



HAL
open science

Les ruches connectées : description des outils connectés commercialisés en France et présentation de leurs intérêts

Maud Mauger

► To cite this version:

Maud Mauger. Les ruches connectées : description des outils connectés commercialisés en France et présentation de leurs intérêts. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-03975875

HAL Id: dumas-03975875

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03975875v1>

Submitted on 6 Feb 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année 2022

**LES RUCHES CONNECTÉES : DESCRIPTION DES OUTILS
CONNECTÉS COMMERCIALISÉS EN FRANCE ET PRÉSENTATION
DE LEURS INTÉRÊTS**

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE
présentée et soutenue publiquement devant
la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)
le 18 octobre 2022

par

Maud, Isabelle MAUGER

sous la direction de
Andrew PONTER

JURY

Présidente du jury :	Mme Julie RIVIÈRE	Maître de conférences à l'ENVA, HDR
Directeur de thèse :	M. Andrew PONTER	Professeur à l'EnvA
Examinatrice :	Mme Véronica RISCO CASTILLO	Maître de conférences à l'ENVA

Liste des enseignants intervenant dans l'encadrement des thèses de Doctorat vétérinaire



Version du 8 février 2022

Liste des Professeurs et Maîtres de conférences titulaires de l'HDR

M	Adjou	Karim	Professeur	DPASP
M	Audigié	Fabrice	Professeur	DEPEC
M	Bellier	Sylvain	Professeur	DSBP
M	Blaga	Radu	Maître de conférences HDR	DPASP
M	Blot	Stephane	Professeur	DEPEC
M	Boulouis	Henri-Jean	Professeur émérite	DSBP
Mme	Chahory	Sabine	Professeur	DEPEC
M	Chateau	Henry	Professeur	DSBP
Mme	Chetboul	Valerie	Professeur	DEPEC
Mme	Crevier-Denoix	Nathalie	Professeur	DSBP
M	Degueurce	Christophe	Professeur	DSBP
M	Denoix	Jean-Marie	Professeur	DEPEC
M	Desquilbet	Loic	Professeur	DSBP
Mme	Dufour	Barbara	Professeur émérite	DPASP
M	Eloit	Marc	Professeur	DSBP
M	Fayolle	Pascal	Professeur émérite	DEPEC
M	Fédérighi	Michel	Professeur	DPASP
M	Fontbonne	Alain	Professeur	DEPEC
Mme	Gilbert	Caroline	Professeur	DSBP
M	Grandjean	Dominique	Professeur	DEPEC
Mme	Grimard-Ballif	Bénédicte	Professeur	DPASP
Mme	Haddad-Hoang Xuan	Nadia	Professeur	DPASP
M	Jouvion	Gregory	Professeur	DSBP
M	Kohlhauer	Matthias	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Le Poder	Sophie	Professeur	DSBP
M	Manassero	Mathieu	Professeur	DEPEC
Mme	Maurey-Guéneq	Christelle	Maître de conférences HDR	DEPEC
M	Millemann	Yves	Professeur	DPASP
M	Perrot	Sébastien	Maître de conférences HDR	DSBP
Mme	Pilot-Storck	Fanny	Professeur	DSBP
M	Ponter	Andrew	Professeur	DPASP
Mme	Rivière	Julie	Maître de conférences HDR	DPASP
Mme	Robert	Céline	Professeur	DSBP
M	Tiret	Laurent	Professeur	DSBP
M	Tissier	Renaud	Professeur	DSBP
M	Verwaerde	Patrick	Professeur	DEPEC
Mme	Viateau	Véronique	Professeur	DEPEC

Liste des Maîtres de conférences et Ingénieurs de recherche DMV

M	Arné	Pascal	Maître de conférences	DPASP
Mme	Barassin	Isabelle	Maître de conférences	DPASP
Mme	Benckroun	Ghita	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Bertoni	Lelia	Maître de conférences	DEPEC
M	Bolnot	Francois	Maître de conférences	DPASP
Mme	Canonne-Guibert	Morgane	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Chevallier	Lucie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Cochet-Faivre	Noëlle	Maître de conférences	DEPEC
Mme	Constant	Fabienne	Maître de conférences	DPASP
Mme	Cordonnier-Lefort	Nathalie	Maître de conférences	DSBP
Mme	Crepeaux	Guillemette	Maître de conférences	DSBP
Mme	De Paula Reis	Alline	Maître de conférences	DPASP
Mme	Decambon	Adeline	Maître de conférences	DEPEC
M	Delsart	Maxime	Maître de conférences associé	DPASP
M	Desbois	Christophe	Maître de conférences	DEPEC
M	Deshuillers	Pierre	Maître de conférences	DSBP
M	Gauthier	Michel	Maître de conférences associé	DPASP
Mme	Guétin-Poirier	Valentine	Maître de conférences	DPASP
Mme	Jacquet	Sandrine	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
Mme	Lagrée	Anne-Claire	Maître de conférences	DSBP
Mme	Le Roux	Delphine	Maître de conférences	DSBP
Mme	Legrand	Chantal	Maître de conférences associé	DSBP
Mme	Marignac	Genevieve	Maître de conférences	DSBP
M	Mauffré	Vincent	Maître de conférences	DPASP
Mme	Mtimet	Narjès	Maître de conférences	DPASP
Mme	Mespouilhès-Rivière	Céline	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Mortier	Jérémy	Maître de conférences associé	DEPEC
M	Nudelmann	Nicolas	Maître de conférences	DEPEC
M	Pignon	Charly	Ingénieur de recherche (DMV)	DEPEC
M	Polack	Bruno	Maître de conférences	DSBP
Mme	Ravary-Plumioën	Bérangère	Maître de conférences	DPASP
M	Reyes-Gomez	Edouard	Maître de conférences	DSBP
Mme	Risco-Castillo	Véronica	Maître de conférences	DSBP
Mme	Rose	Hélène	Maître de conférences associé	DSBP

Remerciements

A la Présidente du Jury de cette thèse, Madame Julie RIVIERE, maître de conférences à l'ENVA, pour me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse.

Sincères remerciements

A Monsieur Andrew PONTER, Professeur à l'EnvA, pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. Je vous remercie pour votre disponibilité, votre implication mais aussi votre bienveillance tout au long de l'élaboration de ce travail.

Sincères remerciements

A Madame Veronica RISCO-CASTILLO, Maitre de conférences à l'EnvA, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter le rôle d'assesseur de ma thèse. Merci pour votre réactivité et les articles que vous m'avez partagé.

Sincères remerciements.

A mes parents, pour m'avoir suivi et soutenu pendant toutes ces années d'études, sans vous rien n'aurait été possible, merci pour votre temps, vos valeurs et votre amour.

A mon frère Louis, pour ces belles années passées, je suis fière de toi.

A ma grand-mère Manon, pour avoir été une grand-mère dévouée.

A mes amis, car l'amitié est d'une valeur inestimable.

A toutes les personnes, qui ont un jour croisé ma route, car chacun se construit au travers des autres.

MERCI POUR TOUT

Table des matières

LISTE DES FIGURES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	5
LISTE DES ABREVIATIONS.....	7
INTRODUCTION.....	9
PREMIERE PARTIE : BIBLIOGRAPHIE : L'APIS MELLIFERA, UN INSECTE COMPLEXE ET SOCIAL, DESCRIPTION DE SON FONCTIONNEMENT ET DE SON HABITAT.....	11
I. Histoire et évolution d'Apis Mellifera.....	11
1. Place du genre Apis dans la classification.....	11
2. Evolution au fil du temps.....	12
3. Utilité et place de l'abeille dans la société.....	13
II. Fonctionnement biologique.....	18
1. Anatomie générale.....	18
2. Système digestif.....	21
3. Appareil respiratoire.....	22
4. Appareil circulatoire.....	23
5. Système nerveux.....	24
6. Reproduction.....	26
7. Développement : de l'œuf à l'adulte.....	28
III. Santé de l'abeille et situation sanitaire.....	31
1. Evaluer la sante d'une ruche.....	31
2. Principales affections d'Apis Mellifera.....	33
3. Prédateurs et autres dangers.....	43
4. Moyens de lutte et prophylaxie.....	49
IV. La ruche, une usine sociale intelligente.....	57
1. Hiérarchie et relations sociales.....	58
2. Formation et gestion d'un nid d'abeilles.....	60
3. Fonctionnement de la ruche moderne.....	62
V. Un nouvel outil : la ruche connectée.....	65
1. Présentation de la ruche connectée.....	65
DEUXIEME PARTIE : TRAVAIL PERSONNEL : RECUEIL ET CLASSIFICATION DES NOUVELLES RUCHES CONNECTEES COMMERCIALISEES EN FRANCE.....	69
I. Matériel et méthode.....	69
1. Objectif : Création de fiches techniques informatives.....	69
2. Collecte des informations et classification des produits.....	69
II. Les ruches connectées en France : Fiches techniques des produits commercialisés.....	71

1.	Fiche produit n°1 : Beetracking	71
2.	Fiche produit n°2 : BeeOnline	72
3.	Fiche produit n°3 : Bee2Beep.....	73
4.	Fiche produit n°4: Bee2Beep Pro	74
5.	Fiche produit n°5 : Beeguard.....	75
6.	Fiche produit n°6 : Hivewatch Balance.....	76
7.	Fiche produit n°7 : Honey instruments	77
8.	Fiche produit n°8 : Hostabee	78
9.	Fiche produit n°9 : Label Abeille	79
10.	Fiche produit n°10 : Multiscale MS4R	80
11.	Fiche produit n°11 : Optibee	81
12.	Fiche produit n°12 : T2, TH, W Broodminder	82
13.	Fiche produit n°13 : Alu pro W Broodminder	83
III.	Tableau comparatif des outils connectés.....	84
TROISIEME PARTIE : DISCUSSION : ABORDS DES AVANTAGES ET LIMITES DE CES NOUVEAUX OUTILS POUR LES APICULTEURS ET VETERINAIRES		85
I.	Les intérêts et avantages de la ruche connectée.....	85
1.	Un bon indicateur d'activité de la ruche	85
2.	Un reflet de l'état de santé de la colonie	86
3.	Illustrations de lecture de données :.....	88
II.	Présentation des limites	90
1.	Un coût financier élevé	90
2.	La ruche connectée, un outil jeune.....	91
3.	L'interprétation des données	91
III.	Perspectives et évolutions	91
CONCLUSION		93
LISTE DES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		95
ANNEXE		101
Annexe 1 : Support fiche produit.....		101

Liste des figures

Figure 1 : Electrapis Apoides Manning (Doitteau, 2020)

Figure 2 : Melittosphex Burmensis (Poinar et Danforth, 2006)

Figure 3 : Répartition géographique du genre Apis (Le Conte, 2009)

Figure 4 : Composition d'un miel toutes fleurs (moyenne de 490 miels) (diagramme personnel d'après Bruneau, 2009)

Figure 5 : Morphologie de l'abeille (Rapior et al. 2020)

Figure 6 : Différences morphologiques d'Apis Mellifera (Boucher, 2016)

Figure 7 : Anatomie de la tête d'une ouvrière *Apis Mellifera* (Carreck et al., 2013)

Figure 8 : Thorax et abdomen d'Apis Mellifera (Le Conte, 2009)

Figure 9 : Anatomie de l'appareil digestif d'*Apis Mellifera* (Boucher, 2016)

Figure 10 : Anatomie de l'appareil respiratoire d'*Apis Mellifera* (Le Conte, 2009)

Figure 11 : Système circulatoire d'Apis Mellifera (Carreck et al., 2013)

Figure 12 : Anatomie du système nerveux de l'abeille (Le Conte, 2009)

Figure 13 : Le cerveau et les principaux nerfs de la tête de l'abeille (Carreck et al., 2013)

Figure 14 : Appareil reproducteur femelle de l'abeille (Boucher, 2016)

Figure 15 : Appareil reproducteur mâle de l'abeille (Carreck et al., 2013)

Figure 16 : Détermination du sexe de l'abeille (Le Conte, 2009)

Figure 17 : Développement comparatif entre mâle, ouvrière et reine (Boucher, 2016)

Figure 18 : Cycle évolutif des trois castes d'abeille (Boucher, 2016)

Figure 19 : Mise en évidence de la loque américaine avec le test de l'allumette positif (Leterrier, s. d.)

Figure 20 : Cycle biologique de Nosema apis (Boucher, 2016)

Figure 21 : Différences morphologiques de Varroa destructor. De gauche à droite : Jeune femelle, femelle mature, mâle (Fernández et al., 1993) (Rosenkranz et al., 2010)

Figure 22 : Cycle de vie de Varroa Destructor synchronisé sur le cycle de l'abeille (ouvrière 21 jours, faux-bourdon 24 jours) (Evans et Cook, 2018)

Figure 23 : Larves momifiées avec uniquement des mycéliums (blanches) ou avec mycéliums et spores (noires) (Castagnino et al., 2020)

Figure 24 : Comparaison entre frelon européen (à gauche) et frelon asiatique (à droite) (Monceau et al., 2014)

Figure 25 : A gauche : Grande fausse teigne (*Galleria monella*). A droite : Petite fausse teigne (*Achroia grisella*) (Ellis et al., 2013)

Figure 26 : *Aethina tumida*, forme adulte (gauche) et forme larvaire (droite) (Evans *et al.*, 2018)

Figure 27 : Cycle d'*Aethina tumida* (Sheridan *et al.*, 2015)

Figure 28 : Schéma type de la danse frétilante, avec l'angle indiquant la direction à prendre par rapport au soleil (Khan *et al.* 2021)

Figure 29 : Schéma descriptif d'une ruche (Deblock, 2021)

Figure 30 : Système de connexion d'une ruche (Dogan *et al.*, 2017)

Figure 31 : Suivi de la miellée sur quatre ruches P1, P2, P3, P4 (*connectedbeekeeping.fr*)

Figure 32 : Estimation de la force des colonies en hiver (*connectedbeekeeping.fr*)

Figure 33 : Détection d'une colonie faible (*connectedbeekeeping.fr*)

Figure 34 : Détection d'une colonie malade (*connectedbeekeeping.fr*)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification d'*Apis Mellifera* (Le Conte et al., 2009)

Tableau 2 : Principales races *Apis Mellifera* utilisées en apiculture (Boucher, 2016)

Tableau 3 : Prélèvements à effectuer dans une ruche en cas de suspicion d'agents pathogènes (rose) ou d'intoxication (vert) (d'après Franco et al., 2012)

Tableau 4 : Principales viroses de l'abeille domestique (d'après Boucher, 2016)

Tableau 5 : Substances chimiques utilisables sous AMM dans le cadre de la lutte contre *Varroa destructor* (Rosenkranz et al., 2010)

Tableau 6 : Méthodes et approches de lutte contre *Vespa velutina* (Monceau et al., 2014)

Tableau 7 : Récapitulatif des activités des ouvrières selon leur âge sur la période printemps/été (d'après Ellis, 2015, et Hummel et Feltin, 2018)

Tableau 8 : Caractéristiques des principales ruches utilisées en Europe (d'après Clément, 2009)

Liste des abréviations

ABPV : Acute bee paralysis virus

AMM : Autorisation de mise sur le marché

BQCV : Black queen cell virus

CBPV : Chronic bee paralysis virus

DDPP : Direction départementales de la protection des populations

DWV : Deformed wing virus

ELISA : Enzyme linked immunosorbent essay

IAPV : Israeli acute paralysis virus

KBV : Kashmir bee virus

NAC : Nouveaux animaux de compagnie

PCR : Polymerase chain reaction

SBV : Sacbrood virus

Introduction

Les abeilles ou *Apis mellifera*, sont des insectes pollinisateurs essentiels à l'équilibre des écosystèmes et de ce fait à la vie humaine. Leur rôle de pollinisateur au sein de l'environnement assure une partie des ressources alimentaires de l'Homme et de nombreuses autres espèces, elles sont un maillon clé dans la chaîne alimentaire. Malheureusement aujourd'hui nombreuses sont les menaces entourant les abeilles ; pesticides, prédateurs, parasites, réchauffement climatique et destruction de l'environnement sont les facteurs mettant à mal la pérennité des abeilles (Vidal-Naquet, 2015a). Le métier d'apiculteur est un métier essentiel, qui consiste à s'assurer de la bonne santé des colonies, de leur survie vis-à-vis des différentes menaces et tout en essayant d'optimiser leur production mellifère.

Ainsi depuis quelques années, afin d'aider la main de l'Homme, des entreprises développent des outils capables de mesurer les paramètres inhérents aux colonies. Ces paramètres comme le poids, la température interne ou l'humidité sont des données pouvant être collectées et interprétées par l'apiculteur. L'objectif de ces ruches dites " connectées " est d'informer l'apiculteur sur l'état de santé, le développement et de prévoir l'évolution de son rucher. Grâce aux informations accessibles par le biais d'une application mobile ou internet l'apiculteur peut décider s'il doit intervenir ou pas et de quelle manière. L'apparition de ces nouveaux outils semblent donc être un moyen idéal pour aider les apiculteurs, il n'empêche cependant que ces produits posent certaines limites notamment par le coût mais aussi par leur utilisation.

Cette thèse est donc un travail qui vise à présenter les différents produits commercialisés sur le marché français à ce jour, mais aussi à expliquer les intérêts qu'ils peuvent apporter.

Pour se faire dans une première partie bibliographique nous traiterons de l'abeille, qui est un insecte avec un fonctionnement complexe faisant partie d'un "superorganisme". Ainsi seront abordés sa biologie, les affections pouvant la toucher, mais il sera aussi décrit comment fonctionne une ruche moderne et les rôles et actions de l'apiculteur, ceci afin d'aboutir à l'apparition de la ruche connectée.

Dans une seconde partie, le cœur du travail sera présenté, avec l'élaboration des fiches produit afin de rassembler sous la forme d'un recueil l'ensemble des outils connectés commercialisés en France.

Enfin la dernière partie de cette thèse est une mise en évidence des intérêts et des limites liés à l'apparition de ces nouveaux outils, ainsi qu'une présentation de l'évolution des outils connectés pour les années à venir.

Première partie : Bibliographie : L'Apis Mellifera, un insecte complexe et social, description de son fonctionnement et de son habitat.

I. Histoire et évolution d'Apis Mellifera

1. Place du genre Apis dans la classification

Les abeilles ou genre Apis, sont inclus dans l'ordre des Hyménoptères. Cet ordre fait partie des insectes, reconnaissable généralement par la présence de trois paires de pattes, deux paires d'ailes ainsi qu'une respiration trachéenne. Les hyménoptères possèdent en plus des caractéristiques telles que des ailes membraneuses, un métathorax soudé au premier segment abdominal et une métamorphose complète.

Parmi les hyménoptères on distingue une superfamille comprenant les Apoïdes (Tableau 1) dont le genre Apis ou abeille mellifère, qui se remarque par son comportement social très développé (Le Conte, 2009a).

Tableau 1 : Classification d'Apis Mellifera (Le Conte et al., 2009)

Ordre	Hyménoptères	<ul style="list-style-type: none"> • Métamorphose • Métathorax soudé • Ailes membraneuses
Sous-ordre	Apocrites	<ul style="list-style-type: none"> • Striction nette au niveau de l'abdomen
Infra-ordre	Aculéates	<ul style="list-style-type: none"> • Aiguillon • Comportement complexe
Superfamille	Apoïdes	<ul style="list-style-type: none"> • Poils sur cuticule • Longue langue (alimentation nectar pollen) • Système stockage pollen
Famille	Apoïdes supérieurs	<ul style="list-style-type: none"> • Degré de sociabilité
Tribu	Apini	<ul style="list-style-type: none"> • Un seul genre
Genre	Apis	<ul style="list-style-type: none"> • Abeille mellifère • Modérément velues, yeux a facette, mandibules lisses • Mâles et femelles morphologiquement différents • Comportement social très développé
Espèce	<i>Apis mellifera</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 9 espèces
Sous-espèce	<i>Apis mellifera mellifera</i>	

2. Evolution au fil du temps

2.1. Ancêtre

Apis mellifera aurait pour ancêtre une abeille du genre *Electrapis* (figure 1) ayant vécu il y a quarante millions d'années. Cette abeille aurait évolué en parallèle de l'apparition des Angiospermes (Le Conte et *al.* 2009). Plus récemment un organisme nommé *Melittosphex burmensis* découvert dans de l'ambre a été mis à jour, vieux de cent millions d'années, il présente certaines des caractéristiques de l'abeille actuelle mais également de la guêpe (figure 2) (Poinar et Danforth, 2006).

Figure 1 : *Electrapis* Apoides Manning (Doitteau, 2020)



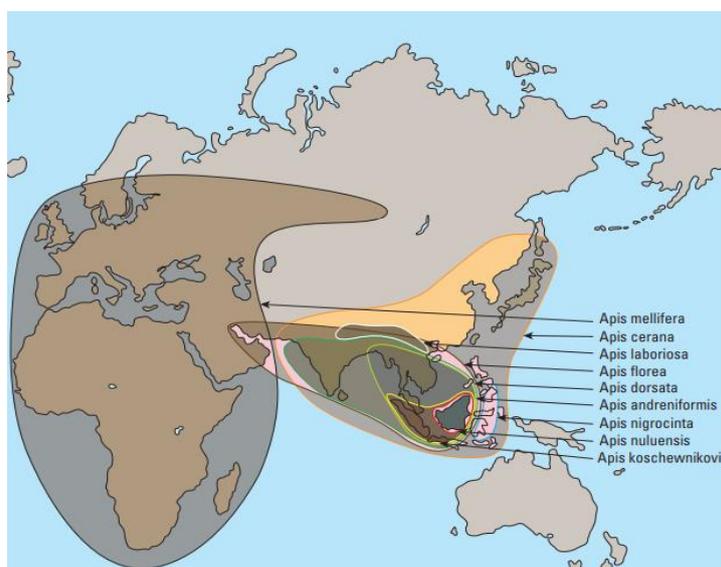
Figure 2 : *Melittosphex Burmensis* (Poinar et Danforth, 2006)



2.2. Diversité d'espèces

Parmi les abeilles Mellifères on différencie 9 espèces dans le monde (Boucher, 2016) : *Apis dorsata* (abeille géante), *Apis laboriosa*, *Apis florea* (abeille naine), *Apis andreniformis* (abeille des buissons), *Apis cerana*, *Apis koschevnikovi* (abeille rouge), *Apis nuluensis*, *Apis nigrocincta* et enfin *Apis Mellifera* (abeille européenne la plus répandue). Sur les neuf espèces, huit sont originaires d'Asie (figure 3). Certaines de ces espèces sont suffisamment proches pour pouvoir s'accoupler et former des colonies hybrides.

Figure 3 : Répartition géographique du genre *Apis* (Le Conte, 2009)



3. Utilité et place de l'abeille dans la société

3.1. Domestication

Dès l'âge de pierre, on retrouve dans l'art rupestre des représentations de chasse au miel. Les hiéroglyphes de l'Egypte vers 2400 avant notre ère représentent fréquemment des abeilles. La période exacte où l'Homme aurait domestiqué *Apis Mellifera* n'est pas clairement identifiée, néanmoins l'empreinte chimique de Cire d'abeille a été retrouvée sur des poteries néolithiques. Ceci a été mis en évidence sur une large localisation (Europe, Afrique du Nord, Proche-Orient). La datation faite a mis en évidence que l'utilisation de la cire d'abeille remontait jusqu'à 9000 ans avant notre ère (Roffet-Salque *et al.*, 2015).

Petit à petit, l'Homme passe d'une apiculture de cueillette à une appropriation des zones d'implantation des colonies, pour finalement créer des ruches propices à la mise en place d'une apiculture "moderne" (Borneck, 1977). Au fur et à mesure une

sélection va se mettre en place et des races d'abeilles issues d'*Apis Cerana* vont émerger en Europe et Afrique (Tableau 2) (Boucher, 2016).

Tableau 2 : Principales races *Apis Mellifera* utilisées en apiculture (Boucher, 2016)

Race	Origine	Qualités	Défauts
Mellifera	Europe de l'Ouest	Rustique, résistante, bonne adaptation	Agressive, essaimeuse, production, production moyenne
Ligustica	Italie	Douce, beaucoup de couvain	Pillarde, sensible aux maladies, hiverne mal
Caucasica	Géorgie	Douce, précoce, hiverne bien	Sensible à la nosérose
Carnica	Europe de l'Est	Douce, bonne adaptation, hiverne bien	Essaime facilement, construit moins bien
Saharensis	Proche-Orient	Douce, bon hivernage, grande aire de butinage	Essaime facilement

3.2. Mise en place de l'apiculture professionnelle jusqu'à aujourd'hui

L'apiculture professionnelle se démocratise au milieu du XX^{ème} siècle en même temps que l'émergence de l'agriculture moderne et mécanisée. La production de miel va alors être faite à plus grande échelle.

Ainsi vers 1960, le cheptel apicole mondial est estimé entre quarante et quarante-cinq millions de colonies pour 630 000 tonnes de miel dont 81% des colonies réparties en Europe, Asie et Afrique. En France les apiculteurs professionnels possèdent jusqu'à 2500-3000 colonies pour une production nationale de 12 000 tonnes (Borneck, 1977).

Depuis vingt ans on constate une chute de la production de miel en France, le cheptel apiaire étant passé de deux millions au milieu du XX^{ème} siècle à un million en 2010. Cette constante chute depuis les années 90 a conduit à une sensibilisation de la cause auprès du grand public. Il y a un engouement des particuliers et des entreprises qui investissent alors dans des colonies, on parle alors des "abeilles NAC" (L'Hostis, 2015). Depuis la démocratisation de la filière apicole, les produits issus sont de plus en plus commercialisés et utilisés dans différentes branches de l'industrie.

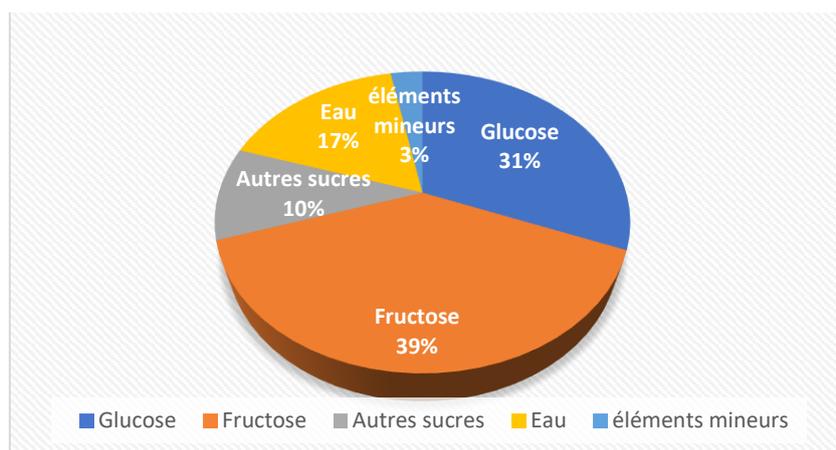
3.3. Les produits de la ruche

3.3.1. Le miel

Produit majeur et le plus connu d'entre tous, le miel est issu de multiples transformations. En effet le nectar floral et le miellat qui sont les deux sources principales de sucres vont être collecter dans le jabot d'*Apis Mellifera*. Ces sucres vont être traités par des enzymes pour former de nouveaux sucres. La substance ainsi obtenue sera déshydratée dans la ruche afin d'obtenir le produit final, le miel (Bruneau, 2009).

