



HAL
open science

Étude des paramètres déterminant la production de miel de tournesol par les colonies d'abeilles domestiques

Thibaud Lancien

► **To cite this version:**

Thibaud Lancien. Étude des paramètres déterminant la production de miel de tournesol par les colonies d'abeilles domestiques. Sciences agricoles. 2016. dumas-01389569

HAL Id: dumas-01389569

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01389569>

Submitted on 28 Oct 2016

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.

AGROCAMPUS
OUEST

CFR Angers

CFR Rennes



Année universitaire : 2015-2016

Spécialité :

Gestion durable du végétal en horticulture
et paysage

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Etude des paramètres déterminant la production de miel de tournesol par les colonies d'abeilles domestiques

Par : Thibaud LANCIEN



**Soutenu à Agrocampus-Ouest CFR Angers
le 5 septembre 2016**

Devant le jury composé de :

Président : Patrice CANNAVO

Maître de stage : Jean-Francois ODOUX

Enseignant référent : Bruno JALOUX

Autres membres du jury :

Claire MOLITOR

Hervé DANIEL

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du maître de stage ⁽²⁾ :

le 29 août 2016
J. COUVEZ

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur ⁽³⁾ Nom Prénom _____

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement ⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-BY-NC-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :

29/08/2016
J. Couvez

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement ⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Cette page est pour moi l'occasion d'exprimer ma satisfaction d'être venu travailler chaque matin dans l'équipe d'entomologie. Je tiens donc à remercier en premier lieu Jean-François Odoux et Pierrick Aupinel de m'avoir permis d'intégrer cette équipe.

Je tiens à remercier Clovis Toullet et Stéphane Grateau. Ces deux apiculteurs ont toujours pris le temps de répondre à mes questions et ont ainsi contribué à l'acquisition de mes connaissances en apiculture. Je tiens à remercier Thierry Tamic et Mélanie Chariband pour leur aide pluridisciplinaire et leur grande disponibilité, ainsi que Julien Ancelin pour sa sympathie et ses ressources dans l'utilisation des bases de données.

Je remercie également le reste de l'équipe, qui constitue également l'ambiance conviviale et chaleureuse de cette équipe : Claude Hamaide, Dominique Fortini, Daniel Raboteau, Carole Moreauvauzelle, Colombe Chevallereau et l'ensemble des stagiaires.

Aussi, je souhaite remercier particulièrement l'un de mes compagnons de travail, Dimitry Wintermantel, avec qui nous avons travaillé en réelle collaboration au cours de ces derniers mois.

Enfin, je tiens à porter ma reconnaissance envers mon maître d'apprentissage Jean-François Odoux et Vincent Bretagnolle qui m'ont supervisé tout au long de cet apprentissage.

Table des matières

Préambule sur la biologie de l'abeille domestique et les notions apicoles.....	1
I) Introduction	4
1) Contexte général	4
a. Un déclin généralisé	4
b. La situation apicole française	5
c. Les impacts majeurs de ce déclin	5
2) Les menaces exercées sur l'abeille domestique	7
a. Les stress environnementaux.....	7
b. Les pressions d'origines biologiques	9
3) Intérêts et objectifs de l'étude	11
a. Une culture hautement mellifère : Le Tournesol	11
b. Le miel, un critère de performance des colonies	12
c. Construction d'un indicateur.....	13
II) Matériels et méthodes.....	14
1) Le dispositif expérimental ECOBEE	14
2) Acquisition des données	15
3) Analyses statistiques	19
III) Résultats.....	20
1) Analyse des facteurs influençant la production de miel.....	20
2) Evaluation de notre outil d'estimation	27
IV) Discussion.....	30
a. Enchaînement des paramètres intrinsèques au cours du temps.....	30
b. Importance de la démographie sur la productivité.....	31
c. Impact des maladies sur l'efficacité des colonies.....	31
d. Importance des facteurs environnementaux ?	32
e. Potentiel de l'indicateur	33
V) Conclusion.....	35
Références Bibliographiques.....	36
Sitographie	40
Annexes	41

Table des illustrations

Figure 1 : Illustration des éléments composant une ruche (Source image_ http://apiculture-familiale.pagesperso-orange.fr/)	3
Figure 2 : Photographie d'un cadre de corps de ruche situé au milieu de la colonie	3
Figure 3 : Propagation d' <i>Apis mellifera</i> en Europe	4
Figure 4 : Simplification du fonctionnement d'une colonie (<i>Modèle Khoury, 2013</i>)	12
Figure 5 : Localisation de la Zone Atelier	14
Figure 6 : Géolocalisation des ruchers ECOBEE de chaque année sur la Zone Atelier	15
Figure 7 : Mesure de la superficie du couvain (ECOBEE)	15
Figure 8 : Suivi des réserves d'une colonie au cours de la saison 2010	17
Figure 9 : Période de floraison interannuelle de colza et Tournesol (de la première à la dernière fleur) de 2010 à 2015	17
Figure 10 : Correction de la variation temporelle de floraison du tournesol à partir de sa première semaine de floraison	17
Figure 11 : Mesure ColEval à l'aide du cadre de référence (quadrat)	18
Figure 12 : Corrélation temporelle des paramètres intrinsèques sur la production de miel de tournesol	20
Figure 13 : Quantité de miel de tournesol en fonction de la quantité de pollen ramenée en 24h (à -50jours)	22
Figure 14 : Quantité de miel de tournesol en fonction de la population adulte (à -2 semaines)	22
Figure 15 : Quantité de miel de tournesol en fonction de la superficie du couvain (à -2 semaines)	22
Figure 16 : Influence des 2 paramètres démographiques (populations adulte et superficie du couvain) à -2 semaines	22
Figure 17: Influence de la présence de la loque Européenne sur la production de miel de tournesol en fonction la quantité de couvain(semaine -2)	24
Figure 18 : Influence du nombre de maladies recensées avant la miellée sur la production de miel en fonction du couvain(semaine -2)	25
Figure 19 : Influence de la présence de maladies à la semaine -2 sur la production de miel en fonction du couvain(semaine -2)	26
Figure 20 : Estimation du couvain par la méthode ColEval par cadre vis à vis de la méthode ECOBEE	27
Figure 21 : Histogramme des écarts d'estimations par cadre entre ColEval et ECOBEE	27
Figure 22 : Estimation du couvain par la méthode ColEval par ruche vis à vis de la méthode ECOBEE	29
Figure 23 : Photographie d'une fleur de tournesol environ 2 semaines avant sa floraison.	34

Listes des Annexes

ANNEXE I : Illustration des stades de développement des trois castes (reine, ouvrière et faux bourdon) (<i>Traité Rustica de l'apiculture</i>).	1
ANNEXE II : Fiche de notation de mesure ("EXPE") sur ruches par le dispositif ECOBEE.....	2
ANNEXE III : Suivi et sélection des colonies suivies par le dispositif ECOBEE pour l'année 2010	3
ANNEXE IV : Influence de chaque « anomalies sanitaire » sur la production de miel de tournesol en fonction la quantité de couvain(sem-2).....	4
ANNEXE V : Résultats statistiques des modèles linéaires généralisés (Generalised linear Models) effectués pour chaque « anomalies sanitaire ».....	5
ANNEXE VI : Résultats statistiques du modèle linéaire généralisé concernant l'influence du couvain (sem-2), du nombre de maladies observées avant la miellée et leur interaction sur la quantité de miel de tournesol.....	6
ANNEXE VII : Résultats statistiques du modèle linéaire généralisé concernant l'influence du couvain(sem-2), de la présence de maladie (sem-2) et leur interaction sur la quantité de miel de tournesol	7
ANNEXE VIII : Comparaison de la méthode ColEval vis à vis de ECOBEE sur l'estimation de la population adulte et réserves de miel par cadre et par ruche	8
ANNEXE IX : Les chiffres de l'apiculture française de 1995 à 2015(<i>UNAF, 2015</i>).....	9
ANNEXE X : Photographie durant une mesure ECOBEE.....	10

Préambule sur la biologie de l'abeille domestique et les notions apicoles

Dans cette partie, l'objectif est de se familiariser avec l'abeille domestique Apis mellifera L. et les notions de base de l'apiculture. Ce chapitre est indispensable pour la suite afin de comprendre le fonctionnement d'une colonie et le vocabulaire approprié. Cette succincte synthèse a essentiellement été rédigée sur la base de livres apicoles (Winston 1993; Vaissière et al. 2003).

L'abeille domestique est un insecte social, elle vit en colonies. Cette microsociété est constituée de trois castes : une reine, des ouvrières et des mâles également appelés faux-bourdons.

La reine est l'unique femelle fertile, mère de toute la colonie. Son espérance de vie est d'environ 3 ans. Une reine peut pondre au maximum 1500 à 2000 œufs par jour, et jusqu'à 200 000 en an. Les plus représentées au sein de la ruche sont les ouvrières. Ces femelles incomplètes remplissent quant à elles, les tâches domestiques. Leurs fonctions sont variées et suivent un ordre chronologique : nettoyage des cellules, soin du couvain (alimentation, operculation), soins de la reine, soins aux adultes, construction et entretien des rayons, réception et stockage du miel et pollen, gardiennage et enfin butinage. Par ailleurs, selon les besoins de la colonie la chronologie et la durée de ces tâches peuvent s'adapter, on parle de polyéthisme d'âge. La fonction des mâles est de féconder les reines. Ils ne participent pas aux tâches dans la colonie. Les mâles sont présents dans la colonie du printemps et à l'automne. Ils sont présents en grande quantité au mois de juin, au moment de l'essaimage. A l'arrivée des températures plus fraîches, les abeilles cessent de les nourrir et commencent à les chasser de la ruche. En effet, aucune bouche inutile n'est conservée durant l'hiver. Les faux-bourdons, n'ayant pas de pièces buccales adaptées pour butiner, mourront de faim, de froid, ou d'une pique de l'une de ses sœurs.

La biologie de l'abeille domestique

Pour chacune des 3 castes, les stades de développement sont : l'œuf, le stade larvaire, le stade nymphal (isolée du monde extérieur par une couche de cire appelée opercule) et enfin le stade adulte. La durée de ces différents stades varie selon les castes. Les reines, les faux-bourdons et les ouvrières se développent respectivement en 16, 24 et 21 jours (ANNEXE I). L'ensemble de la population larvaire au sein de la colonie est communément appelé couvain. Chaque œuf pondu par la reine peut donner une ouvrière ou une reine. Seule la nourriture reçue à partir du 3^{ème} jour de la larve est la conséquence de la modification du développement larvaire. Les mâles sont issus d'œufs non fécondés (haploïdes). Ils peuvent provenir de la reine ou des ouvrières.

L'essaimage est le processus de division naturelle en deux populations. Lors de l'émergence d'une nouvelle reine au sein de la colonie, l'ancienne reine se voit contrainte de quitter la ruche, accompagnée d'une partie des ouvrières de tous âges, pour former un essaim. Ce dernier se met rapidement en grappe, avant de s'installer définitivement.

Lorsque la colonie est orpheline (mort de la reine), les ouvrières peuvent introniser une nouvelle reine, si la colonie dispose encore de larves d'ouvrières de moins de 3 jours. Dans le cas contraire, sans intervention par l'apiculteur, la colonie est condamnée à disparaître. Les ouvrières se mettent alors à pondre des mâles en grande quantité, pour tenter de sauvegarder la lignée. La colonie devient alors bourdonneuse.

La nutrition

C'est durant leur activité de butinage que les abeilles réalisent inconsciemment la pollinisation. Cette activité permet à l'abeille de récolter deux aliments qui lui sont essentiels : du nectar et du pollen.

Le nectar, stocké dans le jabot des butineuses, est ensuite déshydraté dans la ruche pour former le miel. Ce dernier, formé de carbohydrates, couvre les besoins énergétiques essentiellement chez l'adulte (Brodtschneider et Crailsheim 2010).

Le pollen est amassé, par les butineuses, sur leurs deux pattes arrière pour former des pelotes. Celles-ci sont compactées avec un mélange de nectar et de salive. Afin de pouvoir récolter les pelotes de pollen que ramènent les abeilles à la ruche, l'apiculteur peut placer à l'entrée de la ruche une trappe à pollen. L'évolution des réserves de pollen stockées tout au long de la saison est très significativement corrélée au poids des pelotes de pollens recueillis par ces trappes (Rhoné 2015). Le pollen est butiné à « flux-tendu » (Brodtschneider et Crailsheim 2010). Le pollen constitue la seule source de protéines. La diversité de l'alimentation pollinique augmente l'immunocompétence (Di Pasquale et al. 2013) et a un impact direct sur la santé des abeilles (Alaux, Ducloz, et al. 2010). L'apparition de maladie est généralement associée à un manque de nourriture. De plus, un manque de nourriture augmente la fréquence de comportement de partage, entre les individus, appelé « trophallaxie » et donc le risque de transmissions virales.

La décision par les butineuses de collecter le pollen est extrêmement dépendante du nombre de larves (plus particulièrement de la quantité de phéromones libérée par ces dernières). Cependant, le pollen n'est pas présent de manière continue dans l'environnement et constitue l'élément limitant pour l'élevage du couvain. Il existe donc un phénomène de rétroaction entre l'apport de pollen et le couvain (Pankiw 2007; Keller, Fluri, et Imdorf 2005).

L'architecture d'une ruche

L'ensemble des entités de la colonie (couvain, miel, pollen) sont stockées dans les alvéoles de cire. Via la domestication de l'abeille, l'ensemble de ces rayons de cire est construit sur des cadres, facilement maniable par l'homme. Comme nous pouvons le voir sur l'illustration ci-jointe, une ruche est principalement composée d'un corps de ruche et d'une ou plusieurs hausses (Figure1). Le corps de ruche détient les réserves de miel et de pollen, le couvain ainsi que la majeure partie de la population adulte. Ce modèle de ruche appelé ruche correspond à celui le plus utilisé par la profession apicole.

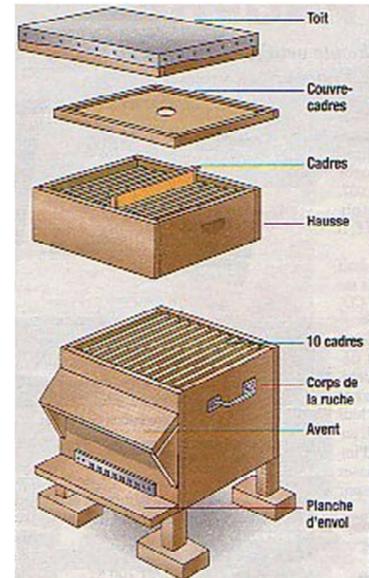


Figure 1 : Illustration des éléments composant une ruche
(Source image_ <http://apiculture-familiale.pagesperso-orange.fr/>)

La figure 2, nous révèle l'organisation spatiale au cœur de la colonie. Ce cadre de corps de ruche contient en son centre le couvain (operculé et ouvert). Autour de celui-ci est stocké le pollen indispensable à leur alimentation. Puis dans l'espace restant nous constatons la présence d'un couvain plus grossier, le couvain mâle. Des réserves de miel sont également présentes en haut du cadre mais également en grande quantité sur les cadres de rive et dans les hausses. Durant la récolte de miel, l'apiculteur récupère les hausses contenant exclusivement du miel. Les réserves de miel maximum contenu dans le corps de ruche sont d'environ 25kg.

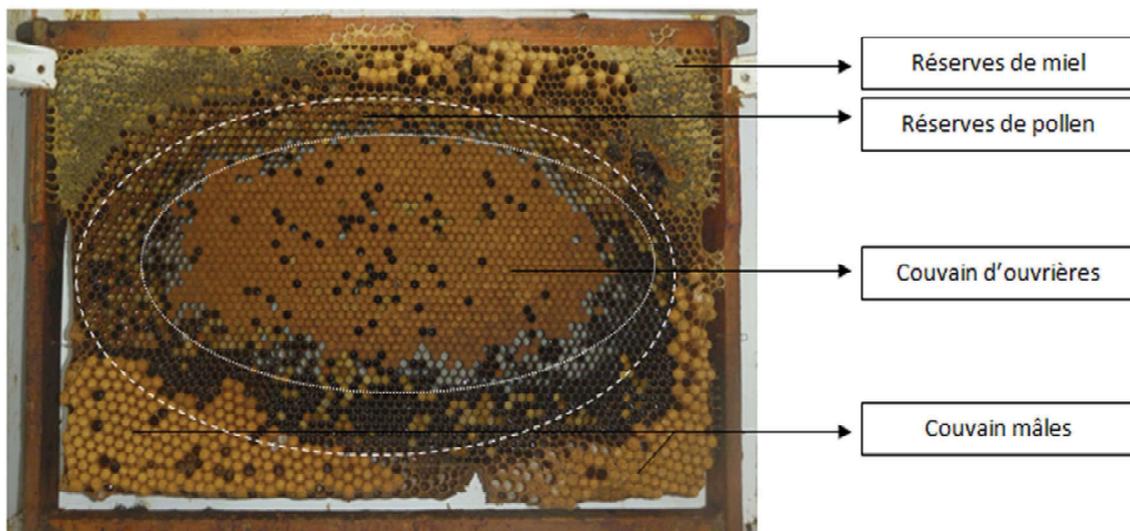


Figure 2 : Photographie d'un cadre de corps de ruche situé au milieu de la colonie

b. La situation apicole française

A l'échelle nationale, le taux de pertes hivernales 2014 en France est de 15,2 %. Ce taux est plus bas que ceux enregistrés en 2013 et en 2012, où ils étaient de respectivement 18,4 % et 17,3 %. Le taux de pertes de ces trois dernières années est nettement inférieur au taux moyen recensé pour la période 2008-2011 qui se situait à presque 25 % (Holzmann, Allier, et Vallon 2012). Malgré des mortalités souvent très importantes, les apiculteurs tentent de reconstituer chaque année une grande partie de leurs colonies d'abeilles pour pérenniser leurs ruchers.

