les données de population de couvain et de spores de nosémose ont été transformées à leur carré, et les données de population ont été transformées à leur logarithmique. Pour ces paramètres, les valeurs de p sont celles du modèle avec les données transformées, tandis que les moyennes et leur erreur standard ont été retransformés à leurs valeurs d'origine. Les résultats ont été représentés graphiquement à l'aide de la fonction *ggplot2 ::ggplot*.

Résultats

Survie des reines en banques

Le tableau 1 présente le nombre de reines en banque vivantes et le taux de survie pour chacune des périodes de banquage. Puisque la survie des reines a été mesurée à deux temps différents (19 octobre 2022 et 17 avril 2023), le taux de survie a été calculé pour trois périodes : du 31 août à leur entrée en caveau de 19 octobre 2022 (banquage extérieur), du 19 octobre 2022 jusqu'au 17 avril 2023 (période hivernale) et du 31 août 2022 au 17 avril 2023 (durée totale du banquage). Le taux de survie moyen des reines en banques des deux groupes confondus du 31 aout 2022 au 17 avril 2023 (229 jours), a été de 66%, soit de 370 reines sur 558.

Le taux de survie des reines n'est pas significativement différent entre les deux groupes de banques (banques faiblement infestées – BFI et banques modérément infestées – BMI), pour la période de banquage extérieur ($F = 0.013, p = 0.9104$) et pour la durée totale du banquage ($F = 6.08, p = 0.557$) Pa contre, pour la période hivernale, le taux de survie des reines est significativement affecté par le taux d'infestation de l'automne ($F = 7.55, p = 0.0242$).

Tableau 1. Survie des reines dans des banques faiblement infestées (BFI, $\leq 1\%$ d'infestation) et modérément infestées en varroa (BMI, 2-5% d'infestation) ($N= 7$ banques de 40 reines par groupe), pour trois périodes : de leur installation jusqu'à leur entrée en caveau (31 août - 19 oct.), de leur entrée en caveau jusqu'au printemps (19 oct. - 17 avr.) et pour la durée totale de leur banquage (31 août - 17 avr.).

| Groupe | # Banque | N reines vivantes | | | | Taux de survie moyen (%; $X \pm SD$) | | |
|--------|----------|-------------------|---------|---------|------------------|---------------------------------------|-------------------|--|
| | | 31 août | 19 oct. | 16 avr. | 31 août - 19 oct | 19 oct - 17 avr. | 31 août - 17 avr. | |
| BFI | 68 | 40 | 38 | 33 | | | | |
| | 168 | 40 | 40 | 21 | | | | |
| | 245 | 39 | 36 | 28 | | | | |
| | 378 | 40 | 40 | 34 | 88.5 ± 14.7 | 76.7 ± 17.3 | 68.8 ± 20.4 | |
| | 436 | 40 | 36 | 33 | | | | |
| | 558 | 40 | 23 | 12 | | | | |
| | 562 | 40 | 34 | 31 | | | | |
| BMI | 49 | 40 | 33 | 20 | | | | |
| | 143 | 39 | 38 | 27 | | | | |
| | 264 | 40 | 34 | 31 | | | | |
| | 268 | 40 | 38 | 31 | 90.3 ± 6.0 | 69.4 ± 17.8 | 62.7 ± 17.1 | |
| | 380 | 40 | 37 | 27 | | | | |
| | 432 | 40 | 37 | 27 | | | | |
| | 555 | 40 | 34 | 12 | | | | |

Mesures morphométriques et fertilité des reines au printemps

La figure 1 montre les mesures morphométriques et la fertilité chez les reines au printemps pour les trois groupes de reines : reines dans les banques faiblement infestées en varroa (BFI), reines dans les banques modérément infestées en varroa (BMI) et reines d'importation californienne (Cali).

La taille de l'abdomen des reines est significativement différente entre les groupes ($F=9.959, p=0.0004$). L'abdomen des reines californiennes est significativement plus petit (10.4 ± 0.2 mm : moyenne \pm ES) que celui des reines banquées du groupe BFI (11.6 ± 0.2 mm) et BMI (11.4 ± 0.2 mm). Il n'y a pas de différence pour la taille de l'abdomen entre les reines des deux groupes de banques ($p=0.6929$).

Le poids des reines est significativement différent entre les groupes ($F=5.098, p=0.0112$). Le poids des reines californiennes est significativement plus faible (184 ± 6.8 mg) que celui des reines du groupe BFI (211 ± 5.0 mg) et BMI (207 ± 5.0 mg). Il n'y a pas de différence pour le poids entre les reines des deux groupes de banques ($p=0.7225$).

La viabilité des spermatozoïdes dans la spermathèque des reines est significativement différente entre les groupes ($F=5.582, p=0.0076$). La viabilité des spermatozoïdes des reines californiennes est significativement inférieure (64.3 ± 3 %) à celui des reines du

groupe BFI ($76.5 \pm 3\%$) et BMI ($76.5 \pm 2.9\%$). Il n'y a pas de différence pour la taille de l'abdomen entre les reines des deux groupes ($p=1.0000$).

Le compte spermatique des reines n'est pas significativement différent entre les groupes ($F=2.632$, $p=0.0861$). Le compte est de 5.8 ± 1.8 millions en moyenne pour les reines californiennes, 4.4 ± 0.9 millions pour les reines du groupe BFI et 5.3 ± 0.9 millions pour les reines du groupe BMI.

