

## **Annexe 5**

**Développement de la technique d'hivernement intérieur des reines chez les apiculteurs**

**Aménagement d'une chambre adaptée**

**Projet AP-510 – CRSAD**



**Rapport de projet**

**Centre de Recherche en Sciences Animales de Deschambault**

**Jocelyn Marceau ing.**

**Andrée Rousseau, chercheure CRSAD**

**Georges Martin, chargé de projet**

**Émile Houle tech.**

**Février 2026**

## Table des matières

<b>Faits saillants en termes de réalisation</b> .....	<b>4</b>
<b>Activités et leurs indicateurs de résultats</b> .....	<b>5</b>
<b>Liste des partenaires</b> .....	<b>6</b>
<b>Objectifs</b> .....	<b>7</b>
<b>Rapport d'analyse des données environnementales de 2018 à 2026</b> .....	<b>8</b>
Choix de température (2018-19):.....	8
Nombre de reines par banque (2019-20):.....	9
Taille des banques (2020-21):.....	11
Infestation par <i>Varroa destructor</i> (2022-23) : .....	12
Date de confinement et vol libre (2024-25): .....	13
Effet des vols libres : .....	16
Discussions saison 2024-25 : .....	17
<b>Perte automnale de reines</b> .....	<b>18</b>
<b>Comportement moyen depuis 5 ans :</b> .....	<b>19</b>
Conditions internes des banques: .....	19
Taux de survie des reines :.....	20
Consommation et respiration des banques de reines :.....	21
<b>Portrait métabolique d'une banque de reines</b> .....	<b>23</b>
<b>Conditions d'ambiance à privilégier</b> .....	<b>24</b>
Température : .....	24
Humidité relative : .....	24
Gaz carbonique :.....	25
Luminosité : .....	25
<b>Aménagement d'une chambre contrôlée :</b> .....	<b>25</b>
Hauteur requise :.....	26
En bâtiment ou conteneur:.....	26
Volume requis:.....	26
Isolation: .....	26
Ventilation: .....	27
Recirculation:.....	27

Chauffage/climatisation : .....	28
Humidification / déshumidification:.....	28
Contrôle: .....	29
<b>Aménagement de la chambre de banques de reines au CRSAD .....</b>	<b>31</b>
Conteneur maritime: .....	31
Composantes: .....	32
Contrôle: .....	33
Opération:.....	34
Coût de l'aménagement du module:.....	35
Coûts d'opération: .....	37
<b>Sommaire technico-économique .....</b>	<b>38</b>
Scénario CRSAD : .....	38
Scénario production commerciale :.....	40
<b>Conclusion .....</b>	<b>41</b>
<b>Sujets de recherche potentiels.....</b>	<b>43</b>
<b>Activité de transfert et de diffusion scientifique (2023-2026) .....</b>	<b>44</b>
<b>ANNEXE 1 : Bilan de chaleur théorique .....</b>	<b>46</b>
<b>ANNEXE 2 : Photos .....</b>	<b>48</b>

## Faits saillants en termes de réalisation

- 1) Mise au point et validation d'une méthode de banquage de reines adaptée aux conditions nordiques, assurant leur conservation de septembre à mai et diminuant de façon notable le recours aux importations printanières.
- 2) Identification des paramètres environnementaux optimaux pour le banquage :
  - ✓ Température constante d'environ 16 °C
  - ✓ Humidité relative  $\geq 40$  %
  - ✓ CO<sub>2</sub> < 3500 ppm
- 3) Conception et réalisation d'une chambre de banquage contrôlée, intégrant thermopompe et ventilation précise pour assurer des conditions stables.
- 4) Transformation d'un conteneur maritime usagé en installation fonctionnelle, opérationnelle depuis deux ans et facilement reproductible.
- 5) Recommandations sur le concept et la mécanique de bâtiment à suivre pour de nouveaux projets d'aménagement.
- 6) Atteinte d'un taux moyen de survie des reines de 68,5 % sur 5 ans, avec une amélioration à 77 % dans la nouvelle chambre.
- 7) Contribution à l'amélioration et à la conservation de la génétique apicole locale, mieux adaptée aux conditions climatiques du Québec et du Canada.
- 8) Création d'une solution durable et transférable pour les apiculteurs et éleveurs de reines souhaitant sécuriser leur approvisionnement printanier.
- 9) Ouverture vers de nouvelles applications, notamment l'optimisation de l'hivernage intérieur des colonies.

## Activités et leurs indicateurs de résultats

Activités	Indicateurs de résultats
Embauche d'un(e) ingénieur(e) qualifié(e)	Embauche de Jocelyn Marceau (2023-2026);
Analyse des données physiques des salles expérimentales (température, humidité, ventilation, configuration, etc.)	Données collectées et analysées; rapports techniques produits; paramètres environnementaux optimaux identifiés.
Réalisation d'une analyse technico-économique du processus	Rapport technico-économique complété ; estimation des coûts d'implantation et d'opération ( <b>voir section Sommaire technico-économique du présent rapport</b> )
Mise en place d'un programme de diffusion des connaissances pour l'adaptation ou la construction de salles d'hivernement des reines	Dix activités de diffusion réalisées auprès des apiculteurs, éleveurs de reines et professionnels du milieu apicole ( <b>voir section Activités de transfert et de diffusion scientifique du présent rapport</b> )
Production des documents de suivi de l'action spécifique	Rapports d'avancement et rapport final produits selon l'échéancier

## Liste des partenaires

- Jocelyn Marceau, ingénieur
- Émile Houle, technicien apicole
- Georges Martin, Centre de recherche en sciences animales de Deschambault
- Pierre Giovenazzo, Université Laval
- Miels d'Anicet
- Rayons de miel
- MAPAQ – financement
- CRSAD – site d'essai et complément de financement

## Objectifs

Le banquage de reines est une technique connue pour conserver un certain nombre de reines fécondées dans une ruche orpheline appelée banque. Cette pratique est courante et réalisée avec succès sur une durée de quelques mois (2-3 mois). Avant 2018, les tentatives de maintenir des banques de reines sur de plus longues durées ont donné des résultats mitigés. Depuis, l'équipe de recherche apicole au CRSAD a élaboré avec succès une méthode qui permet de conserver les reines de fin de saison apicole viables durant 9 mois dans une banque afin de les rendre disponible au printemps alors que peu de reines locales sont disponibles et où l'approvisionnement repose sur l'importation de reines de l'extérieur. Une des clés de succès est de les maintenir dans une chambre à température et humidité contrôlées. Cela a d'abord été réalisé dans une chambre de croissance (équipement de recherche au CRSAD).

L'objectif de ce rapport est de présenter, dans un premier temps, l'analyse des données recueillies au cours de chaque année d'application de la technique. Cette analyse vise à mettre en évidence les variations observées en fonction des méthodes employées et des différentes conditions de maintien mises en œuvre au fil des années.

Dans un second temps, ce travail permet d'identifier les conditions environnementales les plus favorables au maintien à long terme des banques de reines.

Par ailleurs, un module de confinement a été développé et mis au point afin d'assurer l'hébergement optimal des banques de reines sur la période de septembre à mai.

L'objectif final de cette étude est de rendre cette technique opérationnelle, accessible et transférable aux apiculteurs et/ou aux éleveurs de reines désireux de valoriser leur production.

# Rapport d'analyse des données environnementales de 2018 à 2026

## Choix de température (2018-19):

Les premiers travaux effectués sur le sujet consistaient principalement à étudier la température environnementale à maintenir pour maximiser le succès ou la survie à long terme des reines. Ces travaux ont débuté en 2018-19. Des banques ont été maintenues d'octobre à mai sous 3 conditions distinctes :

- 1- 4 °C : Conditions similaires à l'hivernage intérieur où les abeilles maintiennent une grappe;
- 2- 10 °C : Conditions où les abeilles sont à la limite de la formation d'une grappe;
- 3- 15 °C : Conditions où les abeilles demeurent actives sans formation de grappe;

## Résultats :

La survie durant la période d'hivernement intérieur des reines s'est révélée maximale (87 %) dans le groupe maintenu à 15 °C. Ce groupe a présenté une consommation comparable à celle observée à 4 °C, mais inférieure à celle du groupe maintenu à 10 °C. Il s'agit également du groupe ayant maintenu la température interne la plus élevée, avoisinant 30 °C, de manière stable tout au long de l'hiver (Figure 1).

Le groupe maintenu à 10 °C a conservé une température interne proche de celle du groupe à 15 °C ; toutefois, cette stabilité thermique s'est accompagnée d'une consommation plus élevée ainsi que de pertes de reines plus importantes.

Concernant le groupe maintenu à 4 °C, les pertes de reines ont été similaires au groupe à 10 °C mais ces banques n'ont jamais été en mesure de maintenir une température interne comparable à celle des groupes maintenus à 10 et 15 °C.

Au regard de ces résultats, il est apparu peu pertinent de poursuivre les expérimentations à des températures telles que 4 ou 10 °C. Ces conditions, nécessitant la formation d'une grappe, rendent en effet plus difficile le maintien de conditions de confort homogènes pour l'ensemble des reines, indépendamment de leur position au sein de la ruche. Les travaux ultérieurs ont donc été conduits à une température avoisinante de 15 °C.

Voir l'article scientifique suivant pour les résultats complets du projet :

Rousseau, Andrée, and Pierre Giovenazzo. "Successful indoor mass storage of honeybee queens (*Apis mellifera*) during winter." *Agriculture* 11.5 (2021): 402.

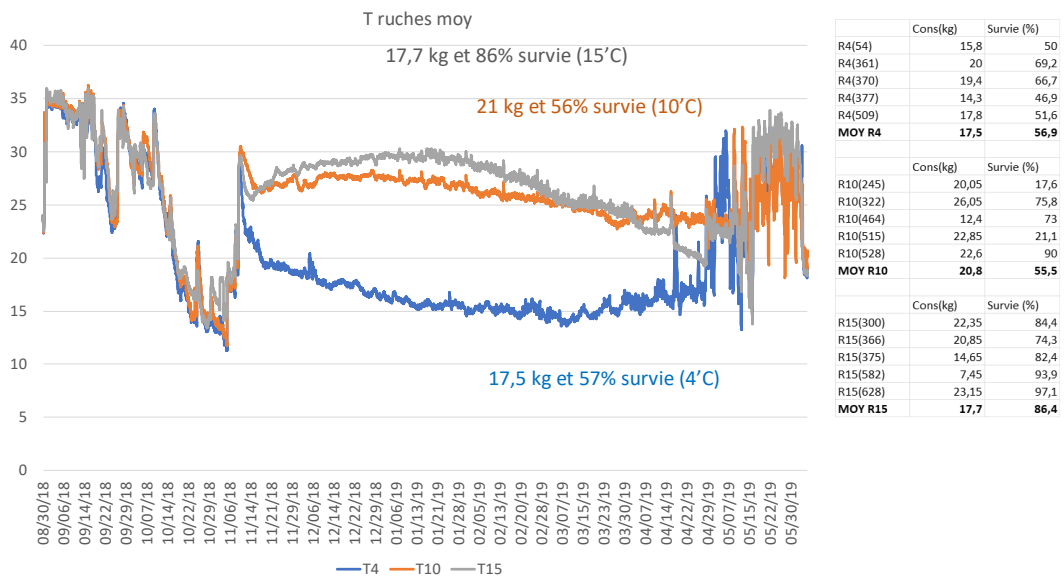


Figure 1 Évolution de la température interne moyenne des banques selon le groupe 4, 10 ou 15 °C, de même que leur consommation et le taux de survie des reines. Les banques ont été placées en confinement intérieur du 8 novembre 2018 au 1 mai 2019

## Nombre de reines par banque (2019-20):

En 2019-20, la survie des reines a été évaluée en fonction du nombre de reines engagées. Le taux de survie des reines a été comparé entre 5 banques contenant 40 reines à 5 banques contenant 80 reines selon la disposition présentée à la figure 2.

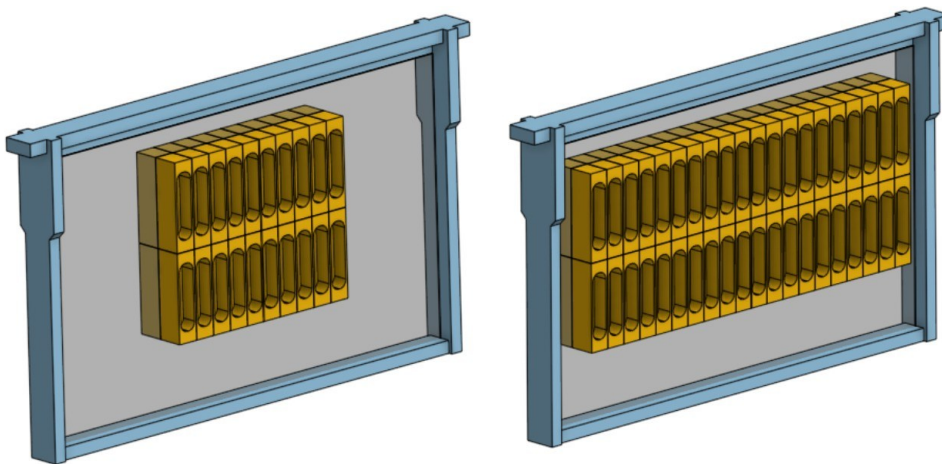


Figure 2 Disposition pour le groupe 40 reines et pour le groupe 80 reines réalisé en 2019-20

## Résultats :

Pour le groupe de 40 reines, le taux de survie moyen s'est établi à 73% ce qui a été significativement supérieur au taux de survie des reines dans le groupe 80 reines (43%). La consommation moyenne des banques de 80 reines a été de 27,5 kg ce qui s'est avéré nettement supérieur aux banques du groupe 40 qui ont consommé 21,7 kg. C'est une différence de près de 6 kg soit 27% de plus. Cette différence indique que l'entretien d'un nombre plus élevé de reines exige plus d'énergie de la part de la colonie.

La perte de reines était plus importante en s'éloignant du centre du cadre<sup>1</sup>. À la suite de ces résultats, il a été convenu de poursuivre la recherche sur d'autres paramètres en adoptant le positionnement à 40 reines tel qu'illustré à la figure 2.

Voir l'article scientifique suivant pour les résultats complets du projet :

Levesque, Mireille, Andrée Rousseau, and Pierre Giovenazzo. "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 (2023): 274-286.

Tableau 1 Consommation et survie des reines selon qu'elles étaient dans une banque de 40 ou de reines en 2019-20

Banque	Traitement	Cons hiv (kg)	Survie (%)
459	40	26,4	80,6
603	40	21,05	86,5
59	40	17,45	82,5
69	40	16,55	56,8
369	40	27,15	57,5
		<b>21,7</b>	<b>72,8</b>
497	80	29	38,9
612	80	19,95	32,8
88	80	28,9	21,1
627	80	32,8	51,4
2	80	26,8	68,1
		<b>27,5</b>	<b>42,5</b>

<sup>1</sup> Voir présentation : *Survie et positionnement des reines - De 2018 à 2023 (4 années)*

## Taille des banques (2020-21):

Jusqu'à présent les banques formées étaient issues de l'orphelinage de deux ruches standards qui étaient regroupées (moyenne de 50 à 60 000 cellules de couvain à la fin août). En 2020-21, un groupe de banques était constitué à partir d'une seule ruche de force moyenne de  $31\,520 \pm 690$  cellules de couvain. Moins peuplée ces banques orphelines disposaient d'une seule hausse et ce groupe (simple) a été comparé à des banques formées comme les autres années à partir de 2 ruches et placées dans 2 hausses (double, moyenne de  $49\,198 \pm 2320$  cellules de couvain). Pour les deux traitements, les banques simples et doubles disposaient de 40 reines et étaient placées dans les mêmes conditions environnementales que les années précédentes.