La forte diminution du nombre d'apiculteurs touche également la France. Le nombre d'apiculteurs s'est vu diminué de 40% entre 2004 et 2010. On remarque une professionnalisation de la filière apicole avec un effondrement du nombre d'apiculteurs familiaux (moins de 30 ruches) et une stabilisation du groupe des apiculteurs professionnel qui renforcent leur poids relatif en termes de nombre de ruches. En effet, l'infime proportion des apiculteurs professionnels détient 55 % de colonies et fournit quasiment les 2/3 de la récolte française de miel. Ajouté au déclin de nos apiculteurs, entre 2004 et 2010, la quantité de ruche a diminué de 20%. La production de miel semble suivre cette tendance avec une diminution de 28 % durant ce même laps de temps (ANNEXE IX) (FranceAgriMer 2012). La production intérieure n'étant pas suffisante, c'est près de 28 000 tonnes de miel qui sont importé en 2015 contre une production intérieure d'environ 16 000 tonnes (UNAF 2015).

c. Les impacts majeurs de ce déclin

Outre la production économique des produits de la ruche (miel, pollen, gelée royale, vente d'essaim...) qui s'élève à un chiffre d'affaires de 133 millions d'euros en 2010 (FranceAgriMer 2012), l'abeille domestique joue un rôle primordial sur notre biodiversité et notre production agricole via le service écosystémique de pollinisation.

Intérêt agricole

Le service rendu par la pollinisation vis-à-vis des cultures est aujourd'hui bien documenté. Selon Klein, 75% des principales cultures vivrières mondiales dépendent de la pollinisation entomophile. Toutefois, les volumes de production à l'échelle mondiale accordent un discernement plus contrasté puisque 60% de la production mondiale provient de cultures qui ne dépendent pas de la pollinisation entomophile. La production alimentaire mondiale dépendante de la pollinisation représenterait près de 35% des volumes de production, dont l'exécution serait majoritairement accomplie par les insectes (Klein et al. 2007).

Dans le contexte économique, la valeur de la pollinisation des insectes a été estimée à 153 milliards € en 2005, ce qui représente environ 9,5% de la valeur totale de la production agricole. De plus, les cultures les plus dépendantes de la pollinisation sont celles dont la valeur économique est la plus importante (Gallai et al. 2009).

Intérêt pour la biodiversité végétale

Le déclin de la diversité des pollinisateurs et de l'abondance peut apporter avec elle un déclin des services de pollinisation pour les populations de plantes sauvages. Près de 80 % espèces de plantes sauvages sont directement tributaires de la pollinisation des insectes pour la formation pour des fruits et des graines (Potts, Biesmeijer, et al. 2010).

Bien évidemment, toute la pollinisation animale n'est pas exclusivement assurée par l'abeille domestique. Les abeilles sauvages, bourdons, papillons, et autres insectes jouent également un rôle non négligeable (Potts, Biesmeijer, et al. 2010). Néanmoins, de par son importante force de travail (estimée entre 10,000 et 40,000 individus), l'abeille domestique réalise l'essentiel de pollinisation de la flore et ce sur une large fenêtre de temps (Genersch 2010; Seeley 1985).

Une espèce indicatrice de la situation des pollinisateurs

Particulièrement étudiée, l'abeille domestique est souvent considérée comme une espèce sentinelle de notre environnement et notamment des pollinisateurs. D'autres études relatent aussi du déclin d'autres espèces pollinisatrices. Des baisses importantes d'espèces d'abeilles sauvages ont été observées en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas (Biesmeijer 2006). Aux Etats-Unis, dans l'Etat de l'Illinois, la diversité des espèces de bourdons trouvés historiquement a été réduit de moitié (Grixti et al. 2009). D'autres études témoignent de la réduction des bourdons en Europe (Paul 1982) (Klein et al. 2007).

Cette diminution des pollinisateurs intervient au moment où la demande du service pollinisateur en agriculture ne cesse d'augmenter (Goulson et al., 2015). De plus, l'abeille domestique (*Apis mellifera*) est menacée par un ensemble de facteurs biologiques et environnementaux. Par conséquent, de nombreuses études et programmes de recherche ont été mis en place afin d'élucider les facteurs affectant négativement la santé et la survie de l'abeille.

2) Les menaces exercées sur l'abeille domestique

De nombreux facteurs sont soupçonnés expliquer le déclin de l'abeille domestique. Selon toute vraisemblance, un seul facteur ne peut, à lui seul, illustrer l'ensemble de ce phénomène. Une forte présomption est posée sur le fait que de nombreux facteurs peuvent intervenir au même moment et certainement interagir entre eux (vanEngelsdorp et Meixner 2010; Genersch et al. 2010; Alaux, Brunet, et al. 2010). Malheureusement, bien que certaines synergies aient été partiellement admises, la plupart des interactions restent encore mal comprises.

a. Les stress environnementaux

De nombreux facteurs extérieurs influent sur le développement des colonies. Les stress environnementaux touchés par l'abeille domestique sont essentiellement induits par notre modèle de production agricole intensive. En effet, au cours de la seconde moitié du 20e siècle, l'intensification de l'agriculture en Europe a été associée à des changements drastiques dans les paysages agricoles et une baisse généralisée de la biodiversité des terres agricoles (Le Féon et al. 2010). L'agriculture intensive est caractérisée par une productivité élevée et une forte dépendance en fertilisant et pesticide (Potts, Biesmeijer, et al. 2010).

Une diminution des ressources issues de la flore spontanée

L'abondance florale située autour des ruchers constitue les ressources alimentaires des colonies. Certaines études ont démontré que l'abeille domestique était capable de butiner jusqu'à 10 km de sa colonie (Beekman et Ratnieks 2000). Le rayon de butinage moyen de l'abeille domestique a été estimé à un ordre de grandeur d'environ 1,5 km (Steffan-Dewenter et Kuhn 2003).

La flore sauvage joue un rôle essentiel dans la constitution des ressources disponibles pour les pollinisateurs. Toutefois, les pratiques agricoles influent considérablement sur sa raréfaction. Depuis la seconde partie du XXe siècle, l'apport d'engrais, le désherbage chimique, la faible proportion de prairies permanentes dans le paysage, l'augmentation de la mécanisation ont profondément modifié la flore adventice (Le Féon et al. 2010).

Particulièrement, l'utilisation des herbicides de synthèse a permis un contrôle efficace des communautés d'adventices, dans les champs mais également sur les bordures. Le phénomène de disette alimentaire engendré par l'utilisation d'herbicide est suspecté avoir un effet plus important que les insecticides sur les pollinisateurs (Kearns, Inouye, et Waser 1998; Burel et al. 2008).

Une exposition permanente aux traitements de culture

Les pesticides utilisés à l'encontre des bio-agresseurs constituent une menace majeure pour les pollinisateurs. Ironiquement, la plus grande utilisation des pesticides a lieu sur les cultures où les pollinisateurs sont le plus dépendant (tel que les vergers, le colza, le tournesol)(Kearns, Inouye, et Waser 1998). L'exposition de l'abeille aux produits phytosanitaires est continuellement présente dans son environnement (tant sur les fleurs butinées que dans les réserves accumulées dans la colonie).

Les insecticides peuvent causer une mortalité par intoxication directe sur les pollinisateurs. Par conséquent, l'évaluation du risque posé par les pesticides est principalement basée sur la détermination de la toxicité aiguë en utilisant DL50 comme valeur toxicologique critique (Vidau et al. 2011).

Cependant, dans les années 90, une classe d'insecticides agissant sur le système nerveux central des insectes a fait son apparition : les néonicotinoïdes. L'exposition des abeilles à ce type d'insecticide à faible dose a démontré engendrer des mortalités à des doses sub-létales dont un risque significatif de désorientation et de non-retour à la ruche (Henry et al. 2012). Par ailleurs, ces neurotoxiques systémiques sont aujourd'hui parmi les insecticides les plus utilisés à travers le monde (Simon-Delso et al. 2015). La contamination exercée est extrêmement forte. Des résidus d'imidaclopride, l'un des insecticides les plus connus de cette famille, serait présent sur plus d'une ruche sur deux en France (Alaux, Brunet, et al. 2010).

D'autre part, les molécules fongicides sont beaucoup moins toxiques que les insecticides toutefois via des mécanismes de synergie avec des insecticides, la toxicité de ces mélanges peut s'avérer extrêmement amplifiée (Sanchez-Bayo et Goka 2014).

Une modification conséquente du paysage

L'intensification de l'agriculture a généré des modifications du paysage agricole. L'augmentation des surfaces parcellaires a considérablement réduit la diversité des ressources pour les pollinisateurs. Pourtant, comme nous l'avons vu précédemment cette diversité alimentaire est essentielle dans la santé de l'abeille. L'apparition de ces monocultures (pour la plupart non entomogames) génère des zones désertiques en ressources florales dans le paysage agricole.

Toutefois, il est envisageable de penser que la plantation de cultures de masse de colza et de tournesol pourrait fournir de précieuses ressources pour les pollinisateurs. Cependant, ces ressources surabondantes sont uniquement disponibles pendant de brèves périodes de temps (Decourtye, Mader, et Desneux 2010). Ainsi, la forte discontinuité des ressources florales due à notre paysage agricole rajoute un stress supplémentaire pour l'abeille domestique, lui demandant de se développer avec peu de ressources nectarifères et d'être particulièrement efficace en période de floraison de masse.

b. Les pressions d'origines biologiques

Plusieurs organismes vivants côtoient l'abeille domestique: bactéries, virus, protozoaires, champignons, acariens et insectes. La plupart d'entre eux peuvent être dommageables à la colonie. En effet, au cours des dernières années des preuves se sont accumulées quant à la pression exercée sur la vitalité et la survie des colonies (Hedtke et al. 2011). Nous avons souhaité réaliser une présentation des principaux organismes ou virus néfastes pour l'abeille domestique. C'est un des points qu'il est nécessaire de retenir pour la suite du rapport.

Le parasite - Varroa destructor

Originaire du sud-est de l'Asie, ce parasite obligatoire est particulièrement virulent pour les colonies *Apis mellifera* en Europe. Les femelles varroas se nourrissent sur les abeilles adultes, mais dépendent de couvain d'abeilles pour la reproduction. La situation devient généralement critique en fin de saison (septembre, octobre) lorsque le nombre d'abeilles diminue et que le nombre de varroa reste constant.

Le varroa se nourrit de l'hémolymphe de l'abeille. Ces piqures provoquent un affaiblissement de l'abeille, mais transmettent également de nombreuses maladies non sans conséquence. La situation est telle que sans soins apicoles, les colonies sont décimées au bout de 2 à 3 ans. Pour lutter face à ce parasite, des traitements sont mis en place à l'intérieur des colonies.

Outre le fait de transmettre des virus, *V. destructor* est aujourd'hui connu pour agir en synergie avec plusieurs virus en influençant en outre le système immunitaire de l'abeille. (Hedtke et al. 2011). En effet, la salive des varroas serait capable de diminuer l'expression des gènes gouvernant les réponses immunitaires (Yang et Cox-Foster 2005). En l'absence de *V. destructor*, les virus peuvent être présents dans les colonies d'abeilles sans causer d'infections graves à la colonie (Genersch 2010). Par conséquent, ces virus étaient considérés comme un trouble mineur jusqu'à l'apparition du parasite dans les années 80.

Les virus

Plus 18 virus différents ont été détectés chez *A. mellifera*, et la plupart sont nettement amplifiés par la présence du varroa. Les principaux virus associés aux pertes d'hiver à grande échelle seraient le virus des ailes déformées (DWV), le virus de l'abeille aiguë de paralysie et le virus de l'abeille de la paralysie aiguë israélienne (Dainat et al. 2012).

Le virus des ailes déformé est très étroitement lié à la présence du varroa. Et l'impact négatif de ces 2 facteurs ont été démontré sur la survie des colonies dans de nombreuses publications (Dainat et al. 2012). Les symptômes de cette maladie au sein de la colonie se traduisent pour certaines abeilles par l'émergence d'abeilles présentant des malformations des ailes (vanEngelsdorp et Meixner 2010).

Bactéries –Loque américaine et européenne

La loque européenne *Melissococcus plutonius* est une *maladie grave* de l'abeille. Elle se développe sur le couvain non operculé à l'inverse de la loque américaine *Paenibacillus larvae* qui se développe davantage sur le couvain une fois operculée. La loque européenne est jugée moins grave que la loque américaine (classée comme danger sanitaire de première catégorie), même si cette maladie compromet elle aussi grandement l'avenir de la colonie (Genersch 2010). Les symptômes sont un couvain clairsemé, un avachissement des larves, la prise de couleur jaunâtre à brunâtre. Une odeur acide est généralement associée (vanEngelsdorp et Meixner 2010).

La nosérose (Champignon)

Autre maladie majeure impliquée dans les pertes de colonies (particulièrement observée en Espagne) est la nosérose. Les microsporidies parasites du genre *Nosema* (*N. ceranae* et *N. apis*) engendrent des troubles intestinaux chez l'abeille adulte. Les traces fécales devant la ruche sont un symptôme de la *Nosema apis*, absente dans le cas de *Nosema ceranae*, ce qui rend cette dernière plus difficile à détecter. Les infections par *Nosema spp.* sont connues pour être en corrélation avec la durée de vie réduite des abeilles individuelles, diminution de la performance des colonies, et la mortalité hivernale accrue (vanEngelsdorp et Meixner 2010). De plus, la présence additionnelle de néonicotinoïdes a démontré amplifier le taux de mortalité (Vidau et al. 2011) (Alaux, Brunet, et al. 2010).

La mycose

Parmi les mycoses, la plus commune reste l'ascosphaérose (*Acosphaera apis*), cette dernière s'attaque à la larve et au pollen. Bien que bénigne, son apparition est généralement indicatrice d'une mauvaise régulation de l'humidité et de la température par la population adulte.

Le couvain tubulaire

Le couvain tubulaire également appelé le couvain chauve est la conséquence d'une attaque par la petite teigne (*Achroia Grisella*). La présence de galeries de teigne gêne l'operculation du couvain. Les nymphes apparaissent dans des cellules en relief, ce qui entraîne des malformations de celles-ci.

Autres

Via la mondialisation, d'autres menaces apparaissent tel que l'introduction du frelon asiatique *Vespa velutina* en France en 2010 et la propagation du petit coléoptère *Aethina tumida* en Europe (Arca et al. 2015; Palmeri et al. 2015).

Enfin, certains phénomènes restent inexplicables. En effet, un syndrome d'effondrement des colonies d'abeilles (« *Colony Collapse Disorder* ») a été observé. Caractérisé par un effondrement brutal et massif des abeilles, il reste à ce jour inexplicable (vanEngelsdorp et al. 2012).

3) Intérêts et objectifs de l'étude

Comme nous venons de le voir, la santé de l'abeille est un sujet extrêmement complexe qu'il est essentiel de conceptualiser pour la suite de ce document. Cette complexité nous expose la détresse des apiculteurs face à leurs colonies et implique de pouvoir doter les apiculteurs d'outils d'aide à la décision, comme des indicateurs de performance de la ruche. Il est particulièrement difficile pour un apiculteur d'évaluer ses colonies (sa force, sa vitalité, son potentiel à produire du miel). Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes donc intéressés à la mise au point d'un tel indicateur.

a. Une culture hautement mellifère : Le Tournesol

Le tournesol (*Helianthus annuus L.*) est une grande plante annuelle, appartenant à la famille des Astéracées, ces fleurs sont groupées en capitule de grande dimension. Cette oléagineuse est cultivé pour sa graine riche en huile. La somme de température nécessaire pour atteindre le début de floraison du tournesol varie selon la précocité des cultivars. En moyenne ce dernier est autour de 790 à 900°C au-dessus d'un zéro biologique fixé à 6°C pour cette espèce (Terres Inovia 2013).

Sur l'ensemble des visites effectuées par les pollinisateurs, 90% de celle-ci serait effectuées par l'abeille domestique (Sáez, Sabatino, et Aizen 2012). L'absence de pollinisation conduit à une baisse de rendements aujourd'hui avérée. En effet, la quantité et la qualité du pollen placé sur les stigmates interfère sur le développement de la graine et donc les rendements de la culture (Chamer et al. 2015).

Selon (Requier et al. 2015), en plaine céréalière, 80 % de ressources nectarifères exploitées par les colonies au cours d'une année sont issus des 2 cultures oléagineuses (le colza et le tournesol). Cependant, entre ces pics de floraison, les colonies d'abeilles ont peu de ressources florales à leur disposition et sont potentiellement victimes de disette alimentaire.

b. Le miel, un critère de performance des colonies

La productivité de miel reste le principal objectif de la filière, elle représente plus de 85 % du chiffre d'affaires (FranceAgriMer 2012). Aussi, la production de miel étant dépendante de l'ensemble des entités de la colonie au fil du temps, il constitue potentiellement un bon **critère de performance**. Le modèle de Khoury, nous souligne l'interdépendance entre les différentes entités de la colonie et nous fait remarquer que le miel constitue bel et bien l'aboutissement du travail réalisé par la colonie (Khoury, Barron, et Myerscough 2013). Ainsi, intuitivement, la quantité de miel synthétise également les pressions antérieures exercées sur les différentes entités (maladies, manque de ressources...).

