HAL open science

La ruche connectée : objet de surveillance environnementale, de zootechnie ou de découverte récréative

Axel Decourtye, A. Dangléant, Fabrice Allier, Cédric Alaux

▶ **To cite this version:**

Axel Decourtye, A. Dangléant, Fabrice Allier, Cédric Alaux. La ruche connectée : objet de surveillance environnementale, de zootechnie ou de découverte récréative. Innovations Agronomiques, 2018, 67, pp.77-87. 10.15454/4LSDMM . hal-02617954

HAL Id: hal-02617954

https://hal.inrae.fr/hal-02617954v1

Submitted on 31 Jan 2023

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

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

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

La ruche connectée : objet de surveillance environnementale, de zootechnie ou de découverte récréative

Decourtye A.[1,2,3], Dangléant A.[1,2], Allier F.[1,2], Alaux C.[2,4]

[1] ITSAP-Institut de l'abeille, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon cedex 9

[2] UMT Prade, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon cedex 9

[3] ACTA, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon cedex 9

[4] UR 406, Abeilles et environnement, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon cedex 9

Correspondance : axel.decourtye@itsap.asso.fr

Résumé

La diminution du coût, la miniaturisation des capteurs électroniques, ainsi que l'augmentation de leur précision et de leurs performances, permet dorénavant d'enregistrer en continu des variables physiques générées par l'abeille domestique : température, humidité et vibrations dans la ruche, poids de la ruche, entrées/sorties des butineuses. En recherche, alors que les interactions entre stress menant au déclin de certaines colonies restent souvent méconnues, les capteurs permettent d'améliorer notre compréhension des causes et de proposer des solutions pour mieux protéger l'abeille. Bien que beaucoup de capteurs aient montré leur pertinence dans les études scientifiques, peu assistent les apiculteurs au quotidien dans leur gestion du cheptel. Seules les balances électroniques automatisées aident aujourd'hui les apiculteurs dans leurs décisions en surveillant l'évolution du poids de leurs ruches lors des miellées. Chez les passionnés de l'abeille, les capteurs sont souvent employés pour découvrir et suivre les comportements complexes de cet insecte social. Dans cet article, nous présentons certaines applications de la « ruche connectée », en proposant une analyse des avantages et des limites au regard des objectifs des apiculteurs et des décideurs. Ces nouvelles technologies, en détectant des événements de santé des colonies, offrent notamment une perspective intéressante dans le cadre de la surveillance environnementale.

Mots-clés : *Apis mellifera* L., Apiculture, Capteurs, Ruche connectée, Balance automatique, Compteurs d'abeilles

Abstract: The connected beehive: technology for environmental monitoring, breeding or entertainment

Monitoring on a continuous basis physical variables of honeybee colonies (e.g. temperature, humidity, weight, vibrations, and forager traffic) is becoming feasible, since the cost and size of electronic sensors decrease and their precision and capacity increase. While the underlying mechanisms of colony decline remain unclear due to the complex nature of the potential combinations of stressors, a continuous functional monitoring might help to better understand the causes and target appropriate responses for protecting honeybee populations. If many sensors are currently relevant for scientific studies, few are used by beekeepers for colony management. Only automated scales are routinely used by beekeepers to quantify daily changes in hive weight due to net honey storage, and for example manage their transhumance. Furthermore, for honeybee enthusiasts, sensors are highly valuable for discovering complex behaviors of bees. Here, we present early and recent applications of "connected beehives", that are used for the live and continuous recording of colony physical parameters, and discuss their benefits and limitations and how they might influence beekeeping practice and policy makers. These

new technologies provide longitudinal data that allows correlation between hive events and external factors (weather, food resources, pesticides), and therefore new perspectives for an improved environmental monitoring.

Keywords: *Apis mellifera* L., Beekeeping, Sensors, Beehive monitoring system, Electronic scale, Bee counter

Introduction

Si notre fascination pour l'observation et l'étude de l'abeille domestique ne date pas d'aujourd'hui, en revanche les démarches et les outils mobilisés pour accéder à une meilleure connaissance de la vie de cet insecte ont largement évolués ces dernières décennies. L'approche naturaliste – de C. Darwin à K. von Frisch, en passant par M. Maeterlinck – scrutant l'organisation de la colonie et le comportement des abeilles fût accompagnée plus récemment d'investigations moléculaires, physiologiques, biochimiques. La « boîte à outils » de l'observateur des abeilles s'enrichit encore aujourd'hui par la technologie des capteurs de paramètres physiques et chimiques. Cette technologie ambitionne de compléter, voire remplacer les sens du naturaliste, de l'éthologue et de l'apiculteur par des enregistrements électroniques de ces variables. Toute personne ayant déjà ouvert une ruche pour découvrir les abeilles qui l'habitent, sait que les abeilles émettent des sons, exécutent des tâches adaptées aux besoins de la colonie et qu'elles vivent dans un monde riche en odeurs. Ainsi, le concept consistant à observer en temps réel et à distance ces « traces de vie » séduit de nombreux biologistes de l'abeille ou apiculteurs.