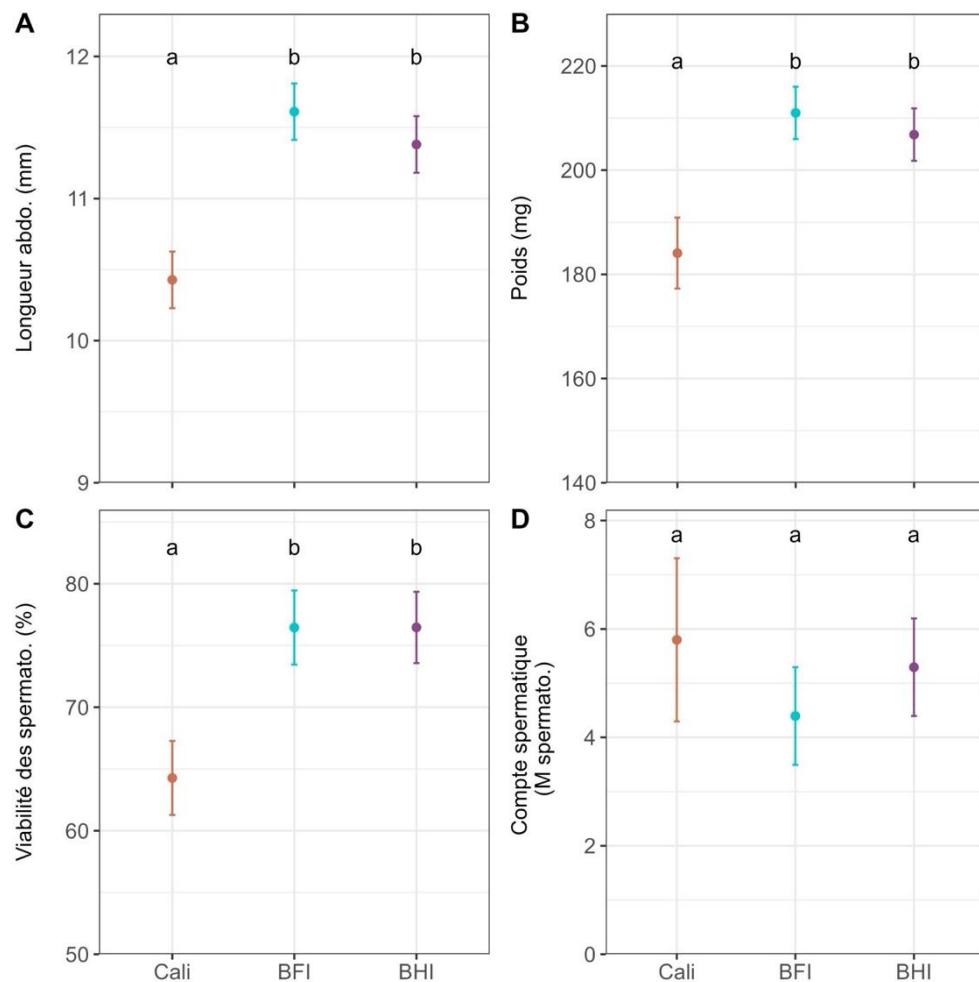


Figure 1. Longueur abdominale (mm) (A), poids (mg) (B), viabilité des spermatozoïdes (%) (C) et compte spermatique (M spermatozoïdes) (D) (moyenne \pm SE) des reines californiennes, des reines du groupe BFI ($\leq 1\%$ d'infestation) et des reines du groupe BMI ($2-5\%$ d'infestation), mesurés à la fin avril 2023. L'échelle de l'axe des y des graphiques A, B et C ne commence pas à zéro afin de bien voir les valeurs et les erreurs standards. Des lettres différentes au-dessus des valeurs indiquent une différence statistique entre les groupes ($p < 0.05$).

Pathogènes chez les reines

Nosémose

Des spores de nosémose ont été détectées chez cinq reines évaluées au printemps : deux reines californiennes (12,3 et 6,6 millions de spores/abeille), deux reines du groupe BFI (25 000 spores/abeille chacune) et une reine du groupe BMI (25 000 spores/abeille).

Virologie

Des six virus testés (ABPV, BQCV, DWV-A, DWV-B, IAPV, KBV) seuls les virus BQCV, DWV-A et DWV-B ont été décelés chez les reines d'importation californienne (Figure 2). Les reines ayant été banquées ne présentaient aucune charge virale détectable.

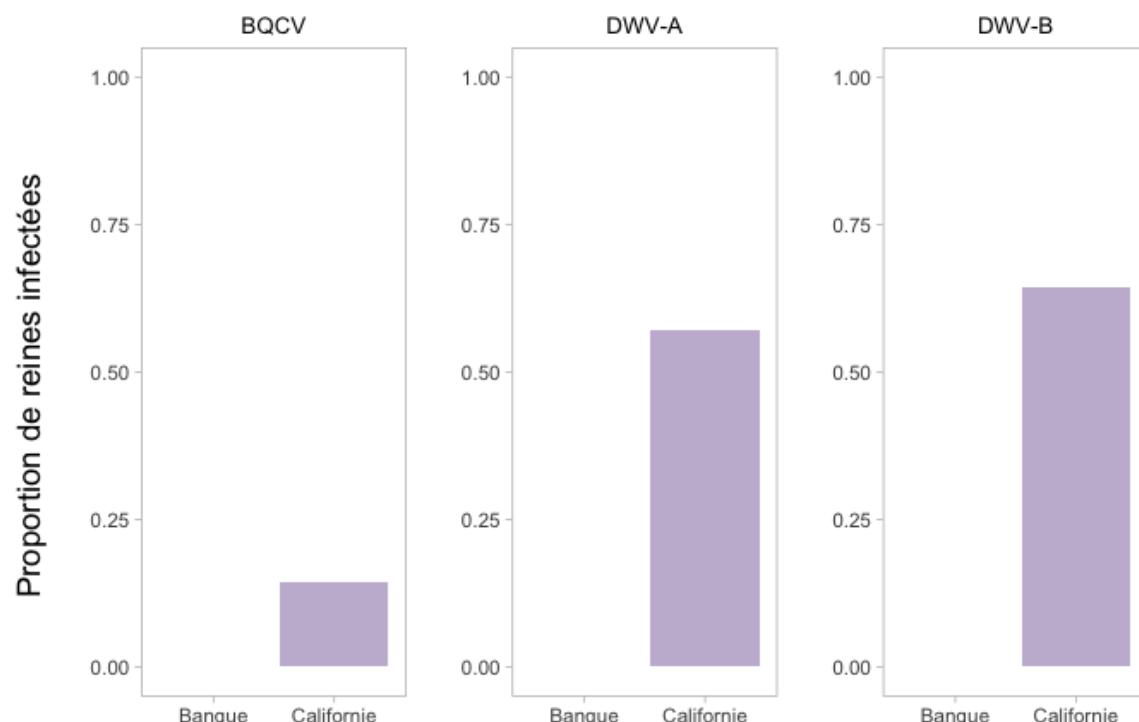


Figure 2. Proportion des reines infectées par les virus BQCV, DWV-A et DWV-B chez les reines provenant des banques et les reines provenant de Californie

Succès d'introduction et ponte des reines en nucléi

Au printemps, le succès d'introduction en nucléi des reines provenant des trois groupes expérimentaux a été de 94,4%. Seulement deux reines n'ont pas été acceptées, soit une reine californienne et une reine du groupe BMI. Aucune différence significative du succès d'introduction entre les groupes n'a été décelée ($F = 0.262$, $p=0.7692$).