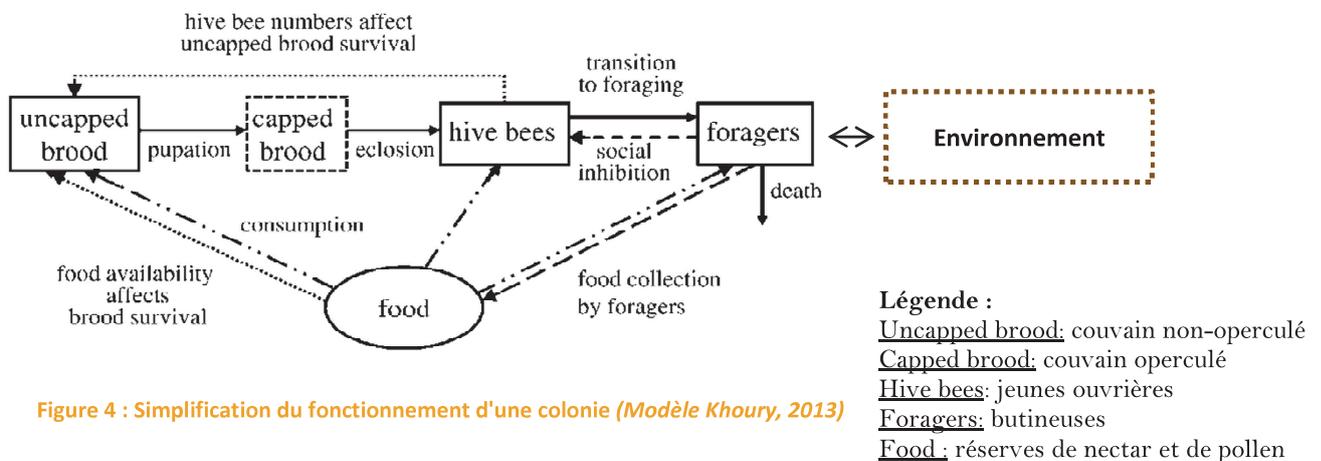


Figure 4 : Simplification du fonctionnement d'une colonie (Modèle Khoury, 2013)

C'est la raison pour laquelle, au cours de cette étude, nous souhaitons déterminer si certains facteurs propres aux colonies pourraient nous permettre de juger du potentiel de production des colonies en miel de tournesol. La miellée de colza et de tournesol ont respectivement lieu avril-mai et juillet-août. Dans le cadre de recherche sur l'expression des mécanismes antérieurs des colonies sur la production de miel, l'étude de la miellée de tournesol semble la plus appropriée. Selon les résultats obtenus, nous tenterons de restituer ces résultats théoriques à l'usage des apiculteurs via la construction d'un outil.

Notre travail sera donc décomposé en deux parties, la première portant sur des analyses théoriques des facteurs influençant la production de miel et la seconde sur la construction d'un outil pour les apiculteurs.

Le cœur de ce travail réside donc dans la problématique suivante :

Est-il possible de concevoir un outil de prédiction de la production de miel de tournesol ?

Nos questions subsidiaires sont donc :

Quelles sont les caractéristiques temporelles d'une colonie productrice en miel ?

Les colonies moins sujettes aux maladies produisent-elles plus de miel ?

Peut-on évaluer rapidement, simplement et en avance la future performance d'une colonie d'abeilles ?

c. Construction d'un indicateur

La construction de ce type d'outil se rapproche de celle d'un indicateur. Sommairement, un indicateur est une information (qualitative ou quantitative) utilisée pour évaluer l'état ou l'évolution d'un système généralement complexe, et que l'on peut difficilement appréhender de manière directe (Manoliadis 2002).

Les données recueillies exigent d'être sensibles au phénomène défini. Les indicateurs ont pour but de capturer l'essence du problème et d'avoir une interprétation normative claire et acceptée (Hak, Kovanda, et Weinzettel 2012).

La méthode de prise de mesures doit d'être la plus simple possible et comparable entre les opérateurs. Ainsi, ces indicateurs ont la capacité de créer un langage et un référentiel commun pour un groupe d'acteurs, leur permettant de communiquer, d'échanger, de comparer leurs résultats (Grosshans et al. 2009).

La finalité de ces indicateurs est d'améliorer notre visibilité pour généralement nous aider à prendre des décisions (Singh et al. 2009). C'est la raison pour laquelle il est essentiel de déterminer les moyens d'intervention dans le sens des orientations établies (Manoliadis 2002). En effet, outre l'intérêt scientifique de cette étude, l'objectif de cet outil serait de permettre à l'apiculteur d'estimer la productivité future de ses colonies et ainsi de prendre les mesures adéquates au vu de cette prédiction (fusion de colonie, changement de reine, mise en élevage d'une colonie à fort potentiel, apport artificiel en sirop, pollen ...).

II) Matériels et méthodes

Afin de répondre aux objectifs attendus, nous utiliserons les données issues du dispositif ECOBEE. Sur ce dernier est réalisé un suivi des colonies d'abeille domestique en conditions réelles de conduite apicole. Il a spécifiquement été conçu pour apporter aux apiculteurs et aux chercheurs des données écologiques de base sur les abeilles, dans les agrosystèmes intensifs.

1) Le dispositif expérimental ECOBEE

Depuis 2008, ECOBEE est implanté sur un territoire d'étude labellisé par le CNRS, la Zone Atelier Plaine & Val de Sèvre. Cette zone d'étude de 45 000 ha, est située au sud du département des Deux-Sèvres en Région Poitou-Charentes. Coordonnée par le CNRS de Chizé, cette infrastructure de recherche permet de mettre en interaction dans l'espace et le temps l'évolution de la biodiversité et des pratiques agricoles. Prenant en compte des disciplines scientifiques variées (écologie, agronomie, sciences sociales et économiques), son objectif est d'inventer un système agricole alternatif au modèle productiviste, afin d'assurer une gestion durable des ressources naturelles. Ainsi les recherches menées par l'unité INRA d'entomologie sur l'abeille domestique trouvent tout naturellement leur place au sein de la zone atelier Plaine & Val de Sèvre.



Figure 5 : Localisation de la Zone Atelier

Ce type d'environnement agricole s'avère être pour les abeilles un territoire majoritairement sous l'influence des pratiques céréalières (avec plus de 45% de cultures de blé sur la surface agricole utile). Ce type de paysage occasionne pour les abeilles deux miellées totalement dépendantes de cultures mellifères : la miellée de colza (début mai) et la miellée de tournesol (début août).

Tenant compte d'une distance moyenne de butinage des abeilles de 1.5 km (Steffan-Dewenter et Kuhn 2003), la zone d'étude a été divisée en 50 carrés de 10 km². Chaque année, 10 de ces zones sont choisies de façon aléatoire pour accueillir un rucher de 5 colonies. Ainsi 50 colonies au total sont disposées chaque année. Le système de sélection est fait de manière à ce qu'au bout de 5 années l'ensemble de la zone atelier est été recouvert par la surface de butinage des colonies ECOBEE.

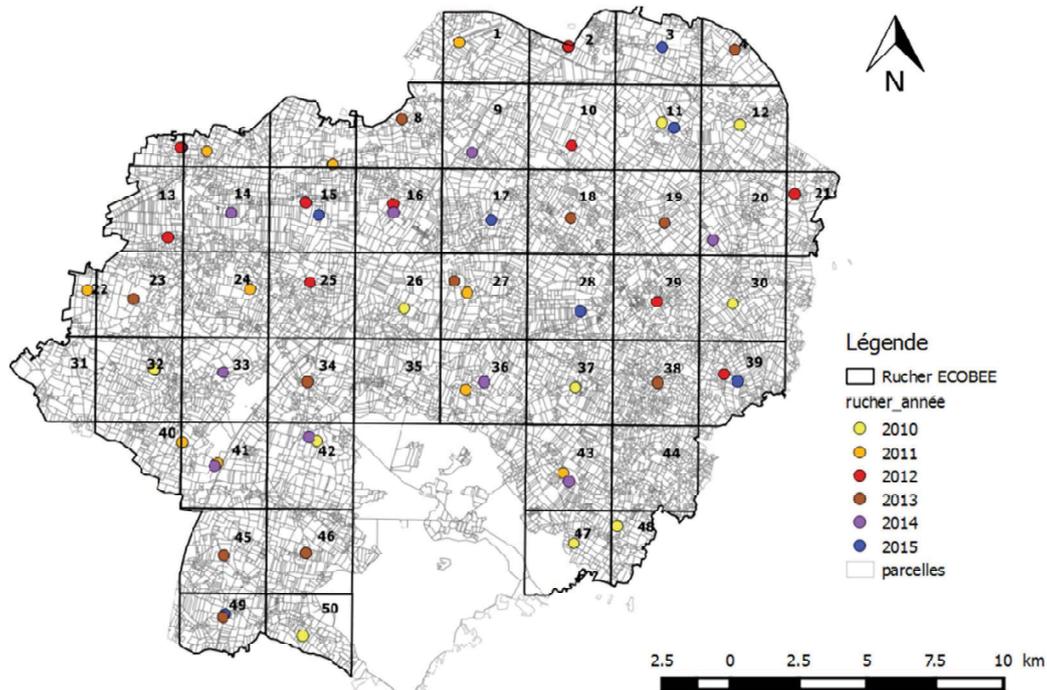


Figure 6 : Géolocalisation des ruchers ECOBEE de chaque année sur la Zone Atelier

2) Acquisition des données

De mars à octobre, trois colonies par rucher sont suivies tous les quinze jours, les deux autres colonies correspondent à des ruches témoins ou " de secours ". Ces mesures « EXPE » nous permettent d'extraire pour chaque colonie observée l'effectif de la population adulte, la surface du couvain d'ouvrière, la surface du couvain mâle, ainsi que le poids des réserves de miel. Ces données sont obtenues grâce à la pesée de chaque cadre avec puis sans abeilles (Détails).



La différence entre ces poids permet d'obtenir l'effectif de la population adulte de chaque colonie. Bien que cette information soit particulièrement précise, les abeilles hors de la ruche ou en vol ne sont pas prises en compte. La population est ensuite calculée par conversion de poids en nombre sur la base de 10^{-4} kg/abeille (Oudou 2009; Oudou et al. 2012).

La superficie du couvain est, quant à elle, évaluée sur chaque face par la mesure d'une ellipse ($S = 0.25 \times (\text{longueur} \times \text{largeur} \times \pi)$).

Figure 7 : Mesure de la superficie du couvain (ECOBEE)

Les cadres pesés sans abeille permettent de déterminer les réserves de miel par soustraction du poids de référence d'un cadre bâti vide (0.335g) et du poids du couvain. Le poids du couvain par cadre est estimé en fonction de la surface de couvain mesurée sur les deux faces, par la relation suivante : $\text{Poids couvain} = \frac{0,6385}{1632} * \text{Surface du couvain}$ (établi par (Odoux 2009)). Le poids de miel dans les hausses est lui aussi relevé à chaque mesure.

D'autres informations portant sur le renouvellement éventuel de la reine et l'état sanitaire de la colonie sont également relevées. L'état sanitaire rend compte des différentes anomalies présentes dans la colonie (présence de varroas phorétiques, couvain tubulaire, nymphes mortes, signes de Loque Européenne, mycose, virus des ailes déformées,...). La feuille de saisie des mesures est disponible en annexe (ANNEXE II).

De plus, chaque ruche est équipée d'une trappe à pollen. Leur mise en service tous les 10 jours permet d'obtenir le poids des récoltes de pollen réalisé pour chaque colonie pendant une durée de 24h. Cette information nous renseigne sur la disponibilité en pollen et la capacité de butinage de chaque colonie.

Tri des données

Depuis son installation, le dispositif ECOBEE n'a cessé d'évoluer, particulièrement à partir 2010. C'est pourquoi, afin d'étudier des données homogènes entre les années, les données traitées ici concerneront seulement les années de 2010 à 2015.

De par sa biologie, notre support d'étude génère également quelques difficultés propres. Par exemple, le phénomène de remérage (lorsque la colonie élève une nouvelle reine) ou l'apparition d'infection sanitaire grave nous amènent à stopper les mesures ECOBEE. Ce sont les colonies « témoins », du même rucher, qui sont mesurées et suivies à leur place. De ce fait, les premières difficultés du projet ont été de réaliser un important travail de visibilité quant au suivi des colonies. La réalisation d'un tableau (ANNEXE III – Tableau 1) nous a permis de recenser de manière synthétique les mesures des colonies. Cet inventaire constitue un réel outil dans la sélection des données. A partir de cette visualisation, nous avons été en mesure de réaliser un tri concernant les colonies qui constitue notre étude. Cet inventaire constitue le support majeur dans la sélection des données utilisées, nous permettant notamment de sélectionner les colonies que nous utiliserons ici.

Ainsi, nous avons retenu pour notre étude les colonies suivies régulièrement sans interruption (particulièrement au cours de la miellée de tournesol) et n'ayant pas subi de changement de reine mère (ANNEXE III – Tableau 2).

Recherche d'un outil rapide et précis

Dans un deuxième temps, au cours de notre étude, nous avons mis en place des expérimentations afin de mettre au point une méthode d'évaluation rapide et précises des différents composants de la colonie (population adulte, couvain, quantité de réserves...). Suite à nos investigations, nous avons choisi d'expérimenter une méthode d'évaluation basée initialement sur l'estimation visuelle de la surface de cadre occupée par les abeilles, la méthode d'évaluation de Liebefeld (Imdorf et Luzio 1999). Aujourd'hui, cette méthode d'évaluation est utilisée pour estimer l'ensemble des entités qui compose la colonie, la Méthode ColEval (Maisonasse et al. 2013).

La méthode ColEval, développée par l'INRA et l'UMT-Prade, est basée sur une évaluation en pourcentage d'occupation du couvain, des réserves de miel, de pollen et des abeilles sur chaque face des cadres que compose la colonie. Cette évaluation visuelle se fait en pourcentage (par pallier de 5%) de la place occupée par l'entité étudiée sur le cadre, l'ensemble de la surface de cadre représentant 100%. Contrairement aux données collectées sur le dispositif ECOBEE, cette évaluation est considérée bien plus rapide (estimé à 5-6 minutes par colonie pour les expérimentés). Cependant, cette méthode pourrait s'avérer être moins précise. Toutefois, dans la recherche d'outils à destination des apiculteurs, cette méthode a éveillé notre intérêt et nous avons choisi de vérifier sa précision à partir des données ECOBEE.

La méthode ColEval nécessite un œil expérimenté pour être appliquée. Par rigueur, nous avons donc choisi de nous munir d'un cadre divisé en 20 carrés égaux soit équivalant à une aire de 5 % de la totalité du cadre. Ce quadrat est utilisé en guise d'aide pour mesurer le pourcentage de couverture des surfaces occupées. Comme en écologie, ces recouvrements nécessitent de considérer chaque carré rempli en totalité. Lorsque ces recouvrements sont dispersés, il est alors nécessaire de réaliser une approximation mentale pour évaluer au mieux ce recouvrement.



Nous avons, donc, durant deux mesures « ECOBEE », ajouté en parallèle l'évaluation ColEval. Ainsi, près de 60 colonies ont été mesurées par ces 2 méthodes. Les entités comparées ont été la population adulte, les réserves de miel et la surface du couvain.

Figure 11 : Mesure ColEval à l'aide du cadre de référence (quadrat)

3) Analyses statistiques

Nous avons utilisé des méthodes simples comme les corrélations (coefficient de corrélation R^2), des régressions linéaires simples, ou enfin avons fait appel à des statistiques plus élaborées comme les Generalised Linear Models (GLM), qui nous ont permis de tester l'effet de plusieurs variables simultanément.

Dans un deuxième temps, à partir des mesures effectuées, nous avons comparé les deux méthodes de mesure ECOBEE et ColEval.

L'ensemble des résultats suivants auront été traitées à partir du logiciel R. Le degré de significativité est fixé à 0.05 et les postulats des modèles appliquées auront été vérifiés (test de normalité et homoscedasticité). Le tableau des corrélations nous a été permis grâce au package "corrplot". Les régressions linéaires ont été réalisées à partir du package "ggplot2".

III) Résultats

1) Analyse des facteurs influençant la production de miel

Evolution des corrélations entre le miel de tournesol et les éléments de la ruche au cours du temps

L'analyse des régressions simples entre chacun des paramètres et la variable à expliquer est résumée dans le tableau de corrélations ci-dessous. Ce dernier nous permet d'identifier rapidement quels des paramètres au cours du temps influencent la production de miel de tournesol. Comme nous l'avons défini précédemment, la première semaine de floraison de tournesol constitue notre point de référence temporel (« la date 0 »). La miellée de tournesol, à proprement parler, a lieu quelques semaines plus tard entre la semaine 2 et 4. Les réserves de miel, la population et les superficies de couvain mâles et femelles sont estimées tous les 15 jours. C'est la raison pour laquelle le pas de temps est de 2 semaines pour le premier tableau. De même, la quantité de pollen récolté sur 24h est observée tous les 10 jours, lors du branchement des trappes à pollen. Ce paramètre est donc étudié sur un intervalle de 10 jours.

Chaque case de ce tableau (Figure 12) matérialise le coefficient de la corrélation (ici exprimé en %) entre la production de miel de tournesol et le paramètre intrinsèque étudié à un intervalle de temps donné. Ce coefficient de corrélation, compris entre -1 et 1, permet d'étudier la dépendance entre ces variables. Plus cette valeur est proche de 1, plus le paramètre observé à cet intervalle est corrélé positivement à la production de miel de tournesol. Plus cette valeur est proche de 0, plus le paramètre observé à cet intervalle est indépendant de la production de miel de tournesol. Les cases barrées constituent les corrélations non-significatives à la p-valeur de 0.05.



Figure 12 : Corrélation temporelle des paramètres intrinsèques sur la production de miel de tournesol

Nous constatons que les réserves en miel dans le corps de ruche n'influent pas réellement sur la production de miel de tournesol avant la miellée. Evidemment, ces variables deviennent corrélées à partir de la miellée puisque une partie des réserves sont stockées dans le corps de ruche.

La population adulte semble jouer un rôle particulièrement fort sur la production de miel de tournesol juste avant la miellée (semaine -2 et 0). Ce résultat n'est pas surprenant, puisque la population adulte constitue la force de butinage de la colonie. Toutefois, cette variable devrait être particulièrement corrélée durant la miellée du tournesol (semaine 2 et 4), ce qui n'est pas le cas. Cela pourrait résulter du fait que durant la période de la miellée beaucoup d'abeilles adultes se situent hors de la ruche et ne sont donc pas estimées durant les mesures ECOBEE.

En amont, le couvain d'ouvrière jouerait un rôle particulièrement important entre les semaines -4 et -2 sur la production de miel de tournesol. Le couvain d'ouvrière constitue la future population adulte, et au vu des résultats précédents, ce résultat est donc logique.

Le couvain mâle ne semble pas être un indicateur performant de la productivité des colonies durant la miellée de tournesol. Le couvain mâle est généralement lié à la démographie de la population particulièrement d'avril à juillet (période d'essaimage), ce qui pourrait correspondre au signal perçu à la semaine -12.