### Résultats :

Les banques simples ont démontré une performance limitée avec seulement 10,5% de taux de survie des reines. Les banques doubles ont obtenu un taux de survie trois fois supérieur (34,1%) bien que ce taux soit inférieur aux résultats obtenus lors des années précédentes. L'écart observé entre les banques simples et doubles est sans doute lié à la population d'abeilles plus faible dans le groupe simple et aussi à la configuration du volume intérieur où les cagettes du niveau inférieur se retrouvent près du plateau. D'ailleurs aucune reine n'a survécu dans aucune des cinq banques au niveau inférieur (voir rapport sur la survie et le positionnement).

La consommation des banques doubles a été similaire à la consommation observée au cours des autres années soit 22,9 kg. Les banques simples ont consommé beaucoup moins, soit 12,8 kg en moyenne. Cette consommation se compare à une ruche standard à une hausse hivernée à 5°C.

Parmi toutes les années de travaux qui ont été réalisés sur le sujet, la performance de survie a été la moins bonne globalement. La température maintenue dans la chambre a été de l'ordre de 14°C, ce qui est plus froid que toutes les autres années. Cela peut contribuer à la faible performance de survie au cours de cet essai, mais il y a sans doute d'autres facteurs non identifiés qui ont mené à une aussi faible performance. Une hypothèse soulevée pour expliquer la mortalité dans l'ensemble des banques est l'affaiblissement des abeilles d'hiver par le parasitisme (*Varroa destructor*). Afin de vérifier cette hypothèse, un protocole visant à évaluer l'impact de la santé des abeilles d'hiver sur la survie et la qualité des reines a été mis en place pour l'hivernement 2022-2023.

En maintenant des groupes 40 reines disposées en 2 rangées superposées, il apparaît évident qu'il n'est pas avantageux d'utiliser une banque à une seule hausse. Au mieux, une rangée en partie supérieure du cadre pourrait assurer un certain taux de survie, mais cela confirme que les banques à double hausse demeurent la meilleure alternative.

Tableau 2 Consommation et taux de survie des reines en banques simples ou doubles

#Banque	Traitement	Consom (kg)	% Survie
511	simple	12,8	6,06
305		15,55	0
368		11,4	10,81
450		9,05	0
310		15,7	28,21
		<b>12,8</b>	<b>10,5</b>
519	double	24,6	18,42
154		19,85	10
180		19,65	21,21
173		24,9	63,16
163		23,35	31,43
		<b>22,9</b>	<b>34,1</b>

### Infestation par *Varroa destructor* (2022-23) :

En 2022-23, l'impact du taux d'infestation par *Varroa destructor* a été évalué sur la survie et la qualité des reines banquées. Deux niveaux d'infestation ont été testé : 7 banques avec  $\leq 1\%$  d'infestation en varroa à l'automne et 7 banques entre 2-5% d'infestation en varroa à l'automne. Les conditions de maintien de la température et de l'humidité relative de la chambre ont été les mêmes que pour les années précédentes soit 15°C et 50% d'humidité relative.

#### Résultats :

Toutes les banques ont survécu à la suite du traitement. Le taux de survie des reines sur l'ensemble de la période de mise en banque (31 août 2022 – 17 avril 2023) était de 66 % (370 reines sur 558). La survie durant la période extérieure (31 août – 19 octobre 2022) n'a pas été significativement affectée par l'infestation automnale par *Varroa destructor*. En revanche, l'infestation automnale a eu un effet négatif sur la survie durant l'hivernage en intérieur (19 octobre 2022 – 17 avril 2023). Une différence de survie de 7% des reines a été notée entre les 2 groupes d'infestation. La consommation hivernale n'a pas eu d'effet principal sur la survie des reines, bien que son interaction avec l'infestation ait été marginalement significative.

Tableau 3 Consommation et survie des reines des banques selon le groupe d'infestation en varroa.

Niveau d'infestation en varroa	Consommation hivernale moyenne (kg)	Survie Moyenne des reines (% ± SE)	
		Hivernement extérieur (Août–Oct)	Hivernement intérieur (Oct–Avril)
Faible 0–1% (N = 7)	25.2 ± 1.5 <sup>a</sup>	88.5 ± 5.6 <sup>a</sup>	76.7 ± 5.9 <sup>a</sup>
Élevé 2–5% (N = 7)	28.0 ± 2.3 <sup>a</sup>	90.3 ± 1.7 <sup>a</sup>	69.4 ± 7.3 <sup>b</sup>

Un article scientifique est en préparation et sera soumis au Journal of Economic Entomology en février 2026.

### Date de confinement et vol libre (2024-25):

En 2024-25, le nouveau module de confinement a été mis à l'essai pour la première fois. Le module a été aménagé pour y loger jusqu'à une vingtaine de banques au sol. Il est muni de 10 sorties murales qui permettent aux abeilles de 10 banques d'accéder librement à l'extérieur. Pour la saison 2024-25, douze (12) banques de reines ont été introduites à différentes dates dans le module. Une perte d'environ 10% des reines est systématique durant la période où les banques sont laissées à l'extérieur (septembre à octobre) depuis le début de nos expérimentations depuis 2018. Afin de vérifier si cette perte pourrait être limitée en déplaçant les banques dans l'unité d'hivernement aux conditions contrôlées dès le mois de septembre, nous avons établi un protocole avec 3 dates différentes d'entrée



Figure 3 Sortie individuelle qui permet le vol libre des abeilles de la banque correspondante

dans la chambre en septembre ou en octobre. De plus, un autre but était de vérifier s'il y a avantage à laisser les abeilles effectuer des vols de septembre à la mi-novembre après leur introduction dans le module. Toutes les banques ont été formées au début de septembre et les traitements étaient:

- Sept : groupe introduit le 5 septembre avec vol libre, n=5;
- Oct : groupe introduit le 5 octobre avec vol libre, n=5;
- Oct 15 : groupe introduit le 15 octobre sans possibilité de vol libre, n=2.

*Note : Les trous de vol de 50 mm de diamètre ont été réduits à 10 mm le 17 octobre et fermés complètement le 20 novembre.*

Pour des raisons logistiques, les conditions environnementales maintenues dans le module sont légèrement différentes à celles maintenues au cours des 4 années précédentes. La température est maintenue à 16°C, l'humidité relative à plus de 40% et la qualité de l'air est assurée par un taux de changement de l'air qui maintient le niveau de CO<sub>2</sub> à 3300 ppm ou moins:

- Température : 16°C;
- Humidité relative : 40% ou plus;
- CO<sub>2</sub> : 3000-3300 ppm

La particularité du module est l'ajout d'une thermopompe qui s'avère nécessaire pour climatiser lors de journées où la température extérieure dépasse 10°C. Cette même thermopompe devait aussi chauffer le module. Les détails de l'aménagement et du fonctionnement est décrit plus loin dans le rapport.

### **Résultats :**

Comme à chaque année un certain nombre de reines périssent durant la période automnale. Entre le moment de formation et l'entrée dans le module du dernier groupe, il n'y a eu aucun avantage de survie des reines selon la date d'entrée (82,5 vs 82,0 et 87,5%). Il y a cependant des différences importantes lorsque l'on compare les survies entre la mi-octobre et le mois d'avril (Figure 4). Le groupe qui a le mieux performé est le groupe introduit le 5 octobre (Oct) avec une survie 89,8%. Le groupe introduit le 15 octobre (Oct15) a aussi bien performé avec 81,5%. Le groupe introduit le 5 septembre a moins bien performé avec 63,5%.

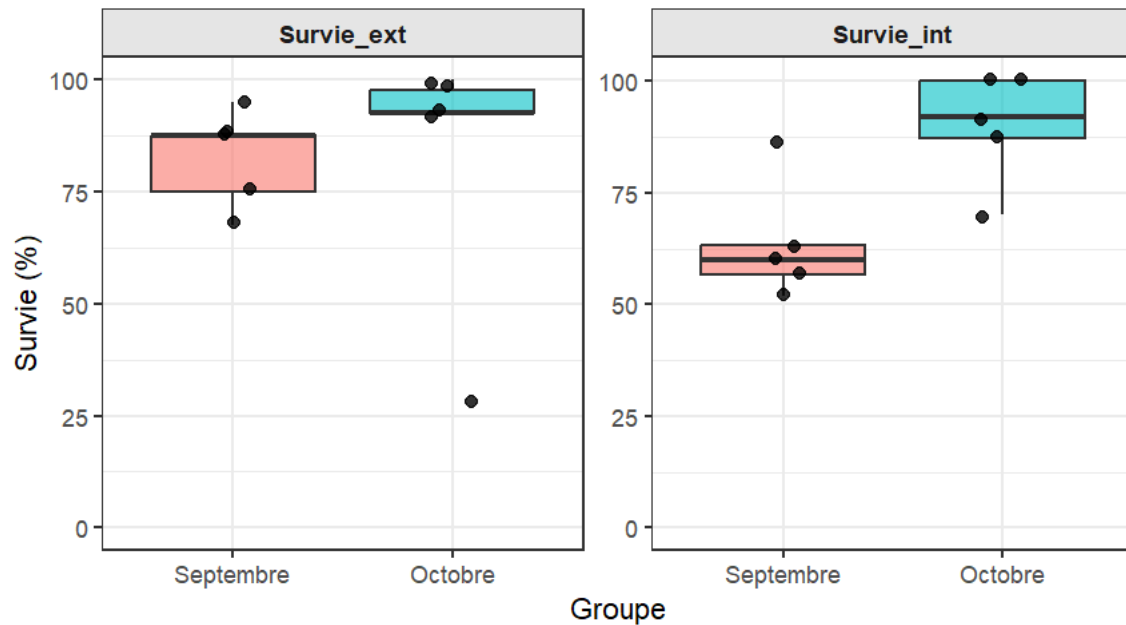


Figure 4. Pourcentage de survie des reines dans les banques transférées dans la chambre hivernales en septembre et en octobre pour la période de septembre à octobre (graphique de gauche) et la période d'octobre à avril (graphique de droite).

Pour la consommation ou la perte de poids entre le 3 octobre et le 16 avril (192 jours), la consommation a été semblable (16,9 vs 15,6 vs 16,8) et faible par comparaison aux autres années ou la consommation dépassait souvent les 20 kg.

Tableau 4 Consommation, survie automnale et survie hivernale des banques en 2024-25

Ruche	TRT	Consom (kg)	Survie sep-oct (%)	Survie oct-avr (%)
424	sep	18,48	87,5	60,0
572	sep	16,94	67,5	51,9
213	sep	17,75	87,5	85,7
627	sep	15,67	75,0	56,7
358	sep	15,67	95,0	63,2
	<b>MOY-Sep</b>	<b>16,90</b>	<b>82,5</b>	<b>63,5</b>
38	oct	15,44	27,5	100,0
464	oct	14,49	92,5	100,0
80	oct	16,17	97,5	87,2
241	oct	15,76	100,0	70,0
371	oct	16,26	92,5	91,9
	<b>MOY-Oct</b>	<b>15,63</b>	<b>82,0</b>	<b>89,8</b>
661	oct15	15,26	95,0	81,6
577	oct15	23,51	80,0	81,3
	<b>MOY-15 oct</b>	<b>16,78</b>	<b>87,5</b>	<b>81,5</b>
	<b>MOY- tout</b>	<b>16,78</b>	<b>83,1</b>	<b>77,5</b>

## Effet des vols libres :

Les abeilles des groupes Sep et Oct avaient la possibilité de voler pendant que la banque était à l'intérieur. D'ailleurs une assez forte activité de vol se produisait lors des belles journées de septembre et octobre.

La figure 5 montre la température interne moyenne des banques durant la période de confinement. Comparativement au groupe Oct15 dont les abeilles n'avaient pas d'accès à l'extérieur, un écart de la température interne a pu être observé. Même si les trous de vols ont été réduit de 50 à 10 mm de diamètre, les banques adossées aux trous de vol se sont maintenues plus froides que les banques qui n'y avaient pas accès. Devant ce constat, les trous de vols ont été complètement fermés et isolés à partir du 20 novembre. Dans les 15 jours qui ont suivis, la température interne s'est rétablie au même niveau que celles des banques situées au centre du module et qui n'ont pas subi ce stress thermique.

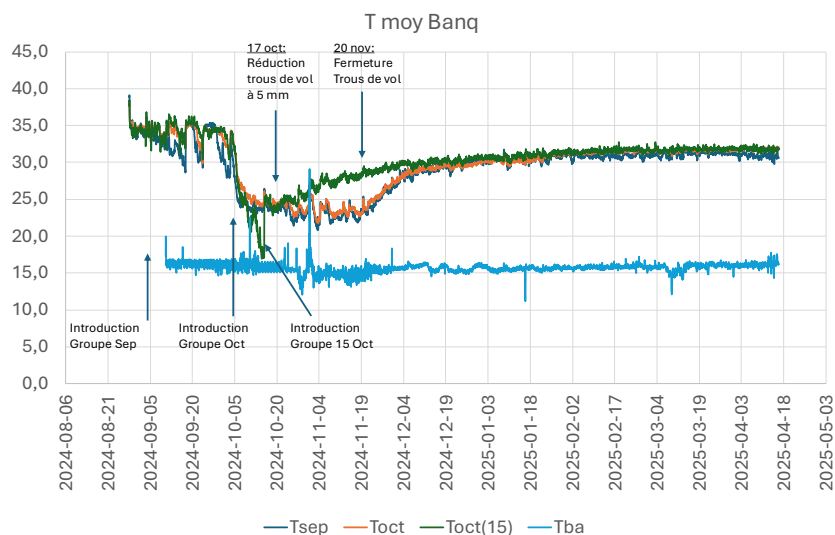


Figure 5 Évolution de la température interne moyenne des banques selon le groupe: Tsep, Toct et Toct(15). Tba représente la température dans le module.

Pour le reste de la saison, le comportement thermique des banques a été très similaire aux observations des années précédentes. Qu'elles soient à l'intérieur ou à l'extérieur, en septembre la température s'établissait autour de 35°C, température d'incubation du couvain. Mis à part, l'effet de refroidissement des premiers jours dû à la proximité des trous de vol, la température interne de tous les groupes s'est établie autour de 30°C durant tout l'hiver, observation qui se répète année après année.