L'organisation sociale chez cet insecte repose sur de multiples variables biologiques, physiques et chimiques. Trois composantes sont tout particulièrement emblématiques des régulations au sein de la société des abeilles domestiques : les danses vibratoires, le butinage et la thermorégulation du nid. Par exemple, il est notamment connu depuis longtemps que les ouvrières communiquent sur la localisation des ressources par vibrations lors de danses en rond ou en huit. Quant à la température et l'humidité relative, elles sont strictement régulées au centre de la ruche afin de permettre les conditions favorables à l'élevage des larves et des nymphes (34 °C, 70 % HR). Ce couvain a également besoin d'apports de pollen et de nectar récoltés par les butineuses dans l'environnement de la ruche. Ces variables, qui témoignent du fonctionnement normal de la colonie, peuvent être aujourd'hui mesurées automatiquement et en continu par des capteurs électroniques qui visent à les rendre exploitables par l'utilisateur. Ces nouvelles technologies permettent également à l'apiculteur de juger à distance de l'état de développement de ses colonies, ce qu'il fait habituellement en observant, sur place, la quantité de couvain présent, le poids des ruches et l'activité de butinage.

Trois types d'utilisateurs emploient aujourd'hui les ruches instrumentées de capteurs : scientifiques, apiculteurs ou collectivités/entreprises. Les scientifiques tentent ainsi de mieux comprendre les comportements, les traits d'histoire de vie, leur chronologie, ainsi que leurs variations selon le contexte environnemental, ou suite à l'effet induit par une exposition à un facteur de stress. Quant aux apiculteurs, ils peuvent utiliser des capteurs pour observer les colonies à distance. Ils peuvent ainsi appréhender l'organisation interne de la ruche sans l'ouvrir, profitant aussi du fait que de nombreux capteurs sont plus performants que nos sens (par exemple, thermomètres, accéléromètres, compteurs, balances…). Nous verrons que si parmi le panel de capteurs disponibles peu peuvent aujourd'hui aider concrètement l'apiculteur à prendre des décisions (contrôler l'essaimage, transhumer, changer la reine, nourrir, appliquer un médicament…), certains pourraient être prometteurs pour le faire à terme. Des collectivités ou sociétés privées sont également les utilisateurs de ruches connectées. Leurs actions visent souvent la surveillance de la « santé » des colonies par l'emploi des capteurs, considérant qu'ainsi la qualité du milieu est évaluée.

1. Compteurs d'abeilles

Observer le trafic des butineuses à l'entrée de la ruche est à la portée de tous. Ce trafic est un bon indicateur de la force de la colonie et de sa capacité à exploiter les ressources alimentaires. Mais le dénombrement exhaustif des entrées ou des sorties des butineuses de l'aube au crépuscule est une tâche impossible pour l'œil et le cerveau humain. C'est pourquoi, à notre connaissance, les premières ruches instrumentées d'un dispositif d'enregistrement automatique concernent celles équipées d'un compteur d'abeilles. Lundie (1925) reporte pour la première fois la construction et l'utilisation d'un compteur d'abeilles électromécanique sortant de la ruche. Le principe de cet appareil, extrêmement simple, nous est décrit par Chauvin (1952). Dans chacun des dix canaux débouchant sur l'extérieur de la ruche se trouve un système de bascule qui établit un contact électrique à chaque sortie d'abeille. La succession des contacts, et donc des sorties, est enregistrée sur une bande de papier. Dans les années cinquante, un appareil à fonctionnement uniquement mécanique est développé (Chauvin, 1952), où chaque passage d'abeille actionne une bascule qui provoque la chute d'une goutte d'eau, faisant monter un niveau matérialisant le nombre cumulé de passages. Après de nombreuses solutions proposées pour dénombrer les abeilles entrant et sortant des ruches (Kerfoot, 1966 ; Spangler, 1969 ; Burril et Dietz, 1973 ; Erickson et al., 1975 ; Marletto et Piton, 1983), dans le début des années 90, les concepteurs de compteurs orientent leur effort sur le développement d'enregistrements électroniques associés à une interface informatique permettant un traitement plus efficace des données. Liu et al. (1990) mettent l'accent sur les nouvelles possibilités de transfert et de traitement informatique des données de leur appareil. L'acquisition des données est ainsi réalisée toutes les 15 minutes par un microprocesseur. Struye et al. (1994) présentaient un peu plus tard un appareil commercialisé reposant sur l'enregistrement des coupures de rayons infrarouges par les abeilles entrant ou sortant de la ruche.

Les scientifiques et les apiculteurs avaient placé beaucoup d'espoirs sur ces compteurs pour quantifier les pertes de butineuses, notamment à proximité de parcelles de cultures traitées avec un pesticide : le différentiel entre la somme quotidienne des sorties et celle des entrées donnerait le nombre de butineuses perdues à cause du toxique. Mais le taux d'erreur sur le nombre de passages des ouvrières par jour fût trop élevé pour permettre de mesurer les pertes quotidiennes (erreurs dues à la densité du trafic – plusieurs centaines d'abeilles/min – et à la formation de train d'abeilles au sein des canaux rendant compliqué l'identification de chaque individu).

Cet échec a motivé la réalisation d'une nouvelle génération de compteurs individualisant des abeilles marquées soit par des numéros ou codes-barres (Alaux et al., 2014) soit par des transpondeurs RFID (Figure 1 ; Streit et al., 2004 ; Decourtye et al., 2011). L'enregistrement automatique des comportements d'abeilles marquées individuellement a été employé dans de nombreuses études scientifiques fondamentales (Stelzer et Chittka, 2010), ou appliquées comme celles mesurant l'impact de stress biologiques ou chimiques sur les traits de vie des abeilles mellifères ou des bourdons (Alaux et al 2014 ; Gill et al., 2012 ; Budge et al., 2015). Par exemple, la méthode d'enregistrement du vol de retour à la ruche de butineuses, équipées d'une puce RFID et exposées à une dose sublétale d'un pesticide, est en cours de validation pour s'intégrer aux procédures officielles évaluant la dangerosité des pesticides avant leur mise sur le marché (Fourrier et Decourtye, 2018).