Enfin la quantité de pollen recueillie dans les trappes semble, elle aussi, être corrélée positivement au cours du temps à notre variable expliquée particulièrement aux environs de 60 à 40 jours avant la floraison de tournesol.

Nous retrouvons d'ores et déjà, notre chaîne de cascade envisagée préalablement : pollen>couvain>population adulte>collecte de nectar>Miel, cette chaîne se déroulant de manière séquentielle dans le temps au gré de la saison.

Influence des paramètres les plus significatifs

Par la suite, nous avons souhaité visualiser graphiquement, par le biais de régressions linéaires, les signaux perçus précédemment. En effet, déterminer la corrélation entre 2 variables numériques revient à chercher la liaison qui existe entre les variables à l'aide d'une droite.

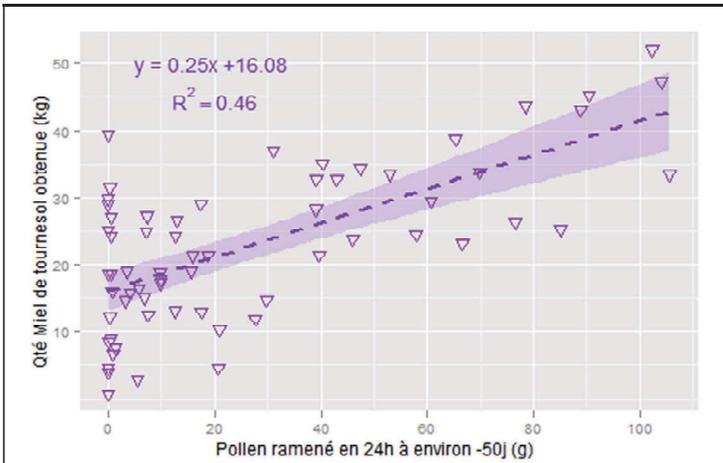


Figure 13 : Quantité de miel de tournesol en fonction de la quantité de pollen raménée en 24h (à -50jours)

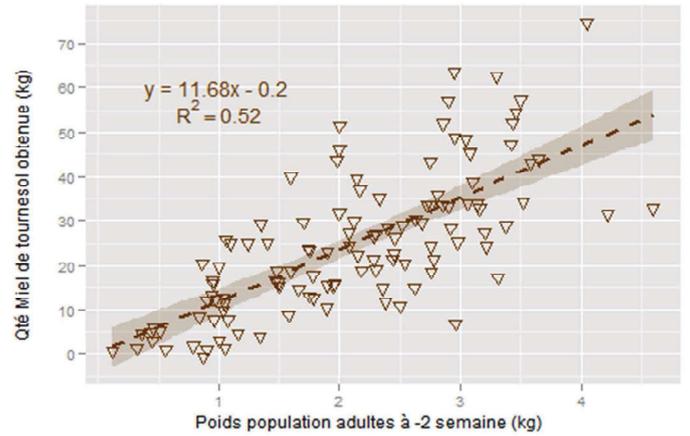


Figure 14 : Quantité de miel de tournesol en fonction de la population adulte (à -2 semaines)

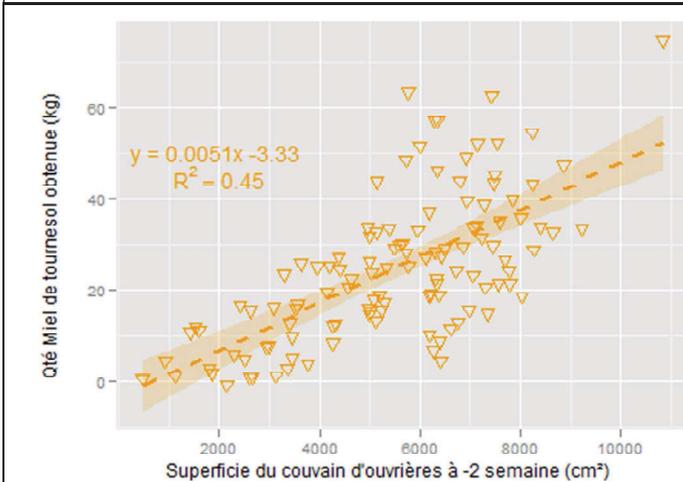


Figure 15 : Quantité de miel de tournesol en fonction de la superficie du couvain (à -2 semaines)

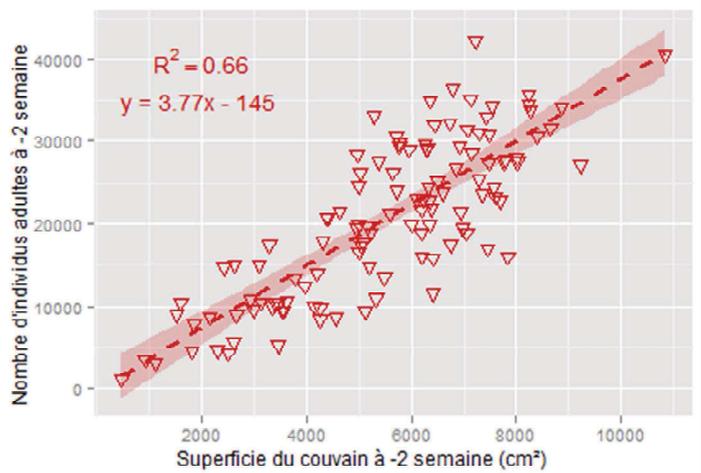


Figure 16 : Influence des 2 paramètres démographiques (populations adulte et superficie du couvain) à -2 semaines

Les régressions linéaires ci-dessus, nous permettent de visualiser clairement l'effet positif des 3 paramètres identifiés ci-dessus sur la quantité de miel de tournesol produite. L'ordonnée à l'origine semble sensiblement être négligeable pour les variables démographiques.

La quantité de pollen ramenée soulève cependant une anomalie, puisque à l'intercept ($x = 0$), de nombreuses colonies n'ayant pas ramenées de pollen, à la période étudiée, génèrent une production de miel très variable. Cette observation souligne les limites de cette variable calculée seulement sur 24 heures.

Le coefficient directeur de ces droites décrit l'intensité de la dépendance des variables étudiées. Ce dernier nous renseigne aux périodes de temps établies :

- Chaque kilogramme d'abeilles adultes (estimé à 10000 adultes) nous prédit plus de 11kg de miel
- Une superficie de 1000 cm² de couvain d'ouvrières nous prédit 5kg de miel de tournesol
- Un poids de 25g de pollen recueilli dans les trappes nous prédit 10 kg de miel de tournesol

Pour chacune de nos régressions, le R² avoisine 0.5. Ce coefficient de détermination mesure la qualité de la prédiction de notre modèle. Il varie entre 0 et 1, plus celui-ci est fort, plus le pouvoir prédictif du modèle est juste. Dans notre cas, au vu des valeurs des R² fortement similaires entre ces 3 régressions, nous pouvons conclure que notre modèle de prédiction est fort, notamment en écologie. Bien que cette valeur soit forte, il existe malgré tout une part importante de variation inexpliquée (la moitié environ) dont nous allons tenter de découvrir la nature afin d'améliorer notre prédiction.

Nous avons également souhaité connaître l'influence entre les 2 paramètres démographiques à un même instant, soit deux semaines avant l'apparition des premières fleurs de tournesol. Bien que la régression figure 16, ne soit pas optimale, nous observons une forte dépendance entre ces 2 variables à un même instant. Le coefficient directeur nous indique que 1 cm² de couvain nous prédit près de 3.77 individus adultes. Ce résultat semble logique puisque la surface d'un cadre de 11,34 dm² se compose d'environ 4000 cellules, soit 3,52 cellules par cm². La quantité de larves et d'individus adulte semble identique à cette période. A travers ces résultats, la mesure du couvain pourrait donc nous permettre d'estimer la taille de la population adulte.

L'évaluation du pollen dépend de l'utilisation de trappes à pollen, ce qui semble un matériel trop coûteux et compliqué à utiliser pour des apiculteurs, et donc un indicateur peu utile. De même, l'évaluation de la population adulte des colonies nous semble particulièrement fastidieuse pour les apiculteurs. De plus, leur nombre d'individus adultes varie selon l'heure de la journée et les conditions climatiques. Ainsi nous avons choisi d'approfondir nos recherches sur la superficie du couvain, cette dernière nous semblant tout aussi juste et la plus simple à mesurer.

Influence des maladies sur la relation entre le couvain et miel de tournesol

A présent, nous analysons l'influence des « anomalies/maladies » recensées au cours de nos mesures sur chaque colonie avant le début de la miellée étudiée.

Ainsi, pour chaque maladie, un graphique comprenant 2 régressions linéaires (entre le couvain et miel de tournesol) ont été réalisées. L'une de ces régressions caractérise les colonies n'ayant pas présenté la maladie au cours des mesures réalisées avant la miellée. La seconde caractérise les colonies dont la présence de l'anomalie étudiée était avérée au moins une fois au cours de ces mêmes mesures. La réalisation de ces graphiques pour chaque maladie est visualisable en annexe, le graphique ci-dessous illustre l'influence de la loque européenne (Figure 17).

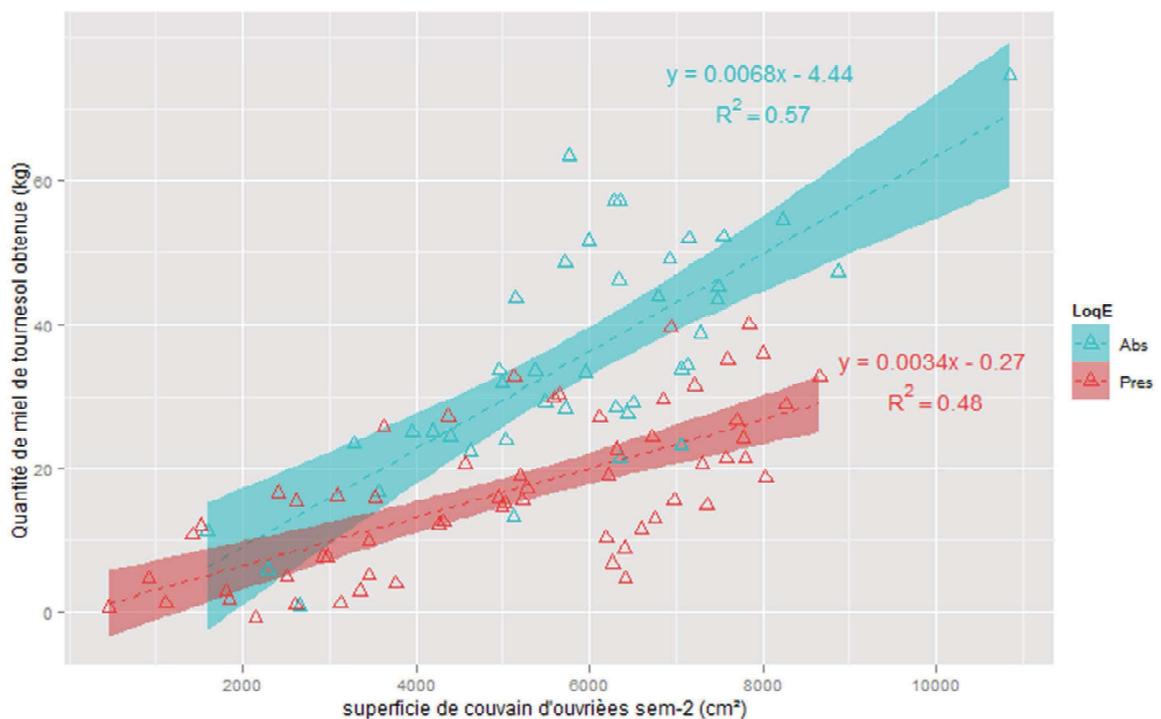


Figure 17: Influence de la présence de la loque Européenne sur la production de miel de tournesol en fonction la quantité de couvain(semaine -2)

Ce graphique nous indique que le pouvoir explicatif du couvain est amélioré avec la variable « loque », puisque les deux régressions diffèrent significativement. Ainsi, en présence de loque, à quantité de couvain égale, les colonies produisent 2 fois moins de miel. Graphiquement, la présence de mycose semble également présenter une influence sur la productivité des colonies (ANNEXE IV) du même ordre que la loque européenne.

Le couvain tubulaire est une maladie très fréquente au sein des colonies. Au lieu d'utiliser des modalités de présence/absence, nous avons réalisé un ratio entre la présence de cette anomalie et le nombre d'observations réalisées. Nous avons ainsi construit 3 classes (faible : compris entre 0 et 0.33, moyen 0.33 et 0.55, fort : observé à une fréquence de plus

de 0.55). La fréquence d'observation du couvain tubulaire ne semble pas avoir d'effet important sur notre modèle. De même, la présence des autres « anomalies » détectées (varroa phorétique, virus des ailes déformées, nymphes mortes) ne semble pas présenter un effet significatif sur notre modèle retenu. Ces graphiques nous démontrent que selon les maladies leurs influences sont plus ou moins marquées. Ces déductions graphiques ont été confirmé statiquement (ANNEXE V).

Toutefois, de manière générale la présence de ces symptômes communément détectée dans les colonies par les apiculteurs semble toujours être néfaste à la production de miel de colonie. Des colonies ayant la même quantité de couvain semblent, de manière générale, moins performantes en présence de maladie. Aussi, nous pouvons remarquer une légère amélioration de notre modèle (R2) par la prise en compte de ces facteurs (hormis pour le couvain tubulaire).

Toujours à la recherche d'un indicateur simple, nous avons souhaité quantifier l'influence du cumul des maladies recensées au cours de nos mesures avant le début de la miellée étudiée. Au regard des résultats précédents, le couvain tubulaire a été exclu. De la même manière, nous avons réalisé 3 régressions linéaires convenues selon les modalités suivantes [0 à 1 maladies obs] ; [2 à 5 maladies obs] ; [6 maladies obs et +]. Ces modalités ont été fixé de manière à ce que chaque classe contienne environ le même nombre de données (3 masses de probabilités égales) (Figure 18).

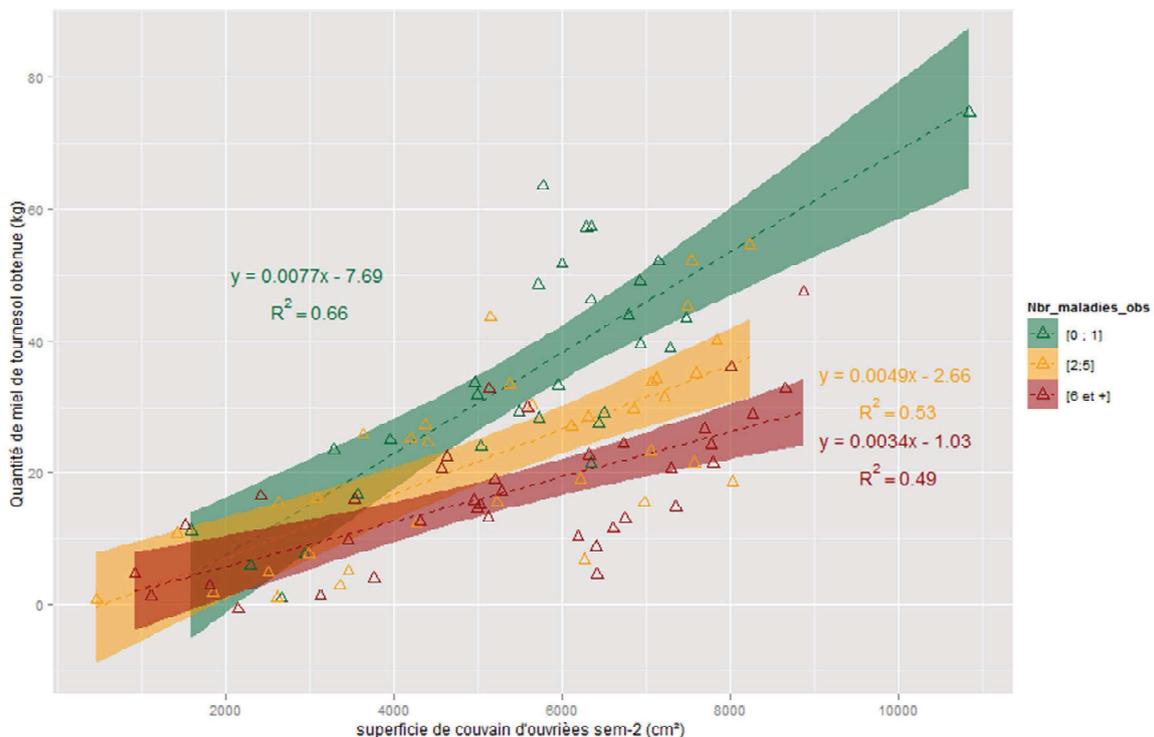


Figure 18 : Influence du nombre de maladies recensées avant la miellée sur la production de miel en fonction du couvain(semaine -2)

Ce graphique semble mettre en évidence que le simple recensement des maladies effectuée avant la miellée permet de prédire la productivité des colonies. Le modèle initial reste le même mais la pente semble diminuer progressivement sous la pression du nombre maladies recensées. La prédiction du modèle (R2) pour les colonies ne présentant pas ou peu de maladie est autour de 66%.

Afin de confirmer statistiquement et de manière robuste tous ces résultats, nous avons réalisé un modèle linéaire généralisé (GLM). Les modèles linéaires généralisés permettent d'étudier la liaison entre une variable réponse Y (quantité de miel de tournesol dans notre cas) et un ensemble de variables explicatives X_1, \dots, X_k (Superficie du couvain d'ouvrière, Nombre de maladies observées). Les résultats sont disponibles en annexe (ANNEXE VI) : ils nous montrent que nos 3 modalités concernant les maladies sont significativement différentes 2 à 2 et influent en interaction au modèle miel ~ couvain. En d'autres termes, la superficie du couvain et la quantité de maladies observées avant la miellée influencent significativement la quantité de miel de tournesol.