## Discussions saison 2024-25 :

### Date d'entrée :

Le but de la saison 2024-25 était de vérifier l'effet d'introduire hâtivement les banques à l'intérieur. À la lumière de ces résultats, il n'y aurait apparemment pas d'avantage à introduire les banques fraîchement formées au début de septembre. Au contraire, cela a eu pour effet d'augmenter les pertes de reines d'environ 20% comparativement à une introduction le 5 ou le 15 octobre, même si les abeilles avaient libre accès à l'extérieur. La date d'introduction du 5 octobre a permis les meilleurs résultats, bien qu'au 15 octobre, les résultats sont aussi assez bons mais avec seulement 2 banques ne permettant pas une comparaison valable. Octobre 2024 n'a pas été particulièrement froid avec quelques nuits autour de 5 °C et un premier gel le 13 octobre. Cela nous informe toutefois que des accès ouverts après la mi-octobre n'améliore nullement les conditions des banques pour le long terme.

Cette année d'essai indique qu'introduire les banques dans le module au début octobre s'avère préférable et qu'il n'est pas avantageux que les abeilles puissent effectuer des vols.

### Maintien des conditions :

La consommation des banques a été assez similaire entre les groupes mais plus faible (16,8 kg en 192 jours) que celles des 4 années antérieures (22,2 kg en 178 jours). La température moyenne maintenue dans le module a été semblable à celle des autres années  $15,6 \pm 0,7$  °C mais pas exceptionnellement stable. Dans la salle environnementale on parvenait à maintenir une meilleure stabilité ( $\pm 0,3$  à  $0,5$ °C).

Ventilation : Là où il peut y avoir eu une différence concerne la ventilation. En 2025-26, elle était plus précise avec comme mode de contrôle le maintien du taux de CO<sub>2</sub> à 3000 ppm. Dans la salle environnementale au cours des années précédentes, il ne semble pas y avoir eu de contrôle comme tel. C'était un simple ajustement d'ouverture passive qui assurait un taux de renouvellement inconnu de l'air.

Recirculation: La recirculation de l'air a toujours été assez faible dans le module 83 L/s (175 pi<sup>3</sup>/min). Lors des 4 années précédentes, les banques étaient logées dans une chambre de croissance dans laquelle la recirculation était plus forte que dans le module. Les abeilles étant sensibles à la vitesse de l'air autour de la ruche, il est possible que ce soit un facteur de stress qui aurait été moins important au cours de la saison 2024-25. C'est d'ailleurs ce qui avait été observé pour des ruches en hivernage intérieur, qui pour une même température d'hivernage à 5 °C, sous une faible vitesse d'air recirculé, les ruches consommaient jusqu'à 2 kg de moins lorsqu'il y a moins de turbulence de l'air autour de la ruche.

## Perte automnale de reines

Une assez forte proportion des reines est perdue durant la période automnale, c'est-à-dire jusqu'à leur entrée en chambre contrôlée. Le protocole d'essai de 2024-25 a été orienté vers l'objectif de diminuer les pertes avant de confiner les banques en chambre contrôlée.

Tableau 5 Perte automnale observée selon la date d'entrée en chambre contrôlée.

	2018-19	2019-20	2020-21	2022-23	2024-25 Éval 3 oct	2024-25 Éval 3 oct	2024-25 Éval 3 oct
<b>Date entrée</b>	9 nov	10 oct	1 oct	31 oct	5 sept*	5 oct*	15 oct
<b>Mortalité</b>	87/600	62/640	35/320	62/560	35/200	36/200	10/80
<b>% Mortalité</b>	15%	10%	11%	11%	18%	18%	13%

\*Note : En 2024-25 les abeilles des banques introduites le 5 septembre et le 5 octobre avaient un accès libre à l'extérieur

En 2018-19 les banques avaient été introduites tardivement soit le 9 novembre. Il avait été constaté la perte de plusieurs reines avant même leur entrée. Par la suite, les banques ont été introduites plus tôt afin de diminuer le stress occasionné par les nuits froides d'automne. Cela a réduit quelque peu les pertes. En 2024-25, afin d'évaluer plus précisément la meilleure approche pour réduire le stress d'automne, l'introduction a été faite à 3 dates distinctes 5 sept, 5 oct et 15 oct. Les résultats pour le 5 sept (18%) et le 5 oct (18%) ont été les pires des 5 années. Pour le groupe 5 sept, les abeilles bien qu'à l'intérieur pouvaient voler librement jusqu'au 3 octobre, date de l'évaluation. Pour le groupe 5 oct, les pertes ont été similaires et dans ce cas, les banques avaient séjourné à l'extérieur. Le groupe 15 oct (n=2) a eu moins de perte 13%, mais c'est un taux de perte qui demeure élevé et qui s'est produit après seulement un mois de mise en banque. Pour la survie totale, l'entrée hâtive est même néfaste pour la survie des reines alors que de donner libre accès aux abeilles ne procure pas d'avantage et le danger de cette approche est le refroidissement interne des banques tel qu'il a été possible d'observer (figure 5).

À la lumière de l'ensemble des résultats, il semble que d'introduire les banques à l'intérieur en novembre est trop tardif et occasionne des pertes de reines puisque la colonie ne peut maintenir une température interne adéquate. À l'inverse, une introduction hâtive est possiblement pire comme le démontrent les résultats de 2024-25. La meilleure gestion semble de favoriser l'introduction des banques au début octobre et en ne leur permettant plus de voler librement.

## Comportement moyen depuis 5 ans :

Afin de mieux interpréter les conditions qui favorisent la survie des reines, une analyse de différentes variables mesurées a été faite. Seules les banques qui ont été maintenues sous des conditions semblables ont été retenues pour l'analyse. Sur les 5 années les données de 42 banques (5 en 2018-19, 10 en 2019-20, 5 en 2020-21, 10 en 2022-23 et 12 en 2024-25) qui disposaient de 40 reines et qui ont été maintenues dans un environnement contrôlé à 15-16 °C et à une humidité relative de 40 à 70% ont été considérées.

Depuis 2018, chaque banque était munie d'une sonde de température et d'humidité relative. Elle était située près des reines et enregistrait les données sur une base horaire. La compilation de ces données amène de l'information additionnelle sur les conditions favorisant le maximum de succès.

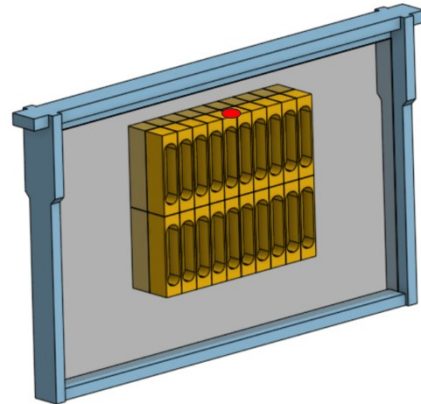


Figure 4 Position en rouge du capteur de température et d'humidité relative dans chacune des banques depuis 2018-19

L'analyse a été faite sur les variables suivantes :

- Température (°C);
- Humidité relative (%);
- Grain d'eau (g eau/g air);
- Enthalpie (KJ/kg air);

## Conditions internes des banques:

Parmi les 42 banques de la section précédente, l'analyse a été réalisée sur la moyenne de chaque variable compilée depuis la date d'introduction dans la chambre à environnement contrôlé jusqu'à sa sortie. Chaque point des graphiques suivants représente la moyenne de chaque banque lorsqu'elle était à l'intérieur de la chambre pour des durées entre 158 et 201 jours soit une moyenne de 3792 à 4824 lectures par banque.

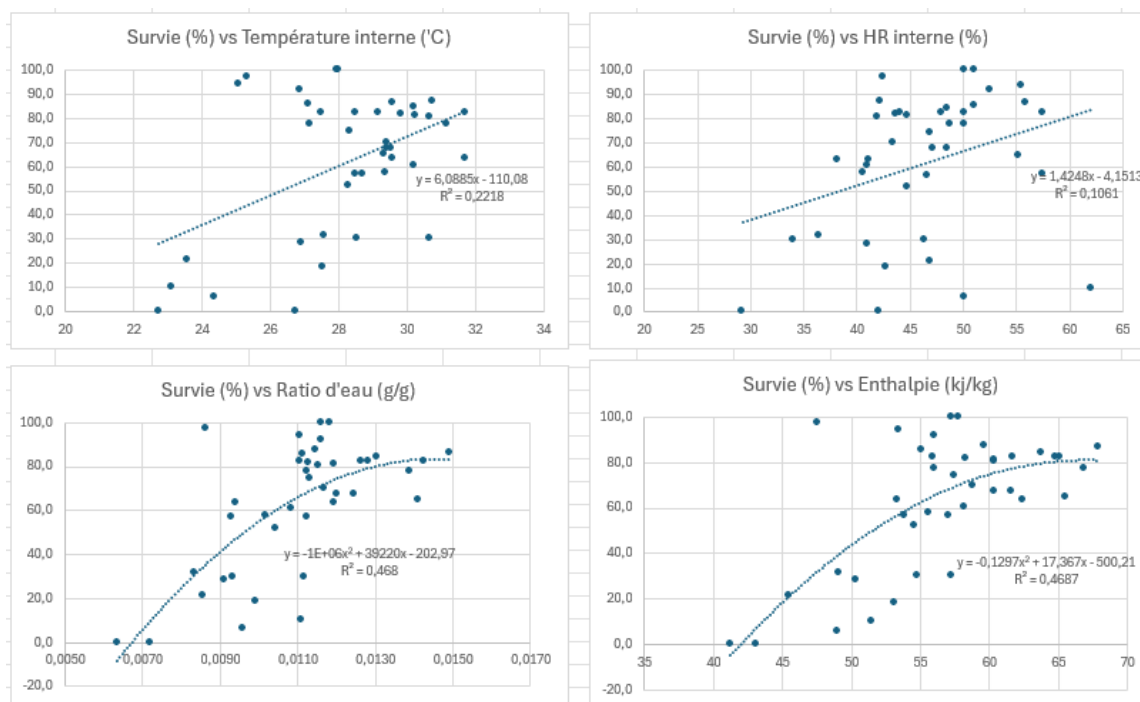


Figure 5 Taux de survie des reines de chacune des 42 banques en fonction des variables mesurées ou calculées. Chaque point représente la moyenne horaire de tout le séjour des banques dans la chambre contrôlée. Pour faciliter l'interprétation une analyse de régression linéaire ou quadratique est illustrée

**Température interne :** Le taux de survie s'améliore lorsque la température interne est plus élevée. Lorsque la température se maintient en moyenne autour de 30 °C, le taux de survie des reines est maximal bien que certaines banques aient obtenu du succès à des températures inférieures, mais jamais à moins de 25 °C.

**Humidité relative :** Lorsque l'humidité relative est plus élevée, le taux de survie est légèrement meilleur, mais cette tendance est moins marquée ( $R^2= 0,11$ ) que pour la température ( $R^2= 0,22$ ).

**Grain d'eau (exprimé en g d'eau par g d'air) :** Plus le grain d'eau est élevé dans les banques, plus le taux de survie des reines est élevé jusqu'à 0,0130 où il atteint un plateau. C'est la variable qui est le plus en lien avec le taux de survie des reines. Ceci démontre l'importance de la présence de vapeur d'eau dans la banque ou la capacité des banques à maintenir cette valeur.

**Enthalpie :** L'enthalpie représente l'énergie dans l'air avoisinant les abeilles. Le taux élevé de survie des reines est aussi en lien avec une enthalpie élevée. À plus de 55 kJ/kg, le taux de survie des reines s'est avéré meilleur. L'enthalpie et le grain d'eau sont deux variables très auto corrélées qui dépendent toutes deux des conditions de température et d'humidité relative.

## Taux de survie des reines :

Afin de mieux cerner les conditions internes des banques favorisant un taux de survie élevé des reines, les banques ont été comparées selon qu'elles obtenaient plus ou moins de 60% de taux de survie (tableau 6).

Tableau 6 Compilation des valeurs moyennes des 42 banques de 40 reines sous une température contrôlée à 15°C en distinguant le groupe ayant un taux de survie supérieur à 60% à celui ayant un taux de survie inférieur à 60%

<b>Succès 60% et + n=28</b>	<b>Cons (g/h)</b>	<b>Survie (%)</b>	<b>T. int (°C)</b>	<b>HR int (%)</b>	<b>Ratio d'eau (g/g)</b>	<b>Enthalpie (kj/kg)</b>
<b>Moyenne</b>	5,0	79,1	29,1	47,8	0,0119	59,4
<b>Écartype</b>	1,7	11,8	1,7	5,1	0,0014	4,6
<b>Succès 59% et - n=14</b>	<b>Cons (g/h)</b>	<b>Survie (%)</b>	<b>T. int (°C)</b>	<b>HR int (%)</b>	<b>Ratio d'eau (g/g)</b>	<b>Enthalpie (kj/kg)</b>
<b>Moyenne</b>	5,1	36,3	27,6	44,7	0,0099	53,0
<b>Écartype</b>	1,3	16,0	2,2	7,9	0,0010	3,3

Note : La consommation (Cons) est exprimée en g/h et résulte de la différence de poids entre la fin du nourrissage et la sortie de confinement dont la durée a été différente selon les années (158 à 201 jours)

Qu'elles assurent un taux de survie élevé ou faible, leur consommation a été très semblable avec 5,0 et 5,1 g/h. On distingue toutefois une grande différence pour la température interne (T. int). Celles qui avaient un taux de survie de plus de 60% maintenaient en moyenne 1,5°C de plus. C'est surtout au niveau du ratio d'eau et de l'enthalpie de l'air dans la banque que l'on peut noter une différence importante. Les banques avec 60% et plus de survie des reines maintenaient autour de 0,0119 g/g d'eau soit 20% de plus que celles moins performantes. Au niveau de l'enthalpie, les banques performantes maintenaient en moyenne 59,4 kJ/kg soit 6,4 kJ/kg de plus.

Le ratio d'eau et l'enthalpie sont issus de la température et de l'humidité relative que les abeilles maintiennent dans leur environnement immédiat. La combinaison de la température et de l'humidité relative exprimée par ces deux variables exprime mieux les conditions optimales que doivent maintenir les abeilles. Les banques qui maintenaient des valeurs voisines de 0,0119 g/g et 59,4 kJ/kg maintenaient en réalité une température interne autour de 29-30°C et une humidité relative de 47-50%.

## Consommation et respiration des banques de reines :

Pour établir les besoins en chauffage et en ventilation, les données de leur métabolisme s'avèrent indispensables et à défaut de données précises sur le sujet, une estimation à partir de la consommation en sucre des colonies peut apporter une bonne approximation des besoins. Les banques sont issues de la fusion de deux colonies orphelinées à la fin du mois d'août ou au début

septembre. La population d'abeilles adultes ainsi que la quantité de couvain sont approximativement deux fois plus élevées que celles des ruches standard à la même date.

La consommation est estimée par la différence de poids entre le moment de l'entrée et de la sortie de la chambre environnementale pour chacune des banques. Les données de poids ont été recueillies à chaque année. Le tableau 7 présente ces données annuelles ainsi que les valeurs calculées de leur production de chaleur et de leur respiration sous forme d'apport en oxygène et de rejet de vapeur d'eau et de gaz carbonique. Toutes les valeurs sont présentées sur une base horaire pour faciliter la comparaison et pour mieux exprimer les besoins énergétiques et de ventilation.