Dix jours après leur introduction en nucléi, la ponte des reines était significativement différente entre les groupes ($F=6.998$, $p =0.0032$). Les colonies du groupe de reines californiennes avaient plus de couvain non operculé (moyenne de 3256 ± 241 cellules) que les reines du groupe BFI et BMI (2019 ± 306 et 1998 ± 257 respectivement).

Suivi de la performance des colonies

La Figure 3 présente la quantité de couvain évaluée en juin, juillet et août dans les colonies avec reines californiennes, reines du groupe BFI et reines du groupe BMI. Aucune différence significative n'a été détectée entre les trois groupes pour la production de couvain ($F = 0.728$, $p=0.4926$). L'effet du temps était toutefois significatif ($F=6.045$, $p=0.005$). Les colonies des trois groupes confondus avaient $24\,086 \pm 1499$ cellules de couvain en juin, $28\,630 \pm 1293$ cellules de couvain en juillet, et $28\,444 \pm 1635$ cellules de couvain en août.

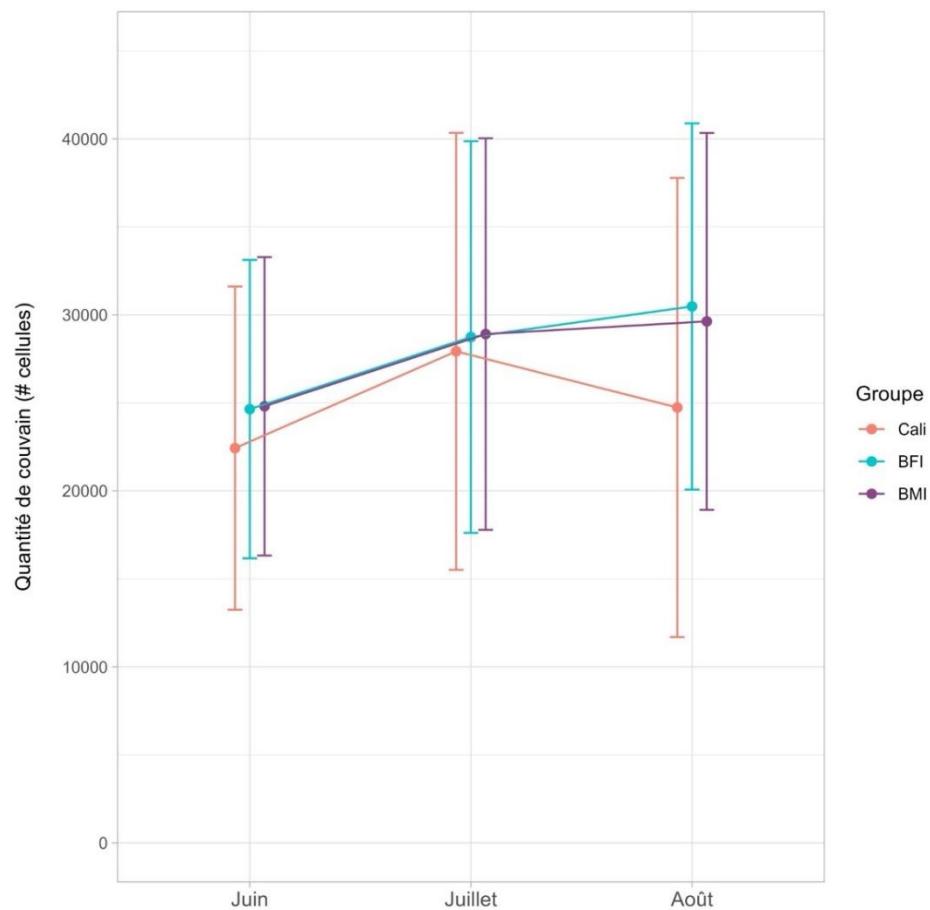


Figure 3. Quantité de couvain moyenne (nombre de cellules de couvain, moyenne \pm SE) en juin, en juillet et en août, des colonies où des reines californiennes, des reines du groupe BFI ($\leq 1\%$ d'infestation en varroa) et des reines du groupe BMI (2-5% d'infestation en varroa) ont été introduites au printemps 2023. Les mesures ont été prises une fois par mois.

Production de miel

La production de miel des colonies est significativement plus faible pour le groupe de nucléi avec les reines californiennes comparativement aux deux groupes de reines provenant des banques faiblement et modérément infestées par le varroa ($F=11.770$, $p=0.0008$). La production moyenne de miel pour la saison apicole 2023 est de 2.6 ± 1.27 kg pour les reines californiennes, 12.6 ± 2.5 kg pour les reines des banques faiblement infestées en varroa et 11.7 ± 1.82 kg pour les reines des banques modérément infestées en varroa.

Santé des colonies

Nosémose

Aucune différence significative n'a été détectée pour la nosémose entre les groupes de mai à août 2023 ($F=0.314$, $p=0.7333$). Toutefois, l'effet du temps était significatif ($F=8.685$, $p=0.0007$). La quantité de spores de nosémose par abeille varie d'environ 2.8 M de spores en juin à 1.1 M de spores en juillet et à 12.7 M de spores en août. La quantité de spores/abeille était significativement corrélée négativement avec force des colonies ($r= -0.28$, $p = 0.0126$).

Varroa destructor

Des varroas ont été dénombrés dans seulement quatre colonies. Au mois de juin, deux colonies du groupe de reines californiennes avaient un taux d'infestation de 0.5 et de 0.4 %. Au mois de juillet, une colonie du groupe BFI et une colonie du groupe BMI ont obtenu un taux d'infestation respectif de 1.3 et 0.4%.

Virologie

Aucune différence significative n'a été décelée pour la proportion des abeilles infectées par les différents virus entre les groupes expérimentaux. Seul un effet du temps a été détecté pour la prévalence des virus de mai à août 2023 dans les nucléi. Les virus IAPV et KBV n'ont pas été détectés.