Nous avons testé si une variable simplifiée avait le même pouvoir prédictif, à savoir si les observations sanitaires réalisées au moment où est effectuée la mesure du couvain (2 semaines avant le début de la miellée), a le même effet. Graphiquement, la présence de maladies semble engendrer une forte baisse de productivité des colonies, à hauteur d'environ 30% ($\frac{0,0061-0,004}{0,0061} \times 100$) (Figure 19). Remarque : la quantité de données étant moins importante, nous avons uniquement pris en compte les modalités de présence et d'absence afin d'utiliser un nombre de données équivalent.

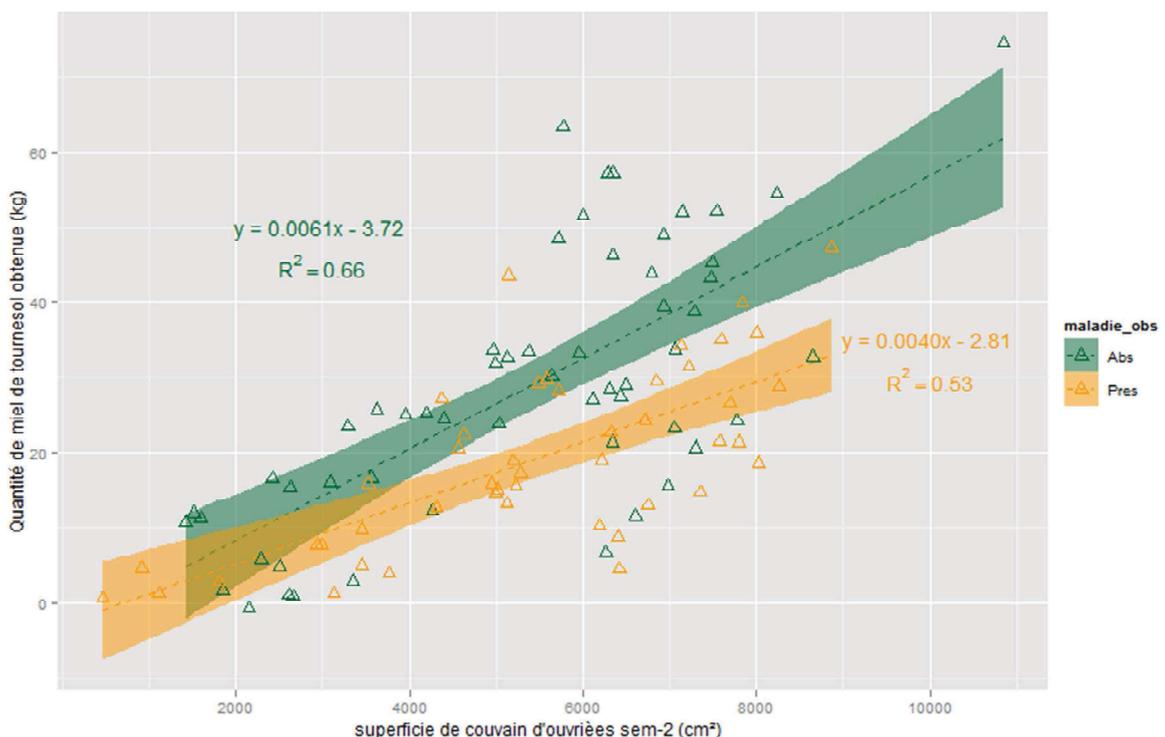


Figure 19 : Influence de la présence de maladies à la semaine -2 sur la production de miel en fonction du couvain(semaine -2)

De même, nous avons réalisé un GLM afin de vérifier la significativité de notre effet Absence/Présence de maladies. La p-valeur de ce test est de 0.0546. Bien que la p valeur soit généralement fixé à 0.05, nous pouvons considérer qu'il existe un effet significatif par la présence de maladies à cette date sur la relation étudiée (ANNEXE VII).

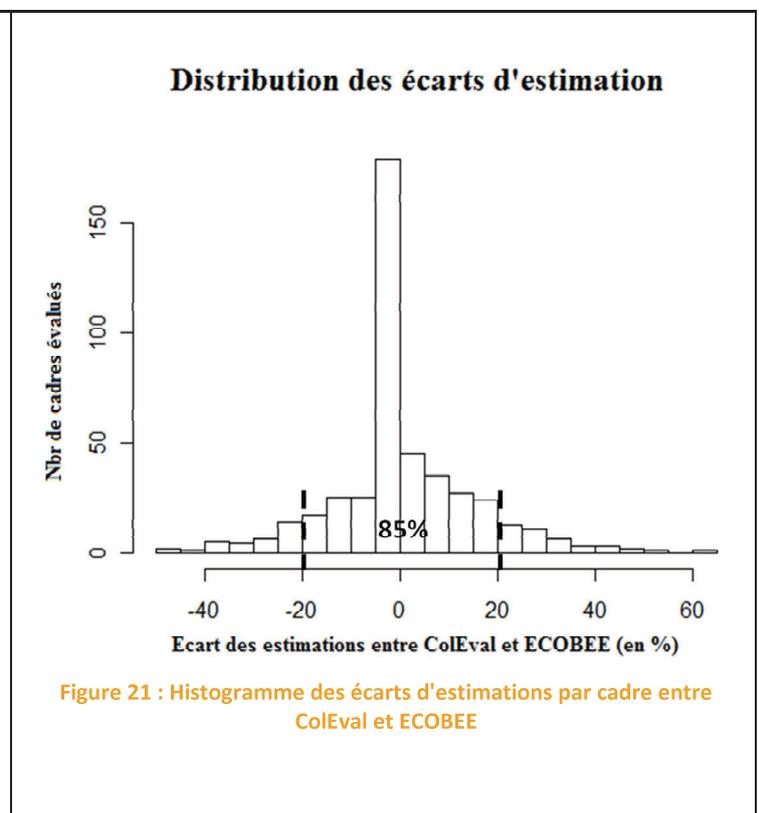
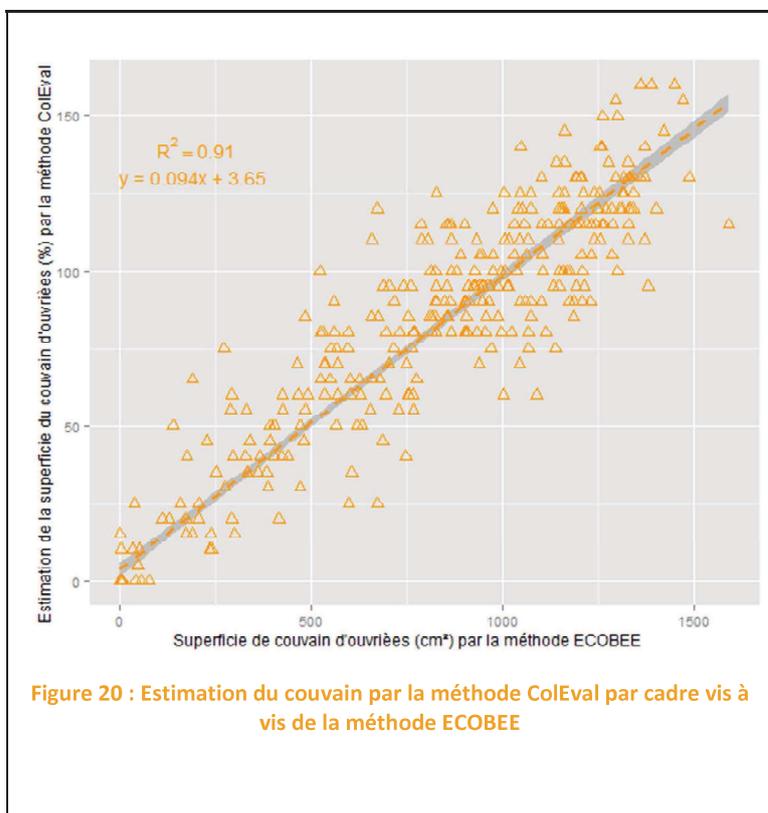
2) Evaluation de notre outil d'estimation

Notre second objectif était de définir des méthodes simples et rapides pour l'apiculteur pour évaluer les colonies. Ainsi, nous nous sommes intéressés à la méthode ColEval pour laquelle nous avons souhaité comparer sa précision par rapport à ECOBEE. Les paramètres comparés étaient l'estimation de la population adulte, du couvain d'ouvrières et les réserves de miel dans le corps de ruche.

Au vu des résultats précédents, nous nous intéresserons particulièrement à l'estimation du couvain, les graphiques concernant les autres paramètres comparés seront consultables en annexe.

Comparaison par cadre

Dans un premier temps, nous avons comparé la précision de ColEval en fonction de ECOBEE à l'échelle du cadre, soit la somme des 2 faces pour les mesures réalisées sur chaque face. Les graphiques (Figure 20, ANNEXE VIII), nous permettent de visualiser la forte corrélation entre ces 2 mesures par des méthodes différentes.



Comme nous l'attendions, la superficie du couvain s'avère être la variable la mieux estimée avec un R^2 de 0,91 (à noter cependant une légère surestimation par la méthode ColEval). Le nuage de points semble bien suivre un modèle linéaire, le coefficient directeur de la régression est de 0.10 (ainsi 5% estimée par la méthode ColEval équivaut à 50 cm² de la superficie du couvain, ce qui correspond à notre quadrat). La population et les réserves semblent globalement aussi bien évaluées. Nous pouvons remarquer une saturation de la méthode ColEval vis-à-vis de l'estimation des quantités de miel par cadre. En effet, la méthode ColEval ne portant que sur la surface occupée, il est évident que cette dernière ne puisse être aussi précise que la pesée.

Malgré un R^2 particulièrement élevé due au nombre de données disponibles, ces graphiques mettent en évidence une marge d'erreur importante si l'on essaie d'évaluer par ColEval le couvain d'un seul cadre. Certains points, bien que peu nombreux, sont en effet extrêmement loin de la régression. Par exemple, une valeur 100 de ColEval correspond à des surfaces de couvain allant de 500 à 1250 !

Dans le but de quantifier cette marge d'erreur, l'histogramme (Figure 21), nous illustre la répartition des écarts entre les estimations de ces deux méthodes sur l'évaluation de la quantité de couvain, sur les 450 cadres évalués. La distribution des résidus étant normale, la majorité des erreurs est proches de la moyenne. Ce graphique nous informe que 85% des données sont comprises dans un écart d'estimation 20% entre ColEval et Ecobee.

Comparaison par ruche

Lorsque nous comparons à présent ces deux méthodes à l'échelle de la ruche, nous constatons que les données sont bien mieux centrées autour de la régression linéaire, c'est ce qui était attendu puisque maintenant, 10 cadres sont mesurés par ruche, ce qui améliore la précision (Figure 22, ANNEXE VIII). Le cumul des cadres estimés a permis d'estomper les erreurs d'estimation visuelle commises pour chaque cadre.

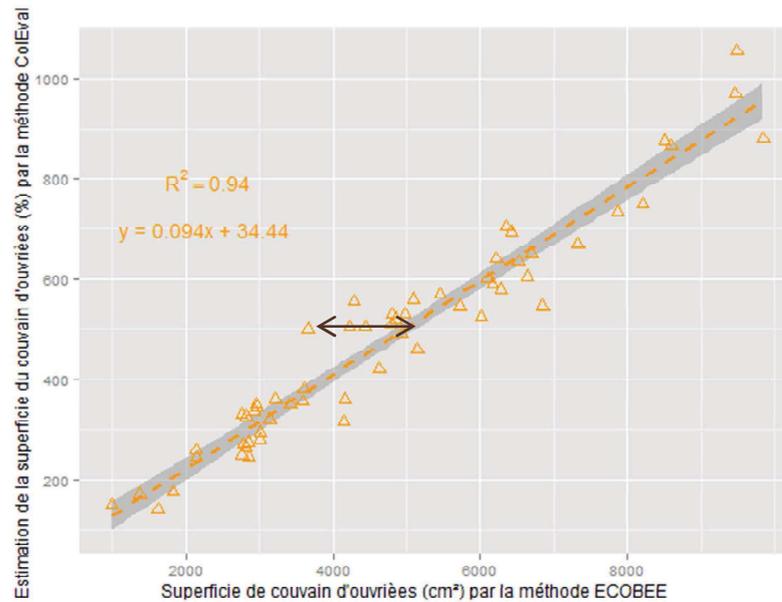


Figure 22 : Estimation du couvain par la méthode ColEval par ruche vis à vis de la méthode ECOBEE

Toutefois, comme nous pouvons le voir \leftrightarrow , avec une estimation de 500 unités ColEval, la surface de couvain varie de 3800 à 5000 cm². Ainsi, pour cet exemple, à partir de la formule: $erreur\ relative\ (\%) = \frac{valeur\ estimée - valeur\ réelle}{|valeur\ réelle|}$, nous pouvons estimer une erreur relative de 24% de la prédiction attendue.

De la même manière que pour les cadres, il est encore possible d'améliorer cette estimation via un cumul de plusieurs ruches, par exemple les ruches d'un rucher. Nous pouvons envisager que l'apiculteur réalise les mesures ColEval sur l'ensemble des colonies d'un rucher et ainsi estimer avec une plus grande précision la quantité de couvain de son rucher. Plus le nombre de ruches évaluées sera important plus la surface de couvain totale estimée sera précise.

IV) Discussion

a. Enchaînement des paramètres intrinsèques au cours du temps

Notre tableau des corrélations a mis en évidence une cascade temporelle des paramètres démographiques, qui débute par l'importance du pollen, suivie du couvain et de la population adulte, dans la production de miel des colonies. L'interdépendance du pollen et du couvain est bien connue (Pankiw 2007; Keller, Fluri, et Imdorf 2005). De plus, cet enchaînement a déjà été mise en évidence, (Requier et al. Unpublished) où le pollen de printemps affecte la survie hivernale des colonies. Ces travaux démontrent que le manque de pollen confère aux colonies une baisse de leur démographie par l'affaiblissement de leur progéniture, ayant par la suite une répercussion sur leur quantité de réserve et leur population adulte. Au-delà de la baisse de récolte de miel incombé pour l'apiculteur, l'analyse souligne le risque d'une diminution du taux de survie des colonies ayant subi ces répercussions. En effet, la taille de la population adulte et les réserves de miel avant l'hiver sont des facteurs essentiels dans la survie des colonies.

Particulièrement focalisés sur la production de miel de tournesol, nos résultats nous ont permis de déterminer les dates clés de cet enchaînement pour chacun de ces paramètres. La production de miel de tournesol semble être extrêmement influencée par le pollen 40 à 60 jours avant la floraison du tournesol (soit aux environs de début mai), par le couvain d'ouvrières 4 à 2 semaines avant (soit au cours du mois de juin durant la période de disette) et par la population adulte deux semaines avant (soit autour de fin juin début juillet).

Toutefois, bien que la quantité de pollen ramenée sur 24h soit fortement corrélée à la production de miel, cette relation présente un défaut. Nous avons constaté graphiquement que les colonies n'ayant pas ou peu ramené de pollen ont présenté une grande variabilité quant à leur capacité de produire du miel. Nous pouvons suspecter que les conditions climatiques ont certainement gêné l'activité de butinage des colonies qui en avaient la capacité. Avec du recul, nous aurions certainement dû prendre faire une moyenne sur 3 dates (à -60, -50 et -40 par exemple). Toutefois, ces résultats confirment la nature complexe des phénomènes, et de l'importance du pollen recueilli dans les trappes comme indicateur de performance. Malheureusement, quantifier le pollen butiné est onéreux, chronophage (car il demande l'activation et la désactivation des trappes) et tributaire des conditions météorologiques.

b. Importance de la démographie sur la productivité

Nous avons souhaité connaître l'influence des paramètres démographiques, aux intervalles de temps précédemment établis, sur la productivité en miel de tournesol. Selon les coefficients directeurs de nos régressions linéaires, 10000 abeilles adultes sont capables de produire 11kg de miel et 1000cm² de couvain d'ouvrières engendreront 5 kg miel. Ces renseignements pourraient s'avérer intéressant pour la profession apicole dans la gestion de leur cheptel. La taille de la population est d'ores et déjà souvent considérée par les apiculteurs et les chercheurs comme un indicateur de la santé(ANSES 2015).

Nous avons réussi à comparer ces informations avec une étude plus ancienne(Szabo et Lefkovitch 1989). Celle-ci a également démontré l'influence des variables démographiques dans l'explication de la production de miel. Cet article a mis en évidence des valeurs de corrélations extrêmement proches des nôtres : ($r = +0,65$ pour la corrélation du couvain et la quantité de miel obtenue 42 jours plus tard et $r=+0.62$ pour la corrélation entre la population et la quantité de miel obtenue). Toutefois, les pentes de ces régressions linéaires ne concordent pas avec les nôtres. En effet, la production de miel augmentait significativement de 2,9 fois toutes les 1 000 cellules d'ouvrières, soit 11 kg de miel pour chaque pas de 1000cm² de couvain. L'unité moyenne de production de miel était de 2,2 kg toutes les 1 000 ouvrières adultes soit 22kg de miel par kilo d'abeille. Ainsi, la performance des colonies entre les deux études serait réduite de moitié. Plusieurs facteurs pourraient certainement expliquer en partie cet écart (la disponibilité des ressources florales, l'âge des reines, l'état sanitaire des colonies...). Par ailleurs, cette étude a eu lieu il a près de 30 ans. Si nous nous référons à l'évolution de la production de miel dans les pays industrialisés tels qu'en France, nous constatons que celle-ci a diminué de moitié de 1995 à aujourd'hui (ANNEXE IX) (UNAF 2015). Cette diminution de la productivité des colonies semblerait donc plausible.

c. Impact des maladies sur l'efficacité des colonies

Nos résultats ont démontré une influence significative de la présence d'anomalies sanitaires sur la productivité de miel de tournesol. Ce recensement de « maladie » pourrait permettre aux apiculteurs de prédire plus finement la quantité de miel de tournesol espéré par colonie. Toutefois, nos résultats sur l'effet de chaque « anomalie » sur le modèle (Miel ~ Couvain) ne semblent pas mettre évidence d'effet significatif, hormis pour la présence de loque européenne et de mycose. Par ailleurs, chacun de ces symptômes détectés semble toujours être néfaste à la production de miel de colonie.