Chaque miel est unique et sa composition dépendra de la saison, des fleurs butinées. Ainsi la couleur, les arômes, la texture seront extrêmement variables. En plus des sucres qui représentent 80%, on retrouve 17% d'eau et 3% d'éléments autres (minéraux, acides aminés, pollen...) (Figure 4).

Figure 4 : Composition d'un miel toutes fleurs (moyenne de 490 miels) (diagramme personnel d'après Bruneau, 2009)



Le miel par son pouvoir sucrant est très largement utilisé comme produit alimentaire de base. Mais son intérêt ne s'arrête pas là, le miel est reconnu pour ses propriétés antimicrobiennes. Il a été démontré qu'il était efficace contre de nombreux agents pathogènes notamment *Staphylococcus aureus* et *Helicobacter pylori* (Mandal et Mandal, 2011).

3.3.2. La Cire

La cire d'abeille est produite par quatre paires de glandes cirières chez les jeunes ouvrières âgées de 12 à 18 jours, cette substance liquide se durcit au contact de l'air. Une fois complétée avec du pollen et de la propolis elle est le ciment de la structure alvéolée des ruches (Bruneau, 2009).

La composition de la cire est complexe et comporte pas moins de trois cents éléments principalement des hydrocarbures, des acides gras et des monoesters (Fratini *et al.*, 2016).

Utilisée depuis des millénaires notamment pour s'éclairer, donner de l'étanchéité aux navires ou en faire des crèmes en médecine traditionnelle, on lui reconnaît aujourd'hui de réelles propriétés antibactériennes (Ghanem, 2011) mais aussi antifongiques et a même une action sur certains parasites cutanés (Fratini *et al.*, 2016). La cire combinée à d'autres produits de la ruche telle que la propolis ou le miel semble être d'autant plus efficace sur certaines de ces affections (Al-Waili, 2004)

3.3.3. Le Pollen

Le pollen récolté par les abeilles sous forme de pelotes, va être acheminé jusqu'au couvain afin de subir une lactofermentation assurant sa conservation. C'est la source majeure de protéines (24%). Une fois récupérée par l'apiculteur sa conservation se fait dans un endroit sec ou sous forme congelée (Bruneau, 2009).

Sa richesse en microéléments : tocophérol, niacine, thiamine, biotine et acide folique, polyphénols, flavonoïdes... lui conférerait des qualités anti-inflammatoires, anti-oxydantes, anti-cancéreuses, antibactériennes, antifongiques et antiallergique (Denisow et Denisow-Pietrzyk, 2016). Bien que l'efficacité significative reste encore à démontrer, le pollen n'en est pas moins un complément alimentaire intéressant.

3.3.4. Autres produits

Gelée royale : substance produite par un mélange de sécrétions des glandes hypopharyngiennes, des glandes mandibulaires et un peu de miel. Elle est utilisée pour nourrir les larves, d'un point de vue moléculaire c'est un mélange de glucides, lipides, protides et autres éléments (oligoéléments, vitamines). La gelée est principalement utilisée en complément alimentaire et dans la cosmétologie (Bruneau, 2009).

Propolis : se compose principalement de résines auxquelles s'ajoutent de la cire, du pollen et des huiles essentielles. Elle est principalement utilisée en pharmacologie pour les affections des voies respiratoires supérieures et des affections du derme (Kurek-Górecka *et al.*, 2020).

Venin : les principes actifs présentant un intérêt sont la mélittine, l'apamine, la phospholipase A2 et la hyaluronidase. Ces composés sont en étude et semblent avoir des propriétés pour les maladies neurodégénératives (Parkinson, Alzheimer) et pour les rhumatismes chroniques (Wehbe *et al.*, 2019).

3.4. L'apithérapie

Elle repose sur l'utilisation des produits apicoles pour soulager ou aider à traiter des maux ou pathologies. Elle est considérée comme une médecine complémentaire à visée préventive ou curative. Son application se base sur l'utilisation du miel, du pollen, de la propolis ou encore du venin sous forme pure ou en préparation combinée. Cette approche permet de lutter contre les souches pathogènes résistantes mais aussi de limiter les effets secondaires que peuvent avoir certaines substances de la médecine allopathique (Domerego, 2009).

Les produits de la ruche ont des propriétés diverses et variées et peuvent agir sur l'ensemble des systèmes de l'organisme. Ainsi on leur reconnaît une action sur les affections du derme, plaies et brûlures, sur les troubles digestifs, les affections cardiovasculaires (hypertension, plaque d'athérome), les rhumatismes, les affections respiratoires mais aussi les troubles neurologiques (Domerego, 2009).

3.5. L'abeille source de biodiversité et rôle moteur dans l'agriculture

L'abeille comme les autres insectes pollinisateurs, joue un rôle majeur dans la reproduction des Angiospermes. Par leur passage d'une plante à une autre ces insectes pérennisent l'avenir des Angiospermes mais aussi assurent une diversité de l'écosystème (Gallai *et al.*, 2009).

Cette pollinisation est essentielle dans l'agriculture notamment pour les cultures maraîchères, l'arboriculture fruitière, mais aussi les grandes cultures comme celle du Colza, du tournesol ou de la féverole. Cependant l'appauvrissement des écosystèmes par une agriculture intensive et donc la destruction de l'environnement des insectes pollinisateurs met en danger ce fragile équilibre.

Il est à noter que le poids financier annuel engendré grâce à la pollinisation représente à l'échelle mondiale 153 milliards d'euros, dont 100 milliards pour la production de fruits et de légumes (Gallai *et al.*, 2009). L'abeille est donc une actrice essentielle pour l'agriculture.

3.6. Les menaces face aux modifications de son environnement

Apis mellifera est présente sur une majeure partie du globe, les sous-espèces existantes indiquent que l'abeille a acquis une capacité d'adaptation à son environnement, cela laisse donc à penser qu'elle sera en mesure de s'adapter face aux changements climatiques. Mais les abeilles sont sensibles à divers facteurs, notamment une météo humide et froide qui fragilise l'immunité de la colonie et favorise l'apparition de certaines maladies.

La survie d'une colonie dépend également de la richesse en ressources hydriques et alimentaires car comme tout organisme les abeilles ont des besoins à couvrir et une carence peut menacer l'ensemble de la ruche. A titre d'exemple, leur besoin en acides aminés est normalement couvert par un pollen. Ce pollen doit d'être diversifié, or avec l'extension des monocultures il y a un appauvrissement des pollens pouvant causer des déséquilibres protéiques à l'origine d'immunodéficience chez l'abeille. De même une carence en nectar et miellat mettra en danger la colonie surtout lors de la période hivernale. Si l'environnement n'est plus en mesure de subvenir aux besoins de la colonie, l'apiculteur joue alors un rôle essentiel en pratiquant le nourrissage ou en effectuant une transhumance de la ruche (Vidal-Naquet, 2015a).

Les pesticides employés sont une menace majeure pour les abeilles car ils sont rarement sélectifs entre les insectes ravageurs et les pollinisateurs (Clément, 2009a). Les pesticides majoritairement pointés du doigt sont les néonicotinoïdes avec une toxicité élevée pour l'imidaclopride (Manjon *et al.*, 2018). La DL50 définie comme la dose tuant 50% des effectifs d'une colonie est une dose très faible pour l'imidaclopride (Vidal-Naquet, 2015). De plus nombre de ces pesticides se retrouvent dans le miel, le pollen et la cire (Muli *et al.*, 2018) ce qui peut également menacer la santé publique.

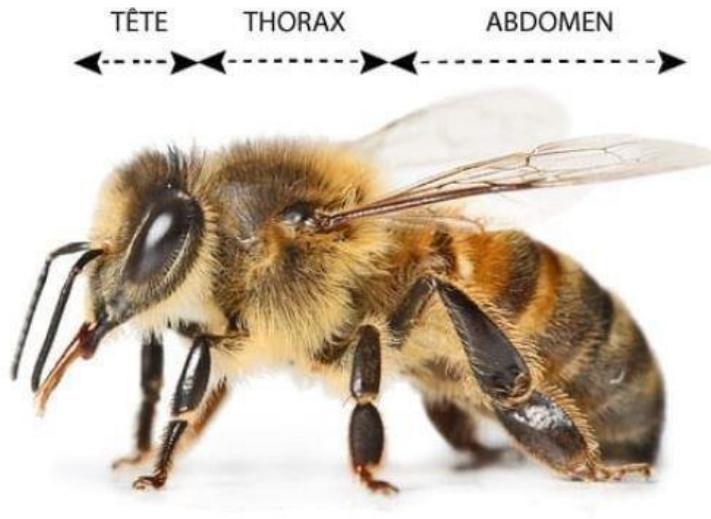
II. Fonctionnement biologique

1. Anatomie générale

1.1. Morphologie

Le corps d'*Apis Mellifera* se compose entre trois parties : tête, thorax et abdomen (Figure 5). Faisant partie des arthropodes, elle possède un exosquelette nommé cuticule.

Figure 5 : Morphologie de l'abeille (Rapior et al. 2020)



Les proportions anatomiques et le développement des parties dépendent de la caste à laquelle l'abeille appartient, selon si c'est un faux bourdon, une reine ou une ouvrière. On observera alors des différences morphologiques (Figure 6) (Boucher, 2016).

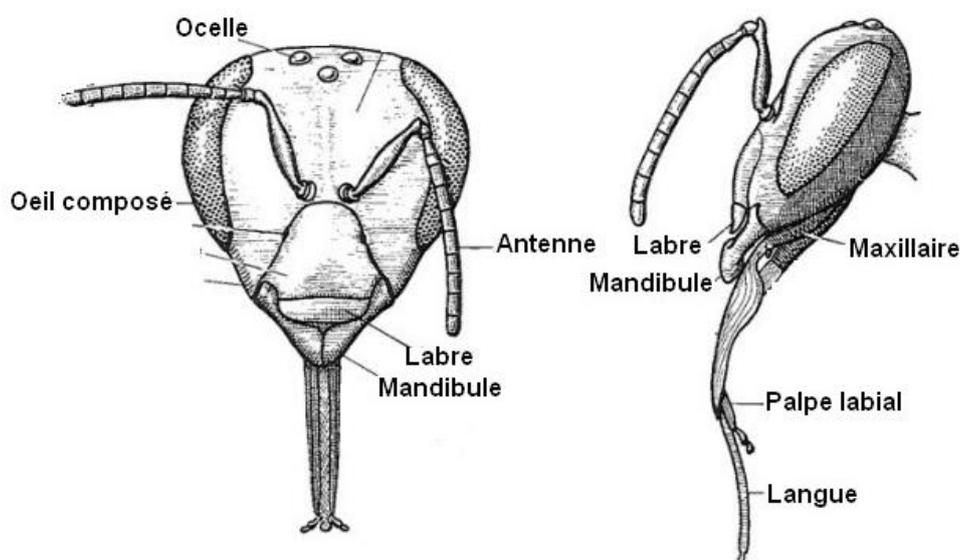
Figure 6 : Différences morphologiques d'*Apis Mellifera* (Boucher, 2016)



1.2. La tête

La tête de l'abeille présente des pièces buccales de type broyeur-lécheur, deux yeux composés de plusieurs milliers d'ommatidies, trois ocelles permettant de capter l'intensité lumineuse et une paire d'antennes assurant la perception des odeurs (Figure 7) (Le Conte, 2009). Le cerveau de l'abeille est volumineux et développé. Des glandes sécrétrices ; salivaires, hypopharyngiennes et mandibulaires sont également présentes.

Figure 7 : Anatomie de la tête d'une ouvrière *Apis Mellifera* (Carreck *et al.*, 2013)

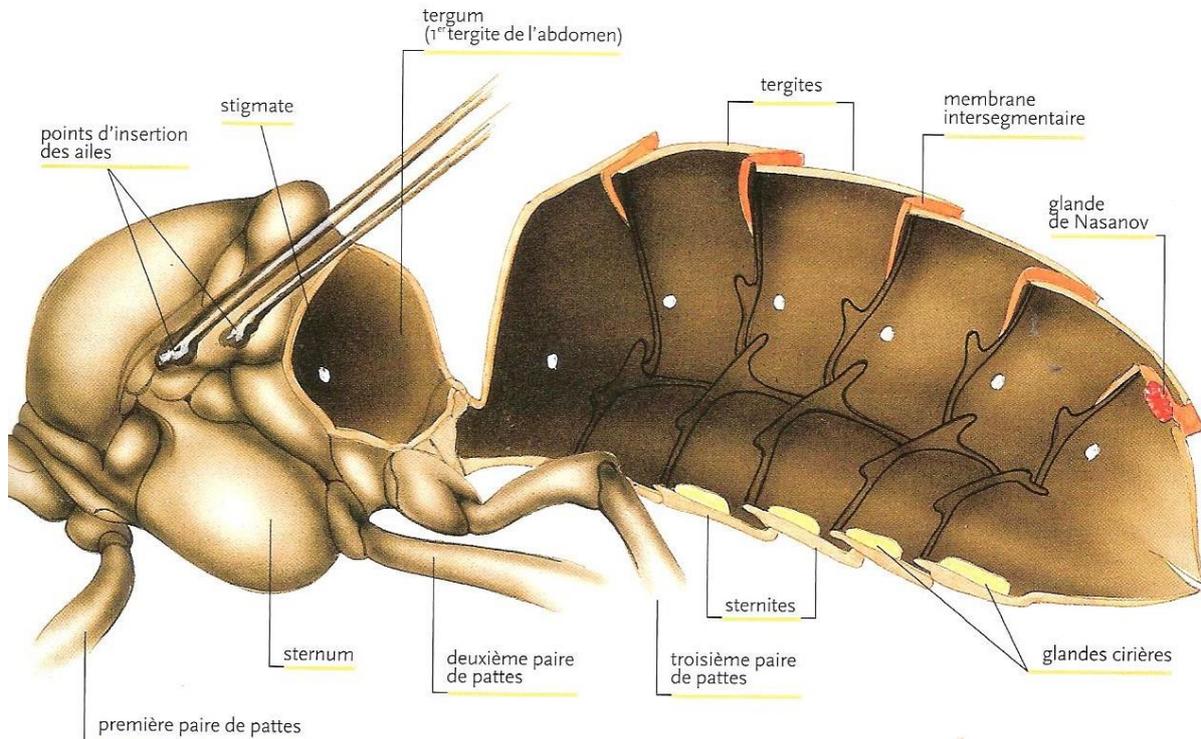


1.3 Thorax et abdomen

Sur le thorax on retrouve deux paires d'ailes membraneuses et les trois paires de pattes, des muscles puissants sont présents dans le thorax afin de pouvoir mettre en mouvement ces appendices articulés.

L'abdomen est soudé au thorax par un pétiote qui est le premier segment de l'abdomen. L'abdomen se compose de sept segments, chaque segment comportant deux parties le tergite et le sternite. On retrouve sur chaque segment des stigmates permettant à l'abeille de respirer. Sur les quatre derniers segments il y a une paire de glandes cirières. La glande de Nasanov chez les ouvrières se situe sur l'extrémité postérieure de l'abdomen, c'est un organe impliqué dans la communication entre individus par le biais de phéromones (figure 8) (Le Conte, 2009).

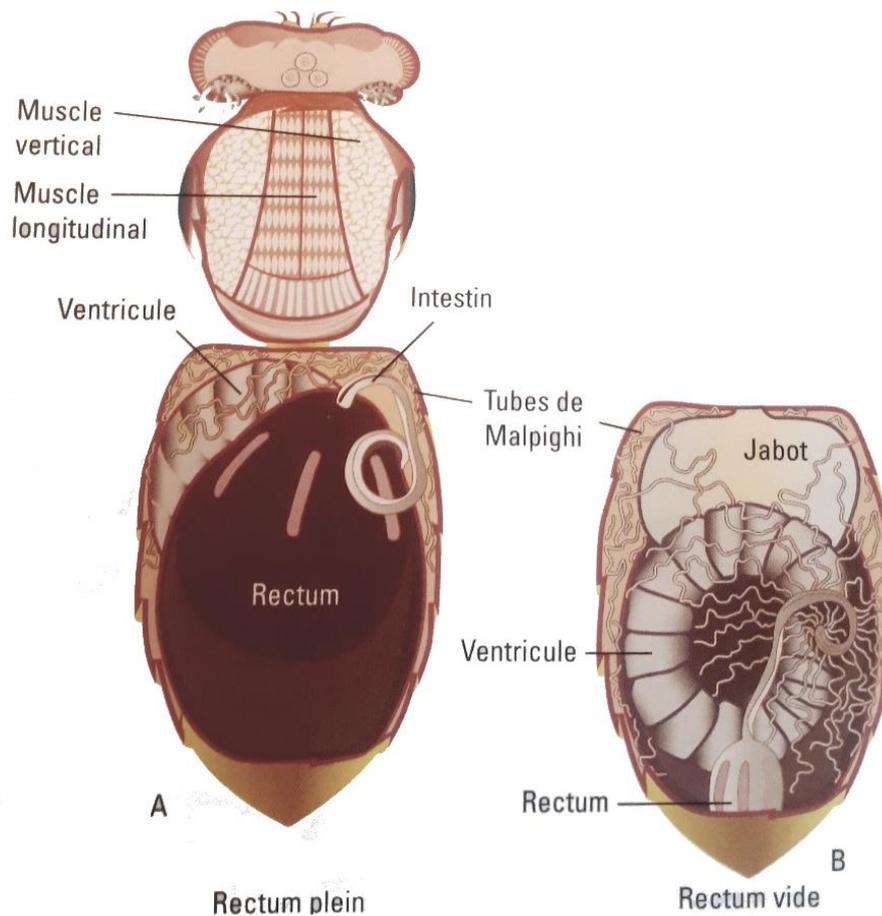
Figure 8 : Thorax et abdomen d'*Apis Mellifera* (Le Conte, 2009)



2. Système digestif

Le tube digestif prend naissance au niveau de la bouche, les aliments arrivent par l'œsophage jusqu'au jabot puis au ventricule où a lieu la majeure partie de la digestion et de l'absorption. Les tubes de Malpighi traitent les déchets azotés de l'hémolymphe vers l'intestin. L'ampoule rectale accumule les déchets en se dilatant permettant à l'abeille de rester à l'intérieur de la ruche en hiver puis lors d'un temps plus clément de sortir pour un vol de propreté (Figure 9) (Le Conte, 2009).

Figure 9 : Anatomie de l'appareil digestif d'*Apis Mellifera* (Boucher, 2016)

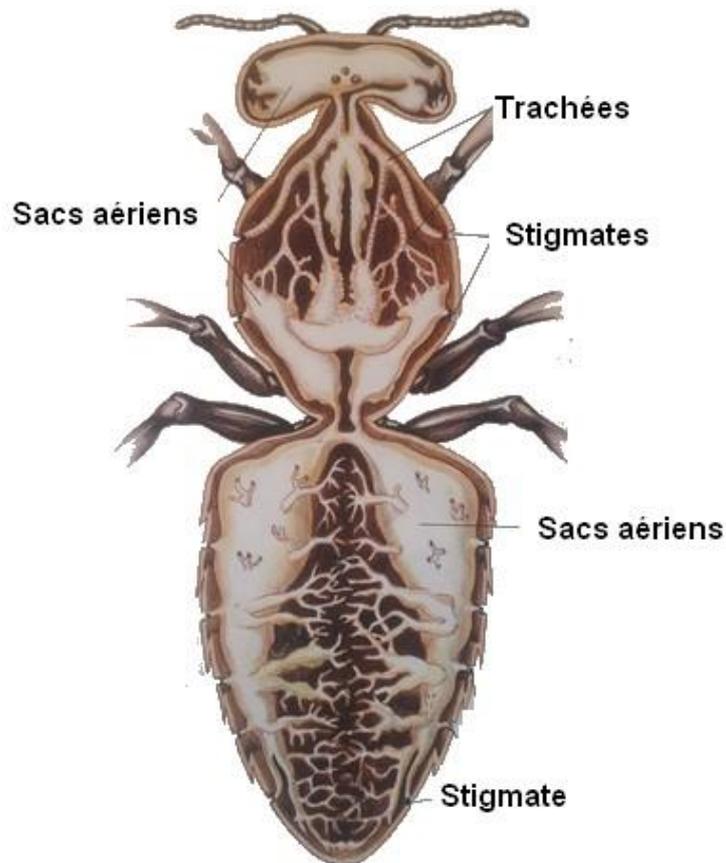


Le jabot est une large poche de stockage permettant à l'abeille de régurgiter le nectar et l'eau collectés mais aussi d'autres éléments comme le miel et le pollen lors du nourrissage des larves (Le Conte, 2009).

3. Appareil respiratoire

Les échanges gazeux chez l'abeille se font via des orifices présents sur l'abdomen appelés stigmates. Ils sont au nombre de vingt répartis sur le thorax et l'abdomen (figure 9), et s'abouchent sur des trachées ou sacs aériens grâce à une valve. Les stigmates s'ouvrent et se ferment par des contractions musculaires. Les trachées et les sacs aériens se ramifient de plus en plus finement jusqu'à pouvoir assurer les échanges gazeux au niveau cellulaire (Figure 10) (Le Conte, 2009).

Figure 10 : Anatomie de l'appareil respiratoire d'*Apis Mellifera* (Le Conte, 2009)

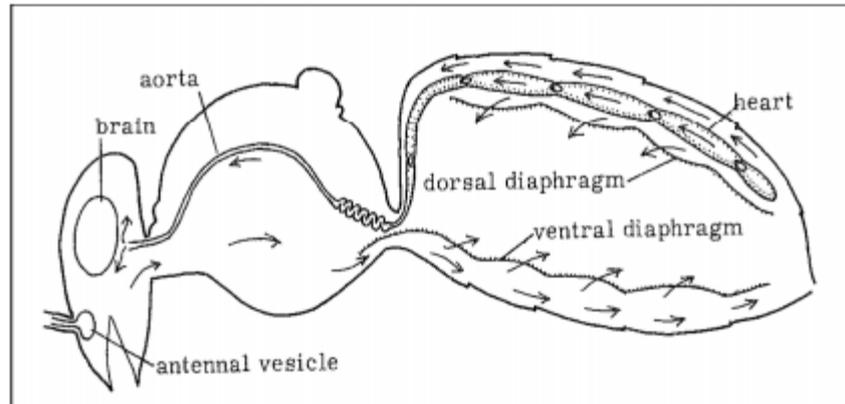


Lors du vol les échanges gazeux se font majoritairement au niveau des stigmates abdominaux, les contractions musculaires induites par le vol permettent à l'air de circuler. Au repos, ce sont les stigmates thoraciques qui s'ouvrent et se ferment.

4. Appareil circulatoire

Chez les insectes on parle d'hémolymphe et non pas de sang. Ce fluide n'a pas de rôle dans le transport des gaz, c'est un réservoir d'eau, de minéraux, enzymes, protéines etc. Néanmoins l'abeille est pourvue d'un système circulatoire afin d'apporter aux cellules de l'organisme des éléments nécessaires à leur bon fonctionnement. Le système circulatoire est, chez les arthropodes, situé dorsalement, il est dit ouvert. L'hémolymphe élaborée dans l'abdomen circule dans l'ensemble du corps jusqu'à la tête à l'aide de ventricules abdominaux et d'une aorte. Les muscles abdominaux fixés aux diaphragmes aident la circulation de l'hémolymphe et permettent son retour dans l'abdomen (Figure 11) (Carreck et *al.* 2013).

Figure 11 : Système circulatoire d'*Apis Mellifera* (Carreck et al.,



5. Système nerveux

L'abeille possède un système nerveux complexe, qui se compose d'un cerveau clivé en trois parties distinctes et d'une chaîne nerveuse ventrale composée de nombreux ganglions innervant les différentes parties de l'organisme (Figure 12) (Le Conte, 2009).

Le cerveau comprend (figure 13) :

- Le protocérébron, assurant la vision par le biais des nerfs optiques et ocellaires. Il est le siège des messages nerveux.
- Le deutocérébron, constitué de deux lobes assurant les signaux nerveux entre les antennes et le protocérébron.
- Le tritocérébron, qui est la plus petite partie du cerveau, est constitué d'un nerf labial et des nerfs paracardiaques contrôlant les glandes endocrines.

Figure 12 : Anatomie du système nerveux de l'abeille (Le Conte, 2009)

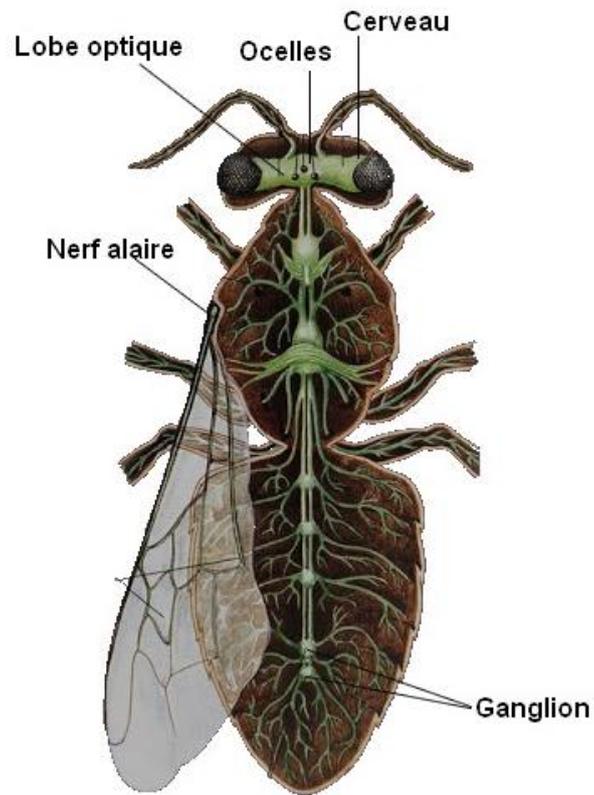
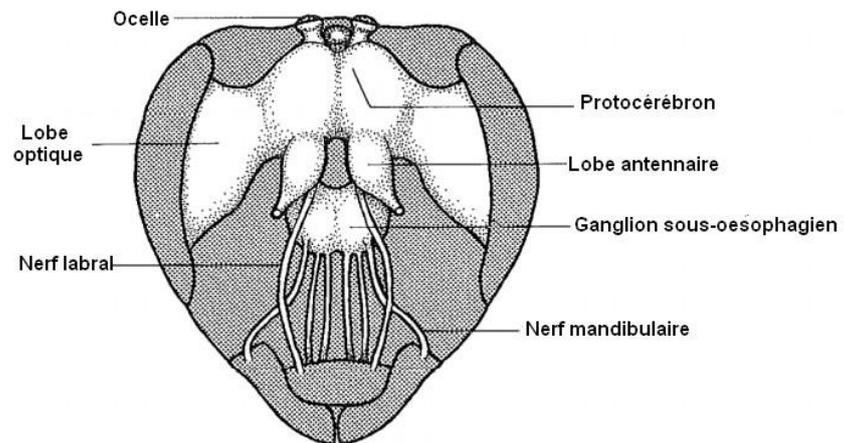


Figure 13 : Le cerveau et les principaux nerfs de la tête de l'abeille (Carreck et al., 2013)

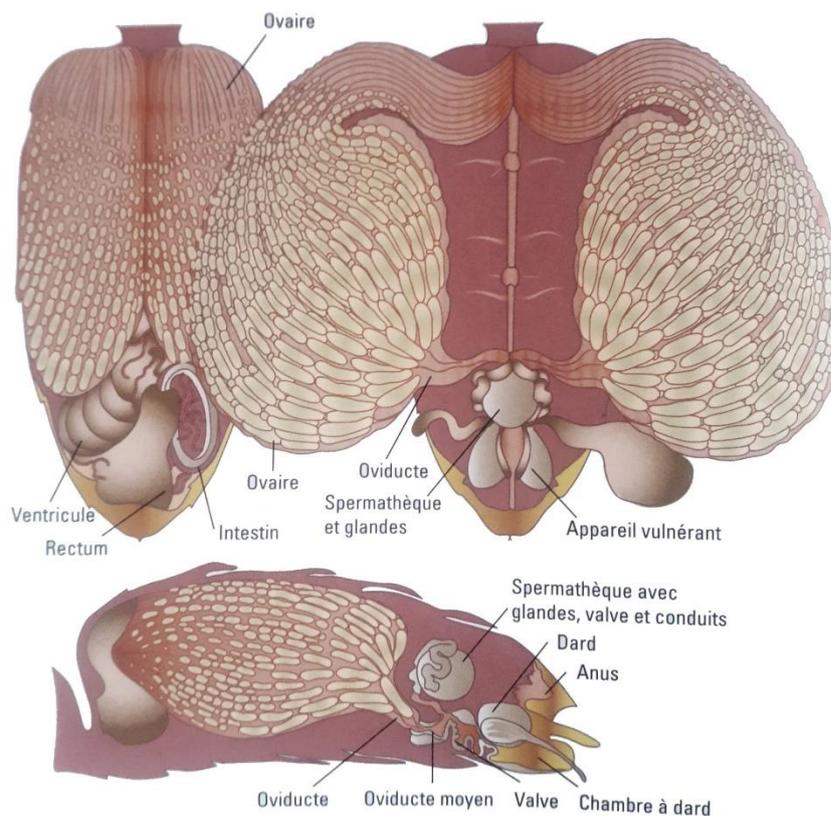


6. Reproduction

Au sein d'une colonie, la seule femelle normalement apte à s'accoupler et à pondre est la reine. Les autres femelles (les ouvrières) sont dotées des mêmes organes reproducteurs, sauf qu'ils ne sont pas développés. L'appareil génitale de la reine comprend deux ovaires, chacun aboutissant sur un oviducte qui se rejoignent pour former un oviducte commun. Une des principales particularités du système de reproduction des abeilles est que la reine possède une spermathèque, lieu où sera conservé les spermatozoïdes libérés par le mâle ou faux-bourdon, lors de l'accouplement (Biri, 2002). La spermathèque peut contenir entre cinq et sept millions de spermatozoïdes et les stocker pendant la durée de vie de la reine, soit quatre à cinq années (figure 14).