*Tableau 7 Consommation, production de chaleur et taux de respiration théorique\* des banques durant le confinement intérieur de 2018 à 2025 et comparaison avec les données de ruches standards hivernées au Centre de recherche depuis 10 ans (2010 à 2020)*

	Nb jours	Cons(kg)	Cons (g/h)	Chaleur (w)	O <sub>2</sub> (g/h)	CO <sub>2</sub> (g/h)	H <sub>2</sub> O(g/h)
<b>2018-19</b>	158	17,7	4,7	16,7	4,2	5,7	3,1
<b>2019-20</b>	187	21,7	4,8	17,3	4,3	5,9	3,2
<b>2020-21</b>	201	22,5	4,7	16,7	4,1	5,7	3,1
<b>2022-23</b>	168	26,7	6,6	23,7	5,9	8,1	4,4
<b>2024-25</b>	192	16,8	3,7	13,3	3,3	4,5	2,5
<b>MOY banq</b>	<b>181</b>	<b>21,1</b>	<b>4,9</b>	<b>18,6</b>	<b>4,6</b>	<b>6,3</b>	<b>3,5</b>
<b>Hiv @5°C</b>	<b>151</b>	<b>10,0</b>	<b>2,8</b>	<b>10,0</b>	<b>2,5</b>	<b>3,4</b>	<b>1,9</b>
<b>stat 10 ans</b>							

*\*Pour chaque gramme de sirop (\*83% ms) pour le métaboliser, les abeilles ont besoin d'un apport de 0,89 g d'O<sub>2</sub> et elles libèrent 1,22 g de CO<sub>2</sub>, 0,67 g de H<sub>2</sub>O pour une production de chaleur de 3,089 kcal (3,6 Wh) – Métabolisme des glucides chez les organismes vivants*

La consommation moyenne horaire des banques a été de 4,9 g/h avec une année exceptionnellement haute en 2022-23 (6,6) et une plutôt basse en 2024-25 (3,7). Lorsque comparé à l'hivernage intérieur de ruches standards maintenues à 5°C (voir les statistiques de 10 années compilées au CRSAD), elles ont consommé en moyenne 69% plus que les ruches hivernées (4,9 vs 2,9) mais ont le double de population. Ces banques maintenues à 15°C conservent un métabolisme semblable ou même inférieur (pour une population comparable) par rapport aux ruches hivernées. Les abeilles hivernées à 5°C sont en état 'grappé' pour survivre alors que celles des banques demeurent actives et réparties dans toute la ruche.

Les valeurs de chaleur (w), d'O<sub>2</sub>, de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O sont théoriques et proportionnelles à la consommation des banques. La ventilation continue requise de l'enceinte doit assurer l'approvisionnement en O<sub>2</sub> mais surtout permettre l'élimination de la vapeur d'eau du CO<sub>2</sub>.

# Portrait métabolique d'une banque de reines

Pour assurer les conditions environnementales optimales, voici en résumé le portrait métabolique d'une banque de reines. Les banques de reines orphelinées et très peuplées à la formation à la fin août ( 2 hausses et ~50000 cellules de couvain) et contiennent 40 reines en cagettes.

Puisqu'il y a absence de couvain tout au long de la période de confinement, le métabolisme des banques semble assez constant<sup>2</sup> bien qu'une petite proportion d'abeilles meure au cours de la période<sup>3</sup>. Le taux de ventilation demeurant relativement constant témoigne de la régularité du métabolisme des banques tout au long de la période de confinement.

La production moyenne de chaleur s'élève à 19 w. La production de vapeur d'eau nécessite des échanges gazeux entre la banque et l'environnement de l'ordre de 350 L/h (4 w) et le reste de la chaleur (15 w) contribue à réchauffer l'air de l'environnement.

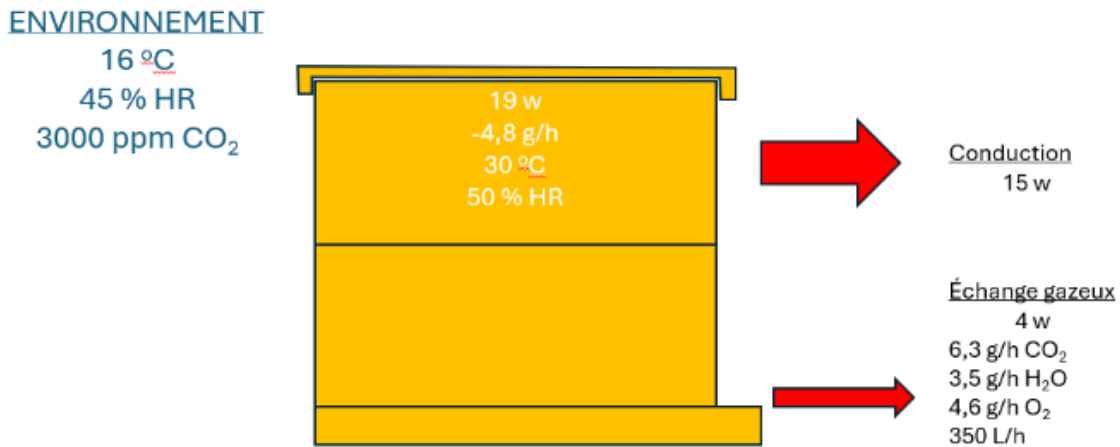


Figure 6 Métabolisme théorique moyen des banques de reines maintenues dans un environnement à 16°C

La production de gaz carbonique au rythme de 6,3 g/h augmente la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'environnement. Pour maintenir une qualité d'air, il a été convenu de maintenir l'environnement à moins de 3500 ppm. Ainsi pour maintenir un taux moyen de CO<sub>2</sub> autour de 3000 ppm dans la pièce, il faut un taux continu de changement d'air de **1,7 m<sup>3</sup>/h**<sup>4</sup>. Ce taux de renouvellement doit être continu et ne devrait pas dépasser cette valeur en hiver alors que l'air a un très grand pouvoir asséchant. Au-delà de ce taux, il devient difficile de maintenir un taux d'humidité convenable (plus de 40%), puisque même par temps froid il faut à l'occasion humidifier pour maintenir ce seuil.

<sup>2</sup> En 2024-25, le taux de CO<sub>2</sub> oscillait entre 3000 et 3500 ppm et le taux de ventilation s'est établi à 1,4 m<sup>3</sup>/h-banque de moyenne et ce de façon relativement constante durant toute la période de confinement

<sup>3</sup> Donnée non mesurée, mais estimée à environ 30% de la population

<sup>4</sup> Basé sur l'introduction d'air frais à 425 ppm de CO<sub>2</sub> dans un environnement à 16°C - 45% HR – 3425 ppm de CO<sub>2</sub> (1,217 kg air/m<sup>3</sup>)

# Conditions d'ambiance à privilégier

## Température :

Depuis 2018, les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque la température avoisine 16°C. Le pire rendement s'est produit avec une température plus froide à 14°C en 2020-21. Depuis, la méthode a été de tendre vers 16°C. Cela ne veut pas dire qu'augmenter cette dernière ne serait pas favorable, mais il faudrait faire des essais à des températures plus élevées. La stabilité de la température est importante pour éviter aux colonies d'avoir à constamment s'ajuster. Comme c'est le cas pour l'hivernage à 5°C, plus la température est maintenue stable, plus la consommation est réduite, d'où un métabolisme réduit. Cette même approche devrait être valable pour les banques de reines. La présence d'un capteur dans les banques nous a permis de voir que les abeilles réagissent à toutes les fluctuations internes et cela proportionnellement à l'amplitude des variations.

## Humidité relative :

C'est un facteur à ne pas négliger. Au cours des 4 premières années d'essai, l'humidité relative moyenne de la chambre était souvent dans des valeurs avoisinant 50% sauf en 2018-19 où l'humidité moyenne se situait autour de 40%. C'est aussi l'année où le taux de succès a été le plus élevé.

Dans le cadre de ce projet, il a été possible de constater des taux élevés au début du confinement en octobre. Les valeurs de l'ordre 70% ne sont pas rares même si la thermopompe retire une bonne quantité d'eau lorsqu'elle doit fonctionner en climatisation. Au fur et à mesure qu'il fait plus froid à l'extérieur l'humidité relative baisse et pourrait facilement descendre à des valeurs de l'ordre de 25-35% pas temps très froid ce qui risquerait de trop déshydrater les réserves de sirop et le rendre moins assimilable par les abeilles. Pour diminuer l'effet hygroscopique provoquant l'assèchement du sirop, l'humidité relative est maintenue en tout temps à plus de 40% et pour l'instant cela semble correct.

*Tableau 8 Conditions environnementales à maintenir pour le confinement des banques de reines*

Condition	Spécifications	Remarques
<b>Température</b>	16°C	La stabilité très importante. Éviter fluctuations qui excitent les abeilles. Idéalement $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
<b>Humidité relative</b>	40% et plus	Humidification idéalement avec vapeur chaude
<b>Gaz carbonique</b>	3500 ppm et moins	Contrôlé par ventilation
<b>Luminosité</b>	0 lux – Obscurité totale	Toute infiltration lumineuse doit être camouflée

## Gaz carbonique :

La production de gaz carbonique par les abeilles est importante : 6,3 g/h-banque en moyenne. Il faut effectuer des changements d'air de l'environnement pour assainir l'air autour des banques. Avant 2024, aucun contrôle n'était effectué. La chambre de croissance dans laquelle le projet était réalisé effectuait des changements d'air importants et inconnus qui nécessitaient beaucoup d'humidification pour maintenir autour de 50% HR. Donc jusqu'en 2024, nous n'avons pas d'idée du taux de CO<sub>2</sub> maintenu. Les abeilles pourraient supporter un taux de CO<sub>2</sub> assez élevé sans de véritables conséquences, mais il faut maintenir une qualité de l'air adéquate sans trop assécher l'air et amener une dépense énergétique trop élevée.

La chambre (nouveau module) qui a été aménagée au CRSAD est très étanche et cela est important pour exercer le contrôle de tous les facteurs. La ventilation a été prévue en fonction du contrôle du CO<sub>2</sub> seulement. Le débit requis est minimal pour maintenir la qualité de l'air et cela évite un apport d'énergie de chauffage inutile et le dessèchement de la chambre lors des périodes prolongées de grand froid.

## Luminosité :

Les abeilles maintenues à 16°C sont très actives et très sensibles à toute infiltration de lumière. Il faut nécessairement avoir un SAS d'entrée avant d'accéder à la section abeilles. Toutes les issues avec l'extérieur sont protégées lorsque nécessaire. C'est le cas de l'orifice de ventilation sur lequel il est primordial d'avoir un dispositif cache-lumière. Comme pour l'hivernage intérieur, la lumière de couleur rouge doit être utilisée pour de courtes interventions humaines dans l'enceinte.

## Aménagement d'une chambre contrôlée :

L'aménagement d'une chambre pour y faire séjourner des banques de reines du début du mois d'octobre jusqu'au mois de mai s'apparente un peu à l'aménagement d'une chambre d'hivernage de ruches. La grande distinction est qu'on y maintient une température plus élevée (16°C) et qu'on y exerce un contrôle pour maintenir une humidité relative minimale de 40%. Dans le cas de la chambre d'hivernage, le contrôle de la température à 5°C s'exerce par l'action combinée de la ventilation et de la réfrigération. Pour le maintien de banques de reines, le contrôle de la température par la ventilation assècherait trop l'air environnant des banques. Le contrôle de la température s'exerce principalement par une thermopompe qui peut climatiser ou chauffer au besoin. Il faut toutefois assurer une ventilation continue et minimale pour maintenir une bonne qualité de l'air. Dans le cadre de ce projet la ventilation permettait de maintenir un taux de CO<sub>2</sub> inférieur à 3500 ppm.

## Hauteur requise :

La hauteur doit être au moins 2,3 m. Il n'a pas d'intérêt à avoir plus de hauteur car ces banques à 2 hausses sont lourdes et déplacées manuellement de sorte que loger les banques sur 2 niveaux apparaît bien suffisant.

## En bâtiment ou conteneur:

Une section de bâtiment isolé demeure le meilleur choix car il offre une meilleure inertie thermique dû au fait qu'il est habituellement sur une dalle de sol en béton et qu'il a au plus 2 murs donnant sur l'extérieur. Lorsque soumis à des écarts de température plus importants, un aménagement en bâtiment est soumis à des demandes de chauffage/climatisation inférieures et moins subites. Les banques de reines peuvent occuper un petit espace de quelques mètres carrés et le corridor adjacent (noirceur requise) servira de SAS d'entrée.

L'usage d'un conteneur maritime isolé tel qu'utilisé au CRSAD est une bonne alternative. Il faut évidemment le modifier et l'adapter à cet usage, ce qui est décrit plus loin. Il a l'avantage d'être installé dans une cour plus proche des opérations liées aux reines. Il faut penser aux accès pour les vérifications en hiver et pour le chargement/déchargement des banques. Pour la durabilité, il doit être installé sur une base solide et un coût additionnel doit être prévu pour l'alimentation électrique qui est à distance du bâtiment principal (comme au CRSAD). Les six parois du conteneur exposées à l'extérieur font en sorte que les fluctuations thermiques ressenties sont plus immédiates, ce qui exige un contrôle plus réactif et précis que pour un aménagement à même un bâtiment existant. De plus, il faut nécessairement prévoir un SAS d'entrée qui occupe quelques mètres carrés (3 à 4 m<sup>2</sup>) pour prévenir la lumière vers les banques lorsqu'on effectue une visite.

## Volume requis:

Les banques de reines dans le cadre de ce projet sont de 2 hausses Langstroth et occupent un volume physique de 0,15 m<sup>3</sup>. Dans les installations CRSAD en 2025-26, chacune des 20 banques occupait 1,6 m<sup>3</sup>. Elles étaient disposées sur un seul niveau, ce qui permettait l'accès à chacune d'elles pour effectuer des prélèvements requis pour la recherche. Hors recherche, il n'y a pas d'intervention à faire autre que de balayer les abeilles 2 ou 3 fois au cours du confinement, ce qui rend possible d'y placer 2 niveaux, soit 40 banques correspondant à 0,8 m<sup>3</sup> par banque.

## Isolation:

Les conditions environnementales de 16°C et 40-75% HR n'exigent pas de particularités spéciales au niveau de l'isolation. Il faut toutefois respecter un minimum requis en bâtiment qui est de R-25 (murs), R-41(toit), R-17(fondation) et R-7,5 (dalle sur sol) avec un pare-vapeur intérieur.

L'usage d'un conteneur, par exemple d'un conteneur réfrigéré à paroi métallique offre une isolation à valeur plus faible, mais sans pont thermique, puisqu'il est fait de parois de type

sandwich rempli d'uréthane à haute densité. Les parois de 75 mm d'épaisseur ont un facteur moyen de R-18. L'apport énergétique dans un conteneur de ce type devrait être un peu supérieur à un aménagement dans un bâtiment.