Ces enregistrements reposent au préalable sur l'identification manuelle d'individus et est donc limité à quelques cohortes d'abeilles. Toutefois l'émergence de nouvelles technologies sur l'acquisition et l'analyse d'image a ouvert des opportunités et des perspectives en matière de surveillance des colonies d'abeilles. Ainsi, un compteur d'abeille a été développé permettant le dénombrement en continu du nombre d'entrées et de sorties d'abeilles à l'échelle de la colonie et avec un taux d'erreur limité (3-6 %) (Figure 2 ; Crauser et Le Conte, 2010). Ce prototype est en cours d'amélioration pour devenir autonome en énergie sur le terrain.

Figure 1 : Une ouvrière d'abeille domestique marquée avec une puce RFID.

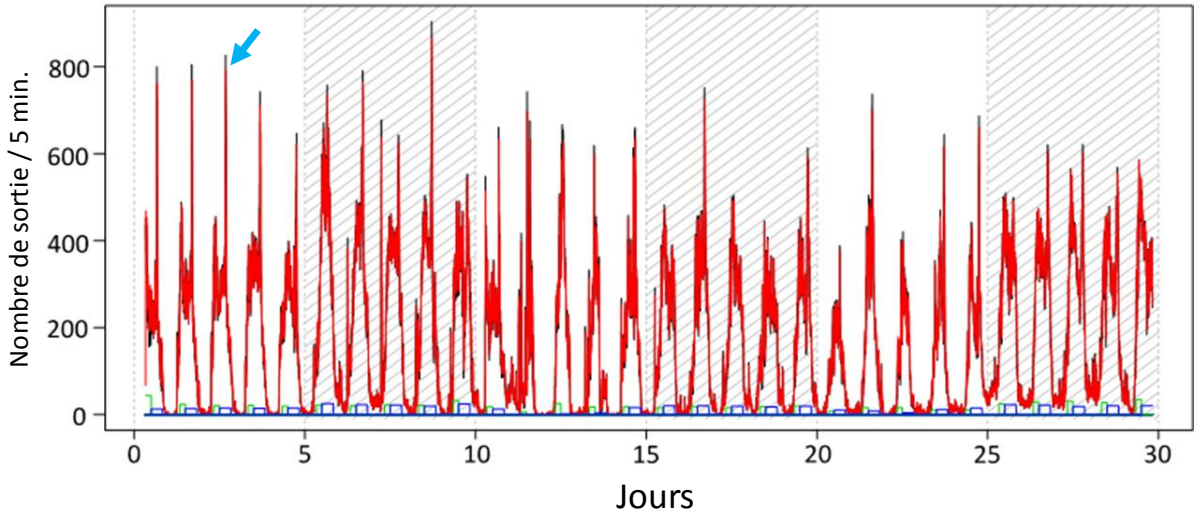

Figure 2 : Le nombre de sorties enregistrées toutes les 5 minutes par un compteur d'abeilles sur une ruche 5 cadres. L'enregistrement a été réalisé en continu sur 30 jours. Les pics d'activité quotidiens (flèche bleu) correspondent à des vols de propreté et/ou d'orientation. Le nombre de retours est aussi enregistré (non indiqué sur le graphique). Figure issue de Bordier et al. (2017).

2. Balances électroniques de ruches

Pour la plupart des apiculteurs professionnels, les frais de déplacement représentent le principal poste de dépenses, environ 40 % des coûts de production (Aulanier et Ferrus, 2018). Cela s'explique par la nécessité de transhumer leurs ruches, parfois sur de longues distances, plusieurs fois dans l'année dans des zones présentant une floraison massive de plantes mellifères. Un rucher d'apiculteur professionnel transhumant est donc en permanence en mouvement lors de la saison de production, d'où l'intérêt d'utiliser des balances de ruches interrogeables à distance. En effet, il est reconnu que le poids de la ruche est un indicateur de la quantité de miel stockée (McLellan, 1977 ; Calderone et Fondrk, 1991 ; Lecocq et al., 2015). Mais moins que la valeur même du poids de la ruche à un instant donné, c'est plus l'évolution au cours du temps de ce poids qui intéresse l'apiculteur. Ce gain de poids se révèle être un bon indicateur de la capacité de la colonie à se développer dans un milieu donné et du rendement en miel attendu. Ainsi, même si la précision de la mesure fait parfois défaut dans cet environnement à fortes contraintes que représente un emplacement de rucher, la lecture de l'évolution du poids répond aux attentes des apiculteurs.

Ces 15 dernières années, nombre d'entre eux se sont équipés de balances automatiques et connectées mesurant en temps réel le poids des ruches placées en situation de miellée. Nous recensons en France une douzaine de balances différentes sur le marché (http://itsap.asso.fr/outils/balances-automatiques/). La plupart des constructeurs de balances proposent un serveur compilant les données de poids envoyées souvent par GSM ou les technologies SigFox/LORA. Certaines balances sont associées à une station météorologique. Dans le cadre du programme apicole coordonné par FranceAgriMer, des subventions sont allouées aux exploitants apicoles depuis près de 10 ans pour l'achat de balances électroniques interrogeables à distance. Cela concerne 179 apiculteurs et 479 balances depuis 2013. Cet outil leur permet en effet d'organiser leur travail et donc de réduire les charges opérationnelles au cours d'une miellée en identifiant i) le début de la miellée, provoquant l'installation de la totalité des ruches, ii) la prolongation de la miellée, provoquant l'installation de hausses supplémentaires et iii) la fin de la miellée, provoquant la récolte des hausses pour en extraire le miel.