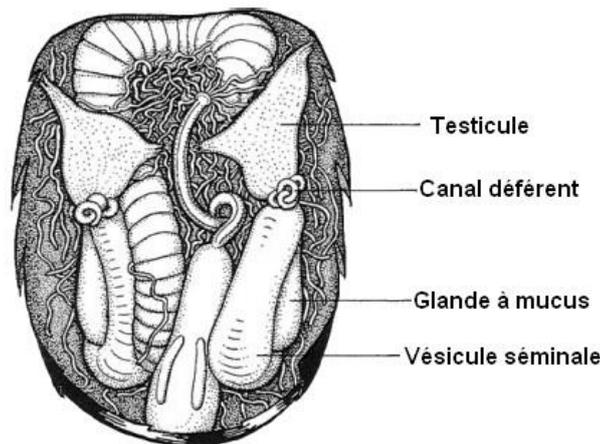
Il est à noter que parfois des ouvrières dites pondeuses ou bourdonneuses se mettent à pondre au sein de la ruche. Cependant la ponte ne donnera que des mâles puisque aucune fécondation n'a eu lieu. En effet les œufs fécondés donnent des femelles et les œufs non-fécondés donnent des mâles.

Figure 14 : Appareil reproducteur femelle de l'abeille (Boucher, 2016)



Les mâles ou faux bourdons ont un appareil génital composé de deux testicules reliés à des vésicules séminales, par un canal déférent. Le mâle est doté d'un canal éjaculateur s'abouchant sur l'endophallus (Figure 15). Les mâles sont sexuellement matures environ trois semaines après leur émergence hors de leur alvéole (Le Conte, 2009).

Figure 15 : Appareil reproducteur mâle de l'abeille (Carreck et *al.*, 2013)



L'accouplement se fait lors d'un vol nuptial, la reine est sexuellement mature vers cinq à six jours après son émergence, elle va alors quitter sa colonie dans les trois semaines suivantes afin d'être fécondée par des mâles d'autres colonies. La reine va s'éloigner de quelques kilomètres de sa ruche, attirée par les phéromones sexuelles des mâles. Cette forte concentration en mâles sur une même zone, appelée "congrégation de mâles " va permettre d'augmenter le brassage génétique et donc de limiter la consanguinité. Lors de son vol nuptial la reine peut être fécondée par une vingtaine de mâles. L'accouplement se fait en vol sur quelques secondes, à la fin les parties génitales extériorisées du mâle restent fixés à la reine, causant le décès du faux-bourdon (Le Conte, 2009).

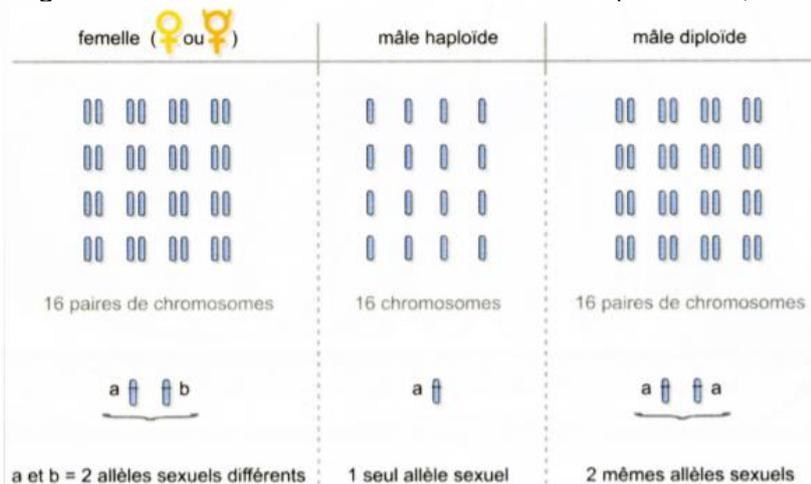
Les conditions climatiques jouent un rôle essentiel dans la réussite de l'accouplement. En effet une forte luminosité et de la chaleur sont nécessaires.

7. Développement : de l'œuf à l'adulte

7.1. Génétique et castes

Une colonie est composée de trois castes : une reine, des ouvrières et des faux-bourçons. D'un point de vue génétique les futures reines et les ouvrières ont des chromosomes diploïdes autrement dit des chromosomes qui vont en paire car les femelles sont issus d'un ovocyte fécondé par un spermatozoïde. A l'inverse les mâles ou faux-bourçons sont issus d'un ovocyte non fécondé donc ne possèdent pas de paires de chromosomes, ils sont dits haploïdes. Ce qui génétiquement donne le sexe d'une abeille est la présence d'allèles déterminant le sexe. Les femelles possèdent alors obligatoirement deux allèles sexuels différents, on parle alors d'hétérozygotie alors que les mâles ne possèdent qu'un allèle puisqu'il n'a pas de paires de chromosomes. Cependant il peut exister des mâles diploïdes, donc initialement des œufs fécondés. Ces mâles sont des individus diploïdes mais ont deux allèles sexuels identiques, ces individus seront reconnus à l'état larvaire et seront tués par les ouvrières (Figure 16) (Le Conte, 2009).

Figure 16 : Détermination du sexe de l'abeille (Le Conte, 2009)



(♀ ou ♀) : en jaune femelle ouvrière, en orange femelle future reine

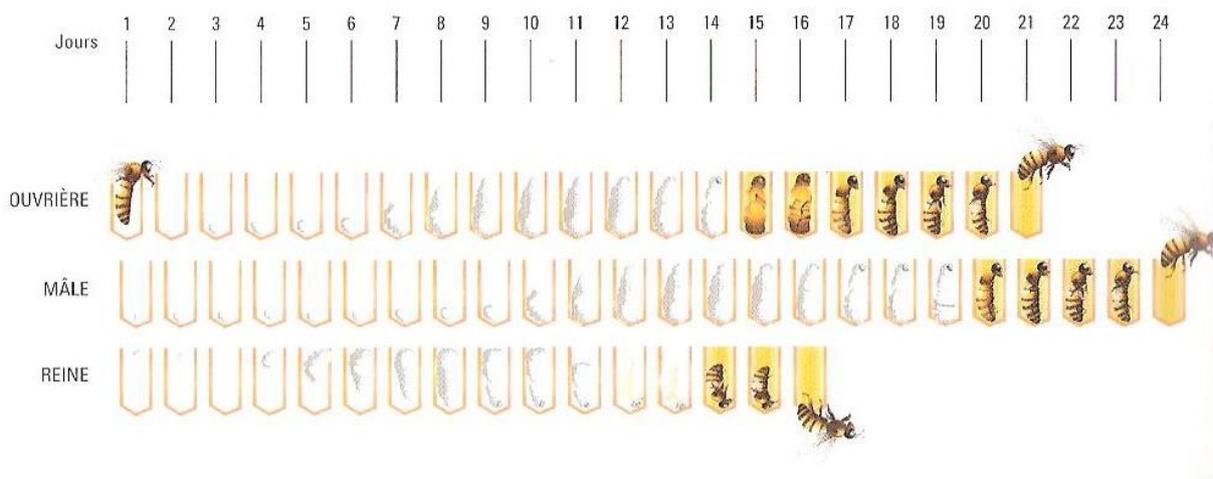
7.2. Cycle évolutif

Les abeilles sont des insectes holométaboles, autrement dit leur aspect morphologique entre le stade larvaire et le stade adulte change complètement, on parle de métamorphose complète. En effet on passe de l'œuf, à un stade larvaire puis à une nymphe avant de voir l'abeille adulte émerger de son alvéole.

La reine, ayant effectuée son vol nuptial et retourne à la ruche pour commencer à pondre. Elle pond les œufs sur un rayon de façon circulaire et centrifuge. En situation normale elle pond un œuf par cellule et selon la taille de l'alvéole l'œuf donnera soit un œuf fécondé et donc une ouvrière pour les petites cellules soit un œuf non fécondé donc un mâle pour les grandes cellules. Les œufs des futures reines sont initialement identiques à ceux des ouvrières, seule l'alimentation déterminera si l'œuf sera une ouvrière ou une reine. L'œuf pondu directement dans la cellule est déposé verticalement, il va progressivement s'incliner au fil des jours, la datation de la ponte des œufs est donc possible (Biri, 2002).

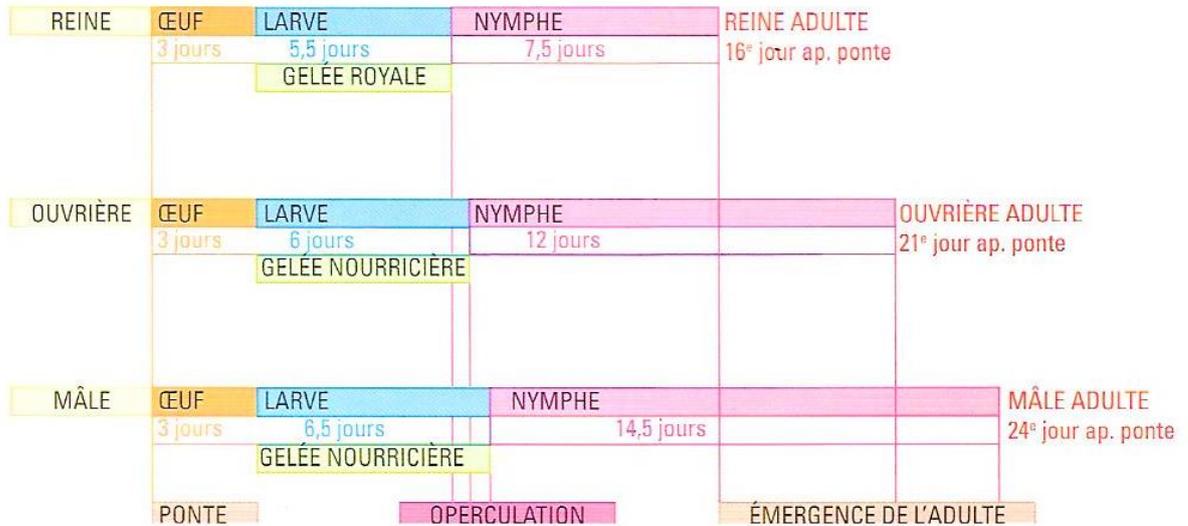
Les larves éclosent trois jours après la ponte, le stade larvaire se déroule à couvain ouvert, c'est-à-dire que les cellules où sont les larves restent ouvertes afin que les ouvrières puissent nourrir le couvain. Les larves sont alimentées six jours si ce sont des femelles et sept jours si ce sont des mâles. A la fin du stade larvaire les cellules sont operculées et la larve se transforme en nymphe par le biais de plusieurs mues (figure 17).

Figure 17 : Développement comparatif entre mâle, ouvrière et reine (Boucher, 2016)



Les nymphes vont évoluer jusqu'à atteindre leur forme adulte et émergent enfin de leur cellule. Il faut compter sept jours au stade de nymphe pour une future reine, douze jours pour une ouvrière et quatorze pour un faux-bourdon (figure 18) (Boucher, 2016).

Figure 18 : Cycle évolutif des trois castes d'abeille (Boucher, 2016).



7.3. Régime alimentaire adapté

Chaque catégorie de larve a une alimentation qui lui est propre, les larves sont nourries par les ouvrières qui régurgitent des bouillies qui sont des mélanges de miel, pollen, gelée royale, eau et sucs digestifs. Les larves vont être nourries à la gelée royale les trois premiers jours, après selon si la larve est élevée dans le but d'être une reine ou une ouvrière l'alimentation va varier. Les larves royales vont continuer à être nourries avec de la gelée royale sur l'ensemble du stade larvaire, alors que le reste du couvain va passer sur une gelée nourricière dont la composition va évoluer sur tout le stade, les ouvrières nourrices vont y incorporer du miel et de pollen (Bruneau, 2006).

III. Santé de l'abeille et situation sanitaire

1. Evaluer la sante d'une ruche

1.1. Examen clinique

L'examen et le suivi sanitaire des colonies se font par les apiculteurs et les vétérinaires apicoles. L'état sanitaire se fera sur l'individu, sur l'ensemble de la caste mais aussi sur la ruche en elle-même ainsi que les productions associées. Le vétérinaire se basera sur plusieurs paramètres notamment l'état des réserves, le comportement des abeilles, la taille de la colonie et du couvain, tout ceci en prenant en compte les facteurs tels que la saison ou la race d'abeille. En hiver il est à noter qu'une mortalité est observable et est considéré comme normale entre 5% et 15% (Toma *et al.*, 2008).

La réalisation d'un examen clinique doit se faire aux heures les plus chaudes de la journée, le vétérinaire doit suivre une procédure d'examen étape par étape (Vidal-Naquet, 2015b) :

- L'anamnèse : va permettre de recueillir l'ensemble des informations concernant la colonie, ses antécédents, les observations faites dernièrement, l'environnement, les traitements préventifs et curatifs déjà mis en place
- L'examen à distance : la ruche a une zone de butinage de trois kilomètres c'est pourquoi connaître l'environnement proche (cultures agricoles, vent dominant, forêts...) permet de savoir s'il y a des risques toxicologiques proches. Il faut ensuite s'intéresser à la ruche notamment son état d'entretien et sa disposition. La présence de nombreuses abeilles mortes à proximité de la zone d'envol, la présence de prédateurs, un manque visible d'activité ou une accumulation de déchets à l'entrée de la ruche sont des facteurs pouvant indiquer un état sanitaire anormal.
- L'examen de la colonie : va consister à observer les abeilles adultes, le couvain et les rayons. A l'ouverture de la ruche on va rechercher la présence de parasites ou de prédateurs, mais aussi l'activité des abeilles et l'odeur dégagée par la ruche. Il va également falloir estimer la population présente et voir s'il y a des signes cliniques visibles. L'état du couvain doit être inspecté afin de voir si la ponte est régulière, si les opercules semblent sains, s'il y a tous les stades immatures d'observables. Une colonie avec un couvain anormal est une colonie en danger pour son futur.

- Analyses et prélèvements : le vétérinaire va pouvoir sur place effectuer des tests afin de mettre directement en évidence des pathologies ou parasites. De plus des prélèvements tels que des abeilles adultes, des larves, des rayons de couvain et des produits de la ruche peuvent être récupérés pour être analysés en laboratoire.

1.2. Prélèvements réalisables

Afin de confirmer des affections touchant une colonie, de nombreux tests sont réalisables. Pour les réaliser, des prélèvements multiples sont faisables mais sous certaines quantités et conditionnement (Tableau 3) (Franco *et al.*, 2012) :

Tableau 3 : Prélèvements à effectuer dans une ruche en cas de suspicion d'agents pathogènes (rose) ou d'intoxication (vert) (d'après Franco *et al.*, 2012)

Matrice	Quantité	Conditionnement	Conditions de stockage
Abeilles adultes vivantes (avec signes cliniques ou mortes récemment)	>20 abeilles Mais variable si suspicions certaines maladies	Emballage carton ou papier propre	Température ambiante ou congélation (-20°C)
Couvain	Carré de 10cmx10cm avec 15 larves/nymphes malades	Emballage carton ou boîte plastique	Température ambiante ou congélation
Couvain	Larves, écailles ou tout élément suspect	Tube Eppendorf	Température ambiante ou congélation
Parasites, prédateurs	Plusieurs individus	Emballage carton ou tube	Congélation
Miel	250g	Pot hermétique propre	Réfrigération (+4°C)
Gelée Royale	20g		Congélation
Cire Propolis	20g	Emballage carton ou papier	Réfrigération
Pollen frais	50g		Congélation
Abeilles	50g (= 500 abeilles)		
Végétaux	10 litres sommités fleuries	Enveloppe ou bocaux	

2. Principales affections d'*Apis Mellifera*

2.1. La loque Américaine

2.1.1. Agent pathogène

La loque américaine anciennement appelée "rouille", est une affection causée par une bactérie nommée *Paenibacillus Larvae*, le terme loque faisant référence aux larves tombant en loques. Cette maladie est soumise à une déclaration obligatoire dans l'Union Européenne, étant classée parmi les dangers sanitaires de première catégorie "DS1" ou selon la nouvelle loi santé animale, catégorisée "DE" (D : maladie pour laquelle des restrictions s'appliquent aux mouvements entre états membre. E : maladie soumise à surveillance). Cette bactérie se présente sous deux formes ; sporulée et végétative. Les spores sont extrêmement résistantes aux agents extérieurs et peuvent survivre jusqu'à dix ans (Boucher, 2016).

2.1.2. Contamination et pathogénie

La contamination se fait par l'ingestion de la forme sporulée par les larves. La bactérie va alors se développer dans le couvain au stade larvaire. La bactérie va évoluer dans le tube digestif, s'attaquant à l'épithélium puis va s'étendre à l'ensemble des organes, la larve meurt, alors victime d'une septicémie (Ebeling *et al.*, 2016). Le risque de contamination est d'autant plus grand qu'une seule bactérie peut libérer jusqu'à un milliard de spores par larve touchée. Les spores sont présentes partout, dans les produits de la ruche mais aussi sur les abeilles adultes. La contamination peut se faire par des abeilles allant piller d'autres ruches et ainsi contaminant ces colonies. Une ruche malade est d'autant plus touchée que la colonie n'évacue pas assez vite les larves infectées ou que les pratiques apicoles ne sont pas faites avec suffisamment de précautions sanitaires (pas de désinfection du matériel, transfert de spores entre les colonies etc.). Le pronostic d'une colonie malade n'est pas forcément mauvais si la colonie ne connaît pas d'affaiblissement autre (maladie ou carences). Le bacille va donc circuler à bas bruit. Ainsi peu ou pas de symptômes seront observables mais en cas d'apparition d'un stress, la maladie peut resurgir. Si le couvain est entièrement touché alors la colonie risque de disparaître (Boucher, 2016).

2.1.3. Diagnostic

Une suspicion de loque américaine se fait d'abord par inspection des cadres de la ruche, les colonies fortement touchées vont présenter un couvain en mosaïque avec des alvéoles vides et des larves mortes, des opercules de couleur foncée et affaissés ainsi qu'une odeur caractéristique marquée (Vidal-Naquet, 2015c).

Le test dit de l'allumette réalisable sur le terrain va fortement orienter le diagnostic. Les larves malades ont leurs tissus qui se délabrent, ils vont prendre une texture visqueuse. Le fait d'introduire une allumette ou autre embout dans une cellule suspecte et d'en retirer une masse élastique donnera un test positif (Figure 19). Cependant on peut avoir une texture aqueuse qui donnera un résultat négatif alors qu'il y a bien un cas de loque américaine (Boucher, 2016).

Figure 19 : Mise en évidence de la loque américaine avec le test de l'allumette positif
(Leterrier, s. d.)



Cependant d'autres maladies peuvent présenter des similitudes, c'est pourquoi il est nécessaire de faire des tests de laboratoire. Il faut prélever alors un morceau de couvain ou des restes de larves mais on peut également mettre en évidence l'agent pathogène dans les produits de la ruche (miel, pollen, cire) ou sur les abeilles adultes. Le choix du test peut se porter sur l'examen microscopique d'un frottis de restes de larves, sur une mise en culture, sur une PCR ou un test ELISA (kit de test réalisable sur le terrain). Dans le cadre des ruches porteuses saines le choix se portera préférentiellement sur une culture ou PCR ou ELISA (Boucher, 2016).

2.2. Principales maladies virales

2.2.1. Virus de la paralysie chronique (CBPV)

Ce virus est aussi appelé la "maladie noire " en raison l'alopecie engendree par le virus donnant un aspect noir et luisant aux abeilles malades. L'agent pathogene est un virus a ARN. Ce virus est present dans la plupart des colonies mais ne se manifeste que si les abeilles sont soumises a un stress souvent d'origine alimentaire (carence proteique favorisant l'apparition). La contamination peut se faire par voie orale ou cutanee. Cette affection touche principalement les abeilles adultes qui vont alors presenter une paralysie (tremblements, ataxie, incapacite a voler, puis mort) et une perte des poils de l'abdomen. Pour confirmer une suspicion, le diagnostic se base sur des tests PCR afin d'etablir la charge virale et de differencier si le virus est latent ou actif dans la colonie (Boucher, 2016).

2.2.2. Virus des ailes deformees (DWV)

C'est une maladie du couvain et des adultes, causee par un virus a ARN de la famille des *flaviviridae*. Ce vecteur est transmis par un vecteur actif, le parasite *Varroa destructor*, qui est d'ailleurs le vecteur de nombreuses affections virales. L'abeille est alors contaminee par la salive du parasite. La transmission peut aussi se faire verticalement, par une reine qui contaminera directement sa descendance. Chez les abeilles naissantes contaminees, il va y avoir des deformations du corps et des ailes. Les abeilles vont donc etre incapables de remplir leurs taches et mourront prematurement. Le diagnostic apres, avoir constate des abeilles anormales, se fera par un test PCR pour quantifier la charge virale. Le test ELISA peut etre fait pour savoir rapidement si le virus est present mais sans connaitre la charge virale (Boucher, 2016).

2.2.3. Virus du couvain sacciforme (SBV)

La virose touche le couvain, le virus en cause est un *flavirus*, la contamination peut se faire par le *Varroa destructor* mais aussi entre les abeilles porteuses asymptomatiques et les larves. La maladie s'exprime lors en presence de facteurs favorisants comme des carences proteiques, des predispositions genetiques ou la presence d'autres maladies. Il y a une forte contagiosite mais le virus est peu resistant dans l'environnement. Le couvain malade devient alors heterogene avec des cellules vides, des larves ayant un aspect de petit sac avec une poche liquidienne, avant de devenir noires et seches. On peut confondre un couvain sacciforme avec la presence d'une loque, pour differencier la technique PCR sera privilegiee (Boucher, 2016).

2.2.4. Virus du Cachemire (KBV)

La maladie du virus du cachemire a la particularité d'induire une forte mortalité sans qu'il n'y ait présence d'autre symptôme spécifique. Ce virus touche l'ensemble de la colonie, il fait partie des *Dicistroviridae*. La contamination a lieu entre les individus d'une colonie mais aussi par le vecteur *Varroa Destructor*. Initialement présent chez les abeilles du genre *Apis cerana*, il provoque aujourd'hui une affection mondiale touchant le genre *Apis mellifera*. Les abeilles vont succomber trois jours après inoculation. Le diagnostic est difficilement faisable et seule une confirmation par PCR est réalisable (Boucher, 2016).

2.2.5. Autres viroses

De nombreuses viroses touchant les abeilles et menaçant l'état sanitaire des colonies existent. Beaucoup de ces virus sont transmis par le parasite *Varroa destructor* (tableau 4) (Boucher, 2016).

Tableau 4 : Principales viroses de l'abeille domestique (d'après Boucher, 2016)

Virose	Contamination	Symptômes	Diagnostic
Virus de la paralysie aiguë (ABPV)	Transmission verticale ou par voie orale Transmission par vecteur : <i>Varroa Destructor</i>	Touche le couvain et les adultes Paralysie puis morts en quelques jours	RT-PCR pour connaître charge virale sur vingt abeilles symptomatiques.
Virus de la cellule royale noire (BQCV)	Transmission verticale ou par voie orale Virose symptomatique que si présence de <i>Nosema</i>	Les nymphes royales deviennent jaunes puis marrons et noires et enfin meurent.	Observation larves royales de couleur anormale Confirmation par RT-PCR
Virus israélien de la paralysie aiguë (IAPV)	Transmission verticale ou par voie orale Transmission par vecteur : <i>Varroa destructor</i>	Perturbation sensorielle puis mort en 3 à 5 jours	RT-PCR sur vingt abeilles symptomatiques

Il faut citer également les viroses telles que le virus de la paralysie lente (SBPV), le virus filamenteux (FV), le virus des ailes opaques (CWV), le virus X de l'abeille (BVX) et le virus Y de l'abeille (BKY). La plupart sont présentes à l'échelle mondiale et peuvent affaiblir les colonies.