## Ventilation:

La ventilation ne sert qu'à effectuer les changements d'air requis pour assainir les conditions intérieures de l'enceinte. Elle ne sert pas à effectuer le contrôle de la température comme cela est pratiqué pour les chambres d'hivernage de colonies à 5°C. Elle s'effectue à petit débit et correspond théoriquement à 1,7 m<sup>3</sup>/h-banque ou 0,5 L/s-banque. Une sonde de CO<sub>2</sub> qui permet l'activation du ventilateur d'extraction entre 3000 et 3500 ppm est requise pour le contrôle. Par exemple, pour 20 banques, un petit ventilateur de 100 mm de diamètre d'une capacité 50 L/s @ 10 Pa effectuera le travail. Pour prévenir le retour d'air froid en hiver, l'ajout d'un clapet anti-retour sur la conduite d'extraction est primordial mais il augmente la pression statique d'opération. Il faut donc prévoir cette contrainte dans le choix du ventilateur car la réelle pression d'opération peut atteindre 40 Pa. Toutefois il faut éviter de surdimensionner ce ventilateur afin de rendre le processus graduel et d'éviter les chocs thermiques. Il faut privilégier une ventilation à pression négative et s'assurer que les clapets (entrée et sortie) soient en position pour éviter le gel.

L'étanchéité de la pièce est primordiale pour assurer un bon contrôle des conditions, notamment du taux de CO<sub>2</sub> et de l'humidité relative. L'utilisation d'un coupe-vapeur intérieur est suggéré et tous les joints doivent être scellés.

## Recirculation:

La recirculation de l'air doit assurer l'homogénéité de la température et des concentrations de gaz dans tout le volume de la chambre. La recirculation de l'air assure la qualité de l'air autour des banques, mais assure également que les capteurs réagissent selon les caractéristiques réelles moyennes de l'air. En l'absence de recirculation, l'air va se stratifier et cela engendre des écarts importants entre le bas et le haut de la chambre. Un débit minimal mais constant doit être maintenu. Le débit devrait assurer une vitesse d'air à proximité des banques qui ne devrait pas dépasser 0,1 m/s. Dans le cadre de ce projet au CRSAD, c'est le ventilateur intégré à la thermopompe qui assurait la recirculation à un débit de 84 à 134 L/s dans une chambre de 24 m<sup>3</sup>. En mode chauffage, l'appareil<sup>5</sup> avait la particularité que la recirculation cessait de fonctionner temporairement entre les cycles de chauffage. Cela n'a pas causé de problème car l'arrêt ne durait que quelques minutes et l'air avait peu de temps pour se stratifier. En résumé, la recirculation de l'air devrait être de l'ordre de 3 à 6 L/s par m<sup>3</sup> de chambre.

---

<sup>5</sup> Thermopompe Direct Air 9000 Btu/h

## Chauffage/climatisation :

Le dimensionnement du système est beaucoup plus dépendant de la surface de plancher que de la présence de ruches. Les banques ont un apport constant non négligeable de chaleur dont il faut quand même tenir compte.

Climatisation : Il faut de la climatisation au cours de la période de confinement qui s'échelonne d'octobre à mai. La charge de climatisation n'est pas énorme, mais plus exigeante que pour un usage domestique car la température désirée est de 16°C. Au niveau domestique la charge recommandée est de 100 w/m<sup>2</sup>. Compte tenu d'un usage plus exigeant pour les banques de reines, la charge suggérée serait de 125 w/m<sup>2</sup>. Chaque banque ajoute une charge de 20 w. Il faut s'assurer de bien éliminer l'eau condensée vers l'extérieur, car le système agit comme déshumidificateur.

Chauffage : La charge de chauffage recommandée est de 70 à 100 w/m<sup>2</sup> pour une maison convenablement isolée. Pour une petite surface il faut tendre vers 100 w/m<sup>2</sup> même s'il y a l'apport de chaleur des banques.

Une thermopompe est tout indiquée pour réguler la température d'une telle chambre car elle peut climatiser et chauffer. Toutefois, il faut ajouter une sécurité en chauffage avec l'ajout d'un second palier (chauffage électrique auxiliaire de même puissance) car une thermopompe cesse de fonctionner lors du dégivrage. Un système auxiliaire de chauffage prend alors le relais lors de ces cycles ou lors des périodes très froides<sup>6</sup> (moins de -20°C). Il suffit de régler l'un et l'autre de façon à prioriser le chauffage par la thermopompe. Par exemple, la thermopompe est réglée à 16°C et le chauffage auxiliaire à 15°C.

## Humidification / déshumidification:

L'humidité relative se tient naturellement haute à l'automne, car l'air extérieur peut parfois atteindre 20-25°C alors que la chambre est maintenue à 16°C. Cette situation combinée à la production non négligeable de vapeur d'eau par les abeilles crée nécessairement une humidité relative élevée. La thermopompe en mode climatisation contribue à en abaisser le taux, mais il n'est pas rare que l'HR se situe autour de 70%. Dès que la température extérieure s'abaisse, l'HR va baisser facilement vers les 50-60% sans aucune action autre que par la ventilation qui elle est activée selon le taux de CO<sub>2</sub>. Les changements d'air par la ventilation contribuent à abaisser à la fois le taux de CO<sub>2</sub> et l'humidité relative.

Par la suite, en hiver la ventilation même aussi petite que celle requise pour le maintien du CO<sub>2</sub> tend à assécher l'environnement. Dans les froids importants, avec la ventilation activée pour le maintien du CO<sub>2</sub>, l'HR pourrait descendre à moins de 40% et même 30%. Dans ces circonstances l'humidification est mise en marche pour maintenir un minimum de 40%.

Dans le cadre de ce projet, l'humidification ultrasonique a été utilisée au début, mais c'est surtout l'humidification à vapeur chaude qui permet une réaction plus rapide. La correction de l'HR

---

<sup>6</sup> Les thermopompes demeurent peu efficaces à de telles températures

s'effectue plus rapidement que par ultrason où ce sont de fines gouttelettes qui sont projetées et qui tardent à se transformer en vrai vapeur d'eau.

Le déficit en eau est facile à combler. Théoriquement, les banques d'abeilles produisant en moyenne 3,5 g d'eau/h, sachant que le taux de ventilation est de l'ordre de 1,7m<sup>3</sup>/h, à une température extérieure de -25°C, le déficit à combler serait autour de 3 g/h, donc la capacité d'humidification devra couvrir minimalement cette valeur et idéalement la doubler (6 g/h).

## Contrôle:

Idéalement un contrôleur centralisé devrait contrôler l'ambiance. Ce contrôleur doit être muni des sondes suivantes :

- Température (opération entre 10 et 30°C)
- Humidité relative (opération entre 20 et 90%)
- CO<sub>2</sub> (opération entre 0 et 10000 ppm)

Le bon fonctionnement de chaque composante suppose leur bon positionnement et aussi une protection contre les abeilles qui peuvent s'y loger. Par exemple chaque plinthe électrique et tous les capteurs doivent être protégés avec du grillage.

Tableau 9 Résumé des conditions et composantes requises d'une chambre à ambiance contrôlée pour banques de reines

	Spécifications	Remarques
<b>Température</b>	16°C	Stabilité, viser ±0,5°C
<b>Humidité relative</b>	40 à 70%	Climatisation – / humidification +
<b>Gaz carbonique CO<sub>2</sub></b>	3000-3500 ppm	Sonde CO <sub>2</sub> requise
<b>Luminosité</b>	0 lux	Obscurité totale et usage d'ampoule de couleur rouge lorsqu'accès du côté abeilles
<b>Volume requis</b>	0,8 à 1,6 m <sup>3</sup> /banque	0,8 m <sup>3</sup> / banque. En rang à deux de hauteur et un corridor
<b>Hauteur</b>	2,4 m	Pas d'avantage si plus haut et pas plus de 2 rangs superposé
<b>SAS d'entrée</b>	3-4 m <sup>2</sup>	Pour faciliter l'accès intérieur. Zone tampon
<b>Isolation</b>	Minimum R-17 ou RSI-3	Isolation obligatoire sur les 6 parois. Viser à dépasser cette valeur en bâtiment (réf. : Code du bâtiment)
<b>Ventilation</b>	1,7 m <sup>3</sup> /h-banque ou 0,5 L/s-banque	Ventilation optimale contrôlée par la teneur en CO <sub>2</sub>
<b>Recirculation</b>	3 à 6 L/s par m <sup>3</sup> de volume	Viser vitesse de l'air à moins de 0,1 m/s à proximité des banques

<b>Climatisation*</b>	125 w / m <sup>2</sup> de plancher + 20 w/banque	Thermopompe domestique
<b>Chauffage*</b>	100 w / m <sup>2</sup> de plancher	Thermopompe domestique** (100 w/m <sup>2</sup> ) et chauffage électrique (100 w/m <sup>2</sup> )
<b>Déshumidification</b>	0,6 L/ kW de clim	Drainage eau à l'extérieur
<b>Humidification</b>	6 g / h - banque	Humidificateur à vapeur chaude
<b>Contrôle</b>	(voir les consignes)	Le plus intégré possible avec un temps de réponse rapide et précis pour une chambre de petit format

*\*Attention de ne pas trop dépasser la valeur indiquée. Si trop puissante, cela génère des fluctuations rapides et des dépassements de consigne*

*\*\* Viser une thermopompe pouvant fonctionner jusqu'à -30°C*

# Aménagement de la chambre de banques de reines au CRSAD

Le but du projet était à la base de construire une chambre adaptée à cette tâche qui pourrait être facilement reproduite chez les éleveurs de reines ou les apiculteurs désireux de disposer d'un inventaire de reines en début de saison. Il fallait viser à ce que ce soit réalisable simplement, à faible coût et que cela puisse facilement s'intégrer aux autres tâches et infrastructures apicoles de l'entreprise. De là est venue l'idée de faire cet aménagement à partir d'un conteneur maritime usagé et qui pourrait être placé à un endroit propice aux opérations faites sur les reines.

## Conteneur maritime:

Un conteneur maritime réfrigéré a été utilisé. Les parois isolées de 75 mm de polyuréthane de type sandwich a un revêtement intérieur métallique d'acier inoxydable sur toutes ses parois. Le mur sur lequel l'unité de réfrigération était fixée a été remplacé par un mur fabriqué et isolé de la même manière. Sur ce mur une porte d'homme permet l'accès à l'intérieur. Du côté extérieur de ce mur, le compresseur de la thermopompe y est fixé. L'aménagement intérieur consiste uniquement à un mur partiellement isolé et avec une porte d'homme donnant accès au côté abeilles. Ce mur assure l'effet SAS requis pour accéder aux abeilles en évitant l'excitation des abeilles par la lumière.

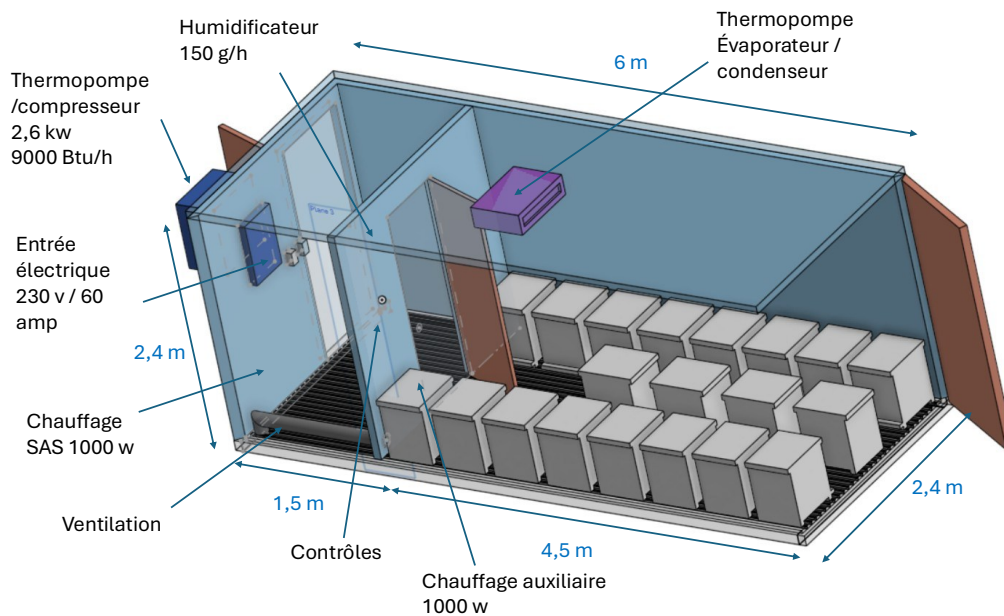


Figure 7 Aménagement d'une chambre pour les banques de reines de reines dans un conteneur maritime de 6 m et disposition des banques de reines en 2025-26

## Composantes:

Les composantes sélectionnées dans le cadre de ce projet sont standards d'approvisionnement facile et toujours le plus économiques possibles. La composante la plus dispendieuse est la thermopompe. À peu près n'importe quelle thermopompe domestique peut être utilisée. Le modèle 9000 Btu/h de Direct Air utilisé fonctionne correctement mais avec une précision de contrôle de la température un peu faible. La température se maintenait autour de la consigne mais avec une oscillation d'une assez grande amplitude ( $\pm 1$  à  $1,25^{\circ}\text{C}$ ). En principe, le compresseur à vitesse variable devrait moduler pour maintenir une température plus stable et précise autour de la consigne, ce qui n'a pas été le cas avec ce produit. Une thermopompe plus haut de gamme pourrait possiblement offrir la précision désirée qui devrait être  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Tableau 10 Liste des composantes utilisées pour la chambre pour banque de reines au CRSAD

	Marque/capacité	Particularités
Entrée électrique	230 V/ 60 A	Avec panneau de distribution 3 circuits 230 V (Thermopompe et chauffage) 3 circuits 110 V (Ventilation, humidification, éclairage et prises électriques)
Thermopompe	Direct Air - 9000 Btu/h	Tête adaptable pour conduit <sup>7</sup> . Grillage 8 mailles/po à l'entrée de l'air Livré avec son système de contrôle
2 Plinthes	1000 w côté Abeilles	Plinthe avec protection grillagée du côté abeilles 1-Contrôlée par micro-contrôleur 2- Contrôlée par thermostat si panne de réseau
Plinthe	1000 w côté SAS	Avec un thermostat
Humidificateur	Bionaire Clean Mist 2.5	À vapeur chaude Placé du côté SAS et vapeur dirigée du côté Abeilles
Ventilateur	50 L/s @ 10 Pa	Axial pour conduit de 100 mm de diamètre à vitesse variable au besoin
Contrôleur	Ubibot NR-1	Contrôle jusqu'à 4 relais Wifi / Ethernet
Sonde CO2	CO2 Probe (Ubibot)	0-10000 ppm (Sonde filaire raccordé au NR-1)
Sonde temp/HR	TH30S-B	Température / HR intérieure
2 Caméras wifi	Aosu	1 extérieur avec panneau solaire 1 intérieure alimentée 110 V
Aspirateur (Shop vac)	15 Litres	Portable Nécessaire pour nettoyage des abeilles mortes

<sup>7</sup> Une tête murale conventionnelle s'adapterait tout aussi bien. L'idée de diriger l'air via un conduit tel qu'il était souhaité au début n'est pas avantageux pour une chambre de petit format

## Contrôle:

Le thermostat intégré de la thermopompe est celui qui contrôle la température de la chambre en première instance (palier unique de climatisation et premier palier de chauffage). Ce thermostat peut être utilisé en mode automatique, ce qui lui permettrait de passer du mode climatisation au mode chauffage par sa simple lecture de température. C'est une fonction intéressante en début d'automne et au printemps où il est fréquent de chevaucher les 2 modes dans une même journée. Or, cette façon de faire n'est pas recommandée par le fournisseur car le changement de mode peut s'effectuer trop tardivement. Le changement de mode s'effectue avec une application connectée IFTTT décrite plus loin et qui permet une transition plus précise.