Discussion

Dans ce projet, nous avons testé l'impact du taux d'infestation en varroa dans les banques sur la survie, la qualité et la performance en colonie des reines. Nous avons également comparé la qualité et la performance de ces reines à la suite de leur hivernement à celle de reines d'importation californiennes, auxquelles les apiculteurs ont souvent recours afin de rebâtir de nouvelles colonies au printemps. Nos résultats montrent que le taux d'infestation en varroa des banques a eu un impact sur la survie des reines durant l'hiver mais que la qualité et la performance en colonie des reines n'a pas été affectée par la différence d'infestation. Les reines hivernées en banque ont montré des performances supérieures à celles des reines d'importation californienne. Les reines hivernées en banque sont

également plus lourdes et de plus grande taille, ont une fertilité supérieure et ont produit plus de miel. Cependant, il importe de noter que les reines importées ont produit plus de couvain dans les premiers 10 jours suivant leur introduction en colonie.

Survie des reines en banques

Le taux de survie moyen des reines dans les banques pour la période extérieure de 89% et est similaire aux résultats obtenus pour des banques doubles contenant 40 reines dans les précédents projets au CRSAD, soit 85-95% de survie des reines pour cette même période (Rousseau et Giovenazzo 2021; Levesque et al. 2022). Pour la période de banquage intérieur des reines, le taux de survie moyen obtenu dans le cadre de ce projet est de 73%, ce qui se rapproche du taux moyen de survie obtenus dans les précédentes études utilisant la même technique et les mêmes conditions de température et humidité relative.

Un des buts de ce projet était d'évaluer l'impact du parasitisme par *Varroa destructor* sur le succès d'hivernement des reines en banques. Un impact négatif de l'augmentation du taux d'infestation en varroa à l'automne avec un taux de survie de 7% inférieur pour la période d'hivernement intérieur pour les reines du groupe modérément infesté. Dans les climats tempérés comme celui du Québec, la population de varroas augmente en même temps que la population d'abeilles mellifères dans la colonie et atteint un pic en août lorsque la reine réduit sa ponte. Ces derniers cycles de couvain deviendront les abeilles d'hiver qui assureront la survie de la colonie jusqu'au printemps suivant (Döke et al. 2015). Durant l'hiver, une infection des colonies par le varroa peut significativement diminuer la taille des populations au printemps (Guzman-Novoa et al. 2010; Martin 2001). Puisque la taille de la population dans les banques est un des facteurs déterminants dans la survie des reines durant l'hiver (Wyborn et al. 1993), il se peut que la différence de survie soit liée à une population d'abeilles plus faible dans le groupe modérément infesté par le varroa. Il aurait été intéressant d'évaluer la population d'abeilles dans les deux groupes de banques au printemps afin de déterminer si la différence d'infestation en varroa a pu causer une diminution de la population pouvant expliquer la différence de survie des reines.

Mesures morphométriques et fertilité des reines au printemps

La différence d'infestation entre les deux groupes de banques n'a pas affecté la qualité des reines survivantes puisqu'elles ont un poids, une longueur d'abdomen, une viabilité spermatique et un compte spermatique moyens qui sont similaires. Étonnamment, les reines banquées durant plus de sept mois sont significativement plus lourdes et possèdent un plus gros abdomen que les reines d'importation californienne. L'échantillon de reines californiennes évaluées représente évidemment un faible échantillon des reines importées, mais la comparaison est tout de même intéressante. Dans une étude précédente, il a été démontré que les reines banquées durant plus de sept mois étaient plus légères, avec un abdomen plus court et des ovaires plus petits que des reines témoins hivernées libres en colonies (Levesque et al. 2022). Ce résultat s'explique par le confinement des reines et l'absence de ponte qui ont comme effets de temporairement réduire la taille et le poids des reines (Cobey, 2007; Al-Fattah et al. 2016; Szabo, 1975). Les reines californiennes ont bien

été confinées à une cagette lors du transport de la Californie au Québec, mais ce confinement n'a pas dépassé plus de sept jours. Il est donc surprenant que les reines californiennes, qui sont des jeunes reines nouvellement fécondées, aient des mesures morphométriques inférieures aux reines banquées, qui sont généralement plus petites que des reines hivernées libres dans leur colonie. La taille et le poids réduits des reines importées pourraient être causés par différents facteurs, tels que leur génétique, le nombre de mâles avec lesquels elles se sont reproduites, les conditions d'élevage de la colonie, ainsi que l'âge de la larve sélectionnée pour le greffage de reines (Hoopingarner et Farrar 1959, Gençer et al. 2000, Masry et al. 2015). La taille et le poids des reines sont souvent corrélés au poids de leurs ovaires, la taille et le nombre d'ovarioles, le diamètre de la spermathèque ainsi que le nombre de spermatozoïdes entreposés, et sont donc de bons indicateurs de la qualité reproductive d'une reine (Delaney et al. 2011, Collins et Pettis 2013, Tarpy et al. 2011). Une reine de bonne qualité est cruciale pour la croissance, la productivité, la santé ainsi que la survie d'une colonie d'abeilles (Tarpy et al. 2000, Rangel et al. 2013, Nelson et Gary 1983, Tarpy 2003).

Un autre résultat intéressant est la différence de viabilité des spermatozoïdes entre les reines californiennes et les reines banquées. Les reines californiennes ont un pourcentage de viabilité moyen de 12.2% inférieur aux reines banquées. Ces résultats pourraient être expliqués par les températures fluctuantes durant le transport des reines, pouvant aller de 8 à 40°C (Pettis et al. 2016). Ces variations de températures peuvent engendrer un grand stress thermique chez les reines importées, et sont connues pour diminuer drastiquement leur fertilité (Rousseau et al. 2020, McAfee et al. 2021, Pettis et al. 2016).

De plus, la présence de virus de l'abeille (BQCV, DWVA et DWVB) a seulement été détectée chez les reines californiennes. Ces virus peuvent être transmis aux reines de plusieurs façons, telles que la nourriture reçue lors de leur développement, les mâles avec lesquelles elles se reproduisent, les ouvrières de la colonie dans laquelle elles sont nées, ou encore par la reine qui a pondu leur œuf (Amiri et al. 2020, de Miranda et Fries 2008, Chen et al. 2006). Le confinement en cagettes avec des ouvrières aurait aussi pu faciliter la transmission de virus, si ces ouvrières étaient infectées (Amiri et al. 2014). Une haute concentration en virus peut avoir différents impacts sur le potentiel reproductif d'une reine, et peut se propager verticalement dans sa progéniture (Amiri et al. 2017, de Miranda et Fries 2008, Chen et al. 2006). Cela peut donc avoir de grands impacts sur la performance et la santé d'une colonie (Amiri et al. 2017, Gauthier et al. 2011). Bien qu'il y ait beaucoup de recherche à l'échelle mondiale sur le varroa et les virus qu'il transmet, très peu d'information est disponible concernant l'impact de ces virus sur le comportement, la physiologie et la longévité de la reine (Amiri et al. 2020). Une hypothèse déjà soulevé est que la reine serait moins affectée par les pathogènes grâce à l'immunité sociale des membres de la colonie (Amiri et al. 2017; Ruepell et al. 2016). En effet, même si la reine est susceptible aux mêmes maladies que les abeilles ouvrières, elle reçoit des soins continus de la part des jeunes abeilles, ce qui peut lui conférer une barrière aux infections (Amiri et al. 2014; Kulincevic, et Rothenbuhler 1989).