Il est cependant important de préciser que ce recensement, bien que réalisé par un opérateur expérimenté reste approximatif. Aucune analyse d'échantillon n'a été réalisée et le simple recensement d'absence/présence ne permet pas d'estimer la gravité de l'anomalie détectée. Toutefois, ECOBEE s'améliore au cours du temps, depuis 2015, des lavements de sucre glace sont réalisés à chaque mesure afin d'évaluer la pression du varroa sur 500

abeilles adultes. Les aléas du dispositif ont généré des traitements de prévention différés (type Apivar®) sur les colonies, c'est pourquoi, nous n'avons pu prendre en compte cette évaluation numérique dans notre étude.

La simple observation d'ailes atrophiées et/ou de varroas phorétiques indique qu'un niveau d'infestation élevé est déjà atteint (près de 60 à 90% des varroas sont situés dans le couvain)(Ballis 2013). Ce parasite entraîne un affaiblissement des capacités immunitaires de l'abeille. (Yang et Cox-Foster 2005). L'observation de nymphes mortes ne constitue pas une maladie en tant que telle, mais ce symptôme traduit un affaiblissement de la colonie lié à diverses infections ou à un manque de soins apporté au couvain particulièrement en termes de régulation thermique. Il en est de même pour la mycose. La loque européenne engendre une importante mortalité du couvain (Genersch 2010).

Ainsi, de manière générale, les maladies agissent principalement sur la réduction de la durée de vie des individus à l'état larvaire et adulte. Plusieurs travaux de modélisation ont montré qu'à un taux de mortalité légèrement plus élevés, la survie de la colonie est sérieusement mise en péril (Khoury, Barron, et Myerscough 2013) (Russell, Barron, et Harris 2013). Jusqu'à présent la communauté scientifique a essentiellement porté ces efforts sur l'influence des maladies sur la survie des colonies. Parallèlement, nos résultats témoignent de leur influence sur la performance des colonies.

d. Importance des facteurs environnementaux ?

Les ressources florales environnantes n'ont pas été prises en compte au cours de notre étude. Il aurait été particulièrement intéressant de définir l'influence du paysage sur la productivité des colonies. Nous aurions aimé juger de l'importance de l'abondance et la proximité des parcelles de tournesol vis-à-vis des colonies. Toutefois, selon (Brenner 2011), la répartition des cultures de colza et de tournesol dans un rayon de 1,5 km autour des ruchers n'a d'incidence ni sur les niveaux de réserves des colonies, ni sur leur taux de croissance.

La disponibilité pollinique au printemps semble essentielle à la constitution des réserves de miel de tournesol. Requier a déterminé au cours de sa thèse que près de 11% du pollen printanier récolté par les colonies est issu de la floraison du colza, ainsi les 89 % restants résultent de la flore semi-naturelle constitué de ligneux et herbacées dont une grande partie sont des adventices des cultures(Requier et al. 2015). Cependant, l'intensification agricole a considérablement réduit la disponibilité de ces ressources semi-naturelles (Decourtye, Mader, et Desneux 2010). L'abondance et la diversité en pollen s'avèrent être particulièrement essentielle pour la santé des colonies (Di Pasquale et al. 2013). Ce phénomène pourrait être potentiellement responsable de l'apparition des maladies qui étaient jusqu'à lors contenu à des niveaux d'infections bas.

e. Potentiel de l'indicateur

Dans la recherche d'un indicateur simple pour évaluer la performance des colonies nous nous sommes particulièrement intéressés à la superficie du couvain. Cette mesure semble être le meilleur paramètre pour évaluer la performance d'une colonie, nous renseignant sur la capacité de production des colonies avant même la floraison. Ce type d'indicateur devrait permettre aux apiculteurs et ainsi appliquer les soins adéquats pour maximiser leur production. Les colonies jugées trop faibles pourraient être fusionnées en amont de la miellée. Les colonies à fort potentiel pourraient être mises en élevage ...

De plus, aux périodes de temps spécifique étudiées, nos résultats ont mis en évidence que le couvain semble relativement bien expliquer la population adulte. Il semblerait qu'autour fin juin début juillet la quantité de larves soit environ équivalent au nombre d'adultes. Ainsi chaque cm^2 de couvain serait équivalent à une estimation d'environ 4 larves et 4 adultes.

Bien que nous ne l'ayons pas testé, la forte corrélation entre le couvain et la quantité de pollen recueilli (Pankiw 2007; Keller, Fluri, et Imdorf 2005), nous laisse suggérer que le couvain pourrait permettre à l'apiculteur d'évaluer le potentiel des ressources polliniques d'un rucher.

La mesure de la superficie du couvain pourrait donc informer l'apiculteur d'une importante quantité d'informations. L'estimation simplifiée et accélérée de ce paramètre par la méthode ColEval semble relativement précise au regard de nos résultats. La face intérieure d'un cadre Dadant étant estimée à environ 1100 cm^2 , 5% de la surface d'un cadre estimé par la méthode ColEval équivaut à environ 55 cm^2 , soit environ un ratio de 10. Les coefficients directeurs de nos régressions linéaires ont témoigné d'une pente similaire. En ce qui concerne l'estimation de la population adulte par la méthode ColEval, on considère qu'une face de cadre recouvert d'une couche uniforme d'abeilles représente environ, par face, 1400 abeilles (Imdorf et Luzio 1999; Maisonnasse et al. 2013). Nous rappelons que la précision de la méthode ColEval est grandement améliorée par la quantité de ruches évaluées. ECOBEE est reconnu être une des méthodes les plus précises (ANSES 2015) et donc approprié au domaine scientifique. Toutefois, contrairement à ColEval, ECOBEE exige la présence de 3 opérateurs, d'un dispositif de mesure (peson, potence, support de ruche adapté...) (ANNEXE X) qui s'avère onéreux et fastidieux. La mesure ECOBEE d'une colonie est estimée entre 15 et 20 minutes.

D'autres outils sont aujourd'hui proposés afin de renseigner les apiculteurs sur l'état de leur colonie. Le système le plus sophistiqué aujourd'hui est un système de balance placé sous les ruches combinées à un dispositif de météorologie qui informe au jour le jour l'évolution des réserves à l'apiculteur. Toutefois, ces outils technologiques ont un coût d'environ 500€ par balance. Il existe également des applications Smartphone tel que Beevisit® qui permettent de visualiser la gestion des ruches, programmer les actions apicoles

et renseigner les informations essentielles en quelques clics. D'autres applications Smartphone pourrait notamment être utilisées pour la prise de notes vocales telles des mesures ColEval.

Une évaluation du couvain deux semaines avant le début de la floraison de tournesol semble être particulièrement intéressante pour les apiculteurs. Cependant déterminer précisément cette date pour un apiculteur peut sembler difficile. Cette période se situe entre mi-juin et début juillet : le stade de floraison du tournesol à cette date correspondre



au stade 59 sur l'échelle BBCH des stades phénologiques pour le tournesol (Syngenta France 2016). Les fleurs ligulées sont visibles entre les bractées, le capitule est toujours fermé. Ce stade est illustré par la photographie ci-jointe (Figure 23).

Figure 23 : Photographie d'une fleur de tournesol environ 2 semaines avant sa floraison.
Sources : http://fr.freepik.com/photos-libre/bourgeon-de-tournesol_615431.htm

Il est d'ores et déjà connu que les apiculteurs peuvent stimuler la croissance de leurs colonies dans l'apport de régimes artificiels (sirop, pain de pollen ...)(vanEngelsdorp et Meixner 2010). Des études (Pankiw 2007; Keller, Fluri, et Imdorf 2005) ont montré la forte dépendance entre la disponibilité en pollen et la surface de couvain. Ainsi nous ne pouvons qu'encourager les apiculteurs à effectuer des apports artificiels riches protéines ou en pollen afin de compenser le manque de ressources polliniques, particulièrement autour de début mai au vu de nos résultats. Une étude vient appuyer cette sollicitation en montrant qu'une augmentation artificielle des réserves polliniques au printemps influe positivement sur le nombre d'ouvrières (Mattila et Otis 2006). Cependant, ces aliments artificiels sont connus comme étant de moins bonne qualité nutritionnelle que la ressource florale présente dans l'environnement (DeGrandi-Hoffman 2008).

Nos résultats renforcent également l'attention requise par les apiculteurs dans l'évaluation sanitaire de leur colonie mais aussi dans le respect des mesures prophylactiques (voir le rapport apicole : *Un guide sanitaire et réglementaire* (Ballis 2013), tel que la désinfection du matériel, le renouvellement régulier des cadres, l'abstention d'échange de cadres entre les ruches.

V) Conclusion

Au cours de nos résultats, nous avons mis en évidence l'importance de l'enchaînement des paramètres intrinsèques sur la production de miel de tournesol. Une baisse significative de la productivité des colonies a également été observée en présence de maladies. A taille démographique identique, les colonies atteintes de maladies semblent réaliser une production de miel plus faible, particulièrement par la présence de mycose et loque européenne. Il est fort probable que l'apparition de ces maladies soit la conséquence du manque de ressources polliniques au printemps.

Dans l'optique de concevoir un outil d'évaluation à destination des apiculteurs, notre travail a mis en évidence l'importance d'une mesure de la superficie du couvain afin de prédire la performance des colonies. Une estimation du couvain et un recensement sanitaire, réalisés deux semaines avant le début de la floraison du tournesol, permettraient de prédire de manière satisfaisante la production de miel. Parallèlement, nos travaux soulignent l'utilisation d'une méthode d'estimation de la superficie du couvain simple, rapide et relativement juste, la méthode ColEval. Afin d'être particulièrement précise, cette méthode nécessite tout de même d'être réalisée à l'échelle d'un groupe de ruche tel un rucher.

Ainsi, nous avons été en mesure de proposer un indicateur de performance des colonies. Cependant, ce travail reste exploratoire et de nombreux facteurs n'ont pas été pris en compte. Il aurait été intéressant d'intégrer des informations environnementales à notre étude (tel que les assolements des parcelles et les relevés botaniques réalisés autour des ruchers, l'identification des pelotes de pollens recueillies, ...). De même, un diagnostic sanitaire plus précis avec notamment des analyses laboratoires, nous aurait permis de mieux évaluer la pression des organismes néfastes dans les colonies dont notamment la présence de noséme.

La nécessité d'indicateurs pour la profession est incontestable dans le développement de l'apiculture. En effet, de nombreuses pressions sont aujourd'hui exercées sur l'abeille domestique. La profession apicole n'a plus que jamais besoin d'un appui scientifique et d'outils performants pour la conseiller.

Références Bibliographiques

- Alaux, C., J.L. Brunet, C. Dussaubat, F. Mondet, S. Tchamitchan, M. Cousin, J. Brillard, A. Baldy, L. Belzunces, et Y. Le Conte. 2010. « Interactions between Nosema Microspores and a Neonicotinoid Weaken Honeybees (*Apis Mellifera*) ». *Environmental Microbiology* 12 (3): 774-82. doi:10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x.
- Alaux, C., F. Ducloz, D. Crauser, et Y. Le Conte. 2010. « Diet Effects on Honeybee Immunocompetence ». *Biology Letters* 6 (4): 562-65. doi:10.1098/rsbl.2009.0986.
- ANSES. 2015. « Co-exposition des abeilles aux facteurs de stress. » Rapport d'expertise collective.
- Arca, M., F. Mougel, T. Guillemaud, S. Dupas, Q. Rome, A. Perrard, F. Muller, et al. 2015. « Reconstructing the Invasion and the Demographic History of the Yellow-Legged Hornet, *Vespa Velutina*, in Europe ». *Biological Invasions* 17 (8): 2357-71. doi:10.1007/s10530-015-0880-9.
- Ballis, A. 2013. « Un guide sanitaire et réglementaire de l'apiculteur ». Mémento de l'apiculteur. Chambre d'agriculture Alsace.
- Beekman, M., et F. L. W. Ratnieks. 2000. « Long-Range Foraging by the Honey-Bee, *Apis Mellifera* L. » *Functional Ecology* 14 (4): 490-96. doi:10.1046/j.1365-2435.2000.00443.x.
- Biesmeijer, J. C. 2006. « Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands ». *Science* 313 (5785): 351-54. doi:10.1126/science.1127863.
- Brenner, J. 2011. « Spatiotemporal Variation in Honey Reserves within Agricultural Landscapes ». Rapport de stage.
- Brodschneider, R., et K. Crailsheim. 2010. « Nutrition and health in honey bees ». *Apidologie* 41 (3): 278-94. doi:10.1051/apido/2010012.
- Burel, F., E. Garnier, B. Amiaud, S. Aulagnier, A. Butet, B. Chauvel, G. Carré, J. Cortet, D. Couvet, et P. Joly. 2008. « Chapitre 1. Les effets de l'agriculture sur la biodiversité ». *Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies, Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA*.
- Chamer, A.M., D. Medan, A.I. Mantese, et N.J. Bartoloni. 2015. « Impact of Pollination on Sunflower Yield: Is Pollen Amount or Pollen Quality What Matters? » *Field Crops Research*. 76 (mai): 61-70. doi:10.1016/j.fcr.2015.02.001.
- Chauzat, MP, M Laurent, MP Riviere, C Saugeon, P Hendrikx, et M Ribiere-Chabert. 2013. « A pan-European epidemiological study on honeybee colony losses 2012-2013 ». EPILOBEE consortium.
- Dainat, B, J Evans, YP Chen, L Gauthier, et P Neumann. 2012. « Predictive Markers of Honey Bee Colony Collapse ». Édité par P Aguilar. *PLoS ONE* 7 (2): e32151. doi:10.1371/journal.pone.0032151.
- Decourtye, A, E Mader, et N Desneux. 2010. « Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems ». *Apidologie* 41 (3): 264-77. doi:10.1051/apido/2010024.
- DeGrandi-Hoffman, G. 2008. « Comparisons of pollen substitute diets for honey bees: consumption rates by colonies and effects on brood and adult populations. » *Journal of Apicultural Research*, 265-70. doi:10.3896/IBRA.1.47.4.06.
- Di Pasquale, G, M Salignon, Y Le Conte, L Belzunces, A Decourtye, A Kretzschmar, S Suchail, JL Brunet, et C Alaux. 2013. « Influence of Pollen Nutrition on Honey Bee Health: Do

- Pollen Quality and Diversity Matter? » Édité par J Zeil. *PLoS ONE* 8 (8). doi:10.1371/journal.pone.0072016.
- FranceAgriMer. 2012. « Audit économique de la filière apicole française », n° 1(septembre).
- Gallai, N, JM Salles, J Settele, et B Vaissière. 2009. « Economic Valuation of the Vulnerability of World Agriculture Confronted with Pollinator Decline ». *Ecological Economics* 68 (3): 810-21. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.
- Genersch, E. 2010. « Honey Bee Pathology: Current Threats to Honey Bees and Beekeeping ». *Applied Microbiology and Biotechnology* 87 (1): 87-97. doi:10.1007/s00253-010-2573-8.
- Genersch, E, W von der Ohe, H Kaatz, A Schroeder, C Otten, R Büchler, S Berg, et al. 2010. « The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies ». *Apidologie* 41 (3): 332-52. doi:10.1051/apido/2010014.
- Grixti, J, L Wong, S Cameron, et C Favret. 2009. « Decline of Bumble Bees (*Bombus*) in the North American Midwest ». *Biological Conservation* 142 (1): 75-84. doi:10.1016/j.biocon.2008.09.027.
- Grosshans, R, A Abdelrehim, P Rajbhandari, E Gutierrez-Espeleta, C Wieler, et J van Woerden. 2009. « IEA - Training Manual -A training manual on integrated environmental assessment and reporting ».
- Hak, T, J Kovanda, et J Weinzettel. 2012. « A Method to Assess the Relevance of Sustainability Indicators: Application to the Indicator Set of the Czech Republic's Sustainable Development Strategy ». *Ecological Indicators* 17: 46-57. doi:10.1016/j.ecolind.2011.04.034.
- Hedtke, Kati, Per Moestrup Jensen, Annette Bruun Jensen, et Elke Genersch. 2011. « Evidence for Emerging Parasites and Pathogens Influencing Outbreaks of Stress-Related Diseases like Chalkbrood ». *Journal of Invertebrate Pathology* 108 (3): 167-73. doi:10.1016/j.jip.2011.08.006.
- Henry, M., M. Beguin, F. Requier, O. Rollin, J.-F. Odoux, P. Aupinel, J. Aptel, S. Tchamitchian, et A. Decourtye. 2012. « A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees ». *Science* 336 (6079): 348-50. doi:10.1126/science.1215039.
- Holzmann, C, F Allier, et J Vallon. 2012. « Hivernage et perte de colonies chez les apiculteurs professionnels français ». *Cahier technique*, ITSAP - Institut de l'abeille, .
- Imdorf, A, et G Luzio. 1999. « Guide d'évaluation de la force d'une colonie ». Centre Suisse de Recherches Apicoles.
- Kearns, C, D Inouye, et N Waser. 1998. « ENDANGERED MUTUALISMS: The Conservation of Plant-Pollinator Interactions ». *Annual Review of Ecology and Systematics* 29 (1): 83-112. doi:10.1146/annurev.ecolsys.29.1.83.
- Keller, I, P Fluri, et A Imdorf. 2005. « Pollen Nutrition and Colony Development in Honey bees—Part II ». *Bee World* 86 (2): 27-34. doi:10.1080/0005772X.2005.11099650.
- Khoury, D, A. Barron, et M Myerscough. 2013. « Modelling Food and Population Dynamics in Honey Bee Colonies ». Édité par A Dyer. *PLoS ONE* 8 (5): e59084. doi:10.1371/journal.pone.0059084.
- Klein, A.-M., B. E Vaissiere, J. H Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A Cunningham, C. Kremen, et T. Tscharntke. 2007. « Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274 (1608): 303-13. doi:10.1098/rspb.2006.3721.