Si les balances sont principalement utilisées à l'échelle individuelle par les apiculteurs, la mise en commun de leurs données permet aux apiculteurs de comparer les performances des colonies selon l'emplacement du rucher ou selon les années. Pour partager l'évolution des poids des ruches, des portails ont été créés. Aux USA, le « Hive Scale Program » donne un exemple de diffusion en temps réel des données de poids de ruches instrumentées et dispersées sur une large échelle spatiale (https://beeinformed.org/hive-scaleprogram/).

L'unité Biostatistique et Processus spatiaux (INRA Avignon) propose une visualisation des dynamiques des poids lors des miellées de lavande (http://w3.avignon.inra.fr/lavandes/biosp/) et de tournesol (http://w3.avignon.inra.fr/lavandes/biosp/tournesolToutv1.html) qui est renouvelée quotidiennement (Figure 3). Les analyses des données de poids plus poussées permettent de détecter le début ou la fin de l'activité de butinage d'une colonie (Meikle et al., 2018). Dans les prochaines années, on peut espérer pouvoir prédire l'évolution du poids d'une ruche à partir des premières données acquises, à l'aide d'une approche de modélisation associant probablement d'autres variables liées au contexte (météo, disponibilité en ressources).

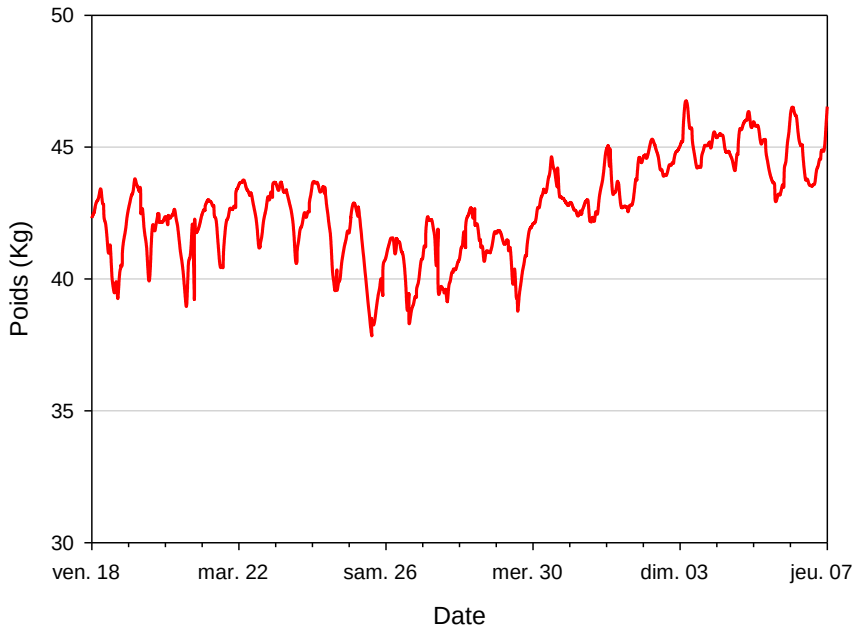

Figure 3 : L'évolution du poids d'une ruche de 10 cadres entre le 18/05/2018 et le 07/06/2018. Les diminutions et augmentations quotidiennes correspondent respectivement aux sorties et aux entrées des butineuses. On note que la ruche a accumulé environ 4 Kg en une vingtaine de jours.

3. Température et humidité relative internes

La régulation de la température et de l'humidité relative à l'intérieur de la ruche autour d'une valeur optimale est une fonction cruciale pour maintenir les bonnes conditions à l'élevage des larves et des nymphes. En effet le couvain est dit « sténotherme », puisque sa survie et son développement dépendent du maintien de la température dans une gamme réduite (33 à 36°C), alors que les adultes peuvent supporter des variations de températures élevées (« eurythermes »). Ainsi, les processus de thermorégulation au sein de la colonie nécessitent la capacité de produire de la chaleur (par le regroupement d'ouvrières et leurs contractions musculaires) ou de l'abaisser (par une dispersion des ouvrières et par l'évaporation de l'eau via leurs battements d'ailes). Ces processus influencent également l'humidité relative de la ruche qui doit être supérieure sous climat tempéré à celle des conditions atmosphériques (Human et al., 2006).