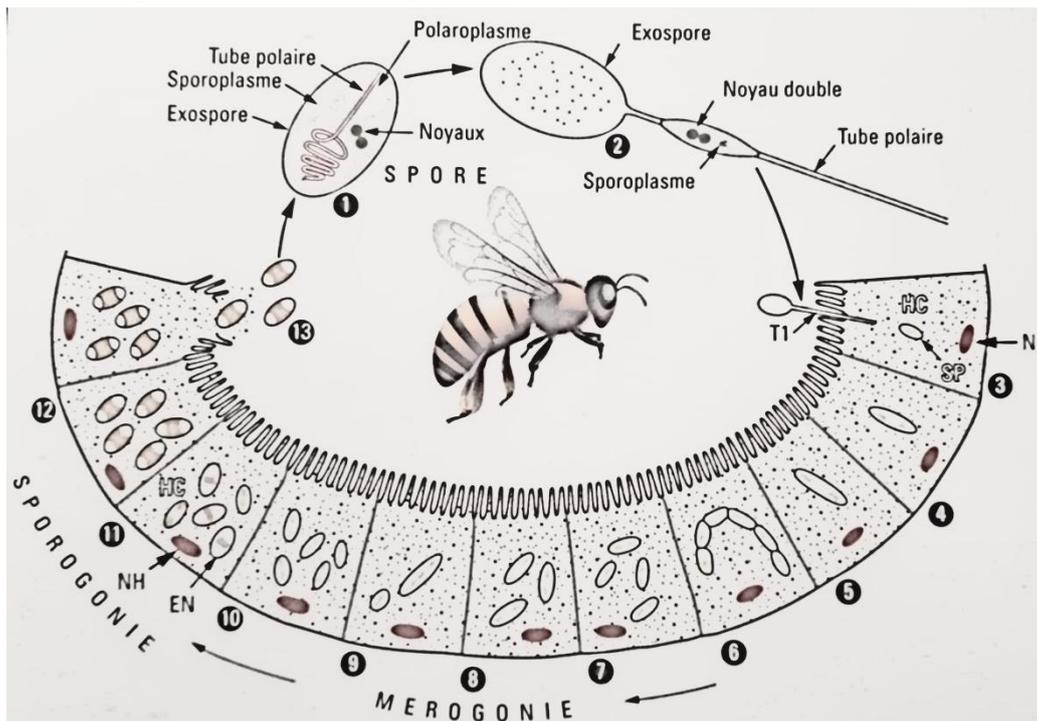
2.3. La nosérose

2.3.1. Agent pathogène

La nosérose de l'abeille est une parasitose due à deux microsporidies : *Nosema apis* et *Nosema ceranae* (Higes *et al.*, 2006). *Nosema ceranae* a été découverte en 1996. Ces parasites sous la forme de spores ovoïdes se composent de plusieurs éléments ; une enveloppe, un sporoplasme et un appareil d'extrusion. L'enveloppe assure une résistance au milieu extérieur notamment aux fortes températures et à la dessiccation, cependant *Nosema spp.* ne semble pas bien tolérer les températures basses (Fenoy *et al.*, 2009). Le sporoplasme se compose d'un cytoplasme et d'un germe amiboïde. Enfin l'appareil d'extrusion qui est l'appareil invasif contient un filament polaire et une capsule.

Le cycle de vie de *Nosema* est complexe, c'est une succession de stades dont certains peuvent coexister. L'abeille va ingérer les spores qui vont par le biais de l'appareil d'extrusion transmettre le sporoplasme dans les cellules intestinales. Le germe amiboïde va passer dans la cellule sous forme dite embryonnaire, il va alors se développer et devenir pathogène pour les cellules en se nourrissant du contenu cellulaire et en se multipliant. Cette forme dite "mérozoïte" va alors passer sous forme sporulée. Les cellules pleines de spores vont éclater par péristaltisme intestinal. Les spores alors dans la lumière intestinale vont être libérées dans le milieu extérieur avec les déjections (figure 20) (Fries, 1993) .

Figure 20 : Cycle biologique de *Nosema apis* (Boucher, 2016).



2.3.2. Contamination et signes cliniques

Nosema est un parasite des abeilles adultes, cette parasitose est mondialement présente et était considérée comme maladie de première catégorie en France. Suite à l'entrée en vigueur de la loi santé animale en 2021 la nosérose n'est plus catégorisée. L'affection ne se manifeste que si des conditions sont présentes. En effet c'est un parasite intracellulaire obligatoire beaucoup d'individus sont porteurs sains. Une nosérose se développe alors lors d'hivers longs et humides ou si la colonie est affaiblie. L'infestation va se développer par l'ingestion de spores, généralement plusieurs dizaines. Etant donné la grande résistance des spores, la contamination peut se faire entre individus mais aussi par du miel contaminé ou du matériel apicole.

Les abeilles infestées vont avoir une destruction des cellules épithéliales de l'intestin, cette lésion va engendrer diarrhées et inflammation. Les signes cliniques ne sont pas pathognomoniques de la maladie mais il sera parfois observable : des traces jaunes de diarrhée à l'entrée de la ruche, des abeilles mortes, des abeilles présentant une distension abdominale, une diminution de l'activité de la colonie et de la ponte (Boucher, 2016).

2.3.3. Diagnostic

Une fois la suspicion clinique établie, la recherche de la maladie va se baser sur la recherche de spores et leur comptage. Ce diagnostic se fait sur un prélèvement de trente intestins d'abeilles malades (Fries *et al.*, 2013).

2.4. Varroose

2.4.1. L'agent, *Varroa destructor*

Varroa destructor est un arthropode du sous-embranchement des chélicérates, c'est un acarien ectoparasite initialement d'*Apis ceranea*. Il est devenu depuis un parasite d'*Apis mellifera* et est présent sur l'ensemble du globe.

La morphologie de l'acarien se caractérise par un corps arrondi et aplati dorso-ventralement et quatre paires de pattes. Il y a un dimorphisme sexuel marqué, les femelles ont des pattes courtes et solides avec des ventouses sur chacune d'elles pour s'accrocher à l'hôte, la cuticule de la femelle est de couleur brune. Alors que le mâle toujours plus petit possède des pattes plus longues, il est de couleur jaune clair. Le mâle ne survie uniquement que dans les alvéoles et plus particulièrement dans les alvéoles des futurs faux-bourçons et des futures ouvrières où la température y est idéale (figure 21) (Boucher, 2016). *Varroa destructor* se nourrit de l'hémolymphe de l'abeille c'est en cela qu'il est un parasite.

Figure 21 : Différences morphologiques de *Varroa destructor*. De gauche à droite : Jeune femelle, femelle mature, mâle (Fernández *et al.*, 1993) (Rosenkranz *et al.*, 2010)



2.4.2. Cycle parasitaire

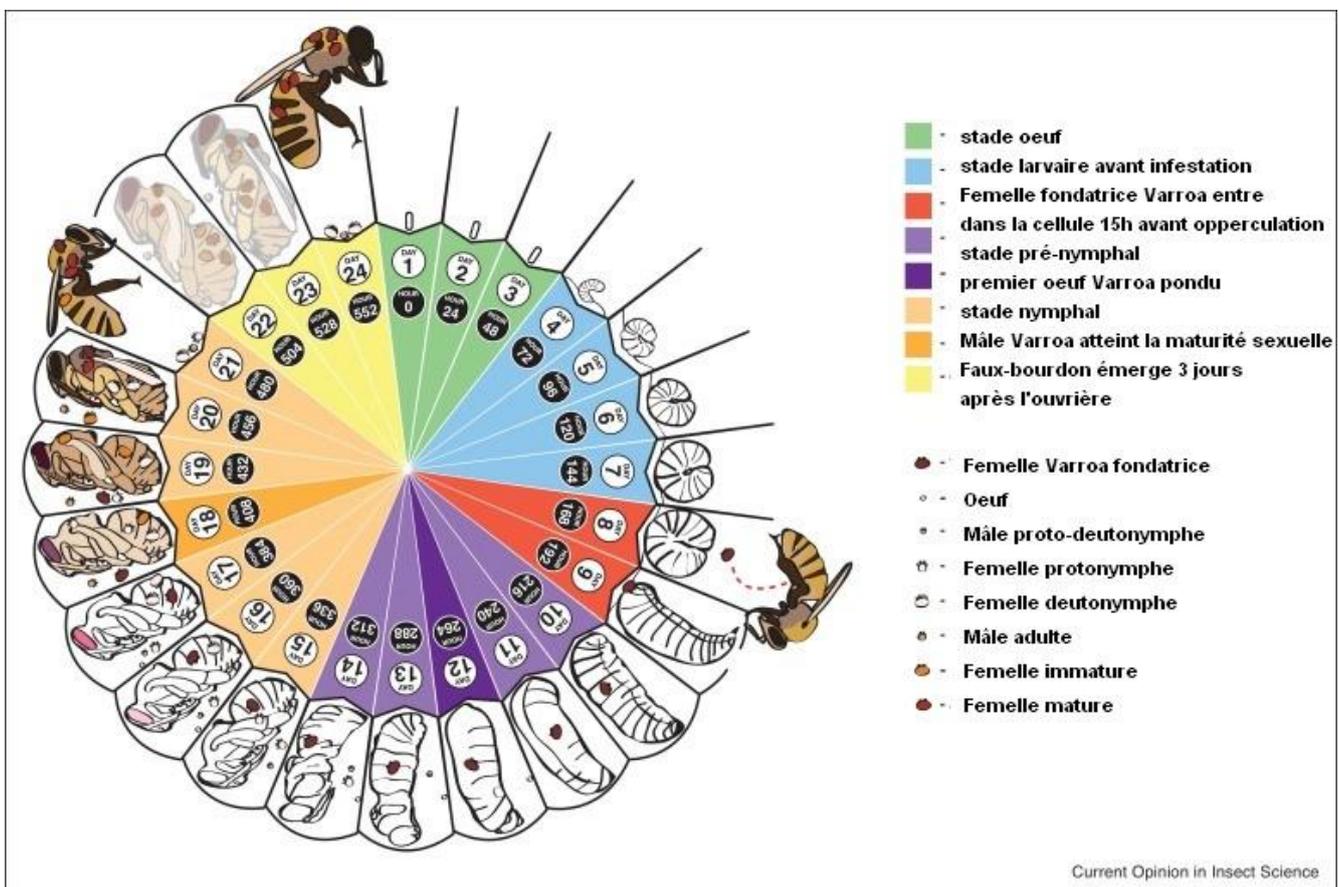
Seule la femelle est capable de parasitisme et de phorésie, le terme phorésie indique qu'un organisme utilise un autre pour se déplacer. La femelle aura alors une phase où elle est fixée à l'hôte, préférentiellement sous les sternites des abeilles adultes (Fernández *et al.*, 1993) et une phase de reproduction. La vie d'un mâle ou d'une femelle *Varroa* diffère, le mâle ne survit que dans les alvéoles pour s'accoupler avec la femelle, qui elle va pouvoir se déplacer en se fixant aux abeilles pour aller pondre dans différentes zones de la ruche. La femelle est un organisme qui est diploïde donc possède des paires de chromosomes car elle est issue d'un œuf fécondé, alors que le mâle *Varroa* est un individu haploïde donc issu d'un œuf non fécondé (Boucher, 2016).

Le stade œuf dure entre vingt et trente heures. Une femelle pond une partie des œufs dans le couvain des ouvrières et une autres dans celui des faux-bourçons. Les pontes vont se succéder dans l'alvéole, au rythme d'un œuf toutes les 24 à 36 heures (Rosenkranz, 2010). Dans le couvain des ouvrières, le premier œuf pondu sera normalement un œuf non fécondé puis quatre autres fécondés suivront. Enfin six œufs seront pondus dans les alvéoles du couvain des faux-bourçons (Martin, 1994). Pour la femelle les cycles de reproduction se succèdent.

Après éclosion on a un premier stade " protonymphe " qui est mobile, après une première mue le nouveau stade est dit " deutonymphe " enfin la dernière mue donnera le stade adulte de l'acararien. Pendant toute leur évolution les nymphes vont se nourrir de l'hémolymphe de la larve d'abeille grâce à un trou dans la cuticule, qui aura été fait par la femelle *Varroa* au moment de la ponte (Rosenkranz, 2010).

Le mâle venant de l'œuf non fécondé va éclore en premier, suivi des femelles des œufs fécondés. Il va donc attendre que la première femelle atteigne un stade de maturité sexuelle pour s'accoupler avec. Le mâle va s'accoupler avec l'ensemble des femelles présentes, en s'accouplant toujours avec la dernière ayant atteint sa maturité. Les femelles *Varroa* une fois matures vont sortir de l'alvéole avec la jeune abeille émergente, et rester fixées sur une abeille adulte pour se déplacer et s'alimenter d'hémolymphe. Les mâles et les femelles immatures à l'émergence de l'abeille meurent dans l'alvéole. Une fois la ponte prête, la jeune femelle va intégrer une alvéole contenant une larve d'abeille à un stade avancé et le cycle de ponte va recommencer (Rosenkranz, 2010) (figure 22).

Figure 22 : Cycle de vie de *Varroa destructor* synchronisé sur le cycle de l'abeille (ouvrière 21 jours, faux-bourdon 24 jours) (Evans et Cook, 2018)



2.4.3. *Varroa destructor* et température

Le *Varroa destructor* a une température de développement optimal comprise entre 32,5°C et 33,4°C, ce qui correspond généralement à la température du couvain. Mais au-delà de 36,5°C la population de *Varroa* diminue et au-dessus de 38°C les parasites meurent et ne sont plus capables de se reproduire (Luna, 2019).

2.4.4. Contamination et pathogénie

La transmission du parasite entre les colonies se fait principalement par rencontre entre des abeilles de différentes ruches (pillage, présence d'ouvrières ou de faux-bourçons étrangers) (Boucher, 2016).

Le *Varroa destructor* ne tue pas l'abeille en se nourrissant de l'hémolymphe mais cette ponction d'hémolymphe à hauteur de [0,25 ; 0,67] µl par jour engendre des altérations physiques et physiologiques (Boucher, 2016). Si le stade nymphal est parasité, on observera des abeilles émergentes plus petites, avec des malformations et notamment une réduction des glandes hypopharyngiennes essentielles à l'alimentation du reste du couvain (Mondet *et al.*, 2016). Le parasite conduit aussi à une baisse d'immunité augmentant les risques d'apparition d'infections secondaires. Enfin il y a des modifications du comportement et des capacités cognitives des ouvrières (Kralj *et al.*, 2007) mais aussi une altération des capacités de vol notamment chez les faux-bourçons.

2.4.5. Le *Varroa*, un vecteur majeur de maladies

En plus d'affaiblir les abeilles, le *Varroa destructor*, est vecteur de nombreuses maladies, notamment virales. En effet la transmission par ce parasite des virus comme le virus de la paralysie aiguë (ABPV), le virus des ailes déformées (DWV), le virus du Cachemire (KBV), le virus du couvain sacciforme (SBV) et le virus de la paralysie lente (SBPV) a été démontrée (Mondet *et al.*, 2014).

Le virus des ailes déformées est par ailleurs le virus le plus associé à *Varroa destructor* car le parasite est un vecteur biologique, le virus peut se répliquer dans son organisme (Gisder *et al.*, 2009)

De plus le *Varroa* semble être un vecteur de champignons tels que *Aspergillus flavus* et *Ascosphaera apis* (Boucher, 2016), mais aussi un vecteur de la bactérie *Paenibacillus larvae* que l'on retrouve sous forme de spores sur *Varroa destructor* (Brødsgaard *et al.*, 2000).

2.4.6. Conséquences à l'échelle de la colonie

En quelques années la population de *Varroa destructor* peut augmenter exponentiellement, passant de quelques dizaines d'individus à plusieurs centaines ou milliers (Fries *et al.*, 2003). Plus le couvain est important plus la population de *Varroa* sera grande étant donné que la phase de reproduction du parasite dépend des larves.

Le *Varroa* diminue les chances de survie de la colonie sur la période hivernale. En effet selon la charge en parasites à l'entrée de la période hivernale on observe des chances de survie diminuées si la charge est élevée (Dainat *et al.*, 2012).

L'infestation d'une colonie par *Varroa* diminue ses performances, notamment la production de miel, ce qui accentue le risque d'affaiblissement d'une colonie sur la période hivernale. A cela s'ajoute les anomalies liées à l'infestation qui empêchent les abeilles de remplir pleinement leurs activités au sein de la ruche. Ainsi c'est tout le système de la colonie qui se trouve menacé, que ce soit par une perte de production, par des affections secondaires ou par un couvain affaibli (Mondet et *al.*, 2016).

2.4.7. Diagnostic

La première observation à effectuer est de voir s'il y a des femelles *Varroa destructor* en phase phorétique sur les abeilles adultes mais aussi de rechercher d'éventuelles abeilles avec des ailes déformées. Pour séparer les abeilles de *Varroa*, l'utilisation d'un détergent, de sucre ou d'éthanol est possible (Gregorc et Sampson, 2019), mais cela ne permet pas d'évaluer le niveau d'infestation. Une méthode peu précise consiste à comptabiliser sur une période les parasites tombant sur un linge placé sous la ruche. Il est également possible de compter les acariens tombant à la suite d'un traitement acaricide, mais on ne peut pas compter les parasites présents dans les cellules operculées (Gregorc et Sampson, 2019). Une méthode destructrice mais précise, consiste à ouvrir des cellules operculées de faux-bourdon et d'ouvrières et de réaliser un comptage puis d'appliquer une formule mathématique à adapter selon la période de l'année (Boucher, 2016).

2.5. Mycose : l'ascosphérose

2.5.1. Agent pathogène

La maladie du " couvain plâtré " est une affection causée par un champignon de la famille des ascomycètes : *Ascosphaera apis*. Ce champignon initialement présent en Europe s'est répandu et est devenu une affection mondiale. La résistance des spores dits " ascospores " dans le milieu extérieur va jusqu'à quinze ans. Ce champignon est un parasite obligatoire d'*Apis mellifera* (Boucher, 2016).

2.5.2. Transmission et pathogénie

La maladie ne se déclare que lorsque le tube digestif est immature. Ainsi les individus les plus à risque d'être infectés sont les larves âgées de 3 à 4 jours qui vont ingérer des produits de la ruche contenant des spores. Ce sont les nourricières porteuses des spores qui vont transmettre le champignon. Les ouvrières nettoyeuses disséminent les spores en nettoyant les cellules contenant les larves infectées. Le développement du champignon est favorisé si le milieu est humide. Le champignon attaque les parois du tube digestif et les hyphes s'étendent dans les tissus larvaires entraînant la mort de la larve (Nie et *al.*, 2020). Les larves prennent alors un aspect momifié d'où le terme " couvain plâtré " (Figure 23)

Figure 23 : Larves momifiées avec uniquement des mycéliums (blanches) ou avec mycéliums et spores (noires) (Castagnino et al., 2020)



La maladie n'est que rarement grave pour la colonie mais la rentabilité par la perte des larves affaiblie la colonie. La présence de cette affection peut indiquer des conditions d'élevage détériorées (Castagnino, 2020).

2.5.3. Diagnostic

La constatation venant à faire suspecter la maladie est la présence de larves momifiées à l'entrée de la ruche mais aussi dans les alvéoles. Il faut bien différencier une ascosphérose de moisissures présentes dans les réserves. Le diagnostic final se fait sous microscope afin de ne pas confondre avec d'autres champignons comme *Aspergillus* (Castagnino, 2020). Depuis quelques années le test PCR peut être réalisé pour détecter *Ascospheara apis* (James et Skinner, 2005).

3. Prédateurs et autres dangers

3.1. Le frelon asiatique

3.1.1. Généralités

Le frelon asiatique, *Vespa velutina*, originaire d'Asie a été introduit accidentellement en Europe, il a été observé pour la première fois dans le sud de la France en 2004 (Monceau et al., 2014). Cet insecte s'est adapté au climat européen et sa population s'est développée, causant des impacts sur la biodiversité par son comportement de prédateur notamment pour les abeilles. La période de prédation pour l'abeille domestique commence en été et dure jusqu'à novembre, c'est une ressource de nourriture importante pour le frelon.

Il se différencie du frelon européen par sa morphologie, il est en effet plus petit, de couleur noire avec une bande jaune sur l'abdomen et a les pattes jaunes (figure 24). C'est un hyménoptère, comme l'abeille, et vit en colonie dans des nids (Boucher, 2016).

Figure 24 : Comparaison entre frelon européen (à gauche) et frelon asiatique (à droite) (Monceau et *al.*, 2014)



3.1.2. Technique de défense de l'abeille asiatique

Apis cerana originaire d'Asie a évolué avec *Vespa velutina*, elle a donc développé des stratégies pour empêcher ce prédateur de décimer la colonie. En effet elles sont capables de tuer les frelons, avec une technique dite " Heat-balling ", consistant à entourer le frelon afin d'augmenter la température jusqu'à 45°C afin qu'il ne survive pas. Or *Apis mellifera* très proche morphologiquement d'*Apis cerana* est techniquement capable d'adopter ce comportement mais son efficacité est insuffisante (Ken et *al.*, 2005).

3.1.3. Conséquences de *Vespa velutina*

Le frelon a une alimentation très variée, il se nourrit des abeilles mais aussi des réserves comme le pollen et le miel. La prédation exercée va affaiblir la colonie qui va connaître des carences alimentaires, une baisse des soins du couvain par un manque d'ouvrières mais aussi une baisse d'immunité donc l'apparition d'affections. Tout cela augmente fortement le risque de mortalité de la colonie, une fois la période hivernale installée (Boucher, 2016). Il est estimé que 30% des pertes annuelles des colonies d'abeilles dans le sud de la France seraient dues à *Vespa velutina* (Vidal-Naquet, 2015d).

3.2. Les fausses teignes

3.2.1. Agents en cause

Le terme de " fausse teigne " englobe deux types de lépidoptères : le *Galleria mellonella* agent de la grande fausse teigne et le *Achroia grisella* responsable de la petite fausse teigne (figure 25). Ces lépidoptères ne sont pas directement dangereux pour l'abeille mais les femelles adultes pondent leurs œufs dans les ruches. Or les formes larvaires de ces lépidoptères détruisent les rayons de la ruche en consommant la cire, le bois, le pollen et le miel. Les larves creusent des galeries, qu'elles tapissent de soie pour se protéger des abeilles (Kwadha *et al.*, 2017).

Figure 25 : A gauche : Grande fausse teigne (*Galleria mellonella*). A droite : Petite fausse teigne (*Achroia grisella*) (Ellis *et al.*, 2013)



3.2.2. Impact du parasite sur la colonie

Dans une colonie forte, les papillons adultes, les œufs et les stades immatures sont détectés rapidement et éliminés. En revanche sur des colonies plus fragiles notamment par une affection diminuant la population d'ouvrières, il y aura moins de surveillance dans la ruche et par conséquent la fausse teigne va s'implanter plus facilement. La soie formée par les larves de fausse teigne va emprisonner les larves d'abeilles qui vont mourir (Kwadha *et al.*, 2017). Lorsque les galeries faites par la fausse teigne sont trop nombreuses le couvain est détruit par perforation des cellules operculées (Boucher, 2016).

De plus, la fausse teigne semble être un vecteur de maladies, puisque l'on retrouve dans des déjections de larves des spores de *Paenibacillus larvae* (Kwadha, 2017) mais aussi directement dans les larves de fausse teigne des virus tels que le virus Israélien de la paralysie aiguë (IAPV) et celui de la cellule royale noire (BQCV) (Traiyasut *et al.*, 2016).

3.2.3. Diagnostic

Le diagnostic de cette affection repose sur l'observation. Sur des formes peu invasives il est observable quelques cellules avec la présence de soie blanche. Si l'infestation est importante alors il sera visible ; de nombreux cocons gris-blanchâtre, des excréments, un couvain détruit, des débris de rayons et des larves de fausse teigne (Boucher, 2016).

3.3. *Aethina Tumida* : le petit coléoptère de la ruche (PCR)

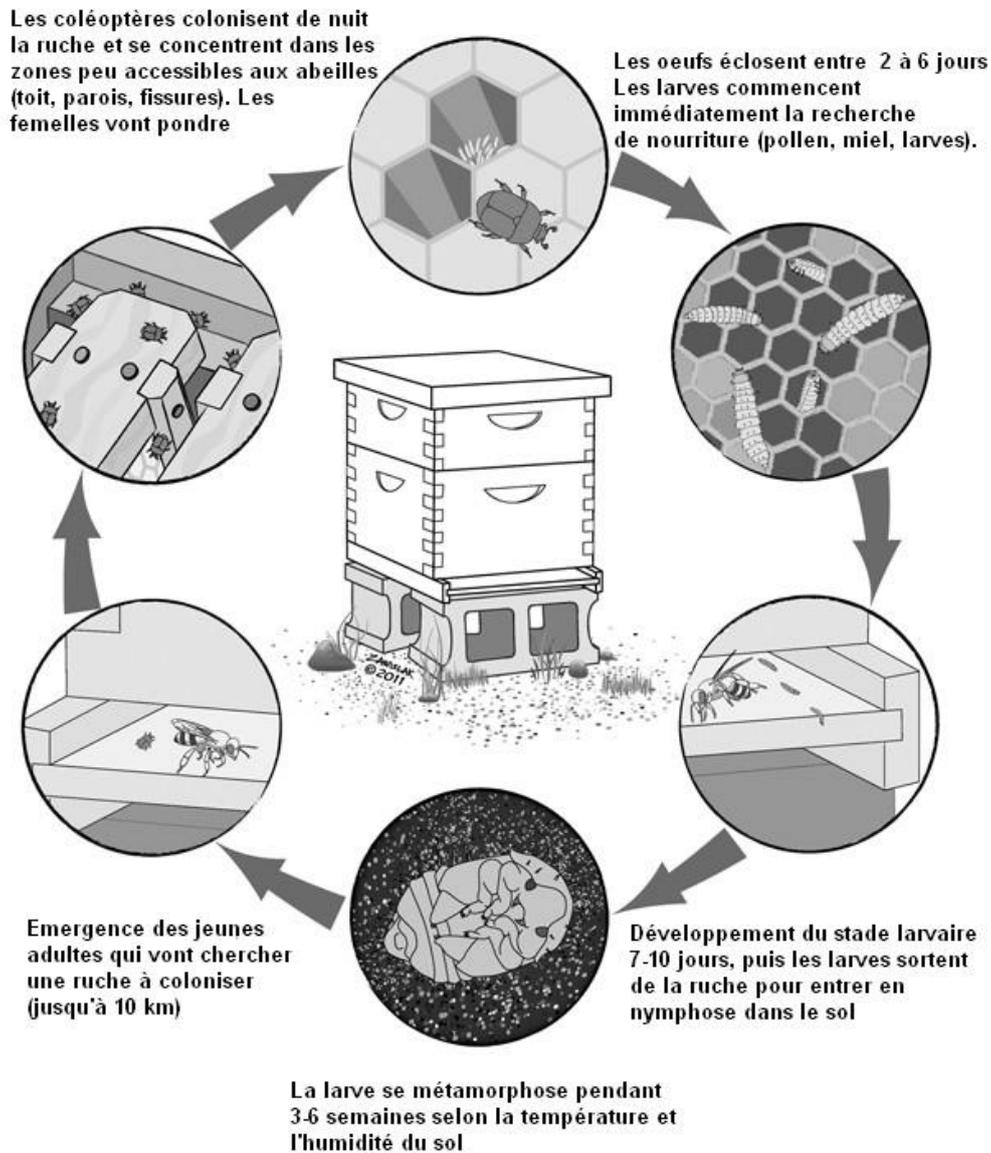
3.3.1. Le coléoptère destructeur de ruche

Originnaire d'Afrique, ce coléoptère (figure 26) est un parasite de la ruche. Il a été observé aux Etats-Unis en 1996 puis en 2004 pour la première fois en Europe et dernièrement en Italie en 2014 (Vidal-Naquet, 2015c). Dans son cycle biologique (figure 27), la femelle *Aethina tumida*, pond des grappes d'œufs dans les fissures de bois de la ruche ou à proximité des réserves de miel et pollen. Les larves vont alors éclore et se nourrir de miel, de pollen et de larves d'abeilles (Neumann et Elzen, 2004).