- Le Féon, V, A Schermann-Legionnet, Y Delettre, S Aviron, R Billeter, R Bugter, F Hendrickx, et F Burel. 2010. « Intensification of Agriculture, Landscape Composition and Wild Bee Communities: A Large Scale Study in Four European Countries ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 137 (1-2): 143-50. doi:10.1016/j.agee.2010.01.015.
- Maisonnasse, A, A Dangléant, J Hernandez, C Le-Quintrec, C Beri, M Cousin, et A Kretzschmar. 2013. « ColEval (UMT Prade), un outil pour l'évaluation des colonies d'abeille ».
- Manoliadis, Odysseus G. 2002. « Development of Ecological Indicators—a Methodological Framework Using Compromise Programming ». *Ecological Indicators* 2 (1-2): 169-76. doi:10.1016/S1470-160X(02)00040-7.
- Mattila, H, et G Otis. 2006. « The effects of pollen availability during larval development on the behaviour and physiology of spring-reared honey bee workers ». *Apidologie* 37 (5): 533-46. doi:10.1051/apido:2006037.
- Odoux, JF. 2009. « Quels facteurs de paysage influent sur l'écologie des colonies d'abeilles dans un système de grandes culture ? »
- Odoux, JF, P Aupinel, S Gateff, F Requier, M Henry, et V Bretagnolle. 2012. « ECOBEE: A Tool for Long-Term Honey Bee Colony Monitoring at the Landscape Scale in West European Intensive Agroecosystems ». *Journal of Apicultural Research* 53 (1): 57-66. doi:10.3896/IBRA.1.53.1.05.
- Palmeri, V, G Scirtò, A Malacrinò, F Laudani, et O Campolo. 2015. « A Scientific Note on a New Pest for European Honeybees: First Report of Small Hive Beetle *Aethina Tumida*, (Coleoptera: Nitidulidae) in Italy ». *Apidologie* 46 (4): 527-29. doi:10.1007/s13592-014-0343-9.
- Pankiw, T. 2007. « Brood Pheromone Modulation of Pollen Forager Turnaround Time in the Honey Bee (*Apis Mellifera* L.) ». *Journal of Insect Behavior* 20 (2): 173-80. doi:10.1007/s10905-007-9071-6.
- Paul, W. 1982. « The distribution and decline of british bumble bee (*Bombus Latr.*) ». Department of Applied Biology, University of Cambridge, Pembroke Street, Cambridge CB2 3DX, Uk.
- Potts, S, J Biesmeijer, C Kremen, P Neumann, O Schweiger, et W Kunin. 2010. « Global Pollinator Declines: Trends, Impacts and Drivers ». *Trends in Ecology & Evolution* 25 (6): 345-53. doi:10.1016/j.tree.2010.01.007.
- Potts, S, S Roberts, R Dean, G Marris, M Brown, R Jones, P Neumann, et J Settele. 2010. « Declines of managed honey bees and beekeepers in Europe. » *Journal of Apicultural Research* 49 (1): 15. doi:10.3896/IBRA.1.49.1.02.
- Requier, F, JF Odoux, M Henry, et V Bretagnolle. Unpublished. « Carry-over Effects of Spring Pollen Supply Depletion on Honey Bee Colony Winter Survival in Farmland Habitats ».
- Requier, F, JF Odoux, T Tamic, N Moreau, M Henry, A Decourtye, et V Bretagnolle. 2015. « Honey Bee Diet in Intensive Farmland Habitats Reveals an Unexpectedly High Flower Richness and a Major Role of Weeds ». *Ecological Applications* 25 (4): 881-90. doi:10.1890/14-1011.1.
- Rhoné, Fanny. 2015. « L'abeille à travers champs. Quelles interactions entre *Apis mellifera* L. et le paysage agricole ? Le roles des structures paysagères ligneuses dans l'apport de ressources trophiques et leur répercussions sur les traits d'histoire de vie des colonies ». Toulouse.

- Russell, S, A Barron, et D Harris. 2013. « Dynamic Modelling of Honey Bee (*Apis Mellifera*) Colony Growth and Failure ». *Ecological Modelling* 265 (septembre): 158-69. doi:10.1016/j.ecolmodel.2013.06.005.
- Ruttner, Friedrich. 1988. *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-72649-1>.
- Sáez, A, M Sabatino, et M Aizen. 2012. « Interactive Effects of Large- and Small-Scale Sources of Feral Honey-Bees for Sunflower in the Argentine Pampas ». Édité par A Wilby. *PLoS ONE* 7 (1): e30968. doi:10.1371/journal.pone.0030968.
- Sanchez-Bayo, F, et K Goka. 2014. « Pesticide Residues and Bees – A Risk Assessment ». Édité par R Guedes. *PLoS ONE* 9 (4): e94482. doi:10.1371/journal.pone.0094482.
- Seeley, T. 1985. *Honeybee Ecology: A Study of Adaptation in Social Life*. Place of publication not identified: Princeton University Pres.
- Simon-Delso, N., V. Amaral-Rogers, L. P. Belzunces, J. M. Bonmatin, M. Chagnon, C. Downs, L. Furlan, et al. 2015. « Systemic Insecticides (Neonicotinoids and Fipronil): Trends, Uses, Mode of Action and Metabolites ». *Environmental Science and Pollution Research* 22 (1): 5-34. doi:10.1007/s11356-014-3470-y.
- Singh, Rajesh Kumar, H.R. Murty, S.K. Gupta, et A.K. Dikshit. 2009. « An Overview of Sustainability Assessment Methodologies ». *Ecological Indicators* 9 (2): 189-212. doi:10.1016/j.ecolind.2008.05.011.
- Steffan-Dewenter, I, et A. Kuhn. 2003. « Honeybee Foraging in Differentially Structured Landscapes ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270 (1515): 569-75. doi:10.1098/rspb.2002.2292.
- Szabo, T., et L. Lefkovitch. 1989. « Effect of brood production and population size on honey production of honeybee colonies in Alberta, Canada ». *Apidologie* 20 (2): 157-63. doi:10.1051/apido:19890206.
- Terres Inovia. 2013. « Les stades repères du tournesol ». <http://www.terresinovia.fr/tournesol/cultiver-du-tournesol/atouts-points-cles/stades-reperes/>.
- UNAF. 2015. « Bilan des récoltes de miel et Chiffres clés de l'Apiculture Française 2015 », Union Nationale de l'Apiculture Française, Dossier de presse.
- Vaissière, B, E Bruneau, JM Barbançon, P Bonnaffé, H Clément, R Domerego, G Fert, Y Le conte, G Ratia, et C Reeb. 2003. *Le traité Rustica de l'apiculture*. Rustica. Paris: Ed. Rustica.
- vanEngelsdorp, D, Dewey Caron, J Hayes, R Underwood, M Henson, K Rennich, A Spleen, et al. 2012. « A national survey of managed honey bee 2010-11 winter colony losses in the USA: results from the Bee Informed Partnership ». *Journal of Apicultural Research* 51 (1): 115-24. doi:10.3896/IBRA.1.51.1.14.
- vanEngelsdorp, D, J Hayes, R Underwood, et J Pettis. 2008. « A Survey of Honey Bee Colony Losses in the U.S., Fall 2007 to Spring 2008 ». Édité par N Gay. *PLoS ONE* 3 (12): e4071. doi:10.1371/journal.pone.0004071.
- vanEngelsdorp, D, et M Meixner. 2010. « A Historical Review of Managed Honey Bee Populations in Europe and the United States and the Factors That May Affect Them ». *Journal of Invertebrate Pathology* 103 (janvier): S80-95. doi:10.1016/j.jip.2009.06.011.
- Vidau, C, M Diogon, J Aufauvre, R Fontbonne, B Viguès, JL Brunet, C Texier, et al. 2011. « Exposure to Sublethal Doses of Fipronil and Thiacloprid Highly Increases Mortality

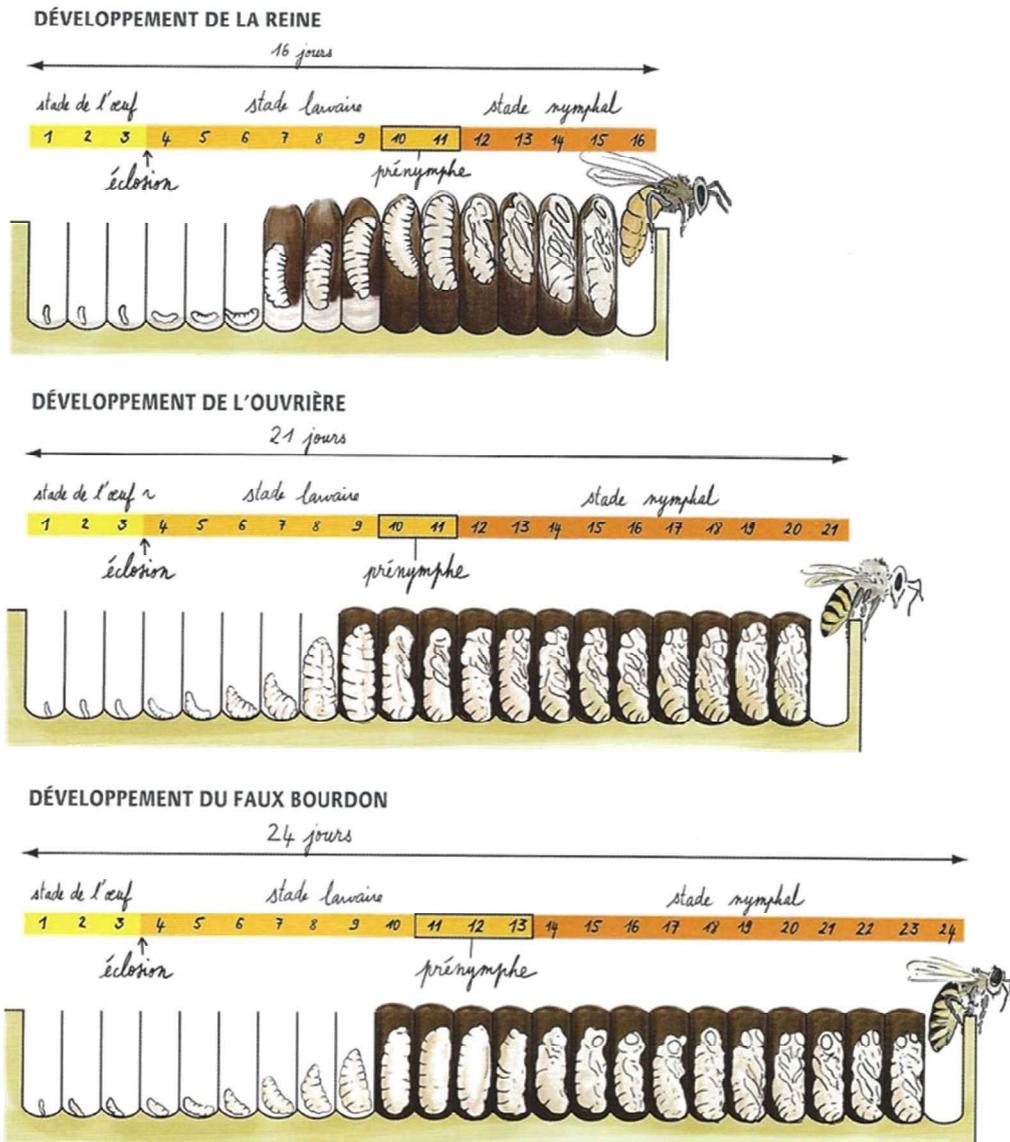
- of Honeybees Previously Infected by Nosema Ceranae ». Édité par E Didier. *PLoS ONE* 6 (6): e21550. doi:10.1371/journal.pone.0021550.
- Winston, Mark L. 1993. *La biologie de l'abeille*. Paris; Beauvechain(Belgique): Frison Roche ; Nauwelaerts.
- Yang, X., et D. L. Cox-Foster. 2005. « Impact of an Ectoparasite on the Immunity and Pathology of an Invertebrate: Evidence for Host Immunosuppression and Viral Amplification ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102 (21): 7470-75. doi:10.1073/pnas.0501860102.
- Zee, R, R Brodschneider, Valters Brusbardis, JD Charrière, R Chlebo, M Coffey, L Dahle, et al. 2014. « Results of International Standardised Beekeeper Surveys of Colony Losses for Winter 2012–2013: Analysis of Winter Loss Rates and Mixed Effects Modelling of Risk Factors for Winter Loss ». *Journal of Apicultural Research* 53 (1): 19-34. doi:10.3896/IBRA.1.53.1.02.

Sitographie

- Syngenta France. 2016. « Echelle BBC des stades phénologiques pour le tournesol ». février 16. <https://www.syngenta.fr/agriculture-durable/reglementation/dossier-bbch/article/echelle-bbch-tournesol>. 26/07/2016

Annexes

ANNEXE I : Illustration des stades de développement des trois castes (reine, ouvrière et faux bourdon) (*Traité Rustica de l'apiculture*).



ANNEXE II : Fiche de notation de mesure ("EXPE") sur ruches par le dispositif ECOBEE

	Enregistrement	Réf : E-EXP-API-01
	Fiche notations mesures sur ruches	Version 3 Date : 19/03/2015 Page 1 sur 1

DONNEES GENERALES		DONNEES METEO					NOMS DES OPERATEURS		CODES DES APPARELS DE MESURES	
Date		Hygrométrie					Op. 'mesures'		Thermo-hygromètre	THE
Heure (début)		Température					Op. 'pesées'		Peson	BAL
N° Rucher		Vent	nul	léger	moyen	fort	Rédacteur		Balance	BAL
N° ruche		Nuages	soleil	voilé	couvert	pluie				

DONNEES DES HAUSSES	
N° Hausse 1	
Poids H1 (sans abeilles) (kg)	
N° Hausse 2	
Poids H2 (sans abeilles) (kg)	
N° Hausse 3	
Poids H3 (sans abeilles) (kg)	

OBSERVATIONS GENERALES					
Ponté	oui	non			
		bourdonneuse	orpheline	reine sans valeur	
CR	non	oui			introduction CR
		fermée	grignotée	ouverte	destruction CR
Reine	pas vue	vue déjà marquée	vue non marquée	marquage	

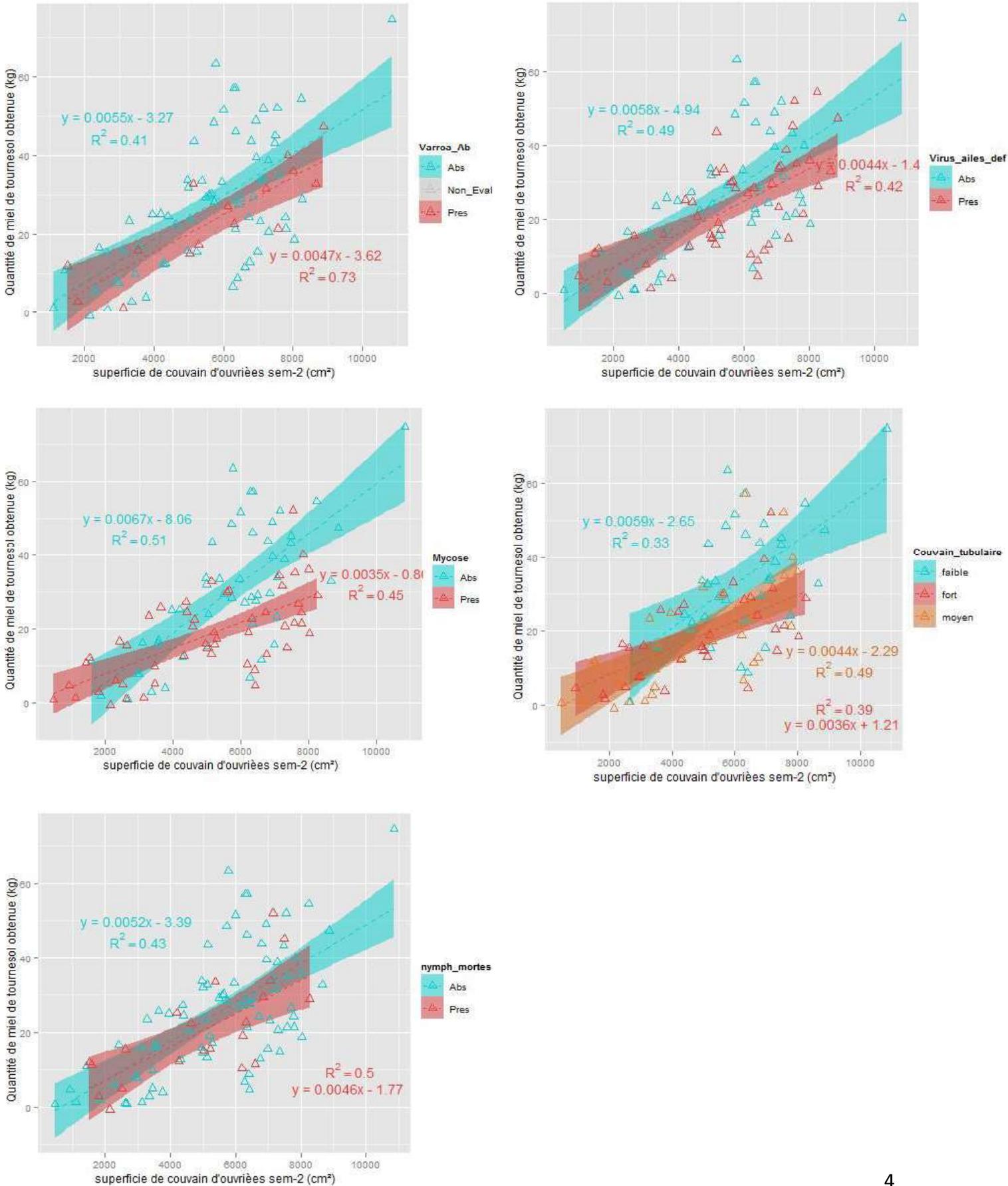
OBSERVATIONS SANITAIRES		
Entourer "oui" si présence		
Ab. mortes avec langues tirées	oui	
Ab. noires sans poils	oui	
Couvain en mosaïque	oui	
Couvain tubulaire	oui	
Diarrhée	oui	
Frelon asiatique (présence)	oui	
Larves affaissées	oui	
Mycose	oui	
Nymphes mortes	oui	
Signes de loque E	oui	
Signes de loque A	oui	
Virus des ailes déformées	oui	
Etat sanitaire général		
mauvais	moyen	bon