La thermorégulation sera d'autant plus remarquable que le point de mesure se rapproche de l'emplacement du couvain. C'est pourquoi le soin apporté au positionnement de la sonde d'enregistrement est primordial, d'autant plus que la surface destinée à l'élevage de couvain varie fortement selon la colonie, et chez une même colonie, selon la période. Une sonde introduite dans le compartiment d'élevage du couvain est susceptible de détecter une instabilité ou une anomalie des variables physiques (par exemple, une température en dehors de l'optimum thermique des larves de 33-36°C), pouvant révéler ainsi un affaiblissement de la colonie. Par contre, en s'éloignant du couvain, la température et l'humidité relative vont être plus influencées par les conditions atmosphériques et seront moins représentatives de l'intégrité des fonctions d'homéostasie de la colonie. Selon le but recherché d'un apiculteur, le nombre et l'emplacement des sondes sera différente. Par exemple, une sonde placée au cœur du couvain lui permettra de vérifier la présence de couvain thermorégulé, révélant une activité de ponte de la reine et une population d'ouvrières en capacité de maintenir l'homéostasie thermique. Au contraire une ou plusieurs sondes placées en début de saison en dehors du couvain, par exemple aux deux périphéries de la ruche, indiqueront à quel moment la ponte de la reine atteint cet endroit par une stabilisation de la température au-delà de 30°C, traduisant une augmentation de la taille de la population (les pratiques apicoles classiques consistent alors à prélever un essaim ou à installer une hausse). Toutefois des apiculteurs avertis font parfois remarqués qu'ils peuvent s'affranchir d'un tel équipement par un suivi régulier de leurs colonies, mais au prix de déplacements fréquents.

Contrairement à d'autres insectes sociaux, guêpes ou bourdons, l'abeille domestique possède la capacité d'hiverner dans son « nid » grâce à la survie d'une partie des ouvrières adultes, appelé « grappe », qui vont maintenir des températures positives par la production de chaleur endothermique, et permettent ainsi la survie de la reine. L'enregistrement de la température durant l'hiver est donc également une source d'informations sur le maintien des fonctions vitales de la colonie. Cependant, la localisation de la sonde d'enregistrement est encore plus complexe qu'en saison, car la grappe peut se déplacer et sur moins de 15 cm on peut observer un gradient de températures allant de 5°C en périphérie de la grappe à 25°C au cœur de celle-ci (Fahrenholz et al., 1989).

4. Vibrations

Depuis les études sur les danses (e.g. Michelsen et al., 1986), nous savons que les vibrations constituent une forme de communication essentielle dans la colonie. Les butineuses, de retour à la ruche avec leur récolte, motivent leurs congénères à les imiter lors des danses en produisant des vibrations par leurs muscles thoraciques (Nieh et Tautz, 2000). Les ouvrières suivant ces danses vont percevoir les signaux vibratoires de faibles fréquences, généralement inférieurs à 300 Hz, grâce à des récepteurs sensoriels présents au niveau de leurs pattes (Sandeman et al., 1996). Mais une colonie est capable de produire un plus large spectre de fréquences, d'environ 10 à plus de 1000 Hz (Bencsik et al., 2011), dont la plupart ont une signification inconnue à ce jour. Interpréter en processus biologiques

ou écologiques de tels signaux physiques, qui contiennent « un bruit » important, demande en effet des compétences très spécifiques. Or, la bioacoustique s'intéresse depuis peu aux facultés de la colonie à produire différentes vibrations. Pour les enregistrer, Nieh et Tautz (2000) ont utilisé un vibromètre laser posé sur les cadres de la ruche. Si cet instrument permet de capter les vibrations produites par un individu, les accéléromètres sont plus adaptés pour enregistrer les vibrations en périphérie du système, et sont par ailleurs moins coûteux (quelques dizaines d'euros au lieu de plusieurs centaines). D'après les travaux préliminaires de Bencsik et al. (2011), cette technologie permettrait de détecter l'essaimage d'une colonie quelques jours avant sa survenue. Toujours grâce à elle, il a été trouvé une forte corrélation entre l'amplitude des vibrations et le cycle de développement du couvain élevé à proximité du point d'enregistrement (Figure 4 ; Bencsik et al., 2015). Ainsi, l'accéléromètre est un capteur prometteur pour à terme renseigner l'apiculteur sur la présence de couvain dans sa ruche, voire pour lui préciser le stade de développement de ce couvain apportant dans ce cas une plus-value par rapport à une sonde de température judicieusement positionnée dans la ruche.

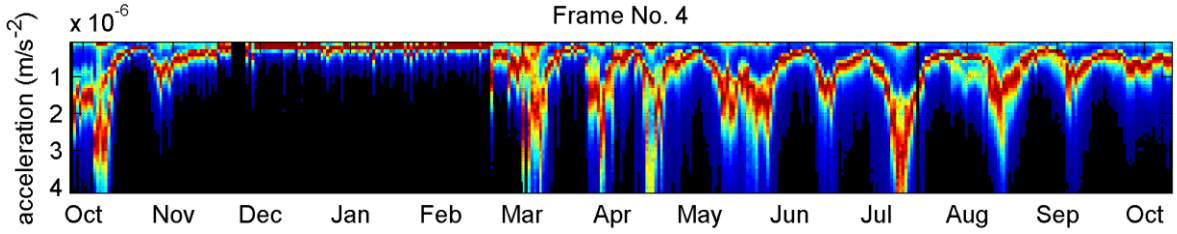

Figure 4 : L'amplitude des vibrations au cours d'une année sur le cadre central d'une ruche. On note que le spectre de vibration atteint un pic tous les 21-26 jours, ce qui correspond au cycle de développement du couvain d'ouvrières (21 jours) et au début d'une nouvelle ponte sur le cadre par la reine. Ainsi, plusieurs générations d'ouvrières sont produites entre mars et septembre alors qu'aucune n'est détectée en hiver (novembre à février). Figure issue de Bencsik et al. (2015).