Figure 26 : *Aethina tumida*, forme adulte (gauche) et forme larvaire (droite) (Evans *et al.*, 2018)



Figure 27 : Cycle d'*Aethina tumida* (Sheridan et al., 2015)



3.3.2. Stratégie de défense des abeilles

Les abeilles ont développé une stratégie afin d'emprisonner le coléoptère avant qu'il ne puisse pondre ses œufs dans la colonie. Elles vont le bloquer dans un coin de la ruche, et pendant que des ouvrières vont empêcher *Aethina tumida* de bouger, d'autres vont l'encapsuler dans de la propolis. Cependant cette stratégie largement développée chez les abeilles africaines, d'où est originaire *Aethina tumida*, semble moins efficace chez les abeilles présentes en Europe car l'utilisation de la propolis est

moins fréquente. De plus les coléoptères arrivent parfois à s'échapper pendant la nuit (Neumann et Elzen, 2004).

Une autre stratégie, s'attaquant cette fois-ci aux formes immatures, consiste à expulser les œufs et les larves *Aethina tumida*, s'ils sont mal dissimulés dans la ruche. Cependant cette tactique n'a été étudiée que sur les abeilles africaines (Neumann et Hørtel, 2004)

3.3.3. Dégâts causés dans les pays touchés

Dans les zones d'Afrique où l'abeille coexiste avec le coléoptère depuis toujours, l'impact dans les ruches est faible car les abeilles se défendent. Mais là où a été introduit *Aethina tumida*, notamment en Europe, les larves détruisent le couvain, les réserves, les excréments des larves vont se mélanger au miel qui sera impropre à la consommation et enfin *Aethina tumida* peut être un vecteur de maladies virales (DWV) ou bactériennes (*Paenibacillus larvae*) (Ellis *et al.*, 2003).

3.3.4. Diagnostic

Lors d'une suspicion dans un pays touché, il va alors falloir inspecter l'ensemble des ruches et du matériel pour détecter éventuellement, des œufs, larves ou adultes. Un système de piégeage dans la ruche peut être installé, il consiste à poser un carton ou plastique alvéoles afin que les coléoptères s'y cachent (Schäfer *et al.*, 2008).

En France *Aethina tumida* est d'après la Loi de Santé Animale 2021 catégorisée maladie DE et était anciennement un danger sanitaire de première catégorie. Elle est donc à déclaration obligatoire auprès de la DDPP. La suspicion sera confirmée auprès d'un laboratoire de référence (Laboratoire Sophia Antipolis en France). Il y aura alors un diagnostic morphologique et une RT-PCR (Duquesne *et al.*, 2018).

4. Moyens de lutte et prophylaxie

4.1. Mesures d'hygiène et techniques pour préserver la santé de la ruche

4.1.1. Désinfection

C'est une mesure qui va permettre d'éliminer des agents pathogènes déjà présents (prophylaxie offensive) ou d'empêcher l'introduction d'agents pathogènes (prophylaxie défensive). La désinfection est une mesure d'hygiène essentielle contre certaines affections, parfois elle est même l'une des seules mesures efficaces (Giraud et Barbançon, 2014).

Plusieurs méthodes de désinfection existent, le choix de la méthode dépendra de l'agent pathogène contre lequel on veut lutter. La technique peut être physique ou chimique (Giraud et Barbançon, 2014) :

- Chaleur sèche par une flamme : le passage d'une flamme de chalumeau permet de désinfecter le matériel en bois et en métal, mais cette technique est chronophage donc s'utilise s'il y a peu de matériel à traiter.

- Chaleur sèche avec un four : le matériel est placé à 130°C sur 30 minutes dans un grand four technique est efficace sur les cadres en bois et le métal mais il faut avoir le four adéquat. De plus le matériel en bois s'abîme.

- Chaleur humide : plutôt réservée pour les textiles.

- Rayons ionisants : l'emploi des rayons gamma permet de désinfecter tout le matériel apicole même avec présence de cire et de réserves. Il y a quatre sites en France qui proposent ce service.

- Cire microcristalline : Le matériel en bois va être traité dans un bain contenant une cire minérale. Cette méthode est très efficace mais assez coûteuse.

- L'eau de javel : Utilisable en solution 0.5%, sur des supports déjà propres, son pouvoir de désinfection est important. Il faut compter toujours un rinçage à haute pression après l'application de l'eau de Javel.

- Soude caustique : La solution à 4% s'applique sur le matériel en bois et plastique, elle a une forte capacité à détruire les matières organiques.

- Acide acétique : son évaporation a une efficacité sur les spores de *Nosema apis* et les fausses teignes.

- Dioxyde de soufre : il est très irritant et toxique, donc à manipuler avec précaution mais est utilisé pour son action insecticide sur les fausses teignes ou pour tuer les abeilles d'une colonie à détruire.

Certaines méthodes en France ne sont pas autorisées, notamment les procédés gazeux pour des raisons réglementaires. Cependant l'emploi de l'ozone pourrait être autorisé car il semble y avoir un potentiel contre certains agents pathogènes (James, 2011). Des produits chimiques sont formellement interdits en apiculture en raison de leur toxicité élevée ou de leur taux résiduel trop importants : Formaldéhyde, paradichlorobenzène, carbonyle, bromure de méthyle et la naphthaline (Giraud et Barbançon, 2014).

Le matériel de l'apiculteur (gants, combinaison, enfumoir etc.) doit également faire l'objet d'un nettoyage et d'une désinfection. Du gel hydroalcoolique pour les gants est utilisé, quant à la combinaison un lavage à haute température (90°C) est conseillé. Pour limiter tout risque de contamination par le matériel de l'apiculteur le mieux est de posséder un kit de matériel propre à chaque rucher (Boucher, 2016).

En apiculture biologique, seuls les procédés utilisant la chaleur sèche sont autorisés.

4.1.2. Renouvellement des cadres

Les cadres présents dans les ruches artificielles se dégradent au fil du temps, ils vont noircir, accumuler des déchets organiques (pollen, mues, agents infectieux) mais aussi des déchets chimiques (médicaments, pesticides). Ainsi pour assurer une bonne santé à une colonie, il convient de renouveler les cadres régulièrement. L'indication faite est de changer au minimum 30% des cadres chaque année, soit trois cadres environ tous les ans, afin d'avoir un renouvellement total trisannuel (Clément, 2009a) . Les anciens cadres sont remplacés par de nouveaux cadres de cire gaufrée.

4.1.3. Transvasement

Cette technique a pour but de transférer une colonie dans une nouvelle ruche. L'objectif principal sera en cas d'affection de réduire la pression exercée par l'agent pathogène ou ses spores, sur la colonie. La technique peut être utilisée dans de nombreuses affections : la loque américaine, la nosérose, des maladies virales, l'ascosphérose etc.

L'activité des abeilles va être ralentie par la suppression de la nourriture, de cette manière les abeilles vont se concentrer sur la seule activité de nettoyage. Cela va permettre de détruire l'éventuelle présence de spores qui vont être ingérés puis digérés par les abeilles lors du nettoyage de leur cuticule. Au bout de deux jours les abeilles sont aptes à être transvaser (Boucher, 2016).

4.1.3.1. Transvasement simple

Le transvasement va s'effectuer en déplaçant la ruche d'un mètre puis en installant la ruche saine à la place de l'ancienne, un grand papier ou tissu sera étendu entre les deux ruches et la reine va être placée dans la nouvelle ruche. Les cadres de l'ancienne ruche vont être secoués sur le papier/tissu afin qu'elles trouvent le chemin de la ruche saine (Vidal-Naquet, 2015b).

4.1.3.2. Transvasement double

Plus complexe à mettre en place car imposant un isolement et un jeûne sanitaire total, ce transvasement cause d'avantage de pertes pour la colonie (Boucher, 2016).

4.1.3.3. Technique "shook swarm"

Cette technique consiste à vider directement une colonie dans une ruche saine en secouant les cadres au-dessus de la nouvelle ruche. Il n'y a pas de jeûne ou d'activité de nettoyage au préalable (Vidal-Naquet, 2015b).

4.1.4. Destruction de colonies

La destruction d'une colonie ne se fait que si la colonie est trop faible ou si le risque sanitaire qu'elle représente pour les autres colonies est trop important. La colonie d'abeilles va alors être euthanasiée par asphyxie. Pour se faire l'emploi de dioxyde de soufre va être utilisé. Les restes de la colonie seront ensuite brûlés et la ruche nettoyée puis désinfectée (Vidal-Naquet, 2015b).

4.1.5. Abeilles sélectionnées pour leur comportement hygiénique

Certaines colonies d'abeilles présentent des comportements hygiéniques plus marqués que d'autres. Par comportement hygiénique il faut comprendre la capacité à détecter et à se débarrasser au plus vite des larves malades ou mortes. Les colonies ayant un bon comportement hygiénique vont alors être plus résistantes et plus efficaces dans la lutte contre des affections comme la loque américaine ou le varroa. Il est donc intéressant dans le cadre de l'apiculture de chercher à sélectionner des colonies sur la base de leur comportement hygiénique. Pour bien sélectionner, il y a un test consistant à poser un morceau de couvain congelé dans la ruche et à mesurer le temps que les ouvrières mettent à l'éliminer. Si l'élimination se fait en deux jours alors la colonie est considérée comme ayant un bon comportement hygiénique (Spivak et Gilliam, 1998).

4.2. Gestion adaptée à l'affection

4.2.1. En cas d'affection bactérienne : *Paenibacillus larvae*

L'utilisation d'un antibiotique en cas de loque américaine n'est pas une solution, puisque les symptômes causés par la bactérie vont disparaître temporairement par action de l'antibiotique sur la forme non-sporulée, mais les spores présentes dans la ruche ne sont pas touchées par les antibiotiques. Ainsi une fois l'arrêt du traitement, la ruche présentera de nouveau des signes cliniques (Genersch, 2010). Il n'existe donc pas d'AMM en Europe, de plus l'utilisation excessive de molécules comme oxytétracycline et sulfathiazole aux Etats-Unis à engendrer des formes résistantes (Evans, 2003).

Ainsi les méthodes de lutte pour cette affection va consister à euthanasier puis détruire les colonies fortement atteintes. Quant aux colonies faiblement touchées il sera possible de pratiquer un transvasement (Franco *et al.*, 2013).

La prévention de l'apparition de la loque américaine repose surtout sur des bonnes pratiques d'hygiène telles que du matériel désinfecté, des visites sanitaires régulières mais aussi il faut s'assurer du certificat de bonne santé lors d'introduction de nouvelles reines ou d'essaims. La sélection d'abeilles avec une bonne hygiène est également primordiale (Vidal-Naquet, 2015c).

4.2.2. En cas d'affection virale

En cas de maladie d'origine virale, qu'importe le virus concerné, il n'y a pas de réel traitement existant. Il y aura seulement la possibilité d'un renforcement des mesures d'hygiène et de la lutte contre les vecteurs possibles (*Varroa destructor*, *Nosema apis*...).

4.2.3. En cas d'affection parasitaire

4.2.3.1. Lutte contre *Nosema apis*

L'unique traitement chimique est la fumagilline : c'est un antibiotique qui permet de bloquer le développement des spores dans le tube digestif. Cette molécule n'a pas d'effet sur les abeilles adultes mais est possiblement toxique pour le couvain (Webster, 1994). Néanmoins ce traitement est interdit au sein de l'Union Européenne faute d'autorisation de mise sur le marché depuis 2002 et de l'absence de limite maximale de résidus dans le miel (Hemmerlé, 2019).

4.2.3.2. Lutte contre *Varroa destructor*

Ce parasite peut anéantir une colonie notamment par son action directe sur les abeilles mais aussi par son action indirecte en tant que vecteur de maladies. L'élimination totale du parasite est peu envisageable, le but de la lutte est de maintenir l'infestation de la ruche à un niveau suffisamment bas. La multiplication du *Varroa destructor* est exponentielle dès le mois de Juillet jusqu'en automne. La notion de niveaux d'infestation est importante car selon la période de l'année et le niveau d'infestation constaté dans la ruche, le choix d'une méthode de lutte sera différent. Ainsi, une colonie sera considérée comme infestée si une estimation de 50 varroas est établie en hiver et s'il est dénombré entre 1000 et 2000 parasites pendant l'été. Il a été établi que les colonies où 30% des abeilles adultes étaient parasitées ne survivent pas à l'hiver (Fries *et al.*, 2003).

De nombreuses méthodes de lutttes ont été tentées, mais seules quelques-unes présentent une réelle efficacité. Parmi elles, la mise en place d'une lutte chimique, par le biais d'acaricides est possible. Actuellement cinq molécules sont autorisées sur le marché Français (tableau 5) ;

Tableau 5 : Substances chimiques utilisables sous AMM dans le cadre de la lutte contre *Varroa destructor* (Rosenkranz *et al.*, 2010)

Molécule	Utilisation	Avantages	Inconvénients
Amitraz Tau-fluvinate	Acaricides présentés sous forme de lanières à insérer dans les rayons pendant 6 à 10 semaines.	Facile à mettre en place Peu onéreux	S'accumule et persiste dans la cire. La présence de différentes molécules en quantité peut être toxique pour les abeilles La présence de résidus dans les produits de la ruche est possible Création de résistances notamment pour Tau-fluvinate
Thymol (phénol du Thym)	Présenté sous forme d'éponge ou de gel.	Très efficace sur les colonies sans couvain	Utilisable sur un intervalle de température de 12-30°C Potentiellement toxique pour les abeilles.
Acide formique	Utilisable sous la forme de bandes à laisser sept jours	Effet acaricide sur les phases phorétiques et reproductives des acariens. Pas d'accumulation dans la cire Peu de résistances	Utilisable sur un intervalle de température de 10-25°C Miel non récoltable pendant le traitement Toxicité sur les abeilles et le couvain.
Acide oxalique	Utilisable sous forme de solution.	Effet acaricide	Utilisable uniquement en l'absence d'un couvain Toxicité possible

Une autre approche consiste à s'appuyer sur des méthodes biotechnologiques notamment ((Rosenkranz *et al.*, 2010) :

- Le plancher grillagé, posé dans la ruche permet d'empêcher que les acariens tombés ne s'accrochent de nouveau sur les abeilles. C'est un moyen de lutte facile à mettre en pratique pour limiter la ré-infestation.

- L'encagement de la reine, consiste à piéger la reine pour stopper la ponte ceci afin de couper le cycle biologique de *Varroa destructor*. Lorsque tout le couvain en cours est émergé la reine peut reprendre sa ponte. Un traitement chimique pourra être ajouté pour tuer les acariens phorétiques encore présents. Il faut cependant savoir que la colonie sera affaiblie puisqu'il n'y aura pas de renouvellement des ouvrières sur un cycle.

- L'encagement du couvain repose sur le même principe mais la reine va pouvoir continuer de pondre sur un unique rayon.

- Le retrait du couvain de mâles est efficace puisqu'en retirant ou en ouvrant 3 à 4 rayons de couvain de mâles, il est possible de réduire de 50% à 70% la population d'acariens. De plus l'élimination des larves de faux-bourçons n'est pas délétère pour la colonie ou la production de miel.

4.2.3.3. Lutte contre *Ascospheera apis*

Le champignon *Ascospheera apis* causant la maladie du " couvain plâtré ", n'a à ce jour pas de réel traitement efficace. Actuellement il est préconisé de prévenir l'apparition de la maladie avec des mesures d'hygiène strictes et une désinfection à l'acide acétique sur les rayons atteints (Sarwar, 2016). Beaucoup de produits ont été testés au cours des dernières années mais aucun n'a présenté une efficacité suffisante pour éradiquer la maladie, de plus la plupart des substances testées restent présentes dans le miel et sont sans effet sur les spores qui sont très résistantes (Ansari *et al.*, 2017). On peut notamment citer des molécules comme le fongicide bénomyl ou l'imidazole (Liu, 1991) qui présentaient certaines propriétés contre cette mycose mais avec trop de contraintes ; toxicité, résidus...

Dernièrement une nouvelle approche serait envisagée par l'utilisation de symbiotes microbiens intestinaux et notamment la bactérie lactique *Lactobacillus Kunkeei* qui utilisés sous forme d'un sirop probiotique permettrait une action prophylactique contre *Ascospheera Apis*, mais cette piste est encore trop récente et des études supplémentaires seront effectuées (Lorizzo *et al.*, 2020).

4.2.4. En cas de prédateurs de la ruche

Le principal prédateur mettant en danger les colonies en France est le frelon Asiatique, *Vespa Velutina*. Plusieurs méthodes de lutte contre cet insecte sont mises en place ou étudiées mais toutes restent discutables et présentent des désavantages. Les grands axes de lutte retenus sont ; la recherche de destruction des nids, la capture des fondatrices et ouvrières et la lutte par des agents biologiques (Monceau et *al.*, 2014).

Tableau 6 : Méthodes et approches de lutte contre *Vespa velutina* (Monceau et *al.*, 2014)

Méthode	Description	Limites
Destruction des nids	Destruction mécanique ou chimique (dioxyde de soufre par exemple)	Efficace uniquement si l'ensemble de l'essaim et la reine sont détruits.
Capture des individus	Piégeage des frelons avec un appât alimentaire (mélange sucré, cire fermentée...)	Peu d'incidence sur le nombre de colonies et piégeage non sélectif.
Agents biologiques	Utiliser des parasites ou agents viraux pour lutter contre le frelon asiatique. Plusieurs agents sont à l'étude	Risque d'introduction de nouveaux agents peut avoir des conséquences inconnues sur l'environnement proche.

D'autres pistes restent à explorer comme notamment la limitation de la reproduction par utilisation de phéromones.

4.3. Approches alternatives

De nouvelles techniques se développent afin de traiter et prévenir les différentes affections de la ruche.

4.3.1. Utilisation des huiles essentielles

Dans le but de limiter l'utilisation d'antibiotiques et de trouver des alternatives efficaces, les huiles essentielles semblent présenter des propriétés sur certaines affections de la ruche. C'est notamment le cas des huiles essentielles de menthe poivrée et de menthe verte qui ont une action antifongique et donc un effet prouvé sur *Ascosphaera Apis* (Ansari et *al.*, 2017).

Le thymol qui est un principe actif de l'huile essentielle de Thym, présente également des propriétés acaricides intéressantes dans la lutte contre *Varroa destructor* (Gregorc et Sampson, 2019) mais avec une toxicité pour les abeilles.

Une autre étude a mis en évidence qu'une combinaison à 5% de concentration d'huile essentielle clou de girofle et d'extrait de tabac a une efficacité de 96% contre *Varroa destructor* (Mahmood *et al.*, 2014) à condition de traiter trois à quatre fois par mois pendant la période d'infestation. L'avantage principal de cette combinaison étant qu'elle ne présente pas de toxicité pour l'abeille.

4.3.2. Intérêt de la température

Les abeilles sont des organismes thermotolérants, de plus elles peuvent réguler la température de leur ruche malgré des conditions climatiques extrêmes allant de -40°C à +40°C. C'est notamment ce qui permet à l'abeille d'être présente sur l'ensemble du globe. L'utilisation de températures élevées pourraient aussi avoir une efficacité sur d'autres agents pathogènes comme *Aethina tumida* mais aussi *Galleria mellonella*. Tous ces agents sont beaucoup plus sensibles aux hautes températures que les abeilles. L'*Apis cerana* coexiste avec *Varroa destructor* car elle pratique d'elle-même l'hyperthermie, elle est capable d'augmenter la température du couvain au-delà de 35,5°C, température à laquelle *Varroa destructor* ne peut plus se développer. *Apis mellifera* bien que proche d'un point de vue génétique d'*Apis cerana* ne présente pas cette technique de défense (Luna, 2019). Cependant comme l'abeille européenne tolère bien les températures, il est montré qu'en remplaçant le toit d'une ruche par un cadre en verre couvert d'un tissu noir, pour augmenter artificiellement la chaleur, sur une durée de trente minutes, la mortalité de *Varroa destructor* augmentait significativement (Ahmad, 1988).

Ainsi l'utilisation de la température contre certains agents pathogènes est une opportunité intéressante afin de limiter l'emploi de médicaments et de ce fait les résidus, et de lutter contre le développement de résistances. Mais cette approche est encore peu développée étant donné qu'elle est moins facile à mettre en place.

IV. La ruche, une usine sociale intelligente

Apis mellifera est un insecte qui vit au sein d'une colonie organisée comptant de 20 000 à 80 000 individus selon la période de l'année, les ressources disponibles et la santé de la ruche. Que la colonie soit sauvage ou domestique, elle s'organise en société avec une hiérarchie où chaque individu a un rôle précis. La communication entre individus permet de maintenir la cohésion dans la colonie. Une colonie d'abeilles peut être définie comme un superorganisme.

1. Hiérarchie et relations sociales

1.1. Organisation et répartition des tâches

Une colonie se divise donc en trois castes ; la reine, les ouvrières et les faux-bourçons, auxquelles s'ajoutent le couvain. Chaque caste a un rôle bien défini ; la reine a pour rôle majeur de pondre les œufs mais se charge aussi de la cohésion sociale par la sécrétion de phéromones (Hummel et Feltin, 2018).

Les ouvrières ont des tâches à effectuer qui varient selon leur stade de vie et les besoins de la colonie au cours de l'année (tableau 7) (Ellis, 2015) (Hummel et Feltin, 2018) .

Tableau 7 : Récapitulatif des activités des ouvrières selon leur âge sur la période printemps/été (d'après Ellis, 2015, et Hummel et Feltin, 2018)

Rôle	Age (jours)	Description
Nettoyeuse	1-4 jours	Nettoie les cellules d'où sont sorties les jeunes abeilles et retire les débris laissés. S'occupe aussi de sceller les alvéoles des larves
Nourricière	5-10 jours	Nourrit la couvée, maintient l'hygrométrie et la température dans des conditions optimales au développement des larves.
En charge des soins de la reine	3-14 jours	S'occupe de nourrir et nettoyer la reine. Le comportement de nettoyage de la reine va permettre des échanges de phéromones avec le reste de la colonie.
Bâtisseuse / Cirière	11-15 jours	Les glandes cirières sont matures, l'ouvrière peut alors construire des nouvelles cellules et réparer les rayons abîmés.
Magasinière	16-19 jours	Les glandes salivaires sont prêtes pour produire des enzymes nécessaires pour la maturation du miel et du pollen. Elle récupère donc le nectar des butineuses pour le transformer et le stocker dans des alvéoles.
Gardiennne	20-21 jours	Une partie des ouvrières deviennent gardiennes. L'ouvrière va surveiller les entrées de la ruche afin d'empêcher l'intrusion d'individus étrangers ou prévenir en cas de danger.
Butineuse	22-30/45 jours (fin de vie)	Après un premier vol d'orientation, elle part recueillir le nectar, le pollen et l'eau dans les environs de la ruche.

Lors de l'approche de la saison froide, la reine réduit sa ponte ce qui engendre une diminution de la colonie à 20 000–30 000 individus en moyenne. Les ouvrières naissantes sur la période froide sont des abeilles avec une longue vie (160-200 jours). Elles vont entretenir, nettoyer et nourrir la colonie pendant l'hiver.

Enfin les faux-bourçons sont les mâles reproducteurs. Ils ne sont présents quasiment que pendant le printemps et l'été. Leur rôle sera seulement de s'accoupler

lors d'un vol avec une jeune reine, ce qui engendre leur décès. Les mâles toujours présents à l'arrivée de l'hiver sont en général chassés de la colonie afin de préserver les ressources stockées (Le Conte, 2009b).

1.2. Communication entre les individus

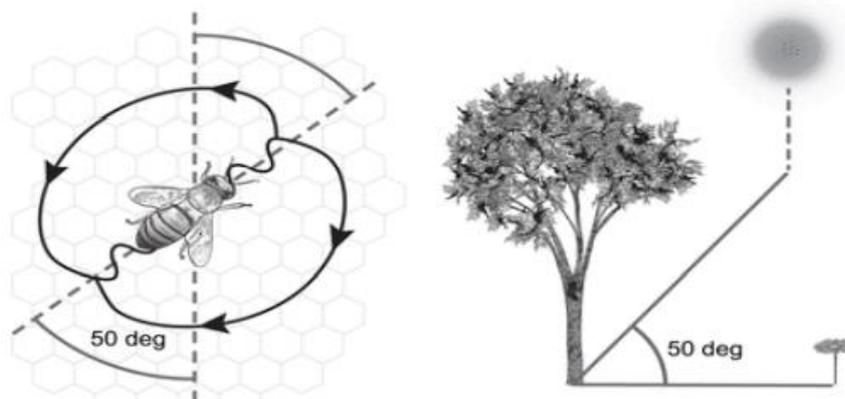
Les abeilles possèdent différents moyens de communication afin d'assurer les échanges et le bon fonctionnement de la colonie. Les principaux moyens de communication sont l'utilisation de phéromones et un comportement atypique dit " la danse des abeilles ".

Les phéromones régulent de nombreuses fonctions au sein de la colonie et sont dans le cadre de la communication essentiellement utilisées pour transmettre des messages concernant l'ensemble de la ruche. Une des phéromones la plus connue est celle produite par les glandes mandibulaires de la reine dite "Queen Mandibulare Pheromone ", QMP, sa sécrétion permet en partie de coordonner les ouvrières sur les différentes tâches à effectuer (Bortolotti et Costa, 2014). Autre exemple, il existe des phéromones d'alarmes produites par la glande de Koschevnikov qui permettent d'adopter un comportement défensif en cas de danger (Moritz et Fuchs, 1998).

Pour communiquer sur une échelle locale ou pour s'adresser à un groupe limité d'individus, les abeilles pratiquent la " danse ", qui repose sur la réalisation de mouvements répétitifs formant un schéma, chaque schéma ayant une signification. Ce procédé va permettre d'indiquer l'emplacement d'une ressource par rapport à la position de la colonie. Les mouvements sont initiés par l'abeille butineuse revenant de l'extérieur. Différents schémas peuvent être réalisés, chacun communiquant une information (Khan *et al.*, 2021);

- La danse en rond : Indique aux autres ouvrières une source de nourriture à quelques dizaines de mètres de la ruche.
- La danse en faucille : indique qu'il y a une ressource entre 50 et 150 mètres mais sans indiquer la direction.
- La danse en huit ou danse frétilante : Au-delà de 150 mètres, l'ouvrière réalise une ligne droite puis un demi-cercle en un sens et de nouveau une ligne droite avec un demi-cercle dans l'autre sens. Sur la ligne droite l'angle adopté par l'abeille indique la position de la source par rapport au soleil. Enfin la distance à parcourir est corrélée avec la vitesse des vibrations faites sur la ligne droite. Plus il y a de répétitions du schéma plus la ressource est importante.

Figure 28 : Schéma type de la danse frétillante, avec l'angle indiquant la direction à prendre par rapport au soleil (Khan et al. 2021)



2. Formation et gestion d'un nid d'abeilles

Dans la nature les abeilles organisent leur colonie dans des arbres creux, des fissures de falaise et autres abris naturels. La colonie va alors former un nid afin de pouvoir élever les larves, protéger les individus et stocker les réserves alimentaires. Le nid se compose de rayons de cire organisés en plusieurs zones.

2.1. Organisation d'un rayon

Un rayon de cire se constitue de multiples cellules de forme hexagonale dites alvéoles. Cette forme géométrique n'est pas le fruit du hasard et il a mathématiquement été prouvé que c'est la forme qui utilise le moins d'espace et donc qui permet une économie de cire et d'énergie pour les abeilles (Hales, 2001). La structure hexagonale assure aussi une meilleure solidité.