Bien que la thermopompe se gère par elle-même, un contrôleur est utilisé pour contrôler toutes les autres composantes : chauffage auxiliaire ou 2<sup>ème</sup> palier, ventilation, humidification. Le contrôleur Ubibot NR-1 muni de sondes (T, HR, CO<sub>2</sub>) dispose de 4 relais dont 3 sont utilisés. Ce microcontrôleur permettait non seulement d'effectuer leur contrôle, mais toutes les données sont visibles et accessibles en temps réel. Il est aussi possible de changer les consignes à distance au besoin. Il y a sur le marché de plus en plus d'appareils connectés de ce genre, mais ce dernier est très économique à l'achat (270\$ avec les capteurs) et permet la connexion et l'accès aux données gratuitement.

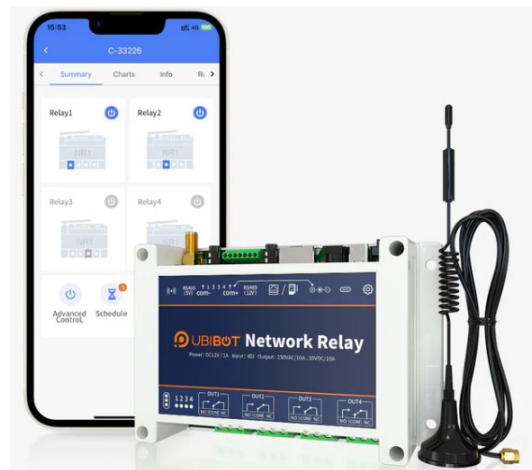


Figure 8 Microcontrôleur Ubibot Nr1 pour 4 relais

### Plateformes connectées IFTTT<sup>8</sup>

Le changement d'état de la thermopompe peut se faire manuellement. Le désavantage est qu'il faut demeurer alerte en tout temps surtout à l'automne et au printemps lorsque l'état doit changer à tous les jours (effet jour/nuit). La plateforme d'automatisation IFTTT permet de connecter des applications, des services et des appareils connectés. La thermopompe peut aussi être contrôlée par une application connectée qui s'appelle Nethome Plus. Ainsi, le passage d'un état à l'autre s'effectue via 3 applications connectées<sup>9</sup>:

<sup>8</sup> IFTTT (*If This Then That*) se définit comme une plateforme web qui permet de lire et commander des actions via d'autres plateformes web

<sup>9</sup> L'usage d'un contrôleur qui aurait la capacité d'intégrer toutes les actions à réaliser incluant celles visant la thermopompe serait préférable. Or, la thermopompe de type domestique se gère par son propre système de contrôle et l'usage de ces applications connectées permettrait de contourner économiquement cette problématique. L'usage de chacune d'elles est gratuit.

IFTTT s'interroge constamment de la température auprès de Ubibot et selon la lecture, il demande à Nethome Plus de changer le mode selon le besoin. Toutes les actions sont enregistrées sur le site web, ce qui permet de faire un suivi et corriger au besoin les actions à poser. L'avantage à utiliser cette approche était d'ajouter plus de précision en prenant l'information de la température sur une sonde sensible et plus précise pour faire l'action de changement de mode en temps opportun.

Le contrôleur Ubibot prend en charge l'ensemble des interventions puisqu'il définit le mode d'opération de la thermopompe et il prend en charge directement le chauffage auxiliaire (palier 2), la ventilation et l'humidification via 3 de ses relais.

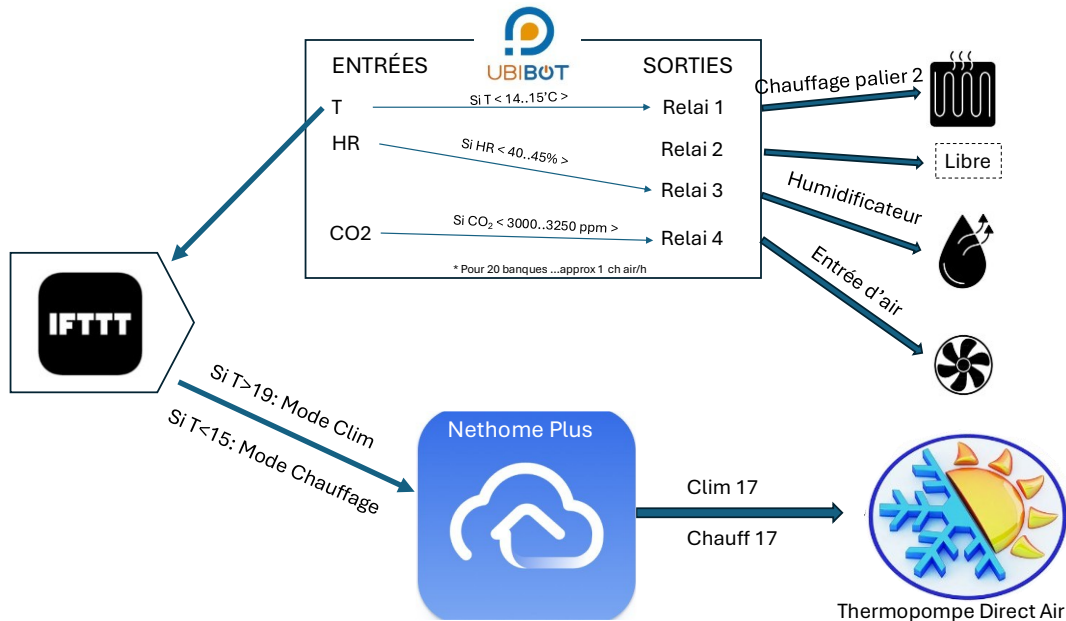


Figure 9 Schéma de la logique de fonctionnement utilisant 3 applications connectées pour contrôler les conditions environnementales de la chambre pour les banques de reines (CRSAD)

## Opération:

La chambre est mise en opération à la fin de septembre et maintenue jusqu'à la sortie des banques en mai donc sur 7 mois. Comme une chambre d'hivernage des colonies d'abeilles, il n'y a pas d'opération à faire à l'intérieur durant l'hivernement autre que de balayer les abeilles mortes au sol.

## Nettoyage

Le balayage d'abeilles ne doit pas être répété trop souvent, car cela dérange de façon assez importante les banques car on doit le faire sous la lumière rouge. Les abeilles sont plus actives qu'en hivernage à 5°C donc beaucoup plus sensibles. Le faire 2 ou 3 fois durant toute la période apparaît être suffisant. Le conteneur utilisé au CRSAD qui est un conteneur frigorifique est muni d'un plancher latté surélevé d'une hauteur de 40 mm et la majorité des abeilles mortes tombent

dans cet espace. Cela a comme avantage d'éviter de les écraser en marchant, mais cela complique le nettoyage qui doit obligatoirement être fait avec une balayeuse. L'usage d'un plancher plat serait peut-être plus simple.

À la fin de la saison, un peu comme pour une chambre d'hivernage, il est souhaitable de laver toutes les surfaces. Les surfaces sont en acier inoxydable lisse, donc ce lavage peut se faire avec une laveuse à pression.

Surveillance :

Pour faire un bon suivi, l'usage d'applications connectées est un avantage. Il permet de voir en tout temps ce qui se passe et d'intervenir presque uniquement à distance. Des messages d'alarme programmés peuvent être transmis. Au CRSAD, les messages sont transmis via courriels ou par messages textos aux responsables.

Tableau 11 Conditions d'alarme transmises par courriels ou textos

	Alarme basse	Alarme haute
Température	14°C	20°C
CO <sub>2</sub>	-	4000 ppm
Humidité relative	37%	-
Connexion wifi	Si déconnexion 5 min <sup>10</sup>	-

## Coût de l'aménagement du module:

Un conteneur maritime recyclé a été utilisé. Le choix s'est porté sur un conteneur frigorifique qui ne nécessitait pas l'isolation des parois. Toutefois, le mur d'origine portant les équipements de réfrigération a été remplacé par un mur avec une isolation équivalente sur lequel une porte d'homme isolée a été installée.

Une base d'environ 400 mm de gravier ainsi qu'une allée donnant accès ont été aménagées à une distance d'environ 10 m du centre apicole du CRSAD. Le conteneur a été déposé sur 4 pilotis. Après l'acquisition du conteneur, l'entrée électrique et le panneau de distribution constituent la dépense la plus importante 6478,26\$.

La thermopompe à usage domestique est aussi une part importante des dépenses dans le projet (4821,70\$) et a été installée par un professionnel du domaine.

Le budget alloué au contrôle et aux sondes requises a été de seulement 357,91\$.

---

<sup>10</sup> En 2024-25, au-delà de 20 interruptions ont été signalées, car le réseau était défaillant. Après le changement des routeurs, seule une courte défaillance a été signalée en 2025-26 et le rétablissement a été automatique et rapide.

La main d'œuvre pour réaliser toutes les adaptations et la mise en marche n'est pas chiffrée car elle a été réalisée à l'interne. Environ 30 jours ouvrables ont été requis pour faire les montages et apporter les différents correctifs à la mise en marche.

Tableau 12 Liste des dépenses pour l'acquisition d'un conteneur maritime recyclé et sa transformation pour l'hivernage

<b>BUDGET DE DÉPENSES</b>		<b>Acquisition d'un Conteneur maritime pour reines adaptations et transformations</b>	
26-janv-26			
			<b>Prix sans taxes</b>
Achat conteneur usagé 20'			9 897,85 \$
	Refaire mur de réfrigération		
	Ajout porte d'homme 34"		
Transport et installation sur site avec base			3 416,77 \$
Sortie électrique pour alimentation (220 V/60 amp)			6 478,26 \$
Cloisons et aménagement			
	matériel		290,57 \$
	M-O		-*
Thermopompe			4 821,70 \$
Contrôle et sondes (Ubibot: NR1, CO2, Th30)			357,91 \$
Instrumentation (wifi, caméras, autres)			54,79 \$
Autres accessoires ventil, fil clapet			32,98 \$
Autres dépenses:			
	Plinthe et thermostat additionnel		121,00 \$
	Rail et relais 110/220V		92,73 \$
	Aspirateur (Shop Vac)		75,00 \$
	Sondes Pt100 et DS18B20-3M-usb		131,23 \$
	3 routeurs de remplacement		270,13 \$
	Autres quincailleries diverses		250,00 \$
			<b>26 290,93 \$</b>
	* Main d'œuvre faite à l'interne au CRSAD		

## Coûts d'opération:

La principale dépense d'opération est la consommation électrique. En 2024-25, la première année, la thermopompe n'a pas été utilisée comme système de chauffage, puisque l'aménagement intérieur ne permettait pas son bon fonctionnement<sup>11</sup>. Tout le chauffage reposait sur l'activation de plinthe électrique, dont le nombre d'heures d'usage a été compilé (figure 11).

Pour les autres composantes : Ventilation, humidification, recirculation, ces valeurs n'ont pas été compilées mais correspondent à une très petite proportion de tout l'électricité consommée.

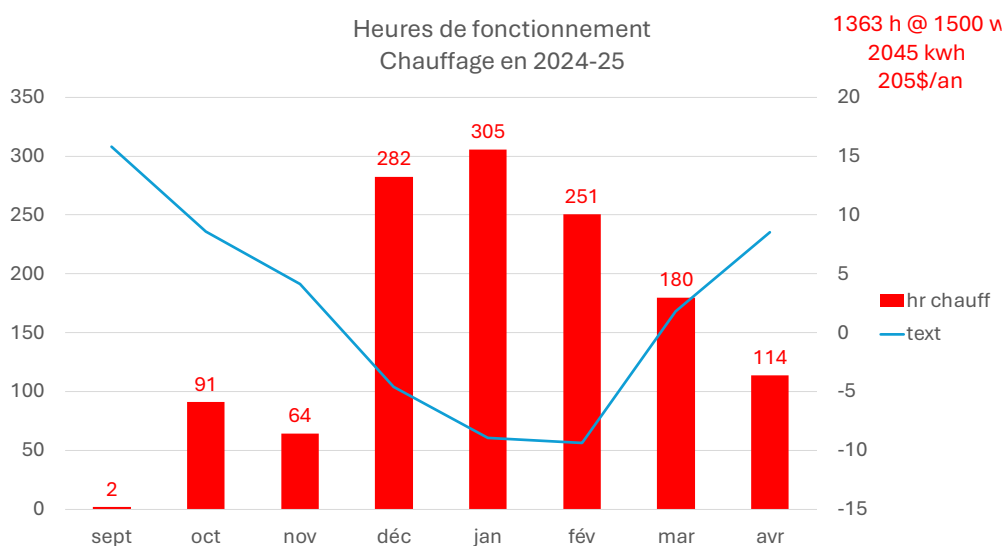


Figure 10 Nombre d'heures mensuel de chauffage de 1500 w. Le cumulatif pour toute la saison a été de 2045 kWh soit l'équivalent de 205\$ à raison de 0,10\$/kWh

En 2025-26, bien que le séjour des banques ne soit pas terminé, le chauffage est principalement assumé par la thermopompe. Jusqu'à présent (26 janvier 2026), la consommation électrique cumulée de toutes les composantes est de 717 kWh alors que l'an dernier à pareille date la consommation du chauffage uniquement était de 1042 kWh.

L'usage de la thermopompe en 2025-26 devrait amener une économie d'énergie de 50%, ce qui reste à confirmer en fin de saison. La thermopompe s'avère indispensable pour la climatisation à certaines périodes et amène des économies énergétiques importantes en matière de chauffage.

<sup>11</sup> En 2025, pour la saison 2025-26, l'unité a été déplacée directement dans la section abeille, ce qui a permis son utilisation en climatisation et en chauffage, alors que ce n'était pas possible en 2024-25 (trop d'écart de température rencontrés). En 2024-25, l'air était recirculé via le SAS, ce qui créait de trop grands écarts de température en mode chauffage

Économie d'échelle :

Le module qui a été développé a permis d'hiverner 12 banques en 2024-25 et en 2025-26, 20 banques sont présentement à l'intérieur. Le module aurait la capacité d'hiverner facilement 40 banques en superposant deux rangs de banques et cela ne changerait que très peu les frais d'opération. Au contraire, en l'utilisant à pleine capacité, la charge de chauffage diminuerait un peu et cela aurait un faible impact sur la charge de climatisation.

## Sommaire technico-économique

Ce sommaire est présenté selon :

1. Scénario CRSAD : Les coûts et les valeurs réelles obtenues lors de la saison 2025-26 au CRSAD.
2. Scénario suggéré pour production apicole commerciale : Infrastructure simplifiée et les valeurs ajustées à une production hors recherche.

Les coûts fixes sont amortis de façon linéaire sur une période de 15 ans.