COMPTAGE DE VARROAS	
Poids Ab. (g)	Nombre de varroas

REMARQUES

MESURES DE COUVAINS				
Nature du cadre: G : Gaufre ; BV : Bâti Vide ; M : Mel ; P : Pollen ; CF : Couvain Fermé ; CO : Couvain Ouvert				
Nature du cadre	Poids du cadre (avec abeilles) (kg)	Poids du cadre (sans abeilles) (kg)	Mesures couvain total (ouvrières + mâles)	Mesures couvain de mâles
Cadre 1			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 2			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 3			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 4			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 5			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 6			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 7			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 8			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 9			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Cadre 10			Face 1	Face 1
			Face 2	Face 2
Poids Ab. estimé dans fond de ruche (g)				

ANNEXE IV : Influence de chaque « anomalies sanitaire » sur la production de miel de tournesol en fonction la quantité de couvain(semaine -2)



ANNEXE V : Résultats statistiques des modèles linéaires généralisés (Generalised linear Models) effectués pour chaque « anomalies sanitaire »

Effet de la présence du Varroa phorétique glm(formula = Miel_T ~ Sup_couv_ouv + as.factor(Varroa_Ab)+Sup_couv_ouv:as.factor(Varroa_Ab), data = data)

Coefficients	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.2675820	4.1392448	-0.789	0.4318
Sup_couv_ouv	0.0054972	0.0007082	7.763	9e-12 ***
as.factor(Varroa_Ab)Pres	-0.3537428	8.9553073	-0.040	0.9686
Sup_couv_ouv:as.factor(Varroa_Ab)Pres	-0.0007315	0.0014666	-0.499	0.6191

Effet de la présence du Loque européenne glm(formula = Miel_T ~ Sup_couv_ouv + as.factor(data\$LoqE) + Sup_couv_ouv:as.factor(data\$LoqE), data = data)

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.4436575	4.9253565	-0.902	0.369163
Sup_couv_ouv	0.0067816	0.0008048	8.426	3.10e-13 ***
as.factor(LoqE)Pres	4.1780559	5.7078258	0.732	0.465923
Sup_couv_ouv:as.factor(LoqE)Pres	-0.0034037	0.0009624	-3.537	0.000621 ***

Effet de la présence d'ailes déformées glm(formula = Miel_T ~ Sup_couv_ouv + as.factor(Virus_ailes_def)+ Sup_couv_ouv:as.factor(Virus_ailes_def), data = data)

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.9360531	4.1415734	-1.192	0.236
Sup_couv_ouv	0.0058337	0.0007429	7.853	5.22e-12 ***
as.factor(Virus_ailes_def)Pres	3.4563657	6.6122776	0.523	0.602
Sup_couv_ouv:as.factor(Virus_ailes_def)Pres	-0.0014451	0.0011443	-1.263	0.210

Effet de la présence de Mycose glm(formula = Miel_T ~ Sup_couv_ouv + as.factor(Mycose) + Sup_couv_ouv:as.factor(Mycose), data = data)

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-8.0625615	4.9286574	-1.636	0.10508
Sup_couv_ouv	0.0067373	0.0008224	8.192	9.86e-13 ***
as.factor(Mycose)Pres	8.9261448	6.1361652	1.455	0.14895
Sup_couv_ouv:as.factor(Mycose)Pres	-0.0032829	0.0010589	-3.100	0.00252 **

Effet de la présence de couvain tubulaire glm(formula = Miel_T ~ Sup_couv_ouv +as.factor(Couvain_tubulaire) + Sup_couv_ouv:as.factor(Couvain_tubulaire), data = data)

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-2.654948	7.893747	-0.336	0.737
Sup_couv_ouv	0.005895	0.001222	4.823	5.32e-06 ***
as.factor(Couvain_tubulaire)fort	3.871039	9.477589	0.408	0.684
as.factor(Couvain_tubulaire)moyen	0.367842	9.090767	0.040	0.968
Sup_couv_ouv:as.factor(Couvain_tubulaire)fort	-0.002317	0.001565	-1.480	0.142
Sup_couv_ouv:as.factor(Couvain_tubulaire)moyen	-0.001496	0.001491	-1.004	0.318

Effet de la présence du Nymphes mortes glm(formula = Miel_T ~ Sup_couv_ouv + as.factor(nymph_mortes) + Sup_couv_ouv:as.factor(nymph_mortes), data = data)

Coefficients:	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-3.3923893	3.7922894	-0.895	0.373
Sup_couv_ouv	0.0052313	0.0006497	8.052	1.96e-12 ***
as.factor(nymph_mortes)Pres	1.6265489	7.6959953	0.211	0.833
Sup_couv_ouv:as.factor(nymph_mortes)Pres	-0.0007733	0.0014133	-0.547	0.586

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

ANNEXE VI : Résultats statistiques du modèle linéaire généralisé concernant l'influence du couvain (sem-2), du nombre de maladies observées avant la miellée et leur interaction sur la quantité de miel de tournesol

```

Call:
glm(formula = Miel_T ~ ((Sup_couv_ouv) + as.factor(Nbr_maladies_obs))^2,
    data = meta)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-21.0578  -6.9753  -0.2574   5.3928  26.8979

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      -7.6989549   5.5405392  -1.390 0.167874
Sup_couv_ouv       0.0076531   0.0009425   8.120 1.58e-12 ***
as.factor(Nbr_maladies_obs)[2;5]
  5.0435358   6.9596293   0.725 0.470408
as.factor(Nbr_maladies_obs)[6 et +]
  6.6669437   6.8997176   0.966 0.336340
Sup_couv_ouv:as.factor(Nbr_maladies_obs)[2;5]
 -0.0027869   0.0012025  -2.318 0.022591 *
Sup_couv_ouv:as.factor(Nbr_maladies_obs)[6 et +]
 -0.0042464   0.0011854  -3.582 0.000537 ***
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 89.962)

Null deviance: 25756.0 on 101 degrees of freedom
Residual deviance: 8636.4 on 96 degrees of freedom
AIC: 756.22

Number of Fisher Scoring iterations: 2
> |

```

NB : La modalité absence étant la modalité de référence.

ANNEXE VII : Résultats statistiques du modèle linéaire généralisé concernant l'influence du couvain(sem-2), de la présence de maladie (sem-2) et leur interaction sur la quantité de miel de tournesol

```
Call:
glm(formula = Miel_T ~ ((Sup_couv_ouv) + as.factor(maladie_obs))^2,
     data = meta)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-27.4144  -6.2941  -0.1274   6.4566  32.1688

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      -3.726447   3.909167  -0.953  0.3428
Sup_couv_ouv       0.006051   0.000685   8.833 4.1e-14 ***
as.factor(maladie_obs)Pres  0.921337   5.957661   0.155  0.8774
Sup_couv_ouv:as.factor(maladie_obs)Pres -0.002017   0.001037  -1.945  0.0546 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 115.9814)

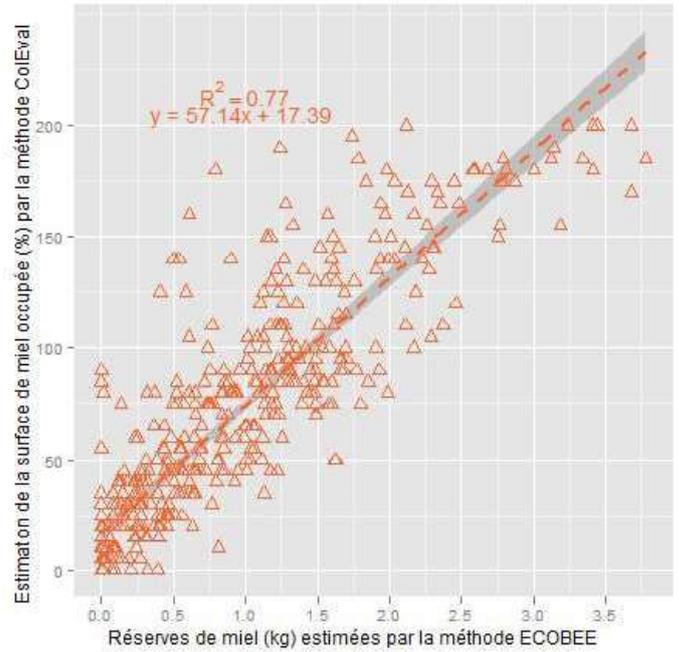
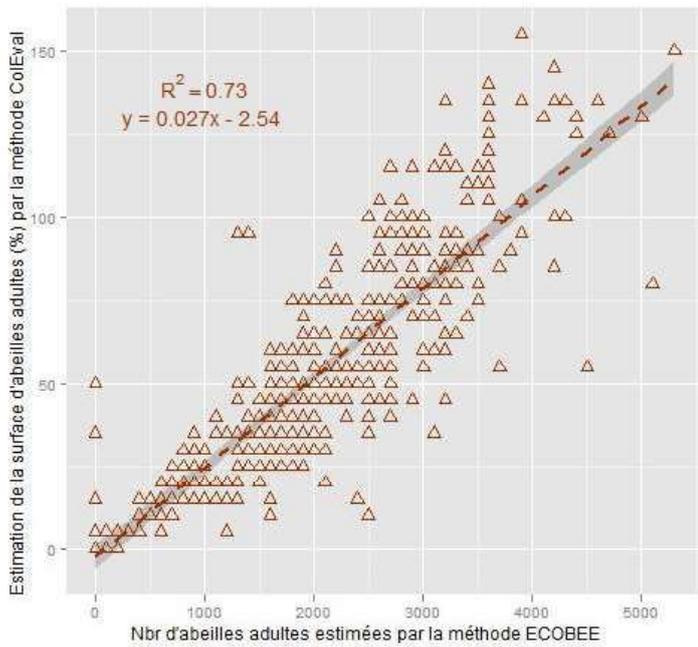
Null deviance: 25757  on 101  degrees of freedom
Residual deviance: 11366  on 98  degrees of freedom
AIC: 780.23

Number of Fisher Scoring iterations: 2

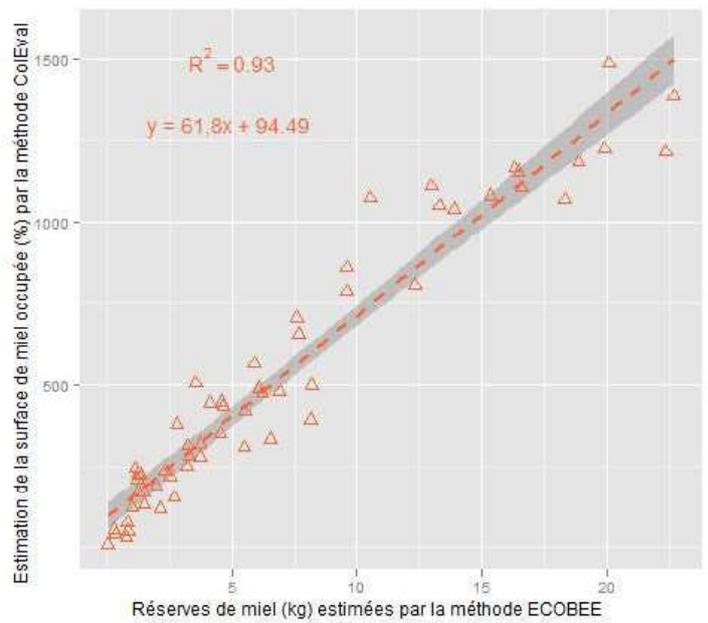
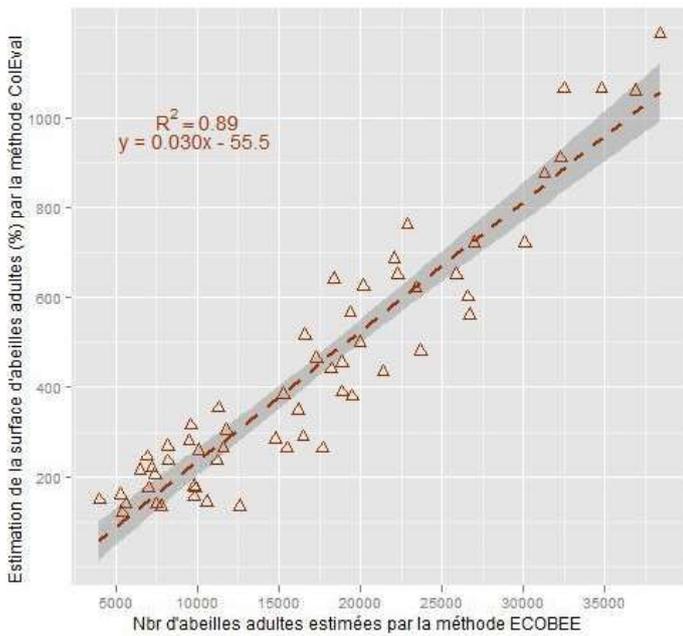
> |
```

ANNEXE VIII : Comparaison de la méthode ColEval vis à vis de ECOBEE sur l'estimation de la population adulte et réserves de miel par cadre et par ruche

Par cadre



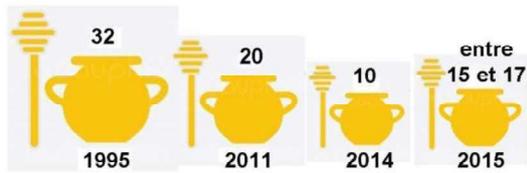
Par ruche



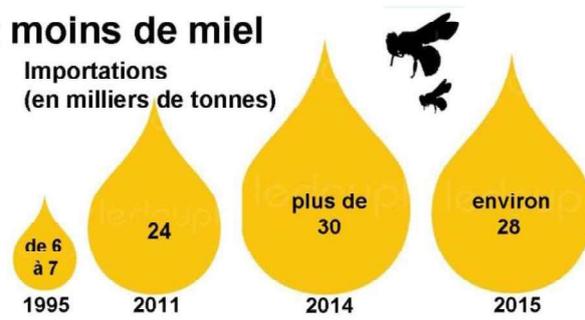
ANNEXE IX : Les chiffres de l'apiculture française de 1995 à 2015 (UNAF, 2015)

La France produit de moins en moins de miel

Production Nationale
(en milliers de tonnes)



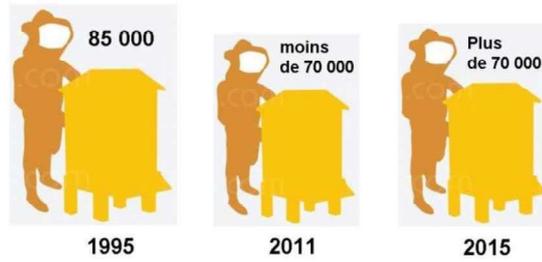
Importations
(en milliers de tonnes)



Nombre de ruches (en millions)



Nombre d'apiculteurs



ANNEXE X : Photographie durant une mesure ECOBEE



	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Gestion durable du végétal en horticulture et paysage Enseignant référent : Bruno Jaloux
Auteur : Thibaud Lancien Date de naissance* : 02/041993	<u>Organisme d'accueil :</u> Unité d'entomologie INRA Poitou-Charentes <u>Adresse :</u>
Nb pages : 51 Annexe(s) : 10	Station du Magneraud
Année de soutenance : 2016	CS 40052 17000 Surgères <u>Maître de stage :</u> Jean-François Odoux
<u>Titre français :</u>	
Etude des paramètres déterminant la production de miel de tournesol par les colonies d'abeilles domestiques	
<u>Titre anglais :</u>	
Study of parameters determining Sunflower honey production by honey bee colonies	
Résumé :	
<p>L'un des objectifs les plus importants de l'apiculture est de produire du miel. A cet effet, nous avons essayé de définir un modèle prédictif sur lequel les apiculteurs puissent se fier. Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'évaluation de la superficie du couvain. La production de miel de tournesol semble fortement influencée par cette dernière, deux semaines avant le début de la floraison. Au cours de cette période, nous avons remarqué que la prise en compte de la présence « d'anomalies sanitaire » influait la production de miel de tournesol des colonies (varroas phorétiques, nymphes mortes, suspicions de loque Européenne, mycose, virus des ailes déformées). Ainsi, ces résultats semblent mettre en évidence que la présence de maladies engendre une baisse de productivité des colonies. Notre prédiction estime qu'une colonie exempte de maladie est capable produire 6kg de miel par unité de 1000cm² (équivalent à environ 4000 larves) de couvain. Cependant, la présence de maladies semble engendrer une diminution d'au moins 30 % de ce ratio. Parallèlement, nous avons vérifié une méthode estimant visuellement le couvain d'une colonie en un temps de 5 à 6 minutes à la condition d'être un observateur entraîné (appelé méthode ColEval ou Liebedeld).</p>	
Abstract :	
<p>One of the most important aims of beekeeping is honey production. For this purpose, we tried to define a predictive model on which beekeepers could rely. We specifically focused on assessing the brood size, which seemed to strongly influence sunflower honey production two weeks before its blooming. Throughout this time, we noticed that "health anomalies" influenced sunflower honey production of colonies (phoretic mites, dead nymphs, suspicions of European foulbrood, mycosis, deformed wing virus, ...). Thus, these results bring to light the negative impact of diseases on colony productivity. Our prediction considers that a disease-free colony can produce 6kg of honey per unit 1000cm² (equivalent to about 4,000 larvae) brood. However, the presence of disease seems to result in a reduction of at least 30% of this ratio. In parallel, we tested a method claiming to visually estimate the brood in a colony within few minutes (5 to 6 minutes) provided that the observer is experienced (called Method ColEval or Liebedeld).</p>	
Mots-clés : Production de miel, abeille domestique, Apis mellifera, santé, maladie, indicateur	
Key Words: Production of honey, honey bee, Apis mellifera, health, diseases, indicator	