Les différences que nous avons mesurées entre les reines d'importation californiennes et les reines hivernées en banques sont intéressantes, même si elles ne signifient pas que les

reines importées sont toutes de moins bonne qualité ou en moins bonne santé. Ces résultats soulignent tout de même une partie des risques associés aux importations de reines.

Introduction des reines et ponte en nucléi

Le taux de succès d'introduction des reines n'était pas différent entre les trois groupes. En effet, seulement une reine californienne et une reine du groupe BMI n'ont pas été acceptées parmi les 36 reines introduites en nucléi. Ceci équivaut à un taux d'acceptation global de 94.4 %, ce qui est un très bon taux d'acceptation. Ces résultats concordent avec ceux obtenus lors de précédents travaux de recherche au CRSAD, où nous avons également comparé le taux d'acceptation en nucléi de reines banquées à celle de des reines hivernées libres dans leur colonie respective (Levesque et al. 2022, L'Écuyer 2021). Dans ces travaux, l'hivernage des reines en banques n'a pas eu d'influence sur leur acceptation en colonie. D'autres études montrent également que le banquage de reines n'a pas d'impact négatif sur leur acceptation en colonie (Poole et al. 1973, Levinsohn et Lensky 1981, Gençer 2003).

Puisque les reines californiennes évaluées au printemps avaient des mesures morphométriques inférieures aux reines banquées, il aurait été possible qu'elles aient un taux d'acceptation plus faible. Plusieurs travaux établissent un lien entre le poids plus léger d'une reine et un moins bon succès d'introduction en colonie (Akyol et al. 2008, Nelson et Gary 1983, Mattila et al. 2001, Masry et al. 2015). Dans notre projet, les reines californiennes ont toutefois eu un taux d'acceptation similaire aux reines banquées, malgré leur taille et leur poids réduits.

La performance initiale des reines était différente entre les groupes. Effectivement, 10 jours après leur introduction en nucléi, les reines californiennes avaient produit significativement plus de couvain (œufs et larves) que les reines banquées, soit environ 1200 cellules de couvain de plus. Ce résultat était attendu puisque les reines californiennes sont de jeunes reines nouvellement fécondées, et ont probablement commencé à pondre directement après avoir été libérées de leur cagette par les ouvrières de leur colonie. Quant aux reines banquées, elles ont été confinées pendant huit mois dans leur cagette et ne pouvait pas pondre dans leur colonie. Tel que mentionné plus haut, lorsque la reine cesse de pondre pendant une longue période, la taille de ses ovaires diminue en raison de leur inactivité (Cobey 2007, Sharaf 2016, Shehata et al. 1981). Les reines banquées ont donc mis plus de temps avant de pondre que les reines californiennes, ce qui explique une quantité de couvain plus faible chez les deux groupes de reines banquées après 10 jours en colonie. Un résultat similaire avait été obtenu dans un autre projet réalisé au CRSAD (Levesque et al. 2022), où la ponte des reines hivernées libres dans leur colonie était supérieure à celle des reines banquées 12 jours après leur introduction en nucléi.

Performance des reines durant l'été

Population de couvain et d'abeilles

Dans notre étude, la population de couvain et d'abeilles dans les colonies n'étaient pas différentes entre les trois groupes expérimentaux. La plupart des études vont dans le même sens et montrent que le confinement à long terme des reines n'affecte pas leur performance en colonie (Wyborn et al. 1993, Gençer 2003). Par exemple, Gençer (2003) a évalué la performance de reines hivernées en banques et de reines hivernées normalement, et n'a décelé aucune différence dans la population de couvain et d'abeilles des colonies pendant les trois mois suivant l'introduction des reines. Wyborn et ses collaborateurs (1993) n'ont également observé aucune différence de performance entre des reines banquées et des reines témoins, et ce durant deux années consécutives. Ces résultats appuient également notre hypothèse que 10 jours après leur introduction en colonie, la surface de ponte inférieure chez les deux groupes de reines banquées était probablement causée par un délai plus long avant de pondre dans leur colonie.

Comme pour l'acceptation des reines, plusieurs études suggèrent que le poids des reines et leur fertilité ont un effet important sur la performance des colonies, entre autres sur la population de couvain et d'abeilles (Akyol et al. 2008, Nelson et Gary 1983). Dans notre étude, les reines californiennes, bien que plus petites, plus légères et présentant une viabilité de spermatozoïdes inférieure aux reines banquées, ont produit une population de couvain et d'abeilles équivalente aux reines banquées durant toute la saison apicole. Nous pouvons tout de même observer une population de couvain du groupe de reines californiennes légèrement inférieure aux deux autres groupes lors de la dernière évaluation du mois d'août, même si cette différence n'est pas significative. En effet, les colonies avec des reines banquées obtiennent environ 5000 cellules de couvain de plus que les reines californiennes, soit l'équivalent d'un cadre de couvain. Il serait donc intéressant d'étudier davantage la performance en colonie de reines importées et de reines banquées, avec par exemple une taille d'échantillonnage plus grande et pour une durée plus longue, afin d'obtenir plus de précision sur la performance à long terme des deux groupes de reines.

Production de miel

La production de miel des deux groupes de reines banquées était significativement supérieure à celle du groupe de reines californiennes. Les deux groupes de reines banquées ont produit environ cinq fois plus de miel que le groupe de reines californiennes. Cette différence pourrait être due à la différence dans la qualité des reines californiennes et des reines banquées, les reines californiennes étant significativement plus petites et plus légères que les deux groupes de reines banquées lors des évaluations effectuées au printemps. Plusieurs études ont en effet établi des corrélations entre plusieurs paramètres de la qualité d'une reine et la productivité de sa colonie (Nelson et Gary 1983, Rangel et al. 2003). Notamment, Nelson et Gary (1983) ont montré que les colonies ayant des reines plus lourdes produisent généralement plus de miel. La différence de productivité entre les reines importées et les reines banquées pourrait également s'expliquer par une meilleure adaptation des reines locales à l'environnement par rapport aux reines importées. En effet,

les reines locales survivent généralement mieux, produisent davantage et sont davantage résilientes face aux changements de l'environnement que les reines importées (Holmes et al. 2023; Büchler et al. 2014; Burnham et al. 2019).