Bien qu'il y ait des variations d'organisation sur les rayons d'une colonie à l'autre et selon les conditions extérieures, on retrouve globalement un modèle d'auto-organisation, à savoir le couvain au cœur du nid, une bande pollinique sur la périphérie du couvain puis le miel tout autour (Johnson, 2009).

2.2. Construction d'un rayon

Les alvéoles sont formées par les ouvrières sur une période de leur vie où elles vont pouvoir produire et sécréter de la cire par leurs glandes cirières. Une fois l'écaille de cire formée par l'abeille, elle est mastiquée et fixée à l'alvéole en construction. Les abeilles s'agrippent en chaîne afin d'assurer la construction du rayon, la température de la zone atteint alors 35°C ce qui permet de rendre la cire souple. Il faut compter

1250 écailles pesant moins de 1 milligramme pour obtenir un 1 gramme de cire (Bruneau, 2009). Les abeilles ne recyclant pas leur cire, le processus de fabrication est très coûteux en énergie ; environ 7 kilogrammes de miel sont consommés pour produire un kilogramme de cire (Schubnel *et al.*, 2019).

Il est prouvé que la forme initiale de la nouvelle alvéole est circulaire et que la chaleur libérée par les abeilles offre une viscoélasticité permettant aux alvéoles par compression de prendre leur forme hexagonale définitive (Karihaloo *et al.*, 2013) .

2.3. Température et régulation

Au sein d'un nid d'abeilles, la température est régulée selon les conditions climatiques afin de protéger les individus de températures trop basses en période hivernale et pour permettre au couvain de se développer dans des conditions optimales.

Le couvain doit être maintenu à une température de 35-36°C. Pour ce faire, les ouvrières créent une tension sur les muscles des ailes, qui restent immobiles, mais produisent de la chaleur. Ainsi en collant leur thorax aux alvéoles la chaleur emmagasinée est libérée par conduction (Bujok *et al.*, 2002).

En dessous de 13°C les abeilles entrent dans un état comateux et finissent par mourir. S'il y a un couvain en hiver la température doit être maintenue au-dessus de 30°C et en l'absence de couvain les abeilles se maintiennent à une température de 18°C minimum. Elles s'organisent en une grappe plus ou moins serrée selon la température. Les abeilles les plus en périphérie de la grappe entrent par intermittence dans le cœur de la grappe pour se réchauffer (Le Conte, 2009b).

3. Fonctionnement de la ruche moderne

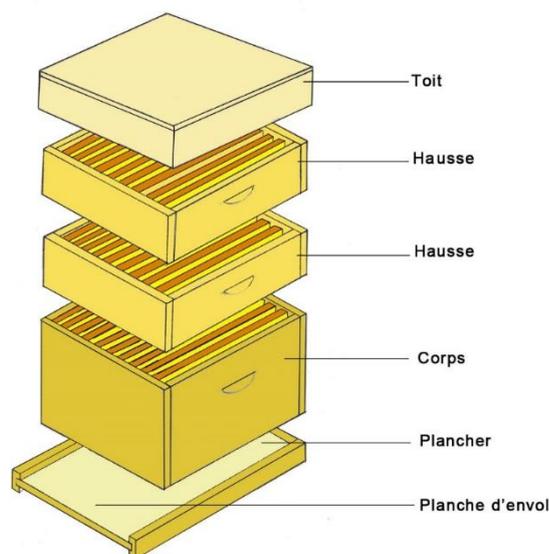
La ruche se définit comme l'abri fourni par l'Homme aux abeilles, ceci afin de les élever et de pouvoir exploiter leurs productions. Les premières ruches remontent à l'antiquité, ce sont généralement de poteries ou des contenants en osier dans lesquels sont installées les colonies. Ces ruches sont dites "ruches vulgaires" car pour pouvoir récupérer le miel, l'Homme est obligé d'asphyxier la colonie. Bien que les Grecs aient élaboré pendant l'Antiquité un semblant de ruche à cadres mobiles il faut attendre la fin du XVIIIème et début du XIXème siècle pour voir apparaître des ruches à cadres mobiles. Le massacre des colonies n'est plus nécessaire et l'apiculture moderne se met en place avec de nouvelles techniques d'élevage et de gestion des abeilles.

3.1. Présentation d'une ruche moderne

3.1.1 Structure classique

Le modèle de ruche actuellement utilisé est une ruche dite rationnelle à cadres mobiles. Elle se compose d'une structure de base "le corps" où s'aligne les cadres les uns à côtés des autres. La colonie commence à former ses rayons sur les cadres du corps de la ruche. C'est dans cette zone que le couvain et les stocks pour la colonie vont se trouver. Au-dessus du corps, l'apiculteur installe des structures similaires au corps nommées "hausses". Ces dernières vont permettre de stocker les réserves excédentaires de miel. Seules les ouvrières y ont accès, une "grille à reine" est installée entre le corps et les hausses afin que la reine ne puisse venir y pondre. Ainsi c'est le miel stocké dans les hausses que l'apiculteur va pouvoir récolter (Clément, 2009) (figure 29).

Figure 29 : Schéma descriptif d'une ruche (Deblock, 2021)



3.1.2. Les différents modèles

De nombreux modèles de ruches existent aujourd'hui, la plus fréquemment rencontrée en France est la ruche Dadant. Les particularités des ruches se retrouvent principalement dans leur organisation (Clément, 2009a) (tableau 8).

Tableau 8 : Caractéristiques des principales ruches utilisées en Europe (d'après Clément, 2009)

Modèle	Description/Spécificités
Dadant	<ul style="list-style-type: none">• 10-12 cadres dans le corps• Volume 54 litres• Dimension cadre : 27x43cm• Espace entre les cadre : 37mm• Hauteur hausse : 17cm• La plus utilisée en Europe
Langstroth	<ul style="list-style-type: none">• Volume 44 litres• Dimension cadre : 20x43cm• Possibilité d'empiler les corps = ruche divisible mais lourde
Layens (encore utilisé en Espagne)	<ul style="list-style-type: none">• Ne possède pas de hausse donc plus difficile de récolter le miel du corps• Contamination du miel si traitement médicamenteux de la ruche.
Voirnot (rare)	<ul style="list-style-type: none">• Proche du modèle Dadant mais plus petite.• Permet bien aux abeilles de se former en grappe lors des hivers rigoureux

3.2. Entretien et conduite d'une ruche sur l'année

Pour pouvoir exploiter les produits de la ruche, l'apiculteur a la charge de garantir le bon développement des colonies et la santé des abeilles. Il va avoir différentes tâches à réaliser tout au long de l'année (Clément, 2009b).

3.2.1. La visite de printemps

Plusieurs fois au cours de l'année, l'apiculteur va ouvrir ses ruches pour constater l'état de la colonie et sa phase d'activité. Il va notamment vérifier des points essentiels comme la ponte, les réserves et l'état sanitaire. Pendant la période hivernale les ruches ne doivent pas être ouvertes, pour ne pas menacer la survie la colonie avec les basses températures, la colonie est en phase de dormance.

A la sortie de l'hiver, une visite de printemps s'impose, la ponte est censée avoir repris progressivement et de façon régulière. Il se peut cependant qu'une ponte réduite indique que la reine est trop faible ou que les réserves alimentaires disponibles sont insuffisantes. Au contraire des réserves trop importantes peuvent limiter la capacité de

ponte de la reine. C'est alors à l'apiculteur, selon son constat, d'agir soit en ajoutant des nouveaux cadres soit en introduisant une nouvelle reine ou bien encore en apportant une source alimentaire. Idéalement en sortie d'hiver pour pouvoir se relancer correctement, la colonie doit disposer d'une dizaine de kilogrammes de miel.

L'ouverture de la ruche permet également d'observer l'état sanitaire. En effet plusieurs indicateurs doivent alerter : une ruche malodorante, des abeilles peu actives ou des cadres avec un aspect anormal sont les signes d'une affection sous-jacente (Clément, 2009b).

3.2.2. Les travaux d'été

Entre mai et août c'est la grande effervescence dans la ruche, les abeilles sont à leur pic d'activité autant sur le butinage que le développement du couvain. L'apiculteur peut alors remplacer les vieux cadres, ajouter des hausses, changer les reines ou élever des nouvelles reines (Clément, 2009b).

Cette période doit cependant être sous surveillance en raison du risque d'essaimage naturel. Un essaimage se produit lorsqu'une ruche devient trop importante, la colonie élève une nouvelle jeune reine et va se scinder en deux. Généralement c'est la plus vieille reine qui quitte la ruche pour aller former une nouvelle colonie. L'apiculteur doit alors être attentif pour empêcher la colonie d'essaimer. En cas d'essaimage il peut toujours tenter de capturer l'essaim fugueur.

3.2.3. Période de récolte

Le miel qui va être récupéré est celui stocké dans les hausses. Si l'objectif est de récolter un miel monofloral comme du châtaignier il faut récolter immédiatement après la fin de floraison. Pour des miels polyfloraux il suffira d'une grosse récolte en fin d'été ou de deux récoltes en sortie de printemps et en été (Clément, 2009b).

Les hausses sont retirées, amenées à la miellerie pour y être désoperculées afin d'extraire par centrifugation le miel, qui sera ensuite filtré, mûri et mis en pot.

3.3. Essaimage artificiel

Afin de prévenir une division naturelle de la colonie par essaimage naturel lors du pic d'activité de la ruche, l'apiculteur peut réaliser un essaimage artificiel. Plusieurs signes peuvent suggérer un risque d'essaimage : une ruche très peuplée, un manque d'espace sur les cadres et la présence d'alvéoles royales.

La méthode repose sur le prélèvement d'un ou plusieurs cadres contenant du couvain et des abeilles ouvrières, afin d'installer ces abeilles dans une nouvelle ruche. Les ouvrières privées d'une reine vont alors élever une nouvelle reine parmi les cellules royales. L'apiculteur peut aussi intégrer une nouvelle reine dans la colonie scindée (Ravazzi, 2014).

V. Un nouvel outil : la ruche connectée

1. Présentation de la ruche connectée

1.1. Emergence des outils connectés en apiculture

L'intelligence artificielle est aujourd'hui au service de nombreux domaines, aussi bien à l'échelle industrielle qu'à l'échelle individuelle. Elle est présente partout et permet de soutenir et de faire progresser l'activité humaine.

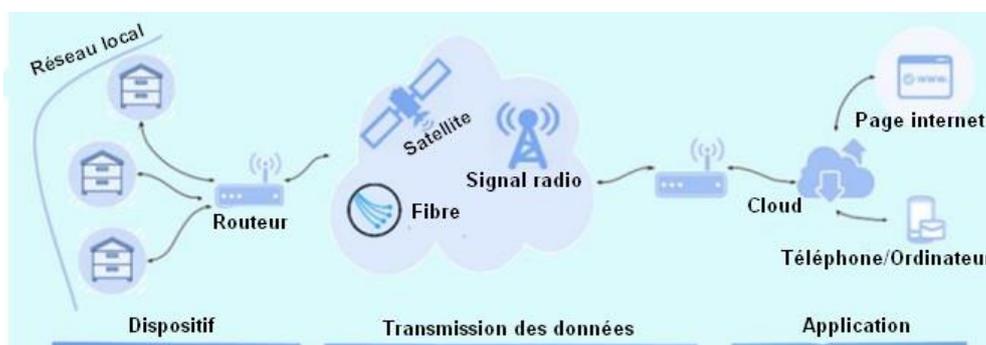
Depuis quelques années maintenant, des sociétés et entreprises se sont lancées dans le domaine apicole en développant et imaginant des outils connectés. Ces produits sont créés pour permettre aux apiculteurs et chercheurs de collecter les données d'une colonie sans avoir à intervenir physiquement sur la ruche. L'accès à ces données offre la possibilité d'étudier les changements pouvant s'opérer dans une colonie notamment lors de maladies, de menaces ou de variations d'activité (Cousin *et al.*, 2019). A plus grande échelle, cela peut aider à comprendre les tenants et aboutissants influant sur les abeilles et sur leur disparition. A l'échelle de l'apiculteur c'est une opportunité pour connaître ses ruches et adapter son travail en fonction.

Les produits initialement créés pour la recherche se sont développés afin pouvoir être commercialisés et utilisés par les apiculteurs. Des entreprises aujourd'hui proposent des outils sous différentes formes et mesurant divers paramètres.

1.2. Présentation globale

Une ruche dite " connectée " est une ruche ayant un système électronique permettant de collecter des données sur une période. Ce système électronique est généralement relié à un réseau, satellite ou local (antenne radio, fibre internet). Cela permet de recevoir les informations sur un téléphone ou ordinateur généralement par le biais d'un logiciel ou d'une application développée par l'entreprise (Dogan *et al.*, 2017) (figure 30).

Figure 30 : Système de connexion d'une ruche (Dogan *et al.*, 2017)



Il existe différents outils connectés commercialisés (Cousin *et al.*, 2019) :

- Des ruches entières,
- Des capteurs internes à installer dans la ruche,
- Des balances connectées à poser sous la ruche,
- Des portes connectées à mettre à l'entrée.

1.3. Paramètres mesurés

Aujourd'hui, les entreprises proposent des outils mesurant divers paramètres au sein de la ruche. Ces indicateurs vont alors permettre à l'utilisateur d'interpréter l'activité mais aussi la santé de ses colonies. Les outils divergent notamment par le panel de données qu'ils peuvent mesurer. Parmi les données mesurables il peut y avoir (Dogan *et al.*, 2017) :

- Le poids
- La température
- L'humidité
- Le comptage des abeilles

Le poids d'une ruche est un indicateur qui permet d'évaluer l'activité et la productivité d'une colonie. En effet il informe notamment sur les réserves alimentaires créées et disponibles (miel, pollen), mais aussi sur l'activité de la colonie par des variations journalières du poids de la ruche, indiquant une variation du nombre d'abeilles en travaillant hors de la ruche. Le poids suivi tout au long de l'année permet de mieux appréhender les besoins de la colonie. Il est à noter qu'une ruche en bonne santé voit son poids s'accroître de 300 grammes par jour au printemps (Petz *et al.*, 2004).

La température et l'humidité sont des points essentiels au sein d'une colonie, puisque le bon développement du couvain, la conservation des réserves et la survie des abeilles en dépendent. De même ces paramètres peuvent influencer sur les maladies et parasites des abeilles. Dans une ruche en bonne santé on trouvera généralement une température autour de 30 à 34°C et une humidité entre 20 et 50%, bien que des nombreuses variations soient observées au cours de la journée et selon la zone de la ruche mesurée (Albayrak et Bayir, 2018), (Human *et al.*, 2006).

Le comptage des abeilles permet d'évaluer d'éventuelles menaces comme des pesticides ou des prédateurs. En effet la différence entre le nombre d'abeilles sortant et entrant permet d'indiquer d'alerter en cas d'écart notable. Cela offre aussi la possibilité à l'apiculteur d'intervenir en cas de préparation à un essaimage naturel (Cousin *et al.*, 2019).

1.4. Lecture des données

Les données collectées par les capteurs sont transmises via des réseaux sur des applications ou sites internet élaborées par les entreprises qui commercialisent leurs produits. De ce fait l'apiculteur accède aux données de ses ruches par le biais d'un smartphone ou d'un ordinateur. Généralement les données sont pré-interprétées par les logiciels associés afin d'aider l'apiculteur dans son approche. Des systèmes d'alerte sont également développés en cas d'anomalie (Balta *et al.*, 2017).

1.5. Aspect financier

Intégrer de la technologie à ses ruches a un coût, d'autant plus que ces outils ont été développés récemment et que le marché n'en est qu'à ses débuts. Ainsi selon le modèle, la précision des informations, la technologie utilisée, les paramètres mesurables mais aussi selon le coût de l'application associée ou de son abonnement il faut compter généralement plusieurs centaines d'euros par ruche (Cousin *et al.*, 2019).

Deuxième partie : Travail personnel : Recueil et classification des nouvelles ruches connectées commercialisées en France.

I. Matériel et méthode

1. Objectif : Création de fiches techniques informatives

Les outils connectés au service des abeilles et apiculteurs sont des instruments relativement récents sur le marché. De nombreuses sociétés proposant ces produits ont vu le jour. Il est parfois difficile de s'y retrouver parmi toutes les offres possibles d'autant plus que la majorité des achats s'effectue via Internet. En effet les paramètres mesurés, le type de réseau requis, le coût, les modalités sont autant de critères à prendre en compte pour un apiculteur qui souhaiterait équiper ses ruches. D'autant plus que dans ce domaine assez récent des sociétés peuvent apparaître et disparaître en quelques années.

Ainsi le travail de cette thèse est de rechercher les outils disponibles sur le marché Français actuellement et de rassembler un maximum d'informations disponibles, afin de proposer des fiches produits les plus exhaustives possibles. Grâce à cela les apiculteurs mais aussi les vétérinaires apiculteurs portant un intérêt pour ces nouveaux outils pourront utiliser ce recueil pour s'informer des produits existants mais aussi pour connaître leurs atouts auprès des abeilles et de leur santé.

A ce travail de création de fiches produits, s'ajoute la création d'un tableau récapitulatif afin d'apporter une première idée sur l'ensemble des produits disponibles et leurs caractéristiques.

2. Collecte des informations et classification des produits

La première étape est de rechercher sur Internet l'ensemble des produits disponibles en France. Quelques produits ont été mis de côté car soit le site internet n'était pas mis à jour depuis plusieurs années soit après prise de contact téléphonique avec l'entreprise le produit n'est plus commercialisé. Le choix de se limiter au marché Français est associé au fait que le type de réseau et de connexion soit compatible avec le territoire Français mais aussi afin de permettre, si besoin, un service après-vente plus accessible.

Une fois ces produits trouvés, un travail pour collecter un maximum d'informations est effectué. Cette collecte d'informations se base sur les sites des constructeurs ou les sites revendeurs. Ces données et informations sont classées sur un tableau excel. Parmi ces informations, se trouvent ; les paramètres, les dimensions, les matériaux, le type de réseau, le coût, les abonnements, etc.

Une fois les informations rassemblées, les produits sont présentés sous forme de fiche technique récapitulant les principales caractéristiques pouvant intéresser les lecteurs (Annexe 1). Au total treize produits sont référencés dans ce recueil.

Un tableau comparatif est réalisé afin de faciliter la lecture des fiches de plus il permet d'apporter un visuel simplifié des outils proposés.

II. Les ruches connectées en France : Fiches techniques des produits commercialisés

1. Fiche produit n°1 : Beetracking

BEETRACKING par Beetracking

Balance connectée

www.beetracking.com



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Capot en composite et palette en plastique, 50x60x18cm - 6 mois d'autonomie - Fonctionne avec piles - Adaptée à la plupart des ruches - Installation facile, à poser sous la ruche 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids (maximum non communiqué) ($\pm 100g$) - Température extérieure ($\pm 0,5^{\circ}c$) - Localisation
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - GPRS (2G) - Application par internet, mail, SMS
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Alerte dépassement de poids - Alerte en cas d'absence de données
Tarifs produit & abonnement	<p>Tarifs non communiqués Boutique en ligne requière la création d'un compte client</p>
Divers	Panneaux solaires prochainement en option

2. Fiche produit n°2 : BeeOnline

BEE ONLINE par Atelec Electronique

Station de mesure, 3 modèles BASIC/TEMPO/METEOR

www.bee-online.fr



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - 44x51x24cm, 13kg - Capot de protection - 2ans d'autonomie - Batterie rechargeable - 2 ans de garantie - Installation facile, à poser sous la ruche 
Paramètres mesurés (Précision)	<p>Pour le modèle le plus complet METEOR</p> <ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 100kg ($\pm 100g$) - Humidité extérieure ($\pm 0,1\%$) - Température extérieure ($\pm 0,1^{\circ}c$) - Pluviométrie ($\pm 0,2mm$)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - GSM - Nécessite abonnement auprès d'un opérateur téléphonique (au choix en France) - Logiciel Beeload accessible par ordinateur/smartphone
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - 10 mesures par jour - Alerte antivol - Alerte perte/gain de poids - Alerte batterie
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - 345€/station (HT) prix du modèle BASIC - Pas d'abonnement
Divers	<p>Possibilité d'achat en Europe mais nécessite abonnement téléphonique EMNIFY pour 3,9€/mois</p>

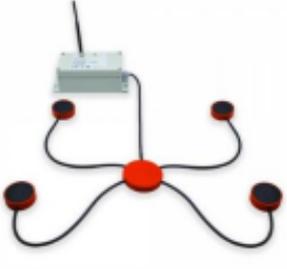
3. Fiche produit n°3 : Bee2Beep

BEE2BEEP par Bee2beep

Balance connectée

www.bee2beep.com



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Boîtier + 4 pesons - Adapté à tout type de ruche - 9-12 mois d'autonomie - Fonctionne avec piles - Fabriquée en France - Installation facile, poser un peson sous chaque pied 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 150kg (±100g)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Sigfox, NB-iot - Application internet, mail, SMS - Relevé toutes les 30 minutes
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Température et humidité extérieure sur la base de la station météorologique la plus proche - Carnet de suivi des ruches - Estimation production de miel - Alerte
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - 225€/ruche (HT) - 1 an d'abonnement offert - Abonnement obligatoire : STANDARD à 36€/an (HT) PREMIUM à 50€/an (HT) Un abonnement pour toutes les ruches
Divers	Bee2beep propose à l'achat une station météorologique (416€ HT) et un capteur GPS antivol (88€ HT)

4. Fiche produit n°4: Bee2Beep Pro

BEEP2BEEP PRO par Bee2beep

Balance connectée

www.bee2beep.com



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - 50x45cm - Socle intégral - 9-12 mois d'autonomie - Fonctionne avec piles - Fabriquée en France - Installation facile, poser la balance sous la ruche 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 200kg (±50g)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Sigfox, NB-iot - Application internet, mail, SMS - Relevé toutes les 30 minutes
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Température et humidité extérieure sur la base de la station météorologique la plus proche - Carnet de suivi des ruches - Estimation production de miel - Alerte
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - 392€/ruche (HT) - 1 an d'abonnement offert - Abonnement obligatoire : STANDARD à 36€/an (HT) PREMIUM à 50€/an (HT) <p>Un abonnement pour toutes les ruches</p>
Divers	<p>Bee2beep propose à l'achat une station météorologique (416€ HT) et un capteur GPS antivol (88€ HT)</p>

5. Fiche produit n°5 : Beeguard

BEEGUARD par Beeguard

Balance connectée

www.beeguard.fr



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Barres de pesée en aluminium, 1kg - 1 an d'autonomie - Fonctionne avec piles - Fabriqué en France - Installation facile, poser les deux barres de chaque côté de la ruche
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids [150 ; 600kg] selon nombre barres (±50g)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - GSM - Transmission des données par un relais obligatoire (station météorologique/ GPS antivol Beeguard) - Application internet, SMS
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Registre d'élevage numérique (payant) - Alerte vol
Tarifs produit & abonnement	<p>A l'achat : 290€/barre (HT)</p> <p>A la location : 12€/mois/barre + abonnement 3€/mois pour l'ensemble du rucher</p> <p>A cela s'ajoute la location (L) ou l'achat (A) station météorologique ou GPS antivol</p>
Divers	<p>Obligation de la présence d'une station météorologique ou capteur GPS pour transmettre les informations.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Achat station météorologique pour température et humidité extérieure (L : 230€ A ; 10,5€/mois) - Achat GPS antivol indiquant la géolocalisant et la température interne du couvain (L : 199€ A : 9,5€/mois) . A installer dans la ruche. <p>Possibilité de ne mettre qu'une barre de pesée sur un côté de la ruche.</p>

6. Fiche produit n°6 : Hivewatch Balance

HIVEWATCH BALANCE par Hivewatch (Société Suisse)



Balance connectée

Fabricant : www.app.hivewatch.net

Revendeur français : www.apimat.ch

Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Plusieurs modèles disponibles selon le type de ruche - Structure en aluminium, [14 ;16]kg selon modèle - 2 ans d'autonomie - Fonctionne avec piles - Carte SIM intégrée - Installation particulière : poser plaques de charge en aluminium sous les balances. Puis brancher avec un câble à un boîtier émetteur radio 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 200kg ($\pm 10g$) - Température extérieure ($\pm 0,1^{\circ}c$)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Réseau 4G - Application internet, mail, SMS, téléphone - Données mises à jour en temps réel
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison performances entre les ruches - Alerte essaimage/vol - Données téléchargeables au format excel
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - Pack de démarrage à 589€/balance + boîtier radio (TTC) - Achat balance à l'unité [204;239€] - Boîtier radio seul 399€ (TTC) - Abonnement : 79 €/an/boîtier 139€/2ans/boîtier 169€/3ans/boîtier
Divers	<p>Possibilité de raccorder jusqu'à 8 ruches à un seul boîtier. Possibilité sur demande d'obtenir une balance pesant jusqu'à 1000kg Possibilité d'achat capteur température interne 65€/capteur (TTC)</p>

7. Fiche produit n°7 : Honey instruments

HONEY INSTRUMENTS par Honey Instruments

Balance connectée

www.honeyinstruments.com



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Structure en aluminium 50x43x14cm, 6,9kg - 1 an d'autonomie - Fonctionne avec piles - Fabriquée en France - Installation facile, à poser sous la ruche 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 300kg ($\pm 10g$) - Température extérieure
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Sigfox - Application internet, application mobile, mail, SMS - Relevé et transmission des données une fois par heure
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Prévisions météorologiques sur 7 jours - Alerte perte/gain poids - Alerte variation température - Données exportables au format excel
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - 363€/ruche (HT) - Tarif dégressif : 332€/ruche pour 5 ruches - Abonnement obligatoire pour accès réseau Sigfox: offert 1 an puis 3€/mois (HT) tarif abonnement dégressif avec nombre de ruches
Divers	Possibilité de comparer les ruches

8. Fiche produit n°8 : Hostabee

B-KEEP par Hostabee

Capteur interne

ATTENTION, capteur en fin de production

www.hostabee.com

Site vendeur : www.icko-apiculture.com



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Boîtier en plastique alimentaire 8x7,5x12cm - 2 ans d'autonomie - Fonctionne avec piles - Adapté à tout type de ruche - Fabriqué en France - Installation facile, à fixer sur un cadre 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Humidité interne ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) - Température interne ($\pm 3\%$)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Sigfox, LoRa WAN - Application internet - Relevé des données une fois par heure
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Carnet sanitaire sur l'application - Prévisions météorologiques sur 5 jours
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - 138€/capteur (TTC) - 1 an d'abonnement offert - 3€/an/capteur tarif dégressif
Divers	Ondes basses fréquences

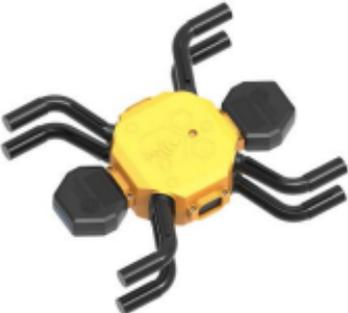
9. Fiche produit n°9 : Label Abeille

LABEL ABEILLE par Label Abeille

Station de mesure

www.label-abeille.org



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Châssis en acier 48x43x14cm avec manchons antidérapants - 1-2ans d'autonomie, batterie rechargeable - 2 ans de garantie - Fabriquée en France - Installation facile, à poser sous la ruche 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 500kg ($\pm 1g$) - Humidité extérieure ($\pm 3,5\%$) - Température extérieure ($\pm 0,5^{\circ}c$) - Luminosité ($\pm 1Lux$) - Géolocalisation - Orientation/inclinaison - Pression atmosphérique (260 ;1260 hPa)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Sigfox, GSM - Application internet, application mobile, mail, SMS
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Choix de la fréquence des données - Alerte antivol - Prévisions météorologiques sur 4 jours
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - 640€/station (HT) - +5€/mois pour l'application
Divers	<p>Possibilité pour les entreprises de parrainer (79€/an/ruche) ou d'installer sur l'entreprise des ruches (1750€/an/ruche).</p> <p>Possibilité recharge batterie par panneau solaire (89€/panneau TTC)</p>