5. Traceurs

Si une sonde géolocalisant la ruche peut être employée à des fins scientifiques pour connaitre précisément le parcours géographique des transhumances, cet objet est surtout utilisé comme antivol par les apiculteurs. En effet, les apiculteurs subissent de plus en plus fréquemment le vol de leurs ruches. Les importantes pertes de cheptel qu'ils subissent et le prix élevé des colonies semblent aggraver ce phénomène. La filière apicole cherche ainsi des moyens pour contrecarrer ces vols. Certains systèmes antivol introduits dans la ruche ne s'actionnent qu'en cas de déplacement ou de renversement de la ruche. D'autres communiquent sans fil et de façon autonome la localisation de la ruche en temps réel, permettant à l'utilisateur de disposer automatiquement des itinéraires de transhumances suivis. Les données peuvent être consultées depuis un ordinateur, une tablette ou un smartphone.

6. Discussion

L'évolution rapide et la grande diversification des technologies numériques, la miniaturisation des sondes, et l'augmentation croissante de la performance des composants électroniques provoquent des changements importants dans notre manière d'observer les abeilles domestiques, et d'agir sur elles. Comme dans de nombreux autres domaines agricoles, l'avènement de nouvelles technologies de plus en plus précises et miniaturisées a permis de multiplier le nombre de mesures sur le comportement des abeilles et l'état de développement de leurs colonies. Les ruches connectées remplacent les sens de l'observateur, mais également en partie ses capacités d'analyse en constituant des données brutes et

en les restituant en un message adéquate (par exemple, le gain de poids d'une ruche entre deux dates). Les défis à l'heure actuelle sont de fiabiliser la prise de ces mesures et de leur donner un sens afin de pouvoir à terme interpréter l'état de l'organisme, ici la colonie, et agir en conséquence.

6.1 Applications scientifiques

La technologie des capteurs renouvèle les approches en « sociométrie » (Tschinkel, 1991), à savoir la description et l'analyse des interactions entre individus d'une colonie, en mesurant leurs attributs physiques et chimiques (e.g. Gernat et al., 2018). D'autres études plus appliquées ont employé les capteurs pour évaluer l'impact de menaces biologiques ou chimiques (Decourtye et al., 2011 ; Henry et al., 2012 ; Alaux et al., 2014 ; Henry et al., 2015 ; Bordier et al., 2017). Nous pouvons souligner le fait que parmi les capteurs utilisés, ne figurent pas à notre connaissance de capteurs de variables chimiques (par exemple, des nez électroniques qui détecteraient certaines phéromones).

Ces technologies éclairent d'un nouveau regard la recherche d'indicateurs précoces d'affaiblissement des colonies, qui sont tant attendus par les apiculteurs. Pour atteindre cet objectif il est probable qu'il faille associer plusieurs mesures, demandant de sauvegarder et concaténer des données variées en recherchant des économies d'échelle. La traduction en composantes biologiques et écologiques de ces données générées en masse, et portant un bruit souvent très élevé, nécessite de nouveaux partenariats de recherche entre des biologistes et des spécialistes en ingénierie, en traitement du signal, en mathématiques appliquées ou en modélisation. L'objectif est de rendre opérationnels les capteurs pour les apiculteurs, en identifiant la gamme de valeurs normales et les seuils au-delà desquels une atteinte à l'intégrité de la colonie, ou à ses performances, serait attendue.

6.2 Outils d'aide à la décision pour l'apiculteur

L'élevage de précision en apiculture peut consister à utiliser des capteurs électroniques générant des données indicatrices des paramètres comportementaux ou de production des abeilles, permettant de repérer les anomalies sur les colonies et d'alerter l'apiculteur pour qu'il intervienne précocement. Mais si de nombreux capteurs ont une robustesse et fiabilité jugées suffisamment satisfaisante pour qu'ils soient utilisés dans les études scientifiques, peu de ces capteurs sont intégrés dans les pratiques zootechniques de l'apiculteur. La balance automatique mesurant le poids des ruches est l'exception car elle est employée par les apiculteurs, pour le moment, uniquement à des fins d'optimisation des pratiques. Selon les chiffres disponibles, 9 à 10 % des apiculteurs professionnels français posséderaient une ou plusieurs balances. La généralisation de cet outil tient probablement dans la facilité de lecture et d'interprétation des enregistrements et sa très grande significativité pour un apiculteur. En lisant le gain de poids d'une ruche, il va pouvoir directement évaluer, la capacité de la colonie à stocker du miel et plus généralement la qualité de la miellée, sans être accompagné par un technicien ou un conseiller. Les fournisseurs de balances proposent pour cela des interfaces sur internet pour visualiser les résultats.

Nous observons actuellement des initiatives de mise en commun des données des balances coordonnées par les associations régionales de développement apicole (http://adaaq.adafrance.org/infos/suivi_miellee.php). Cette mutualisation implique au préalable un accord des propriétaires des données qui reste une phase sensible. La géolocalisation précise des ruchers lors d'une miellée est notamment refusée par certains apiculteurs qui craignent la compétition avec d'autres apiculteurs. Demain, le développement d'autres capteurs que les pesons électroniques pourra probablement aboutir à leur transfert chez les apiculteurs, en tant qu'outil d'aide à la décision. Cela pourrait être le cas des accéléromètres ou des sondes enregistrant la température. Ces capteurs ont l'avantage d'être peu couteux (40-70 €), contrairement aux pesons automatiques (200-500 €), envisageant une utilisation sur toutes les ruches d'un apiculteur, ou du moins sur une majorité, même

lorsqu'il est professionnel (>350 ruches). Mais nous manquons actuellement de références, ou de modèles, pour estimer l'état normal ou anormal de la colonie à partir des enregistrements obtenus. De plus, l'influence de ces nouvelles informations sur la gestion des ruchers par les apiculteurs reste non documentée. Et si le gain escompté des technologies de précision se situe au niveau de la qualité et de la fiabilité du suivi de chaque colonie, il est souvent difficile de trouver des données métrologiques associées aux capteurs pour vérifier leur fiabilité.