Il est important de noter que la production de miel des ruches dans notre étude est largement inférieure à la moyenne québécoise, qui se trouve à environ 30 kg de miel par ruche (Statistique Québec, 2024). Dans notre projet, les hausses à miel installées sur les colonies étaient des hausses non bâties, c'est-à-dire où les cadres sont neufs et où les alvéoles de cire n'ont pas encore été construites. Les abeilles des colonies devaient donc bâtir les alvéoles avant d'y entreposer du miel. Il serait donc pertinent d'évaluer la performance en colonie des reines banquées et importées en utilisant plutôt des hausses dont les cadres sont déjà bâties, afin de pouvoir comparer leur production de miel à la moyenne provinciale.

Santé des colonies

L'infestation en spores de nosémose était équivalente entre les trois groupes, et ce pour toute la durée de la saison apicole. Le taux d'infestation en varroa des colonies était très faible durant toute la saison apicole, et semblait similaire entre les trois groupes. Les résultats des analyses virales suivent les résultats du varroa avec aucune différence entre les trois groupes pour la proportion des nucléi présentant des charges virales. Aucune différence n'a donc été observée pour les pathogènes des colonies entre le groupe de reines californiennes et les deux groupes de reines banquées. La santé d'une colonie dépend de plusieurs facteurs, dont la qualité de sa reine, c'est-à-dire son potentiel reproductif qualitatif et quantitatif. En effet, les reines ayant un potentiel reproductif élevé ont un patron de ponte dense et uniforme, et génère plus de couvain. Une colonie forte et populeuse aura plus de facilité à combattre les différentes maladies et parasites de l'abeille, comme la nosémose et le varroa (Rangel et al. 2013, Akyol et al 2008, Simeunovic et al. 2014). C'est d'ailleurs ce que l'on a observé pour l'infestation en nosémose, puisque la quantité de spores par abeille était inversement corrélée à la population d'abeilles de la colonie. Dans notre projet, même si la qualité des reines évaluées au printemps était supérieure pour les reines banquées, les trois groupes de reines ont montré une population de couvain et d'abeilles équivalentes. Ceci pourrait donc expliquer le fait qu'il n'y ait pas eu de différence dans la santé des colonies des trois groupes de reines.

Impact du taux d'infestation en varroa des banques sur la performance des reines en colonie

Pour tous les paramètres de performance mesurés, soit la population de couvain et d'abeilles, la production de miel ainsi que la santé des colonies, aucune différence n'a été observée entre les deux groupes de reines banquées BFI et BMI. Ceci suggère donc que le taux d'infestation en varroa dans les banques n'a pas d'impact sur la performance des reines en colonie. Les reines survivantes dans les banques des deux groupes sont donc de qualité similaire, et performent de manière similaire en colonie.

Limites de l'étude

Il est pertinent de mentionner que pour tous les résultats sur la performance des colonies, soit la population de couvain et d'abeilles, la production de miel ainsi que les pathogènes des colonies, les marges d'erreur sont grandes et augmentent au fil de l'été. En effet, plusieurs colonies du projet ont essaimé ou remplacé leur reine. La taille d'échantillonnage à la fin de la saison apicole était donc plus faible que celle au début de la saison, ce qui réduit la puissance de nos analyses statistiques. Il serait donc intéressant de comparer la performance de reines importées à celle de reines banquées avec un nombre de colonies plus élevé, et voir si d'autres différences significatives apparaissent.

Il aurait aussi été intéressant de récolter les reines à la fin du mois d'août afin d'évaluer leur qualité. De cette façon, il aurait été possible de comparer les mesures morphométriques et la fertilité des trois groupes de reines introduites en colonie et de voir si les mêmes différences observées au printemps sont toujours présentes à la fin de la saison apicole. Nous aurions ainsi pu préciser l'interaction entre la qualité des reines et leur performance en colonie. Effectivement, plusieurs de nos résultats sur la performance des colonies peuvent être expliqués par la différence de qualité entre les groupes de reines. Cependant, nous ne pouvons pas être certains que les reines introduites avaient une qualité équivalente aux reines évaluées au printemps. Évaluer les reines introduites en colonie à la fin de la saison apicole nous aurait donc permis de confirmer nos hypothèses sur la qualité des reines.

Conclusion

Cette étude confirme le potentiel des banques de reines pour l'industrie apicole canadienne. Les reines banquées ont une qualité reproductive, une santé, ainsi qu'une production de miel supérieures aux reines qui ont été importées. Selon nos résultats, il serait avantageux pour les apiculteurs d'utiliser des reines hivernées en banque plutôt que des reines importées afin d'introduire dans leurs nouvelles colonies au printemps. En entreposant des reines en banque pendant l'hiver, les apiculteurs pourraient contribuer à réduire les risques associés aux importations d'abeilles, tout en favorisant l'auto-suffisance de l'industrie apicole locale, de même que le développement d'une génétique d'abeilles canadiennes adaptées aux conditions du pays.

Les résultats de l'étude montrent que le contrôle du varroa à l'automne est un autre élément clé pour la réussite de la technique d'hivernement des reines en banques puisqu'il permet d'améliorer la survie des reines durant l'hiver. Plusieurs autres paramètres de la méthode de banquage de reines restent encore à déterminer, tels que le nombre optimal de reines à entreposer, leur disposition dans une banque, et le moment approprié pour rentrer une banque en caveau.

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 éleveurs de reines Anicet Desrochers et Maggie Lamothe-Boudreau pour leur participation au projet ainsi qu’à l’équipe apicole du CRSAD sans qui ce projet n’aurait pas été possible.