10. Fiche produit n°10 : Multiscale MS4R

MULTISCALE MS4R (gamme ECO) par Connected Beekeeping

Balance connectée

www.connectedbeekeeping.fr



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Une balance pour 4 ruches - Différents types de balance selon le réseau choisi - Alimentation solaire 100% autonome ou secteur - Installation facile, poser chaque capteur sous une ruche, sur une palette. 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 200kg ($\pm 200g$)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Wifi, Sigfox, GSM (2G/4G) - Application par internet, mail, SMS - Vérification du poids toutes les 4 minutes - Relevé des données une fois par heure
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Alerte antivol - Alerte essaimage - Tutos pour l'interprétation des données
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - Tarif très variable selon modèle, nombre de ruche et réseau choisi : - A partir de 480€/4 ruches (TTC) en réseau sigfox et à partir de 596€/4 ruches (TTC) en réseau 2G/4G - Pas d'abonnement si réseau Wifi - Abonnement STANDARD : 28,8€/an/balance 4 ruches TTC - Abonnement PRO : 40,8€/an/balance 4 ruches TTC
Divers	<p>Possibilité d'achat de sonde de couvain (par 4) pour la température ($\pm 0,5^\circ C$) et l'humidité ($\pm 3\%$) interne. Prix non communiqué</p> <p>Possibilité d'achat d'une sonde météorologique pour la température, l'humidité et la pression atmosphérique extérieure. Prix non communiqué</p> <p>Existe un modèle "INDUS" (sur devis) et "SCIENCE" (à partir de 606€/ruche).</p>

11. Fiche produit n°11 : Optibee

OPTIBEE par CAD Creation

Balance connectée

www.optibee.fr



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Structure aluminium 7kg - 24 mois d'autonomie - Batterie rechargeable - 10 ans de garantie - Fabriquée en France - Installation facile, à poser sous la ruche 
Paramètres mesurés (Précision)	- Poids jusqu'à 200kg ($\pm 100g$)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Sigfox - Application interne, mail, SMS
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Prévisions météorologiques sur 7 jours - Suivi de la température extérieure et de la pluviométrie. - Alerte variation de poids
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - A partir de 385€/balance (HT), varie selon quantité commandée - Abonnement à partir de 24€/an/balance
Divers	////

12. Fiche produit n°12 : T2, TH, W Broodminder

T2, TH, W par Broodminder

Ensemble de capteurs connectés

www.mellisphera.com



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - T2 = capteur température - TH = capteur température et humidité - W = barre de pesée - Outils très modulables - Jusqu'à 18 mois d'autonomie - Fonctionne avec piles - 1 an de garantie - Installation facile 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - W = Poids jusqu'à 450 kg (±5g) - W = Température extérieure (±0,25°C) - T2/TH = Température interne (±0,25°C) - TH = Humidité interne (±3%)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Wifi, Bluetooth, GSM - Possibilité installer capteur/collecteur de données "Hub" - Application internet, application mobile - Relevé toutes les 15 minutes - Collecte peut se faire manuellement nécessite d'être sur place ou automatiquement avec collecteur "Hub"
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Alerte vol/essaimage/anomalie - Prévisions météorologiques - Selon les données, apporte des conseils sur les périodes de traitement, le choix des ruches ect.
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - T2 = 44,99€/capteur (TTC) - TH = 79,99€/capteur (TTC) - W = 239,99€/barre (TTC) - Hub = 179€ ou 189€ (TTC) selon antenne externe ou interne <p>Abonnement non obligatoire si collecte des données sur place. Abonnement Premium = 64€/an pour tous les capteurs Pro = 129€/an pour tous les capteurs</p>
Divers	Kits de démarrage à partir de 129,99€ (TTC)

13. Fiche produit n°13 : Alu pro W Broodminder

W ALU PRO par Broodminder

Balance connectée

www.mellisphera.com



Fiche produit	
Caractéristiques / description	<ul style="list-style-type: none"> - Structure en aluminium 2,2kg, disponible en 2 longueurs (430mm ou 500mm) - Boitier étanche - 5 ans d'autonomie - 2 ans de garantie - Fonctionne avec piles - Installation facile, une barre de chaque côté de la ruche 
Paramètres mesurés (Précision)	<ul style="list-style-type: none"> - Poids jusqu'à 400kg ($\pm 100g$) - Température extérieure ($\pm 0,25^{\circ}c$)
Réseau et accès aux données	<ul style="list-style-type: none"> - Bluetooth, GSM - Application internet, application mobile - Relevé une fois par heure - Collecte peut se faire manuellement nécessite d'être sur place ou automatiquement avec collecteur "Hub"
Fonctions supplémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Choix fréquence des données (1x/heure ou 1x/15minutes) - Alerte variation de poids
Tarifs produit & abonnement	<ul style="list-style-type: none"> - 406,8€ ou 442,8€/balance (TTC) selon la longueur Abonnement non obligatoire si collecte des données sur place. Abonnement Premium = 64€/an pour tous les capteurs Pro = 129€/an pour tous les capteurs
Divers	Possibilité d'achat du collecteur "Hub" pour la collecte des données à distance et abonnement nécessaire dans ce cas.

III. Tableau comparatif des outils connectés

Caractéristiques techniques	Type d'outil	Autonomie + énergie	Fréquence des données	Mesure de poids	Mesure de température extérieure	Mesure d'humidité extérieure	Mesure de pluviométrie	Mesure de température + humidité interne	Alerte	Prix*	Abonnement
BEE TRACKING	Balance connectée	6 mois piles	N.C	Max N.C						N.C	N.C
BEE2BEEP	Balance connectée	9-12 mois piles	1x/30min	150kg	Possibilité achat station	Possibilité achat station				€	OUI
BEE2BEEP PRO	Balance connectée	9-12 mois piles	1x/30min	200kg	Possibilité achat station	Possibilité achat station				€€	OUI
BEE GUARD	Balance connectée	1 an piles	N.C	150 - 600kg	Possibilité achat station	Possibilité achat station				€	OUI
BEE ONLINE	Station de mesure	2 ans batterie	10x/jour	100kg						€€€	NON
B-KEEP	Capteur interne	2 ans piles	1x/heure							€	OUI
HIVEWATCH	Balance connectée	2 ans piles	Temps réel	200kg						€€€	OUI
HONEY INSTRUMENTS	Balance connectée	1 an piles	1x/heure	300kg						€€	OUI
LABEL ABEILLE	Station de mesure	1-2 ans batterie	Réglable	500kg		+ luminosité + pression				€€€	OUI
MULTISCALE MSR4	Balance connectée	Solaire ou secteur	1x/heure	200kg	Possibilité achat sonde externe	Possibilité achat sonde externe		Possibilité achat sonde interne		€€€	OUI
OPTIBEE	Balance connectée	2 ans batterie	Temps réel	200kg						€€	OUI
TZ, TH, W	Ensemble de capteurs	18 mois piles	1x/15min	450kg						€€	OUI
WALLU PRO	Balance connectée	5 ans piles	1x/heure 1x/15min	400kg						€€€	OUI

N.C : Non communiqué

€ < 200€ : €€ [300 ;400€] : €€€ > 400€

Troisième partie : Discussion : Abords des avantages et limites de ces nouveaux outils pour les apiculteurs et vétérinaires

I. Les intérêts et avantages de la ruche connectée

1. Un bon indicateur d'activité de la ruche

1.1. Le poids un élément essentiel

L'un des premiers avantages de ces outils, est qu'ils permettent de suivre l'activité globale de la ruche. En effet la plupart des outils étant des balances connectées ou des barres de pesée, elles permettent donc de relever le poids à des fréquences relativement régulières de la journée, allant d'un relevé par heure à un relevé en temps réel (cf. " tableau comparatif des outils connectés "). Or il se trouve que le poids d'une ruche est un bon indicateur pour mesurer la masse que représente la colonie et ses ressources donc de savoir s'il y a des signes de mortalité ou d'affaiblissement pendant l'hiver, en sortie d'hiver ou tout autre période.

Il permet également d'objectiver la production lors de la période de miellée et donc de savoir si la colonie est active, trouve ses ressources, renouvelle et augmente son essaim.

Les outils relevant le poids sont une clef pour limiter l'un des phénomènes naturels des colonies, à savoir, l'essaimage. Lorsqu'une ruche va subitement chuter en poids à cause du départ d'une partie de la colonie, l'apiculteur peut alors se rendre compte de ce qu'il se passe et aller sur le terrain pour récupérer l'essaim. Lors d'une variation soudaine de poids, certains des outils vont pouvoir alerter directement l'apiculteur par un SMS, un mail ou par l'application associée.

Enfin la possibilité d'avoir accès au poids de la ruche est un atout pour un phénomène d'origine humaine ; le vol des ruches. Une alerte vol peut être envoyée directement à l'apiculteur, lorsque la ruche installée sur la balance ou barre de pesée est retirée. Il est à noter que des entreprises comme Bee2beep ou Beeguard commercialisent des GPS anti-vol afin de localiser les ruches équipées.

1.2. Comparer plusieurs ruches

Si plusieurs ruches dans une même zone sont équipées, il y a un intérêt à comparer ces ruches afin d'éventuellement constater dans le meilleur cas une homogénéité des colonies saines mais aussi de pouvoir mettre en évidence une hétérogénéité. Elle pourra être le reflet d'une maladie, d'un défaut de ressources ou d'un taux d'essaimage élevé.

1.3. Un gain financier

Malgré au premier abord un investissement financier certain pour équiper ses ruches, la mise en place d'outils connectés peut avoir une visée économique. Effectivement, en limitant les déplacements, en suivant et optimisant sa production, en sélectionnant les ruches saines et en traitant les ruches défaillantes, l'apiculteur peut limiter certains coûts et en optimisant ses ruches espérer gagner davantage sur la production. Les outils connectés bien utilisés sont donc un gain de temps et d'argent.

2. Un reflet de l'état de santé de la colonie

2.1. Une aide dans la lutte contre les affections

Lors d'une atteinte de la colonie par une maladie ou un parasite, des paramètres de la ruche vont changer ; la mortalité des ouvrières peut augmenter, le couvain peut diminuer, les ressources peuvent faiblir et l'activité se trouver réduite. Le poids mais aussi la température interne et l'humidité vont alors être plus ou moins modifiés. L'apiculteur va, grâce aux outils mis en place, avoir accès à ces variations, et de ce fait il lui sera plus aisé de savoir si une ruche est potentiellement malade et a besoin de son intervention. Les anomalies révélées par les outils sont un moyen d'agir rapidement sur les colonies afin de prévenir leur détérioration.

2.2. Limiter les interventions humaines et traitements

Le suivi à distance des ruches est un moyen pour l'apiculteur de limiter ses déplacements notamment lorsque certaines ruches sont loin ou peu accessibles notamment en zone montagneuse.

Bien que la visite des ruches reste nécessaire pour l'apiculteur, s'équiper d'outils connectés est un moyen de limiter les interventions. Cela évite aussi d'avoir à ouvrir trop souvent les ruches pour constater et évaluer la production, la santé et l'activité. Ainsi le stress engendré par la présence humaine est plus limité, les colonies sont moins dérangées. De plus limiter les interventions est un bon moyen de diminuer les risques de transmission d'affection d'une ruche à l'autre par le biais de l'Homme.

Les outils connectés sont aussi un atout dans l'utilisation raisonnée des traitements. L'apiculteur peut avec les données accessibles choisir de traiter uniquement certaines colonies.

2.3. Un moyen de prévoir l'avenir de la colonie

Les paramètres mesurés avec les outils vont indiquer l'évolution de la colonie tout au long de la période active. Ainsi lorsqu'arrive le début de la saison froide, l'apiculteur peut plus facilement estimer si une colonie est plus ou moins apte à passer l'hiver sur ses ressources.

Si la ruche présente en fin de saison un poids faible, peu de ressources, un essaim peu peuplé, une température non-optimale, l'apiculteur pourra prévoir d'intervenir pour compléter et soutenir ses abeilles pendant l'hiver. De même qu'il pourra prévoir de déplacer une ruche dans un endroit plus accessible pour pouvoir la surveiller facilement.

Les outils connectés sont un moyen pour anticiper et préserver les colonies face au aléas climatiques et aux pénuries de ressources.

2.4. Un objet de surveillance environnementale

Les abeilles en tant qu'insectes pollinisateurs sont une référence en matière d'équilibre environnemental. Une colonie saine et active est un indicateur majeur sur l'environnement dans lequel elle évolue. Cela met en évidence une quantité de ressources alimentaires suffisantes, des conditions météorologiques adaptées mais aussi cela permet d'estimer en partie les impacts que peuvent avoir l'activité humaine sur l'environnement. Par exemple on peut objectiver avec les ruches connectées, une augmentation de la mortalité de plusieurs colonies sur une même zone. Les causes et facteurs sont multiples mais cela peut indiquer l'utilisation de produits phytosanitaires, l'appauvrissement en biodiversité ou l'apparition locale d'un prédateur comme le frelon asiatique.

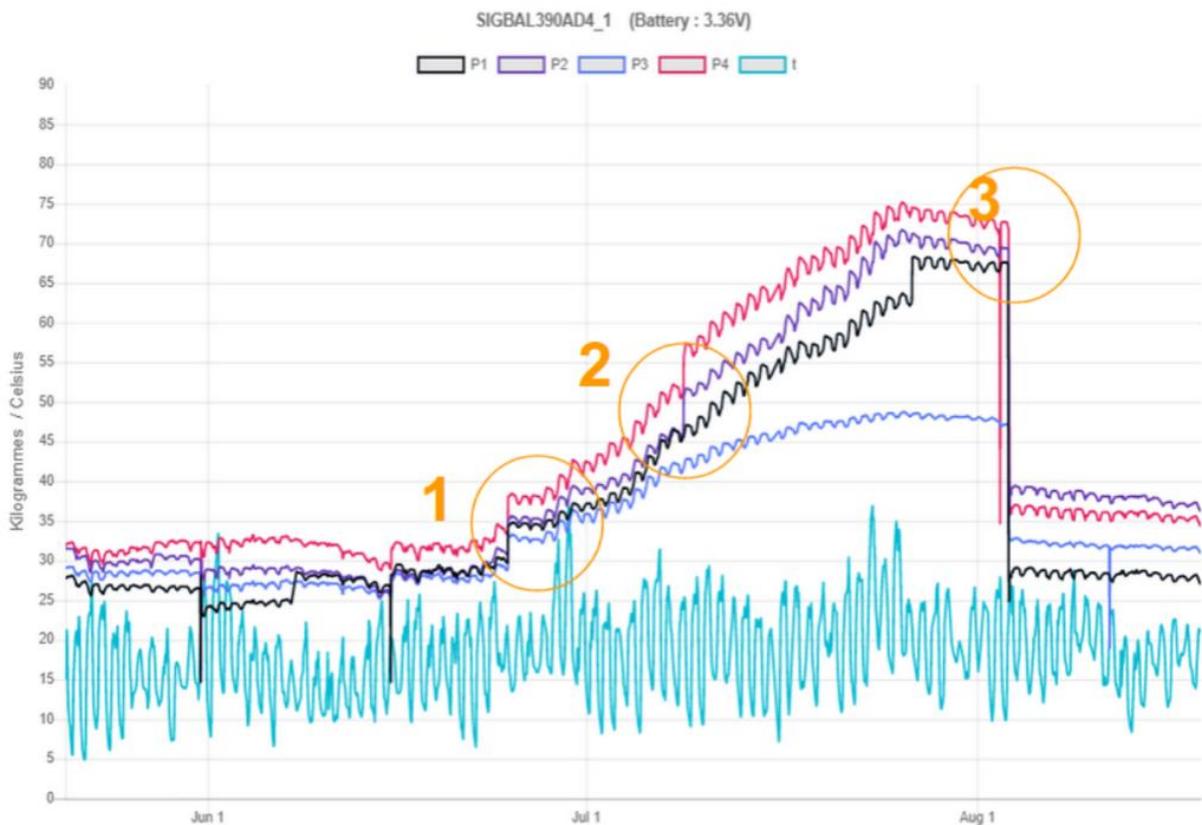
Il est cependant nécessaire pour objectiver pleinement ses informations sur une plus grande échelle et corréliser l'état des colonies avec la situation environnementale, que les données soient collectées et traitées par des centres de recherches.

L'intérêt pour la surveillance environnementale est aussi que l'image renvoyée par les abeilles auprès du grand public est une image positive. Ainsi pouvoir étudier les données fournies par les ruches connectées et les associer à l'environnement est un bon moyen pour sensibiliser le public aux enjeux d'aujourd'hui.

3. Illustrations de lecture de données :

Afin de mettre en perspective les avantages présentés ci-dessus, voici quelques illustrations des données collectées par le système de l'entreprise "Connected Beekeeping " avec les explications et interprétation associées (figure 31). Ces informations et illustrations disponibles sur le site internet.

Figure 31 : Suivi de la miellée sur quatre ruches P1, P2, P3, P4 (*connectedbeekeeping.fr*)



1 - Début de miellée, pose des hausses

2 - Pose hausse supplémentaire

3 - Récolte du miel, retrait des hausses

En bleu : Température extérieure (°c)

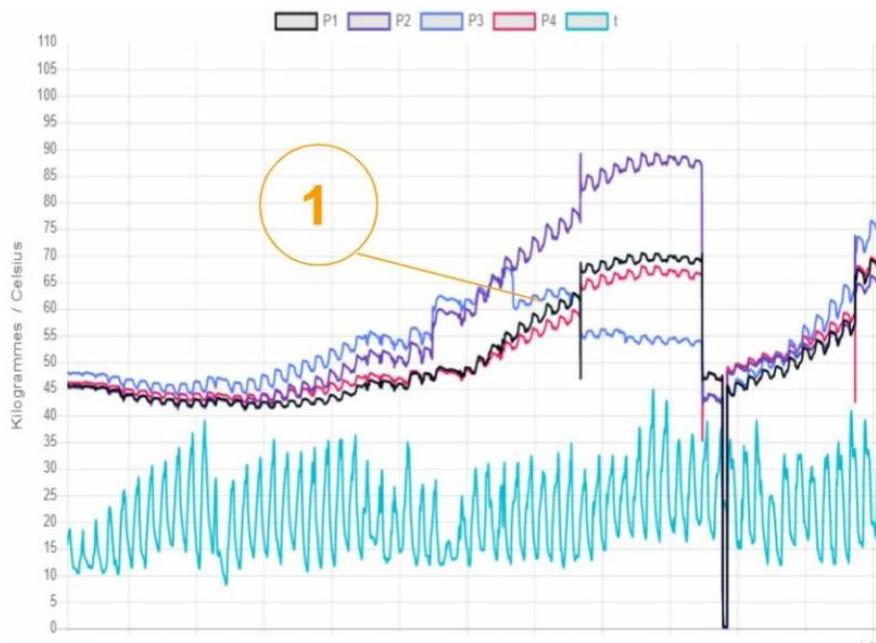
Figure 32 : Estimation de la force des colonies en hiver (*connectedbeekeeping.fr*)



1 - En hiver la perte de poids normale est linéaire (1,5-2,5kg/mois) et correspond à la consommation des réserves. Le suivi du poids est donc primordial.

2 - Détection d'une ruche mourante : La courbe de poids s'aplanit progressivement, les abeilles de cette ruche consomment meurent et consomment moins les réserves.

Figure 33 : Détection d'une colonie faible (*connectedbeekeeping.fr*)



1 - Colonie faible qui essaime (chute de poids) et ne récolte pas en juin (phase plane), avant de reprendre une période de miellée en juillet (augmentation du poids).

Figure 34 : Détection d'une colonie malade (*connectedbeekeeping.fr*)



2 – Colonie ne présentant pas visuellement de signes de maladie mais identification d'une anomalie (ici loque américaine) par une augmentation du poids moindre que les autres colonies en période de récolte

II. Présentation des limites

1. Un coût financier élevé

Le premier facteur limitant, est le coût que cela représente. Malgré un gain financier et des économies faites par la suite, l'investissement initial pour acquérir ces outils est important. L'achat d'une balance représente plusieurs centaines d'euros avec des variations de prix importantes d'un modèle à l'autre (cf. fiches produits et tableau comparatif). Les capteurs moins onéreux représentent quand même un coût de plusieurs dizaines d'euros jusqu'à 138€ pour le capteur " Hostabee ". De plus l'achat d'outils complémentaires comme une station météorologique, boîtier radio ou un capteur GPS, sont parfois recommandés voire nécessaires. A cela s'ajoute les frais d'abonnement qui sont aussi variables d'un fournisseur à l'autre. Ainsi sur une première année l'investissement initial, pouvant monter jusqu'à plusieurs milliers d'euros, peut être un obstacle pour les apiculteurs.

Idéalement il faudrait équiper l'ensemble de ses ruches, cependant afin de réduire les coûts, l'apiculteur peut décider d'équiper quelques ruches qu'il considèrera comme représentative de son rucher. Par la suite il sera toujours possible d'équiper davantage de ruches.

Pour convaincre les apiculteurs de faire un tel investissement il faut que ces derniers considèrent les outils connectés comme une aide complémentaire et comme un moyen de faire des économies dans le temps.

2. La ruche connectée, un outil jeune

L'utilisation des nouvelles technologies au service de l'apiculture et des abeilles est un concept jeune. L'émergence de ces produits et la commercialisation date d'une dizaine d'année. Les outils connectés sont donc encore peu connus et démocratisés.

De plus, une méfiance vis-à-vis de la technologie peut être présente chez les apiculteurs. La collecte et l'utilisation de données ne remplace en rien la main et l'expérience humaine mais des apiculteurs craignent une mise en danger de leur métier par l'expansion des technologies. Il faut garder à l'esprit que ces outils sont des aides complémentaires afin de faciliter et de perfectionner le travail de l'apiculteur, ils ne sont en rien des remplaçants au savoir-faire humain.

3. L'interprétation des données

Une difficulté particulière réside dans le fait d'interpréter les données. Les ruches connectées sont une source importante d'informations avec des relevés réguliers et nombreux. Or un trop plein de données peut submerger l'utilisateur. Les données doivent être interprétées correctement afin que les apiculteurs puissent en tirer les bonnes conclusions et agir en conséquence.

Les applications associées aux outils connectés sont généralement intuitives, une pré-interprétation est même parfois disponible. Les entreprises qui commercialisent les outils doivent être en mesure d'aider les apiculteurs à prendre en main leur nouvel outil de travail. Il est à noter par exemple que des tutoriels afin d'apprendre à interpréter les données sont accessibles chez le fournisseur " Connected Beekeeping ".

III. Perspectives et évolutions

Les ruches connectées sont en pleine expansion, les outils sont de plus en plus aboutis et développés. Certaines entreprises utilisent les outils non plus comme seulement des collecteurs de données mais aussi comme des moyens d'agir directement sur les paramètres internes de la ruche. Pouvoir moduler certains paramètres comme la température ou l'humidité permet d'optimiser les conditions de vie de la colonie mais aussi d'être en mesure de lutter contre certaines affections ; par exemple le *Varroa destructor* qui ne se développent pas au-delà d'une certaine température.

Le chef de file actuellement est la startup Israélienne “ Beewise ” proposant une ruche “ Beehome ” qui allie intelligence artificielle et robotique. En effet cette mégastructure alimentée par panneaux solaires permet de loger jusqu’à 24 colonies. Ces colonies sont surveillées par un système de caméras, les paramètres sont relevés régulièrement, des alertes peuvent être transmises et une application donnant accès aux paramètres permet de suivre les colonies. Mais en plus de cela un robot installé dans la structure assure :

- La régulation de la température et de l’humidité
- La distribution au besoin des ressources supplémentaires
- L’application d’un traitement en cas de présence d’une affection
- La récolte des cadres remplis de miel
- La prévention de l’essaimage en ajustant les paramètres

L’idée de cet outil est qu’il remplace presque intégralement le rôle d’un apiculteur comme si ce dernier était tout le temps présent. En agissant vite et en surveillant constamment les colonies, la startup estime sauver davantage d’abeilles et améliorer la production (BEN-DAVID, 2022).

La “ Beehome ” pour l’instant se commercialise aux Etats-Unis pour des apiculteurs possédant plus de mille ruches pour un investissement de 400 dollars par mois par “ Beehome ” et un coût de livraison de 2000 dollars. Une plus petite version de cette mégastructure est en cours de développement.

Cette idée de créer des outils connectés et capables d’agir directement sur la ruche sera sans doute reprise et développée par d’autres entreprises notamment en France. Ainsi la technologie ne se contentera plus de seulement collecter des données mais aussi pourra aider directement l’apiculteur.

Conclusion

Ce travail a pour objectif de présenter les outils connectés disponibles en France à ce jour, avec leurs caractéristiques et intérêts. Les fiches disponibles dans cette thèse sont à destination des apiculteurs professionnels ou amateurs qui souhaiteraient intégrer à leur rucher ces nouvelles technologies, mais aussi à destination des vétérinaires apiculteurs désireux de s'informer sur les avantages des outils connectés.

Les outils connectés sont aujourd'hui un levier intéressant dans la préservation des abeilles vis-à-vis de l'ensemble des menaces comme les maladies, le changement climatique, l'activité humaine ou encore le déclin de la biodiversité et l'appauvrissement des ressources. Ils sont un atout pour améliorer les performances des colonies et assurer leur pérennité à condition de les utiliser à bon escient et en soulignant qu'ils ne remplacent pas encore la main et l'expérience de l'apiculteur. Il reste cependant à noter que ces outils sont un investissement financier non négligeable pour les apiculteurs et que cela peut être un frein à l'achat, bien que par la suite les ruches connectées engendrent un gain économique grâce à un meilleur suivi et à l'amélioration des performances.

La technologie au service de l'apiculture étant en plein essor, les entreprises et les produits disponibles évoluent très rapidement. L'arrivée sur le marché de ruches connectées, intelligentes et autonomes semblent être la prochaine étape avec des outils plus performants, ayant une capacité d'action immédiate sur les ruches.