Enfin, il est reconnu que ces technologies possèdent leur lot de contraintes associées à la masse et à la complexité des informations à trier et à analyser, de l'obligation d'acquérir de nouvelles compétences, et du risque de dysfonctionnement (Hostiou et al., 2014).

6.3 Surveillance environnementale

Des collectivités et des entreprises s'engagent pour relever les défis sociétaux actuels (réduire la pollution, réchauffement climatique, agro-écologie, préservation d'espèces en danger, qualité de l'alimentation). Or, on entend régulièrement parler des abeilles dans les médias, comme des espèces sensibles aux atteintes de l'environnement. Les abeilles sont ainsi un bon vecteur pour sensibiliser à la défense de la nature car les valeurs portées par ces insectes ont un grand capital de sympathie dans le large public. Elles sont porteuses de sens pour le plus grand monde, grâce à leur rôle de pollinisateur et aux menaces qui pèsent sur elles. Ainsi, des bureaux d'études proposent des ruches équipées de capteurs pour évaluer la qualité de l'environnement. Les capteurs fournissent des proxys de la capacité du milieu à permettre le développement des colonies. Cette évaluation est toutefois sommaire car l'activité des abeilles et le développement des colonies sont aussi conditionnés par les conditions extrinsèques à la colonie, la météo et la présence de ressources alimentaires, et elle l'est tout autant par des facteurs intrinsèques, comme la génétique de l'abeille. De plus, comme pour l'utilisation destinée aux apiculteurs, les références et les méthodologies permettant de diagnostiquer le milieu à partir des données des capteurs ne sont pas acquises, l'évaluation demeure ainsi empirique. Pour combler cette lacune, la centralisation de ces données et le partenariat avec les scientifiques serait nécessaire. Cette perspective imposera de régler la question de la propriété des données et de leur droit d'usage.

6.4 Découverte récréative de l'abeille

Certains apiculteurs installent des sondes de température et d'humidité relative au sein de leur ruche, voire des compteurs, mais ils restent très peu nombreux et l'utilisation est souvent temporaire. Ils sont souvent motivés par la curiosité d'observer la vie fascinante de ces insectes sociaux. Les capteurs rendent accessibles la vie interne à la ruche, sans l'ouvrir. Ils permettent de garder le lien à distance, mais garder un œil sur ses colonies avec de telles technologies ne rend pas forcément le monde de l'abeille plus compréhensible. Alors que l'élevage de précision est une solution proposée pour surveiller des cheptels volumineux, améliorer les conditions de travail et la productivité, les objectifs des systèmes automatisés chez les apiculteurs de loisir se limitent à préciser et raient souvent à se substituer à leurs observations visuelles, tactiles et olfactives. Il est remarquable que chez certains apiculteurs se concilie une version « très écologisée » de l'apiculture (souches locales, minimum d'intrant) tout en misant sur une automatisation des observations, pouvant réduire le contact direct avec leurs abeilles. Ils associent alors des choix qui sont souvent perçus comme opposés dans d'autres élevages, à savoir d'un côté la passion pour l'animal, la proximité avec la nature, et de l'autre, l'acquisition de la dernière technologie.

Références bibliographiques

Alaux C., Crauser D., Pioz M., Saulnier C., Le Conte Y., 2014. Parasitic and immune-modulation of flight activity in honey bees tracked with optical counters. Journal of Experimental Biology 217, 3416-3424

Aulanier F, Ferrus C., 2018. L'apiculture professionnelle : aspects technico-économiques des exploitations. In: Decourtye A. (eds), Abeilles, des ouvrières agricoles à protéger. La France Agricole, ACTA Editions, Paris.

Bencsik M., Bencsik J., Baxter M., Lucian A., Romieu J., Millet M., 2011. Identification of the honeybee swarming process by analyzing the time course of hive vibrations. Comput. Electron. Agric. 76, 44–50

Bencsik M., Le Conte Y., Reyes M., Pioz M., Whittaker D., Crauser D., et al. 2015. Honeybee Colony Vibrational Measurements to Highlight the Brood Cycle. PLoS ONE 10(11), e0141926

Bordier C., Dechatre H., Suchail S., Peruzzi M., Soubeyrand S., Pioz M., Pellisier M., Crauser D., Le Conte Y., Alaux C., 2017. Colony adaptive response to simulated heat waves and consequences at the individual level in honeybees (*Apis mellifera*). Scientific Reports 7, 3760

Budge G.E., Garthwaite D., Crowe A., Boatman N.D., Delaplane K.S., Brown M.A., Pietravalle S., 2015. Evidence for pollinator cost and farming benefits of neonicotinoid seed coatings on oilseed rape. Scientific Reports 5, 12574

Burrill R.M., Dietz A., 1973. An automatic honey-bee counting and recording device (Apicard) for possible systems analysis of a standard colony. Amer. Bee Jour. 113, 216-218