Références

- Abd Al-Fattah, M., E-D.H. Sharaf, and Y. Ibrahim. 2016. Factor affecting the quality of mated honey bee queens stored for different periods in queen-right bank colonies. Effect of cage level and position on holding frame. *Journal of Apicultural Research* 55: 284-291.
- Abd Al-Fattah, M., Y.Y. Ibrahim, and H.A. Sharaf El-Din. 2016. Effect of queens density, cage level, and position of honeybee mated queens stored for different periods in queen-right bank colonies on their supersedure rate. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology* 9(1): 109-119.
- Akyol, E., H. Yeninar, A. Korkmaz, and İ. Çakmak. 2008. An observational study on the effects of queen age on some characteristics of honey bee colonies. *Italian Journal of Animal Science* 7: 19-25.
- Akyol, E., H. Yeninar, O., and Kaftanoglu. 2008. Live weight of queen honey bees (*Apis mellifera* L.) predicts reproductive characteristics. *Journal of the Kansas Entomological Society* 81: 92-100.
- Alaux, C., F. Allier, A. Decourtye, J.F. Odoux, T. Tamic, M. Chabirand, ... and M. Henry. 2017. A ‘landscape physiology’ approach for assessing bee health highlights the benefits of floral landscape enrichment and semi-natural habitats. *Scientific Reports* 7(1): 40568.
- Amiri, E., M.K. Strand, D.R. Tarpy, and O. Rueppell. 2020. Honey bee queens and virus infections. *Viruses* 12(3): 322.
- Amiri, E., M.K. Strand, O. Rueppell, and D.R. Tarpy. 2017. Queen quality and the impact of honey bee diseases on queen health: potential for interactions between two major threats to colony health. *Insects* 8: 48.
- Büchler, R., Costa, C., Hatjina, F., Andonov, S., Meixner, M.D., Conte, Y.L., Uzunov, A., Berg, S., Bienkowska, M., Bouga, M. and Drazic, M., 2014. The influence of genetic origin and its interaction with environmental effects on the survival of *Apis mellifera* L. colonies in Europe. *Journal of Apicultural Research*, 53(2), pp.205-214.
- Burnham, A. J., McLaughlin, F., Burnham, P. A., & Lehman, H. K. (2019). Local honey bees (*Apis mellifera*) have lower pathogen loads and higher productivity compared to non-local transplanted bees in North America. *Journal of Apicultural Research*, 58(5), 694-701.
- Chen, Y., J.S. Pettis, A. Collins, and M.F. Feldlaufer. 2006. Prevalence and transmission of honeybee viruses. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 606-611.
- Cobey, S.W. 2007. Comparison studies of instrumentally inseminated and naturally mated honey bee queens and factors affecting their performance. *Apidologie* 38(4): 390-410.

Collins, A.M., and J.S. Pettis. 2013. Correlation of queen size and spermathecal contents and effects of miticide exposure during development. *Apidologie* 44: 351-356.

de Miranda, J.R., and I. Fries. 2008. Venereal and vertical transmission of deformed wing virus in honeybees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Invertebrate Pathology* 98: 184-189.

de Miranda, J.R., L. Bailey, B.V. Ball, P. Blanchard, G.E. Budge, N. Chejanovsky, Y.-P. Chen, L. Gauthier, E. Genersch, D.C. de Graaf, et al. 2013. Standard methods for virus research in *Apis mellifera*. *Journal of Apicultural Research* 52(4): 1-56.

Delaney, D.A., J.J. Keller, J.R. Caren, and D.R. Tarpy. 2011. The physical, insemination, and reproductive quality of honey bee queens (*Apis mellifera* L.). *Apidologie* 42: 1-13.

Delaplane, K., J. Van der Steen, and E. Guzman. 2013. Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. *Journal of Apicultural Research* 52: 1-12.

Dietemann, V., F. Nazzi, S.J. Martin, D.L. Anderson, B. Locke, K.S. Delaplane, ... and J.D. Ellis. 2013. Standard methods for Varroa research. *Journal of Apicultural Research* 52(1): 1-54.

Döke, M.A., C.M. McGrady, M. Otieno, C.M. Grozinger, and M. Frazier. 2019. Colony size, rather than geographic origin of stocks, predicts overwintering success in honey bees (Hymenoptera: Apidae) in the Northeastern United States. *Journal of Economic Entomology* 112(2): 525-533.

Edwards, J.F., and H.K. Poole. 1971. Simplified method for storing honey-bee queens. *American Bee Journal* 111: 270.

FRIES, I., M.-P. Chauzat, Y.-P. Chen, V. Doublet, E. Genersch, S. Gisder, M. Higes, D.P. McMahon, R.J. Paxton, G. Tanner, T.C. Webster, and G.R. Williams. 2013. Standard methods for Nosema research. In: The COLOSS BEEBOOK: Volume II: Standard methods for *Apis mellifera* pest and pathogen research, V. Dietemann, J.D. Ellis, and P. Neumann, eds. *Journal of Apicultural Research* 52(1): 1-14.

Gauthier, L., M. Ravallec, M. Tournaire, F. Cousserans, M. Bergoin, B. Dainat, and J.R. de Miranda. 2011. Viruses associated with ovarian degeneration in *Apis mellifera* L. queens. *PLoS ONE* 6: e16217.

Gençer, H.V. 2003. Overwintering of honeybee queens en masse in reservoir colonies in a temperate climate and its effect on queen performance. *Journal of Apicultural Research* 42: 61-64.

Gençer, H.V., S.Q. Shah, and Ç. Firatlı. 2000. Effects of supplemental feeding of queen rearing colonies and larval age on the acceptance of grafted larvae and queen traits. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3: 1319-1322.

Giovenazzo, P. 1992. Stockage et hivernage des reines d'abeilles (*Apis mellifera*). L'Abeille 13: 1-5.

Griffin, L.A.M. 1966. Advances made with queen banks in South Island. New Zealand Journal of Agriculture 113: 41.

Harp, E.R. 1967. Storage of queen bees. American Bee Journal 107: 250-251.

Holmes, L. A., L. P. Ovinge, J. D. Kearns, A. Ibrahim, P. Wolf Veiga, M. M. Guarna, S. F. Pernal, and S. E. Hoover. 2023. Queen quality, performance, and winter survival of imported and domestic honey bee queen stocks. Scientific Reports 13 (1): 17273.

Hoopingarner, R., and C.L. Farrar. 1959. Genetic control of size in queen honey bees. Journal of Economic Entomology 52(4): 547-548.

Kulinčević, J.M., and W.C. Rothenbuhler. 1989. The effects of artificial infection with Chronic bee paralysis virus on queens from strains of honeybee resistant or susceptible to Hairless-black syndrome. Journal of Apicultural Research 28(2): 79-80.