### Scénario CRSAD :

Pour les coûts variables, ils sont basés sur les prix 2025 avec les précisions suivantes pour certains coûts :

- La consommation électrique totale pour l'hivernage 2025-26 devrait avoisiner les 1400 kWh en extrapolant les données de consommation actuelle. En appliquant le modèle prévisionnel moyen, la consommation électrique se situe autour de 1575 kWh (tableau 14). Cette dernière valeur a été considérée.
- Le coût d'une colonie est basé sur la valeur en fin de saison en 2025 de 450\$ et considère un taux de survie de 80% pour une colonie régulière. Cela représente donc un coût de 360\$ puisqu'il s'agit d'une colonie provenant de l'entreprise.
- Le coût des reines est celui des reines locales disponibles sur le marché en fin de saison car le coût de production pour une reine CRSAD n'est pas connu.

Pour la valeur printanière d'une banque, un taux de survie des reines de 75% est utilisé. Les reines CRSAD sont vendues 75\$ en été (comparativement à 45\$ pour les reines de production standard). Un prix premium de début de saison à 90\$ serait raisonnable mais n'a pas été testé sur le marché. Les reines importées se vendent entre 50-55\$ au printemps. Une génétique adaptée localement a plus de valeur et certains apiculteurs vont même jusqu'à acheter 2 reines pour leurs colonies : 1 importée au printemps pour augmenter leur cheptel et une locale en été pour augmenter le taux de survie hivernale. Dans ce cas extrême la valeur d'une reine locale au printemps équivaut donc à 2 reines pour un total de près de 100\$ (55\$ reine importée + 45\$ reine locale). Des essais au CRSAD ont également démontré que des nouvelles colonies formées au printemps avec une reine locale banquée produisent 10 kg de miel de plus que des colonies formées avec des reines

californiennes. Cela représente un revenu brute supplémentaire de 60\$ par reine justifiant un prix de vente plus élevé.

Les abeilles ouvrières peuvent servir à la création de nuclei de fécondation après le retrait des reines. Le concept a été testé avec succès en 2025. La valeur d'un nucleus de fécondation est basée sur le prix des paquets d'abeilles puisqu'il n'y a pas de source locale disponible si tôt en saison. Les paquets d'abeilles de 1,5 kg sont vendus entre 275 et 375\$ selon la provenance pour le printemps 2026. En prenant le moins cher et en soustrayant la valeur de la reine (50\$), cela représente 225\$ pour 11 000 abeilles. Il faut 600 abeilles pour un nucleus de fécondation, ce qui équivaut à 12,28\$. Le nombre total de nuclei de fécondation produit par banque est un estimé et fera l'objet de travaux plus détaillés en 2026.

Avec ces données, le bénéfice net d'une banque de reine hivernée est de 865\$ (tableau 13).

Tableau 13 Bilan technico-économique basé sur l'utilisation de 20 banques par année dans le contexte recherche du CRSAD

	un	\$/un	\$/banque
<b>Coûts fixes</b>			
Conteneur isolé + terrain + instruments	conteneur	26 291,00 \$	87,64 \$
<b>Coûts variables</b>			
Électricité (1575 kWh pour 20 banques)	kWh	0,10652 \$	8,39 \$
Traitement varroase (4 bandes d'Apivar/banque)	bande	4,50 \$	18,00 \$
Sucre (17 kg/banque)	kg	1,40 \$	23,80 \$
Main d'oeuvre (5h/banque)	h	34,00 \$	170,00 \$
Cagettes à reine (40 californiennes @2\$ + 30 JZBZ/banque @0,60\$)			98,00 \$
<i>Coûts matériel vivant</i>			
Abeilles (2 colonies/banque)	colonie	360,00 \$	720,00 \$
Reines (40/banque)	reine	30,00 \$	1 200,00 \$
<b>Coût de production/banque</b>			<b>2 325,83 \$</b>
<b>Valeur printanière avec 75% survie de reines (30/40)</b>			
Nuclei de fécondation (40/banque)	nucleus	12,28 \$	491,20 \$
Reines (30/banque)	reine	90,00 \$	2 700,00 \$
<b>Valeur printanière/banque</b>			<b>3 191,20 \$</b>
<b>Net</b>			<b>865,37 \$</b>

## Scénario production commerciale :

À la suite des résultats obtenus lors de nos travaux, certains ajustements peuvent être faits afin de diminuer le coût de production des banques. Le concept d'adaptation d'un conteneur est valable dans certaines situations, mais puisque les abeilles n'ont aucun bénéfice à effectuer des vols libres à partir d'octobre, une salle aménagée à même le bâtiment apicole est souhaitable du point de vue énergétique et du coût d'aménagement.

Pour 20 banques, il est suggéré d'utiliser une section dans un bâtiment existant. Plus petit (9 m<sup>2</sup> : SAS 3 m<sup>2</sup> et Abeilles 6 m<sup>2</sup>) et mieux isolé, l'aménagement serait moins coûteux à équiper et à opérer qu'un conteneur. Avec une meilleure isolation, un simple climatiseur mural pourrait suffire et tout le chauffage pourrait être assumé par un système de plinthes tout en procurant une économie d'énergie électrique de 54% (737 vs 1575 kWh; tableau 14) en plus d'un coût d'achat inférieur à une thermopompe.

Tableau 14 Comparaison des besoins énergétiques des deux scénarios selon les statistiques de Deschambault

	Text moy (1981-2010)	T int	BILAN Énergie (kWh)	
			Conteneur*	Bâtiment**
Oct	7,2	16	43	108
Nov	0,6	16	-122	-7
Déc	-7,4	16	-315	-142
Janv	-12	16	-428	-220
Févr	-9,9	16	-377	-185
Mars	-4	16	-231	-83
Avr	4,3	16	-35	52
Mai	11,6	16	156	189

Clim:	199	297
Chauffage:	-1508	-638
Électricité***:	1575	737

\*20 x 8 x 8', Isolation RSI3,5, ventilation 0,37 L/s, 20 banques

\*\*12 x 7 x 8', Isolation RSI4,4, ventilation 0,37 L/s, 20 banques

\*\*\*Le COP=3 pour la climatisation : Clim / 3

La main-d'œuvre en production commerciale est moins dispendieuse qu'au CRSAD et le temps requis sans manipulation spécifique pour la recherche est diminué de 50%. Cependant, la valeur des reines au printemps serait inférieure à celle du CRSAD et les nuclei de fécondation seraient remplacés par la formation de paquets d'abeilles. La quantité totale qu'il sera possible de former avec une banque fera l'objet d'une étude en 2026. Le prix des paquets d'abeilles varie de 275 à 375\$ pour 2026 selon la provenance de ceux-ci. En considérant un minimum de 2 paquets et en utilisant le prix le plus élevé pour 2026 (375\$), le bénéfice net serait de 433\$ par banque (tableau 15). À noter qu'il y a 2 reines utilisées pour les paquets d'abeilles d'où le nombre de 28/banque pour le reste de la valeur printanière.

Tableau 15 Bilan technico-économique basé sur l'utilisation de 20 banques par année dans un contexte de production apicole commerciale.

	un	\$/un	\$/banque
<b>Coûts fixes</b>			
Pièce dans entrepôt (500\$/mc) + équipements	pièce	6 000,00 \$	20,00 \$
<b>Coûts variables</b>			
Électricité (737 kWh pour 20 banques)	kWh	0,10652 \$	3,93 \$
Traitement varroase (4 bandes d'Apivar/banque)	bande	4,50 \$	18,00 \$
Sucre (17 kg/banque)	kg	1,40 \$	23,80 \$
Main d'oeuvre (2,5h/banque)	h	21,00 \$	52,50 \$
Cagettes à reine (40 californiennes @2\$ + 30 JZBZ/banque @0,60\$)			98,00 \$
<i>Coûts matériel vivant</i>			
Abeilles (2 colonies/banque)	colonie	360,00 \$	720,00 \$
Reines (40/banque)	reine	30,00 \$	1 200,00 \$
<b>Coût de production/banque</b>			<b>2 136,23 \$</b>
<b>Valeur printanière avec 75% survie de reines (30/40)</b>			
Paquets d'abeilles (2/banque ; inclus une reine)	paquet	375,00 \$	750,00 \$
Reines (28/banque)	reine	65,00 \$	1 820,00 \$
<b>Valeur printanière/banque</b>			<b>2 570,00 \$</b>
<b>Net</b>			<b>433,77 \$</b>

## Conclusion

Ce projet a permis de mieux comprendre les conditions environnementales à maintenir pour maximiser la survie de reines abeilles sur une longue période en région nordique. Il s'est avéré que les conditions d'hivernage à 5°C étaient possibles mais pas optimales. Le maintien d'un environnement à 16°C semble plus propice à la survie des abeilles dans la colonie orphelinée et par conséquent pour la survie des reines. Même si cette température environnante est plutôt élevée et ne permet pas la formation de grappe, ces grosses colonies maintiennent un métabolisme équivalent aux colonies hivernées à 5°C, mais surtout les abeilles sont en mesure de maintenir les conditions internes optimales (~30°C) et qui semble favorable à la survie des reines.

La régie automnale est importante. Après la formation des banques à la fin du mois d'août, il y a avantage à ce qu'elles demeurent à l'extérieur jusqu'à la fin du mois de septembre, période qui correspond à la prise de sirop. Le confinement en bâtiment contrôlé dès le début d'octobre semble offrir la meilleure alternative pour une région comme Portneuf. Les vols libres des abeilles après

confinement n'avantage aucunement le taux de survie des reines. Cette approche a été abandonnée après la saison 2024-25. N'ayant pas besoin de trous de vols, les conditions environnementales de la chambre sont plus faciles à maintenir.

La réalisation de ce projet a permis de mettre au point une chambre adaptée à cette technique. La chambre aménagée au CRSAD consiste en un conteneur maritime qui a été adapté à cette fin. La mécanique de bâtiment diffère de celle d'une chambre d'hivernage conventionnelle. Elle est munie d'une thermopompe qui couvre les besoins en climatisation et une grande partie des besoins en chauffage. La petitesse de l'enceinte nécessite des composantes proportionnées et réactives afin de bien réguler les conditions intérieures. Dans le cadre du projet, 12 et 20 banques y étaient confinées, mais l'espace pourrait accepter un plus grand nombre de banques sans rien avoir à changer. Cela aurait pour avantage d'abaisser les coûts d'aménagement et les coûts d'opération par banque.

L'aménagement réalisé au CRSAD est facilement reproductible pour des entreprises apicoles désireuses de banker des reines. L'usage d'un conteneur offre une belle possibilité lorsqu'il n'y a pas de locaux disponibles en bâtiment. Comme il a été démontré, le vol libre des abeilles n'apporte pas de bénéfice. C'est une autre raison de viser à faire cet aménagement en bâtiment. L'aménagement dans un bâtiment isolé sur dalle est possiblement plus avantageux pour offrir une meilleure isolation et surtout pour une inertie thermique supérieure. Cela favoriserait une plus grande économie d'énergie et une plus grande stabilité thermique de l'enceinte.

Le bénéfice net d'hiverner une banque de 40 reines dans un cadre de production commercial est de l'ordre de 434\$. C'est une rentabilité intéressante, mais c'est aussi un gain à long terme de s'approvisionner en reines élevées ici puisque cela contribue au maintien et une amélioration plus rapide de la génétique sous nos conditions.

Cette méthode de banquage de reines en chambre contrôlée à 16°C amène une approche nouvelle et qui mérite d'être explorée davantage. Depuis 2018, en 5 années, le taux moyen de survie des reines sur les 42 banques a été de 68,5%. Ce taux est élevé mais certains aspects méritent encore d'être explorés pour améliorer davantage le succès d'hivernement des reines. Autre fait marquant, depuis 2018, le taux de survie des colonies confinées sur une période moyenne de 181 jours a été de 100%. Par comparaison, au Québec et au Canada, l'hivernage en chambre contrôlée à 5°C, les pertes hivernales pour une durée approximative de 150 jours oscillent entre 12 et 40%<sup>12</sup>. Ce concept d'hivernage de banques de reines ouvre la porte sur d'autres développements potentiels de l'apiculture en région nordique. En plus d'apporter du raffinement sur la technique même de banquage, il aurait lieu d'appliquer ces connaissances vers l'hivernage des nuclei et des ruches standards dont les pertes hivernales sont importantes et répétitives.

---

<sup>12</sup> À titre d'exemple les pertes provinciales au Canada étaient de 12,9 à 44,7% en 2024-25. Source : CAPA. *Statement on Honey Bee wintering losses and diseases management in Canada for 2025.*

## Sujets de recherche potentiels

- **Température optimale:** À 10, à 15 ou 16°C, la température moyenne interne se situe toujours autour de 30°C. Cela démontre que la température 'confort intérieur' est bel et bien avoisinant 30°C. Des essais à une température plus élevée pourrait être envisagée car pour l'instant plus le différentiel de température est bas plus il y a eu amélioration;
- **Température variable:** Les banques comme les ruches standards perdent 30 à 50% des abeilles en cours de confinement de sorte qu'elles sont moins populeuses en fin de saison à maintenir leur température interne. Une consigne de température intérieure progressive montante pourrait aider à réduire leur métabolisme;
- **Hivernage:** Les pertes hivernales en hivernage intérieur à 5°C sont répétitives et élevées. L'approche de les hiverner dans un environnement à 16°C mérite d'être exploré d'abord pour les nuclei et éventuellement pour les ruches standards;
- **Thermopompe et contrôle:** La thermopompe est un équipement clé pour cette approche. Toutefois, celle qui a été utilisée dans le cadre de ce projet n'a pas offert la stabilité souhaitée. Il y aurait du raffinement à faire dans le choix de l'équipement et / ou d'un système de contrôle qui prendrait en charge la thermopompe.