Liste des références bibliographiques

- AHMAD, R. (1988) Honeybee parasitic mites and their control in Pakistan. *Prog. Farm* vol. 8, p. 34-36.
- ALBAYRAK, A., BAYIR, R. (2018) The Determination of the Developments of Beehives via Artificial Neural Networks. *Tehnicki vjesnik - Technical Gazette* vol. 25, n° 2. [<https://doi.org/10.17559/TV-20160419130812>]
- AL-WAILI, N.S. (2004) An alternative treatment for pityriasis versicolor, tinea cruris, tinea corporis and tinea faciei with topical application of honey, olive oil and beeswax mixture: an open pilot study. *Complementary Therapies in Medicine* vol. 12, n° 1, p. 45-47. [<https://doi.org/10.1016/j.ctim.2004.01.002>]
- ANSARI, M.J., AL-GHAMDI, A., USMANI, S., *et al.* (2017) In vitro evaluation of the effects of some plant essential oils on *Ascospaera apis*, the causative agent of Chalkbrood disease. *Saudi Journal of Biological Sciences* vol. 24, n° 5, p. 1001-1006. [<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.04.016>]
- BALTA, A.I., DOGAN, S., GONCA, *et al.* (2017) Software Modeling of Remote Controlled Beehive Design. *In International Conference on Advances and Innovations in Engineering 14th to 15th February 2017*. Kanyakumari, Tamil Nadu, India.
- BEN-DAVID, P.R. (2022) Beewise attire 80 millions de dollars d'investissement pour des ruches robotiques. [<https://fr.timesofisrael.com/beewise-attire-80-millions-de-dollars-dinvestissement-pour-des-ruches-robotiques/>] (consulté le 20/06/2022).
- BIRI, M. (2002) Le grande livre des abeilles. Cours d'apiculture moderne. Paris, De Vecchi.
- BORNECK, R. (1977) Les abeilles et l'apiculture. *In L'abeille, règles d'élevage, les produits de la ruche, règles d'hygiène*. Paris, Informations Techniques des Services Vétérinaires, p. 21-26.
- BORTOLOTTI, L., COSTA, C. (2014) Chemical Communication in the Honey Bee Society. *In Mucignat-Caretta, C. (Éd.), Neurobiology of Chemical Communication, Frontiers in Neuroscience*. Boca Raton (FL), CRC Press/Taylor & Francis.
- BOUCHER, S. (2016) Maladies des abeilles. Paris, Editions France Agricole.
- BRØDSGAARD, C.J., RITTER, W., HANSEN, H., *et al.* (2000) Interactions among *Varroa jacobsoni* mites, acute paralysis virus, and *Paenibacillus larvae larvae* and their influence on mortality of larval honeybees in vitro. *Apidologie* vol. 31, n° 4, p. 543-554. [<https://doi.org/10.1051/apido:2000145>]
- BRUNEAU, E. (2009) Chapitre IX: Les produits de la ruche. *In Le traité rustica de l'apiculture*, 3ème édition. Paris, Rustica éditions, p. 354-384.
- BRUNEAU, E. (2006) Besoins alimentaires des abeilles. *Abeilles & Cie* n° 113, p. 4.
- BUJOK, B., KLEINHENZ, M., FUCHS, S., *et al.* (2002) Hot spots in the bee hive. *Die Naturwissenschaften* vol. 89, p. 299-301. [<https://doi.org/10.1007/s00114-002-0338-7>]
- CARRECK, N.L., ANDREE, M., BRENT, C.S., *et al.* (2013) Standard methods for *Apis mellifera* anatomy and dissection. *Journal of Apicultural Research* vol. 52, n° 4, p. 1-40. [<https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.03>]
- CASTAGNINO, G.L.B., MATEOS, A., MEANA, A., *et al.* (2020) Etiology, symptoms and prevention of chalkbrood disease: a literature review. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* vol. 21, p. e210332020. [<https://doi.org/10.1590/s1519-9940210332020>]

- CLÉMENT, H. (2009a) Chapitre VI : Guide des techniques de l'apiculteur. *In Le traité rustica de l'apiculture*, 3ème édition. Paris, Rustica éditions, p. 264-315.
- CLÉMENT, H. (2009b) Chapitre VII : Le rucher au fil des saisons. *In Le traité Rustica de l'apiculture*, 3ème édition. Paris, Rustica éditions, p. 318-326.
- COUSIN, P., CAUIA, E., SICEANU, A., *et al.* (2019) The Development of an Efficient System to Monitor the Honeybee Colonies Depopulations. *In 2019 Global IoT Summit (GloTS)*. Présenté à 2019 Global IoT Summit (GloTS), Aarhus, Denmark, IEEE, p. 1-5. [<https://doi.org/10.1109/GIOTS.2019.8766435>]
- DAINAT, B., EVANS, J.D., CHEN, Y.P., *et al.* (2012) Predictive Markers of Honey Bee Colony Collapse. *Plos One* vol. 7, n° 2, p. e32151. [<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032151>]
- DEBLOCK, A.C. (2021) Les types de ruches | Au Bon Miel. [<https://www.aubonmiel.com/les-ruches/>] (consulté le 06/10/2021).
- DENISOW, B., DENISOW-PIETRZYK, M. (2016) Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* vol. 96, n° 13, p. 4303-4309. [<https://doi.org/10.1002/jsfa.7729>]
- DOGAN, S., AKBAL, E., OZMEN KOCA, G., *et al.* (2017) Design of a Remote Controlled Beehive for Improving Efficiency of Beekeeping Activities. *In 8th International Advanced Technologies Symposium 19th to 20th October 2017*. Elazig, Turkey.
- DOITTEAU, G. (2020) Spécimen fossile - HOLOTYPE Electrapis (s. str.) apoides MANNING, 1961. [<https://science.mnhn.fr/institution/mnhn/collection/f/item/a57517>] (consulté le 26/10/2020).
- DOMEREGO, R. (2009) Santé, bien-être, apithérapie. *In Le traité Rustica de l'apiculture*, 3ème édition. Paris, Rustica éditions, p. 390-416.
- DUQUESNE, V., LAURENT, M., MEZIANI, F., *et al.* (2018) Modalités d'information d'une suspicion émise en avril 2018 relative à l'introduction du petit coléoptère des ruches (*Aethina tumida*) en France. [https://www.plateforme-esa.fr/sites/default/files/2018-10_Note-Aethina_%20Suivi-suspicion%20france.pdf] (consulté le 19/11/2020).
- EBELING, J., KNISPEL, H., HERTLEIN, G., *et al.* (2016) Biology of *Paenibacillus* larvae, a deadly pathogen of honey bee larvae. *Applied Microbiology and Biotechnology* vol. 100, n° 17, p. 7387-7395. [<https://doi.org/10.1007/s00253-016-7716-0>]
- ELLIS, J. (2015) The Tasks of a Worker Honey Bee. *In American Bee Journal*. [<https://americanbeejournal.com/the-tasks-of-a-worker-honey-bee/>] (consulté le 08/09/2021).
- ELLIS, J.D., HEPBURN, R., DELAPLANE, K.S., *et al.* (2003) The effects of adult small hive beetles, *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae), on nests and flight activity of Cape and European honey bees (*Apis mellifera*). *Apidologie* vol. 34, n° 4, p. 399-408. [<https://doi.org/10.1051/apido:2003038>]
- EVANS, J.D. (2003) Diverse origins of tetracycline resistance in the honey bee bacterial pathogen *Paenibacillus* larvae. *Journal of Invertebrate Pathology* vol. 83, n° 1, p. 46-50. [[https://doi.org/10.1016/S0022-2011\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0022-2011(03)00039-9)]
- EVANS, J.D., COOK, S.C. (2018) Genetics and physiology of *Varroa* mites. *Current Opinion in Insect Science* vol. 26, p. 130-135. [<https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.005>]
- EVANS, J.D., MCKENNA, D., SCULLY, E., *et al.* (2018) Genome of the small hive beetle (*Aethina tumida*, Coleoptera: Nitidulidae), a worldwide parasite of

- social bee colonies, provides insights into detoxification and herbivory. *GigaScience* vol. 7, n° 12. [<https://doi.org/10.1093/gigascience/giy138>]
- FENOY, S., RUEDA, C., HIGES, M., *et al.* (2009) High-Level Resistance of *Nosema ceranae*, a Parasite of the Honeybee, to Temperature and Desiccation. *Applied and Environmental Microbiology* vol. 75, n° 21, p. 6886-6889. [<https://doi.org/10.1128/AEM.01025-09>]
- FERNÁNDEZ, N., EGUARAS, M., HERNÁNDEZ, D. (1993) Distribution patterns of *Varroa jacobsoni* Oud on *Apis mellifera* L during winter in Argentina. *Apidologie* vol. 24, n° 4, p. 397-401.
- FRANCO, S., CHAUZAT, M.-P., RIVIÈRE, M.-P., *et al.* (2013) Appui scientifique et technique relatives aux mesures de lutte contre la loque américaine et la loque européenne. [https://www.fnosad.com/documents-techniques/mesures_lutte_loques_americaine_et_europeenne.pdf] (consulté le 23/11/2020).
- FRANCO, S., MARTEL, A.C., CHAUZAT, M.P., *et al.* (2012) Les analyses de laboratoire en apiculture. Journées Nationales des GTV 23, 24 et 25 mai 2012. Nantes.
- FRATINI, F., CILIA, G., TURCHI, B., *et al.* (2016) Beeswax: A minireview of its antimicrobial activity and its application in medicine. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* vol. 9, n° 9, p. 839-843. [<https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.07.003>]
- FRIES, I. (1993) *Nosema Apis* —A Parasite in the Honey Bee Colony. *Bee World* vol. 74, n° 1, p. 5-19. [<https://doi.org/10.1080/0005772X.1993.11099149>]
- FRIES, I., CHAUZAT, M.-P., CHEN, Y.-P., *et al.* (2013) Standard methods for *Nosema* research. *Journal of Apicultural Research* vol. 52, n° 1, p. 1-28. [<https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.14>]
- FRIES, I., HANSEN, H., IMDORF, A., *et al.* (2003) Swarming in honey bees (*Apis mellifera*) and *Varroa destructor* population development in Sweden. *Apidologie* vol. 34, n° 4, p. 389-397. [<https://doi.org/10.1051/apido:2003032>]
- GALLAI, N., SALLES, J.-M., SETTELE, J., *et al.* (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* vol. 68, n° 3, p. 810-821. [<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>]
- GENERSCH, E. (2010) American Foulbrood in honeybees and its causative agent, *Paenibacillus larvae*. *Journal of Invertebrate Pathology* vol. 103, p. S10-S19. [<https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.015>]
- GHANEM, M.B. (2011) Study on the antimicrobial activity of honey products and some saudi folkloric substances. *Journal of biotechnology* vol. 6, p. 38-43.
- GIRAUD, BARBANÇON (2014) Méthodes de désinfection utilisables en apiculture. *La santé de l'abeille* n° 263, p. 381-399.
- GISDER, S., AUMEIER, P., GENERSCH, E. (2009) Deformed wing virus: replication and viral load in mites (*Varroa destructor*). *Journal of General Virology* vol. 90, n° 2, p. 463-467. [<https://doi.org/10.1099/vir.0.005579-0>]
- GREGORC, A., SAMPSON, B. (2019) Diagnosis of *Varroa* Mite (*Varroa destructor*) and Sustainable Control in Honey Bee (*Apis mellifera*) Colonies—A Review. *Diversity* vol. 11, n° 12, p. 243. [<https://doi.org/10.3390/d11120243>]
- HALES, T.C. (2001) The Honeycomb Conjecture. *Discrete & Computational Geometry* vol. 25, n° 1, p. 1-22. [<https://doi.org/10.1007/s004540010071>]
- HEMMERLÉ, J. (2019) Nosémoses, des agents infectieux singuliers. *L'abeille de France* n° 1067, p. 9.

- HIGES, M., MARTÍN, R., MEANA, A. (2006) Nosema ceranae, a new microsporidian parasite in honeybees in Europe. *Journal of Invertebrate Pathology* vol. 92, n° 2, p. 93-95. [<https://doi.org/10.1016/j.jip.2006.02.005>]
- HUMAN, H., NICOLSON, S.W., DIETEMANN, V. (2006) Do honeybees, *Apis mellifera scutellata*, regulate humidity in their nest? *Naturwissenschaften* vol. 93, n° 8, p. 397-401. [<https://doi.org/10.1007/s00114-006-0117-y>]
- HUMMEL, R., FELTIN, M. (2018) L'abeille ouvrière. *Syndicat des Apiculteurs de Thann et Environs* p. 10.
- IORIZZO, M., LOMBARDI, S.J., GANASSI, S., *et al.* (2020) Antagonistic Activity against *Ascosphaera apis* and Functional Properties of *Lactobacillus kunkeei* Strains. *Antibiotics* vol. 9, n° 5, p. 262. [<https://doi.org/10.3390/antibiotics9050262>]
- JAMES, R.R. (2011) Potential of Ozone as a Fumigant to Control Pests in Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Hives. *Journal of Economic Entomology* vol. 104, n° 2, p. 353-359. [<https://doi.org/10.1603/EC10385>]
- JAMES, R.R., SKINNER, J.S. (2005) PCR diagnostic methods for *Ascosphaera* infections in bees. *Journal of Invertebrate Pathology* vol. 90, n° 2, p. 98-103. [<https://doi.org/10.1016/j.jip.2005.08.004>]
- JOHNSON, B.R. (2009) Pattern formation on the combs of honeybees: increasing fitness by coupling self-organization with templates. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* vol. 276, n° 1655, p. 255-261. [<https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0793>]
- KARIHALOO, B.L., ZHANG, K., WANG, J. (2013) Honeybee combs: how the circular cells transform into rounded hexagons. *Journal of The Royal Society Interface* vol. 10, n° 86, p. 20130299. [<https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0299>]
- KEN, T., HEPBURN, H.R., RADLOFF, S.E., *et al.* (2005) Heat-balling wasps by honeybees. *Naturwissenschaften* vol. 92, n° 10, p. 492-495. [<https://doi.org/10.1007/s00114-005-0026-5>]
- KHAN, M.A., SULEHRI, N.I., TALHA, M., *et al.* (2021) Honey bees show dance pattern to communicate – A review. *World Journal of Biology and Biotechnology* vol. 6, n° 2, p. 15-19. [<https://doi.org/10.33865/wjb.006.02.414>]
- KRALJ, J., BROCKMANN, A., FUCHS, S., *et al.* (2007) The parasitic mite *Varroa destructor* affects non-associative learning in honey bee foragers, *Apis mellifera* L. *Journal of Comparative Physiology A* vol. 193, n° 3, p. 363-370. [<https://doi.org/10.1007/s00359-006-0192-8>]
- KUREK-GÓRECKA, A., GÓRECKI, M., RZEPECKA-STOJKO, A., *et al.* (2020) Bee Products in Dermatology and Skin Care. *Molecules* vol. 25, n° 3. [<https://doi.org/10.3390/molecules25030556>]
- KWADHA, C.A., ONG'AMO, G.O., NDEGWA, P.N., *et al.* (2017) The Biology and Control of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella*. *Insects* vol. 8, n° 2, p. 61. [<https://doi.org/10.3390/insects8020061>]
- LE CONTE, Y. (2009a) Chapitre I: Mieux connaître l'abeille. *In Le traité rustica de l'apiculture*, 3ème édition. Paris, Editions France Agricole, p. 12-51.
- LE CONTE, Y. (2009b) Chapitre II : La vie sociale de la colonie. *In Le traité rustica de l'apiculture*, 3ème édition. Paris, Editions France Agricole.
- LETERRIER, B. (s. d.) Maladie Loque Américaine. *GDS PACA*. [<https://gds-paca.org/maladie-loque-americaaine/>] (consulté le 07/11/2020).
- L'HOSTIS, M. (2015) Quelle place pour l'Abeille mellifère, *Apis Mellifera* au XXIème siècle ? *La Dépêche Vétérinaire* n° 139, p. 4-6.

- LIU, T.P. (1991) Ultrastructural changes in the spore and mycelia of *Ascosphaera apis* after treatment with benomyl (Benlate 50 W). *Mycopathologia* vol. 116, n° 1, p. 23-28. [<https://doi.org/10.1007/BF00436086>]
- LUNA, R.M.L. (2019) Heat and Ozone Use in Beekeeping Practices. *Bee World* vol. 96, n° 1, p. 19-23. [<https://doi.org/10.1080/0005772X.2018.1552492>]
- MAHMOOD, R., ASAD, S., RAJA, S., *et al.* (2014) Control of *Varroa destructor* (Acari : Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera : Apidae) by using Plant Oils and Extract. *Pakistan Journal of Zoology* vol. 46, p. 609-615.
- MANDAL, M.D., MANDAL, S. (2011) Honey: its medicinal property and antibacterial activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* vol. 1, n° 2, p. 154-160. [[https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60016-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60016-6)]
- MANJON, C., TROCZKA, B.J., ZAWORRA, M., *et al.* (2018) Unravelling the Molecular Determinants of Bee Sensitivity to Neonicotinoid Insecticides. *Current Biology* vol. 28, n° 7, p. 1137- 1143.e5. [<https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.02.045>]
- MARTIN, S.J. (1994) Ontogenesis of the mite *Varroa jacobsoni* Oud. in worker brood of the honeybee *Apis mellifera* L. under natural conditions. *Experimental and Applied Acarology* vol. 18, n° 2, p. 87-100. [<https://doi.org/10.1007/BF00055033>]
- MONCEAU, K., BONNARD, O., THIÉRY, D. (2014) *Vespa velutina*: a new invasive predator of honeybees in Europe. *Journal of Pest Science* vol. 87, n° 1, p. 1-16. [<https://doi.org/10.1007/s10340-013-0537-3>]
- MONDET, F., DE MIRANDA, J.R., KRETZSCHMAR, A., *et al.* (2014) On the Front Line: Quantitative Virus Dynamics in Honeybee (*Apis mellifera* L.) Colonies along a New Expansion Front of the Parasite *Varroa destructor*. *PLoS Pathogens* vol. 10, n° 8, p. e1004323. [<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004323>]
- MONDET, F., MAISONNASSE, A., KRETZSCHMAR, A., *et al.* (2016) *Varroa* : son impact, les méthodes d'évaluation de l'infestation et les moyens de lutte. *Innovations Agronomiques* vol. 53, p. 63-80. [<https://doi.org/10.15454/1.513771355641414E12>]
- MORITZ, R., FUCHS, S. (1998) Organization of honeybee colonies: characteristics and consequences of a superorganism concept. *Apidologie* vol. 29, n° 1-2, p. 7-21.
- MULI, E., KILONZO, J., DOGLEY, N., *et al.* (2018) Detection of Pesticide Residues in Selected Bee Products of Honeybees (*Apis mellifera* L.) Colonies in a Preliminary Study from Seychelles Archipelago. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* vol. 101, n° 4, p. 451-457. [<https://doi.org/10.1007/s00128-018-2423-4>]
- NEUMANN, P., ELZEN, P.J. (2004) The biology of the small hive beetle (*Aethina tumida* , Coleoptera: Nitidulidae): Gaps in our knowledge of an invasive species. *Apidologie* vol. 35, n° 3, p. 229-247. [<https://doi.org/10.1051/apido:2004010>]
- NEUMANN, P., HØRTEL, S. (2004) Removal of small hive beetle (*Aethina tumida*) eggs and larvae by African honeybee colonies (*Apis mellifera scutellata*). *Apidologie* vol. 35, n° 1, p. 31-36. [<https://doi.org/10.1051/apido:2003058>]
- NIE, H., WANG, X., XU, S., *et al.* (2020) Changes in the gene expression of chalkbrood resistance in *Apis mellifera* larvae infected by *Ascosphaera apis*. *Apidologie* vol. 51, n° 1, p. 35-47. [<https://doi.org/10.1007/s13592-019-00702-y>]

- PETZ, M., STABENTHEINER, A., CRAILSHEIM, K. (2004) Respiration of individual honeybee larvae in relation to age and ambient temperature. *Journal of Comparative Physiology B*. [<https://doi.org/10.1007/s00360-004-0439-z>]
- POINAR, G., DANFORTH, B. (2006) A Fossil Bee from Early Cretaceous Burmese Amber. *Science* vol. 314, p. 614. [<https://doi.org/10.1126/science.1134103>]
- RAVAZZI, G. (2014) Abeilles et apiculture. Paris, De Vecchi.
- ROFFET-SALQUE, M., REGERT, M., EVERSHED, R.P., *et al.* (2015) Widespread exploitation of the honeybee by early Neolithic farmers. *Nature* vol. 527, n° 7577, p. 226-230. [<https://doi.org/10.1038/nature15757>]
- ROSENKRANZ, P., AUMEIER, P., ZIEGELMANN, B. (2010) Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology* vol. 103, p. S96-S119. [<https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016>]
- SARWAR, M. (2016) Fungal diseases of honey bees (Hymenoptera: Apidae) that induce considerable losses to colonies and protocol for treatment. *International Journal of Zoology Studies* vol. 1, p. 2455-7269.
- SCHÄFER, M.O., PETTIS, J.S., RITTER, W., *et al.* (2008) A scientific note on quantitative diagnosis of small hive beetles, *Aethina tumida*, in the field. *Apidologie* vol. 39, n° 5, p. 564-565. [<https://doi.org/10.1051/apido:2008038>]
- SCHUBNEL, F., HUMMEL, R., FELTIN, M. (2019) Des abeilles et des chiffres. *Syndicat des Apiculteurs de Thann et Environs* p. 6.
- SHERIDAN, A., FULTON, H., ZAWISLAK, J. (2015) The cycle life of the small hive beetle. [https://bee-health.extension.org/wp-content/uploads/2019/08/SHB-Mgt-in-MS_2012_Sheridan-Fulton-Zawislak-1.pdf] (consulté le 16/11/2020).
- SPIVAK, M., GILLIAM, M. (1998) Hygienic behaviour of honey bees and its application for control of brood diseases and varroa. *Bee World* n° 79, p. 18.
- TOMA, B., ALIX, A., BROWN, M., *et al.* (2008) Mortalités, effondrements et affaiblissements des colonies d'abeilles. Rapport de l'AFSSA. Maisons-Alfort.
- TRAIYASUT, P., MOOKHPLOY, W., KIMURA, K., *et al.* (2016) First Detection of Honey Bee Viruses in Wax Moth. *Chiang Mai Journal of Science* vol. 43, p. 695-698.
- VIDAL-NAQUET, N. (2015a) Les abeilles, l'environnement et l'homme: un lien fondamental. *La Dépêche Vétérinaire* n° 139, p. 11-15.
- VIDAL-NAQUET, N. (2015b) Technique apicoles et santé des colonies d'abeilles. *La Dépêche Vétérinaire* n° 139, p. 48-50.
- VIDAL-NAQUET, N. (2015c) Diagnostic et gestion des maladies bactérienne du couvain. *La Dépêche vétérinaire* n° 139, p. 34-39.
- VIDAL-NAQUET, N. (2015d) Le frelon asiatique, *Vespa velutina*. *La Dépêche Vétérinaire* n° 139, p. 51-53.
- WEHBE, R., FRANGIEH, J., RIMA, M., *et al.* (2019) Bee Venom: Overview of Main Compounds and Bioactivities for Therapeutic Interests. *Molecules* vol. 24, n° 16. [<https://doi.org/10.3390/molecules24162997>]

Annexe

Annexe 1 : Support fiche produit

NOM Produit + entreprise	LOGO
Type de produit	
Site d'achat	
Fiche produit	
Caractéristiques / description	
Paramètres mesurés (Précision)	
Réseau et accès aux données	
Fonctions supplémentaires	
Tarifs produit & abonnement	
Divers	

LES RUCHES CONNECTÉES : DESCRIPTION DES OUTILS CONNECTÉS COMMERCIALISÉS EN FRANCE ET PRÉSENTATION DE LEURS INTÉRÊTS

AUTEUR : Maud MAUGER

RESUMÉ :

Les abeilles en tant qu'insecte pollinisateur, ont toujours eu un rôle majeur auprès des écosystèmes et de l'activité humaine. L'apiculture et les techniques apicoles associées se sont développées au fil des années. Malheureusement entre le réchauffement climatique, l'appauvrissement des ressources, l'apparition de maladies et de prédateurs, l'abeille est menacée et sa population tend à décroître. Aujourd'hui la préservation des colonies, de leur bonne santé ainsi que la production de miel requièrent un certain savoir-faire de la main de l'Homme.

L'apparition des nouvelles technologies offre à l'humanité une belle progression dans de nombreux domaines comme la médecine, l'agriculture ou l'industrie. Ainsi depuis quelques années c'est dans le monde de l'apiculture que s'immisce de nouveaux outils connectés. Le métier d'apiculteur est un travail très traditionnel nécessitant une certaine expérience, avec des techniques pointues. Mais avec tous les enjeux que représentent la préservation des colonies, certaines entreprises se sont lancées sur le marché des outils connectés au service des abeilles. Il est donc apparu sur le marché des appareils tels que des balances connectées, des capteurs internes d'humidité ou de température. Ces appareils installés dans les ruches permettent par le biais d'une connexion Internet, de collecter et transmettre les données d'une colonie tout au long de la journée. Ainsi l'apiculteur peut s'appuyer sur cette source d'information afin de suivre au plus près ses ruches et intervenir rapidement et efficacement. Bien que présentant de nombreux avantages ces outils sont encore peu démocratisés étant donné le coût qu'ils représentent mais aussi ces outils doivent faire face à une certaine réticence de la part des apiculteurs.

Le travail réalisé ici a pour objectif de présenter les différents outils disponibles sur le marché français sous forme de fiches produits mais également de mettre en évidence leurs avantages et inconvénients afin d'informer au mieux les apiculteurs, vétérinaires voir le public qui souhaiteraient se pencher sur le sujet.

Il est à noter que ces outils sont en constante évolution et que le perfectionnement et les services proposés ne cessent de progresser. Il existe aujourd'hui à l'étranger des ruches complètement autonomes gérées et traitées par un robot.

MOTS CLÉS : APIS MELLIFERA, APICULTURE, RUCHE CONNECTEE, NOUVELLES TECHNOLOGIES, OUTILS CONNECTES

JURY :

Présidente : Dr Julie RIVIÈRE

Directeur de thèse : Pr Andrew PONTER

Examinatrice: Dr Véronica RISCO-CASTILLO

CONNECTED BEEHIVES: DESCRIPTION OF CONNECTED TOOLS MARKETED IN FRANCE AND PRESENTATION OF THEIR INTERESTS

AUTHOR: Maud MAUGER

SUMMARY:

As a pollinating insect, bees have always had a major role in ecosystems and human activity. Beekeeping and beekeeping techniques have developed throughout time. Unfortunately, in between climate change, resources depletion, the appearance of diseases and predators, bees are threatened, and their population tends to decrease. Today, the preservation of the colonies, their good health as well as the honey production requires a certain expertise.

The appearance of new technologies offers to humanity a good progression in numerous areas like medicine, industry or agriculture. Thus, for the past years, it is in beekeeping that new connected tools have been introduced. The profession of beekeeping is a traditional job that requires experience and very advanced techniques. But with all stakes that the preservation of the colonies represent, some companies have entered the market for connected tools in the bees interest. So, devices appeared on the market for connected tools, such as, connected scales, internal humidity or temperature sensor. These devices set up in beehives, allow, through as internet connection, to collect and transmit data throughout the day. Thus, the beekeeper can rely on this information source to follow its hives as closely as possible and to intervene quickly and effectively. They have many advantages, but these tools are still a little democratized because of the cost they represent, and they face a certain reluctance on the part of beekeepers.

The work carried out here aims to present the various tools available on the French market in the form of product sheets and to highlight their advantages and disadvantages in order to inform beekeepers, vets and even the public that wishes to look in the subject.

It should be noted that these tools are constantly evolving and that the development and services offered are progressing. Abroad, today, exist numerous, autonomous beehives managed and processed by robots.

KEYWORDS: APIS MELLIFERA, BEEKEEPING, CONNECTED BEEHIVE, NEW TECHNOLOGIES, CONNECTED TOOLS

JURY:

Chairperson: Dr Julie RIVIÈRE
Thesis Director: Pr Andrew PONTER
Reviewer: Dr Véronica RISCO-CASTILLO