Calderone N.W., Fondrk M.K., 1991. Selection for high and low, colony weight gain in the honey bee, *Apis mellifera*, using selected queens and random males. Apidologie 22 (1), 49-60

Chauvin R., 1952. Nouvelle technique d'enregistrement de l'activité de la ruche. L'Apiculteur (Sec. Scientifique) 96(3), 9-14

Crauser D., Le Conte Y., 2010. Compteur d'entrées et sorties d'abeilles. Agence pour la Protection des Programmes, France. IDDN.FR.001.130013.000.R.P.2010.000.31235

Decourtye A., Devillers J., Aupinel P., Brun F., Bagnis C., Fourrier J., Gauthier M., 2011. Honeybee tracking with microchips: a new methodology to measure the effects of pesticides. Ecotoxicology 20, 429–437, DOI: 10.1007/s10646-011-0594-4

Erickson E.H., Miller H.H., Sikkema D.J., 1975. A Method of Separating and Monitoring Honey-bee Flight Activity at the Hive Entrance. Jour. Apicult. Res. 14, 119-125

Fahrenholz L., Lamprecht I., Schricker B., 1989. Thermal investigation of a honeybee colony: thermoregulation of the hive during summer and winter and heat production of members of the different bee castes, J. comp. physiol. B 159, 551-560

Fourrier J., Decourtye A., 2018. Mieux évaluer le risque lié aux pesticides avant leur mise sur le marché. In: Decourtye A. (Eds), Abeilles, des ouvrières agricoles à protéger. La France Agricole, ACTA Editions, Paris.

Gernat T., Rao V.D., Middendorf M., Dankowicz H., Goldenfeld N., Robinson G.E., 2018. Automated monitoring of behavior reveals bursty interaction patterns and rapid spreading dynamics in honeybee social networks. Proceedings of the National Academy of Sciences 115(7), 1433-1438

Gill R.J., Ramos-Rodriguez O., Raine N.E., 2012. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. Nature 491(7422), 105–108

Henry M., Beguin M., Requier F., Rollin O., Odoux J.-F., Aupinel P., Aptel J., Tchamitchian S., Decourtye A., 2012. A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. Science 336, 348-350

Henry M., Cerrutti N., Aupinel P., Decourtye A., Gayrard M., Odoux J.-F., Pissard A., Rüger C., Bretagnolle V., 2015. Reconciling laboratory and field assessments of neonicotinoid toxicity to honeybees. Proceedings of the Royal Society B. 282, 20152110

Hostiou N., Allain C., Chauvat S., Turlot A., Pineau C., Fagon J., 2014. L'élevage de précision : quelles conséquences pour le travail des éleveurs ? In : Ingrand S., Baumont R. (Eds), Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ?, INRA Productions Animales, numéro spécial 27(2)

Human H., Nicolson S.W., Dietemann V., 2006. Do honeybees, *Apis mellifera scutellata*,regulate humidity in their nest? Naturwissenschaften 93, 397-401

Kerfoot W.B., 1966. A photoelectric activity recorder for studies of insect behavior. J. Kan. Ent. Soc. 39, 629-633

Lecocq A., Kryger P., Vejsnæs F., Bruun Jensen A., 2015. Weight Watching and the Effect of Landscape on Honeybee Colony Productivity: Investigating the Value of Colony Weight Monitoring for the Beekeeping Industry. PLoS ONE 10(7): e0132473

Liu C., Leonard J.J., Feddes J.J., 1990. Automated monitoring of flight activity at a beehive entrance using infrared light sensors. J. Apic. Res. 29, 20-27

Lundie A.E., 1925. The flight activities of the honey bees, United States Department of Agriculture, Dept. Bull. No. 1328.

Marletto F., Piton P., 1983. Conta-api elettronico per la verifica dell'attività degli alveari. Apic. Mod. 74, 137-141

Mclellan A.R., 1977. Honeybee colony weight as an index of honey production and nectar flow: a critical evaluation. J. Appl. Ecol. 14, 401–408

Meikle W.G., Holst N., Colin T., Weiss M., Carroll M.J., McFrederick Q.S., et al. 2018. Using within-day hive weight changes to measure environmental effects on honey bee colonies. PLoS ONE 13(5), e0197589

Michelsen A., Kirchner W.H., Lindauer M., 1986. Sound and vibrational signals in the dance language of the honeybee, *Apis mellifera*. Behav. Ecol. Sociobiol. 18, 207

Nieh J.C., Tautz J., 2000. Behaviour-locked signal analysis reveals weak 200–300 Hz comb vibrations during the honey bee waggle dance. J. Exp. Biol. 203, 1573–1579

Sandeman D.C., Tautz J., Lindauer M., 1996. Transmission of vibration across honeycombs and its detection by bee leg receptors. J. Exp. Biol. 199, 2585–2594

Spangler H.G., 1969. Photoelectrical counting of outgoing and incoming honey-bees. J. Econ. Ent. 62, 1183-1184

Stelzer R.J., Chittka L., 2010. Bumblebee foraging rhythms under the midnight sun measured with radiofrequency identification. BMC Biology 8, 93

Struye M.H., Mortier H.J., Arnold G., Miniggio C., Borneck R., 1994. Microprocessor-controlled monitoring of honeybee flight activity at the hive entrance. Apidologie 25, 384–395

Tschinkel W.R., 1991. Insect sociometry, a field in search of data. Insectes Sociaux 38, 77-82

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).