## Activité de transfert et de diffusion scientifique (2023-2026)

Activité réalisée	Date	Titre	Auteurs
Article sur les projets de recherches apicoles CRSAD/Ulaval dans la revue américaine Bee Culture	5 janvier 2026	Université Laval	Andrée Rousseau et Pierre Giovenazzo
Webinaire en ligne ADA	29 janvier 2026	Recherche appliquée en production de reines	Andrée Rousseau
Présentation aux membres du regroupement français Apibio	31 octobre 2025	Le banquage de reines (projets de recherche 2018-2025)	<b>Andrée Rousseau, Camila Perrera-Perez et Jocelyn Marceau</b>
Workshop Apinov	14 et 15 octobre 2024	Workshop Apinov - La banque de reines	Andrée Rousseau
Présentation au congrès Canadian National Beekeeping Convention (conjointement avec la CAPA)	7 février 2025	<i>Queenbanking 2022-2024_CAPA</i>	<b>Andrée Rousseau, Mireille Levesque, Laurence Plamondon et Pierre Giovenazzo</b>
Présentation à la Journée d'information apicole de l'Association des apiculteurs et apicultrices du Québec	22 février 2025	Impact de <i>Varroa destructor</i> sur la survie, la qualité et la performance des reines hivernées en banques	<b>Andrée Rousseau, Mireille Levesque, Laurence Plamondon et Pierre Giovenazzo</b>
Congrès Apimondia Copenhague (Danemark)	27 septembre 2025	Impact of <i>Varroa destructor</i> infestation on the survival, quality and performance of queens overwintered in banks	<b>Andrée Rousseau, Mireille Levesque, Laurence Plamondon et Pierre Giovenazzo</b>
Article de vulgarisation dans l'Abeille, la revue des Apiculteurs et apicultrices du Québec (AADQ)	Printemps 2025	Hivernement des reines en banques et impact de <i>varroa destructor</i>	<b>Andrée Rousseau, Mireille Levesque, Laurence Plamondon et Pierre Giovenazzo</b>

Publication du rapport scientifique sur Agriréseau		Impact de l'infestation de <i>Varroa destructor</i> sur la survie, la qualité et la performance des reines de l'abeille domestique ( <i>Apis mellifera</i> L.) hivernées en banques	<b>Andrée Rousseau,</b> Mireille Levesque, Laurence Plamondon et Pierre Giovenazzo
Article scientifique	En cours de soumission dans Journal of Economical Entomology	<i>Varroa destructor</i> impacts survival but not reproductive quality of banked honeybee queens	<b>Andrée Rousseau,</b> Mireille Levesque, Laurence Plamondon et Pierre Giovenazzo

# ANNEXE 1 : Bilan de chaleur théorique

Ce bilan représente les valeurs théoriques de la chambre utilisée au CRSAD telle qu'utilisée en 2025-26 avec 20 banques. Cela permet d'estimer la charge en climatisation et celle en chauffage

Hypothèses :

- Température intérieure : 16°C
- Humidité relative intérieure : 40% au minimum, variable jusqu'à 70%
- Conteneur maritime : 2,4 x 2,4 x 6,1 m
- Isolation : R-18 ou 3,17-RSI
- Nombre de banques : 20
- Métabolisme moyen : 19 w/ banque
- Ventilation<sup>13</sup>: 1,34 m<sup>3</sup>/h- banque ou 0,36 L/s-banque

Tableau 16 Bilan de chaleur théorique de la chambre selon la température extérieure. L'humidité relative extérieure considérée est 50% et l'humidité relative intérieure de 40 à 70% correspondant aux variations observées mais contrôlée par humidification assurant une valeur plancher de 40%. Le déficit sur fond bleu ou rouge correspond au besoin en climatisation ou en chauffage

Text ('C)	HR ext (%)	Tin ('C)	Hrin (%)	BILAN de Chaleur (w)			
				Banques	Conduction	Ventilation	Déficit
30	50	16	70	379	315	288	983
25	50	16	70	379	203	173	755
20	50	16	60	379	90	73	542
15	50	16	60	379	-23	-18	339
10	50	16	60	379	-135	-99	145
5	50	16	50	379	-248	-173	-42
0	50	16	50	379	-360	-244	-225
-5	50	16	50	379	-473	-313	-407
-10	50	16	45	379	-586	-380	-586
-15	50	16	45	379	-698	-445	-764
-20	50	16	40	379	-811	-514	-945
-25	50	16	40	379	-923	-589	-1133
-30	50	16	40	379	-1036	-658	-1314

<sup>13</sup> Ventilation moyenne pratiquée pour maintenir 3000 ppm de CO<sub>2</sub>

Note 1 :            En bleu :            Puissance de climatisation requise  
                         En Rouge :            Puissance de chauffage requise

Note 2 :            L'humidité relative dans la chambre varie au cours de la période de confinement. Elle se maintient naturellement élevée en septembre et en octobre alors que la température extérieure dépasse parfois celle à l'intérieur. Même si la climatisation est souvent en action au cours de cette période, l'HR tend à s'établir entre 50 et 70%. Les valeurs indiquées sont indicatives des observations.

## ANNEXE 2 : Photos



Figure 11 Conteneur maritime usagé adapté pour banques de reines. Le mur visible a été reconstruit pour y insérer une porte d'homme donnant accès au SAS. Le compresseur de la thermopompe est suspendu à ce mur. La base est munie de panneaux bloquant la circulation de l'air pour une meilleur efficacité thermique

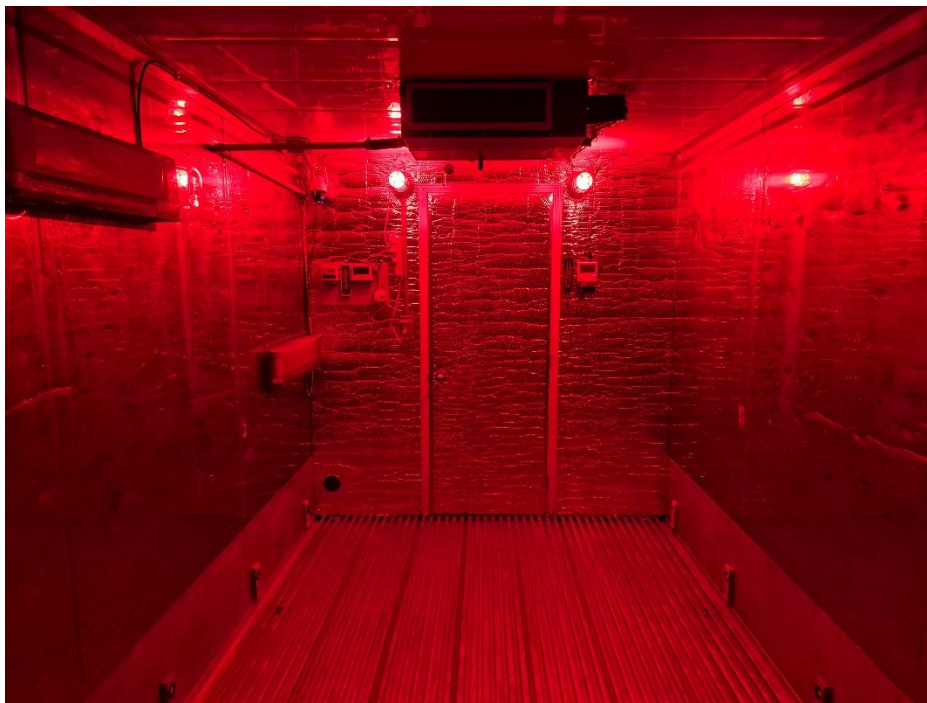


Figure 12 Intérieur de la section abeilles. Thermopompe au plafond, Chauffage auxiliaire (sur réseau), Chauffage de sécurité, orifice d'extraction d'air (Bas gauche). Tous les contrôles sont au mur. Des grillages de 3 mm entourent les composants susceptibles d'introduction d'abeilles



Figure 13 Section SAS disposant du panneau de l'entrée électrique 230V/100A, de la boîte contenant le contrôleur Ubibot, de la plinthe électrique pour chauffer cette section, son thermostat, le routeur, un variateur du ventilateur (100%), une télécommande pour thermopompe et le manomètre de la pression statique.

Note : La télécommande de la thermopompe n'a pas été utilisée. Cependant un thermostat mural et filaire a été utilisé. Il y aurait amélioration à apporter à cette combinaison.

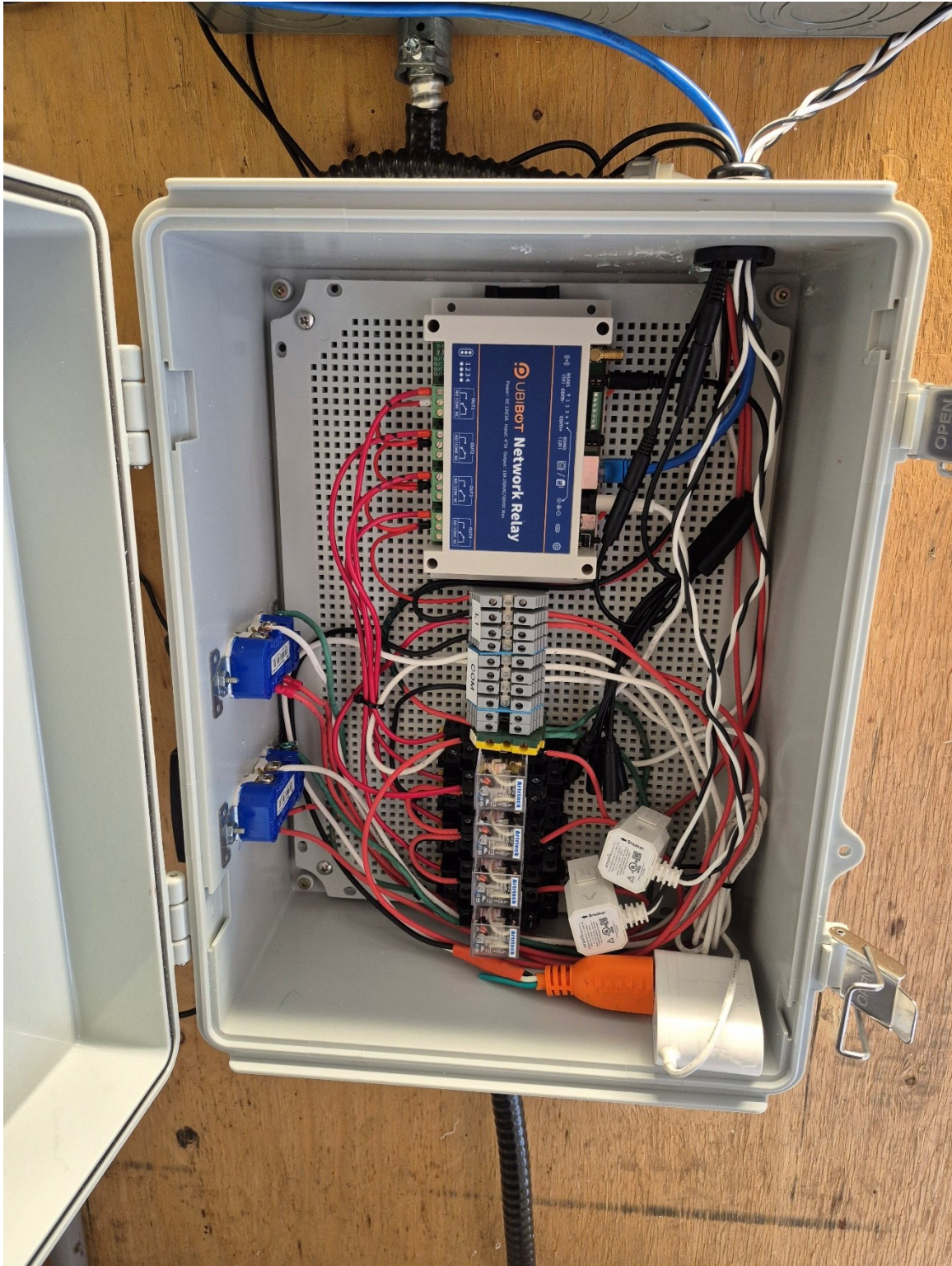


Figure 14 Contrôleur Ubibot filaire avec le câblage relié aux capteurs placés dans la salle abeilles. Le contrôleur actionne les relais plus bas: Chauffage, ventilation et humidification. Pour le besoin recherche deux anneaux ampèremétriques 'en blanc' permettaient de lire en temps réel les circuits de ventilation et d'humidification

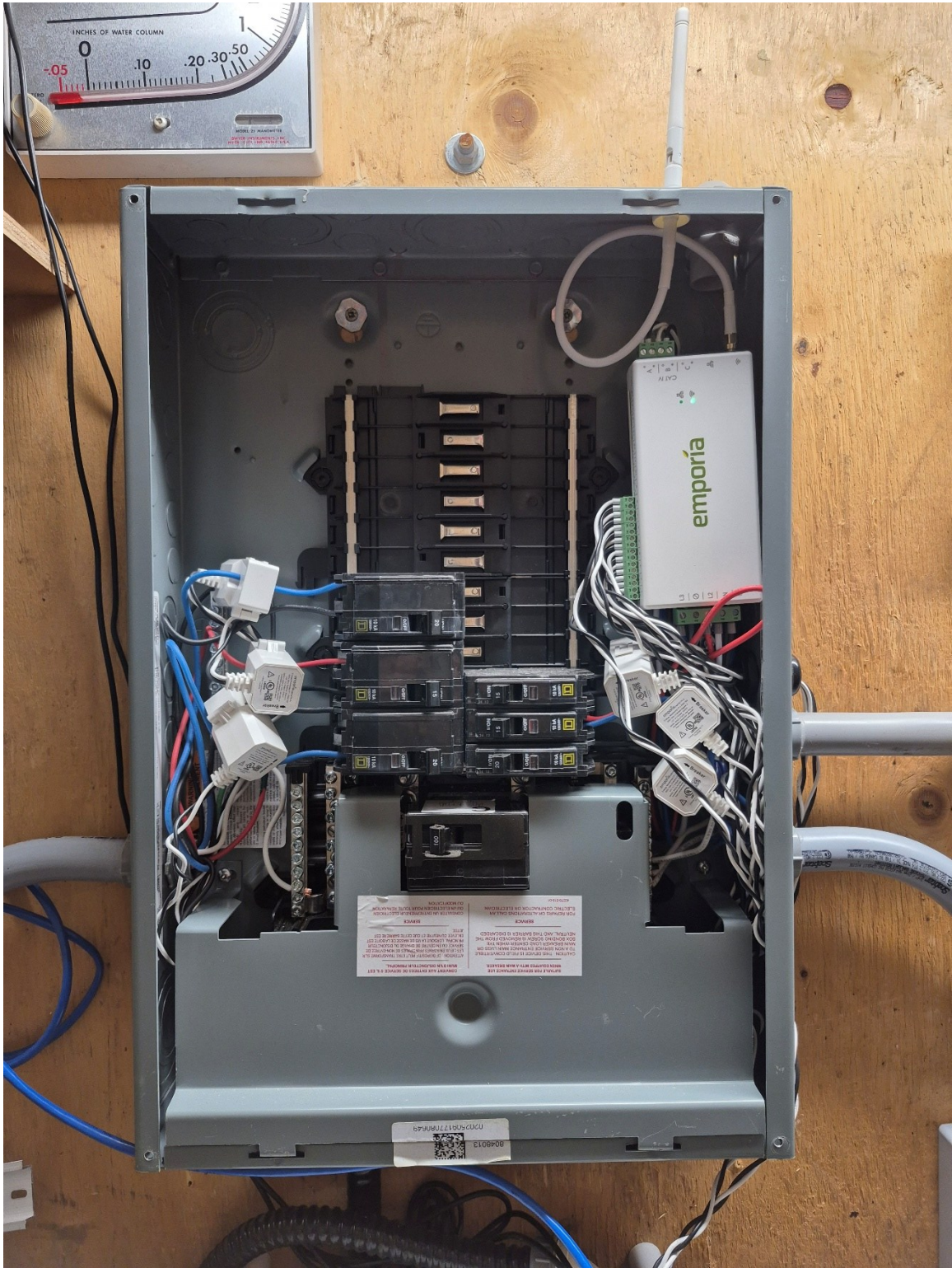


Figure 15 panneau de distribution électrique avec des anneaux ampèremétriques qui mesurent chaque circuit utilisé



Figure 16 Humidificateur Bionaire à vapeur chaude. L'entretien et le remplissage peuvent se faire du côté SAS sans entrer du côté abeilles. La vapeur est dirigée via un conduit vers la section abeilles



*Figure 17 En 2024-25 avec 12 banques. Chaque banque était munie d'un capteur-enregistreur des données de température et d'humidité relative situé à proximité des caquettes des reins*