L'Écuyer, P. 2021. Étude de la performance des reines d'abeilles mellifères à la suite de leur hibernation en banque. Résultats non publiés d'un projet réalisé au CRSAD.

Le Conte, Y., M. Ellis, and W. Ritter. 2010. Varroa mites and honey bee health: can Varroa explain part of the colony losses? Apidologie 41(3): 353-363.

Levesque, M., A. Rousseau, and P. Giovenazzo. 2022. Impacts of indoor mass storage of two densities of honey bee queens (*Apis mellifera*) during winter on queen survival, reproductive quality and colony performance. Journal of Apicultural Research 62(2): 274-286.

Levinsohn, M., and Y. Lensky. 1981. Long-term storage of queen honeybees in reservoir colonies. Journal of Apicultural Research 20: 226-233.

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].

Martin, S. 2001. The role of Varroa and viral pathogens in the collapse of honey bee colonies. Journal of Applied Ecology 53: 105-112.

Masry, S.H., T.E. Abd El-Wahab, and N.M. Hassona. 2015. Origin, weight at emergence of virgin honey bee queens and its effect on acceptance during introduction. Academic Journal of Entomology 8(4): 174-182.

Mattila, H., J. Harris, and G. Otis. 2001. Timing of production of winter bees in honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Insectes Sociaux* 48: 88-93.

Mattila, H.R., and G.W. Otis. 2007. Dwindling pollen resources trigger the transition to broodless populations of long-lived honeybees each autumn. *Ecological Entomology* 32(5): 496-505.

McAfee, A., D.R. Tarpy, and L.J. Foster. 2021. Queen honey bees exhibit variable resilience to temperature stress. *PLOS ONE* 16(8): e0255381.

Nelson, D.L., and N.E. Gary. 1983. Honey productivity of honeybee colonies in relation to body weight, attractiveness and fecundity of the queen. *Journal of Apicultural Research* 22: 209-213.

Ohmolt, S.W. 1987. Thermoregulation in the winter cluster of the honeybee, *Apis mellifera*. *Journal of Theoretical Biology* 128(2): 219-231.

Page Jr, R.E., and C.Y.S. Peng. 2001. Aging and development in social insects with emphasis on the honey bee, *Apis mellifera* L. *Experimental Gerontology* 36(4-6): 695-711.

Pettis, J.S., N. Rice, K. Joselow, D. vanEngelsdorp, and V. Chaimanee. 2016. Colony failure linked to low sperm viability in honey bee (*Apis mellifera*) queens and an exploration of potential causative factors. *PLOS ONE* 11(2): e0147220.

Plamondon, L., M. Paillard, C. Julien, P. Dubreuil, and P. Giovenazzo. 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.

Poole, H.K., J.F. Edwards, S. Taber, and J.P. Mills. 1973. Storage of honeybee queens in the laboratory: an appraisal. *The American Bee Journal* 113: 376-378.

Prabucki, J., J. Samborski, and B. Chuda-Mickiewicz. 2003. Experiment on storing bee queens over the winter outside the hive. *Journal of Apicultural Sciences* 47: 39-46.

R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing.

Rangel, J., J.J. Keller, and D.R. Tarpy. 2013. The effects of honey bee (*Apis mellifera* L.) queen reproductive potential on colony growth. *Insectes Sociaux* 60: 65-73.

Reid, M. 1975. Storage of queen honeybees. *Bee World* 56: 21-31.

Rousseau, A., and P. Giovenazzo. 2021. Successful indoor mass storage of honeybee queens (*Apis mellifera*) during winter. *Agriculture* 11: 402.

Rousseau, A., É. Houle, and P. Giovenazzo. 2020. Effect of shipping boxes, attendant bees, and temperature on honeybee queen sperm quality (*Apis mellifera*). *Apidologie* 51: 724-735.

Rueppell, O., D. Aumer, and R.F.A. Moritz. 2016. Ties between aging plasticity and reproductive physiology in honey bees (*Apis mellifera*) reveal a positive relation between fecundity and longevity as consequence of advanced social evolution. *Current Opinion in Insect Science* 16: 64-68.

Seeley, T.D., and P.K. Visscher. 1985. Survival of honeybees in cold climates: the critical timing of colony growth and reproduction. *Ecological Entomology* 10(1): 81-88.

Sharaf, H. 2016. Honeybee queens' performance in relation to their long period storage in queen-right colonies. Cairo University.

Shehata, S.M., G.F. Townsend, and R.W. Shuel. 1981. Seasonal physiological changes in queen and worker honeybees. *Journal of Apicultural Research* 20: 69-78.

Simeunovic, P., J. Stevanovic, D. Cirkovic, S. Radojicic, N. Lakic, L. Stanisic, and Z. Stanimirovic. 2014. Nosema ceranae and queen age influence the reproduction and productivity of the honey bee colony. *Journal of Apicultural Research* 53: 545-554.

Siuda, M., J. Wilde, J. Bratkowski, and B. Chuda-Mickiewicz. 2011. Wintering queen bees in modified mating nuclei. *Journal of Apicultural Sciences* 55: 87-98.

Statistique Québec. 2024. Portrait de l'apiculture au Québec en 2022 [En ligne : <https://statistique.quebec.ca/fr/produit/publication/portrait-apiculture-quebec-2022>].

Szabo, T.I. 1975. Overwintering of honeybee queens. 1. Maintenance of honeybee queens in solitary confinement. *Journal of Apicultural Research* 14: 69-74.

Tarpy, D.R. 2003. Genetic diversity within honeybee colonies prevents severe infections and promotes colony growth. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270(1510): 99-103.

Tarpy, D.R., J.J. Keller, J.R. Caren, and D.A. Delaney. 2011. Experimentally induced variation in the physical reproductive potential and mating success in honey bee queens. *Insectes Sociaux* 58: 569-574.

Tarpy, D.R., S. Hatch, and D.J. Fletcher. 2000. The influence of queen age and quality during queen replacement in honeybee colonies. *Animal Behaviour* 59(1): 97-101.

Topitzhofer, E., Sagili, R. (2022). *Guide to Honey Bee Queen Banking*. Project Apis m. Technical Guide.

Wyborn, M.H., M.L. Winston, and P.H. Laflamme. 1993. Mass storage of honeybee (Hymenoptera: Apidae) queens during the winter. Canadian Entomologist 125: 113