

## La ruche connectée : l'abeille sous surveillance numérique

Toute personne ayant déjà ouvert une ruche pour découvrir les abeilles qui l'habitent, sait que les abeilles émettent des sons, exécutent de nombreuses 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 » à l'aide de capteurs électroniques séduit de nombreux apiculteurs ou biologistes de l'abeille domestique. Quels sont les avantages et les limites de l'utilisation de ces nouvelles technologies de la « ruche connectée » ? En quoi peuvent-elles contribuer à une meilleure surveillance environnementale ? Cet article fait le point sur le sujet.



évolution rapide et la grande diversification des technologies numériques, la miniaturisation des capteurs et des transpondeurs, 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 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 adéquat (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 la colonie, et agir en conséquence.

Trois types d'utilisateurs emploient aujourd'hui les ruches instrumentées de capteurs : scientifiques, apiculteurs et 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, ces nouvelles technologies leur permettent de juger à distance de l'état de développement de leurs colonies, ce qu'ils font habituellement

en observant sur place la quantité de couvain présent, le poids des ruches, l'activité de butinage, etc. 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...). Des collectivités ou sociétés privées utilisent également les ruches connectées. Il s'agit souvent de surveiller la « santé » des colonies par l'emploi des capteurs, dans l'idée que cela permet d'évaluer plus généralement la qualité du milieu.

### Compteurs d'abeilles

Le trafic des butineuses à l'entrée de la ruche 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 les ruches instrumentées d'un dispositif d'enregistrement automatique des allers et venues des butineuses sont anciennes (Lundie, 1925). Les scientifiques et les apiculteurs avaient placé beaucoup d'espoirs sur les versions modernes des compteurs (Struye *et al.*, 1994) 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 était trop élevé pour permettre de mesurer les pertes quotidiennes (erreurs dues à la densité du trafic – plusieurs centaines d'abeilles par minute – et à la formation de train d'abeilles au sein des canaux rendant compliquée 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 (photo ❶ ; Streit *et al.*, 2003 ; 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 (*Radio Frequency Identification*) et exposées à une dose sub létale 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 sont donc limités à quelques cohortes d'abeilles. Toutefois l'émergence de nouvelles technologies d'acquisition et d'analyse d'images 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 ❶ ; Crauser et Le Conte, 2010). Ce prototype est en cours d'amélioration pour devenir autonome en énergie sur le terrain.

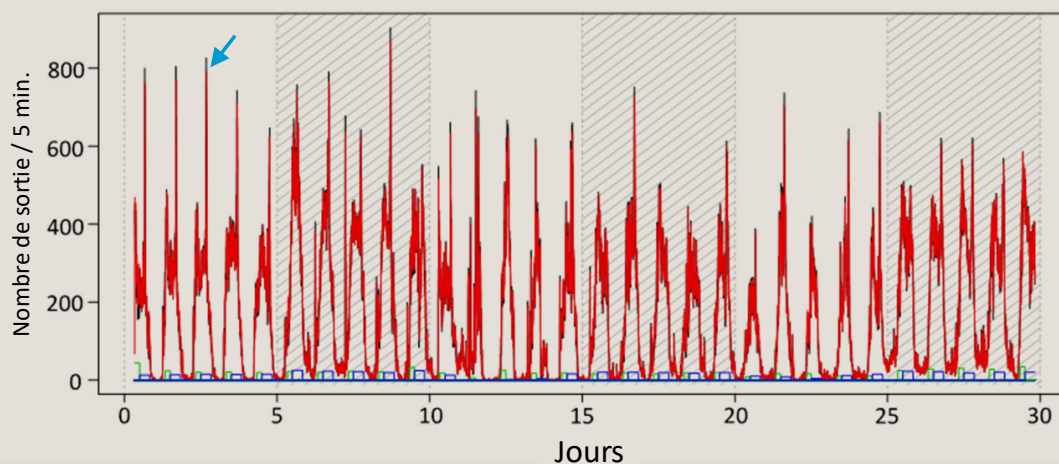


❶ Une ouvrière d'abeille domestique marquée avec une puce RFID.

### Balances électroniques

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. L'utilisation de balances de ruches interrogeables à distance est donc d'un grand intérêt. 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 ;

❶ Le nombre de sorties enregistrées toutes les cinq minutes par un compteur d'abeilles sur une ruche comprenant cinq cadres. L'enregistrement a été réalisé en continu sur trente jours. Les pics d'activité quotidiens (flèche bleue) correspondent à des vols de propretés et/ou d'orientation. Le nombre de retours est aussi enregistré (non indiqué sur le graphique).  
Source : Bordier *et al.* (2017).



▶ Meikle *et al.*, 2018). Mais moins que la valeur même du poids de la ruche à un instant donné, c'est 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. Cet outil leur permet d'organiser leur travail et donc de réduire les charges opérationnelles au cours d'une miellée en identifiant :

- le début de la miellée, provoquant l'installation de la totalité des ruches,
- la prolongation de la miellée, entraînant l'agrandissement du volume destiné au stockage du miel dans la ruche par l'installation de hausses supplémentaires,
- la fin de la miellée, provoquant la récolte des hausses par l'apiculteur pour en extraire le miel.

Ces quinze 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 avons recensé en France une quinzaine de balances différentes sur le marché, sur plus d'une vingtaine de type existant<sup>1</sup>. Dans le cadre du programme apicole coordonné par FranceAgriMer, des subventions sont allouées aux exploitants apicoles depuis près de dix ans pour l'achat de balances électroniques interrogeables à distance.

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 États-Unis, le *Hive Scale Program* donne un exemple de diffusion en temps réel des données de poids de ruches ins-

trumentées et dispersées sur une large échelle spatiale<sup>2</sup>. L'unité « Biostatistique et processus spatiaux » (INRA Avignon) et l'Association de développement apicole provençale proposent une visualisation des dynamiques des poids lors des miellées de lavande<sup>3</sup> et de tournesol<sup>4</sup> qui est renouvelée quotidiennement (figure 2). 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).

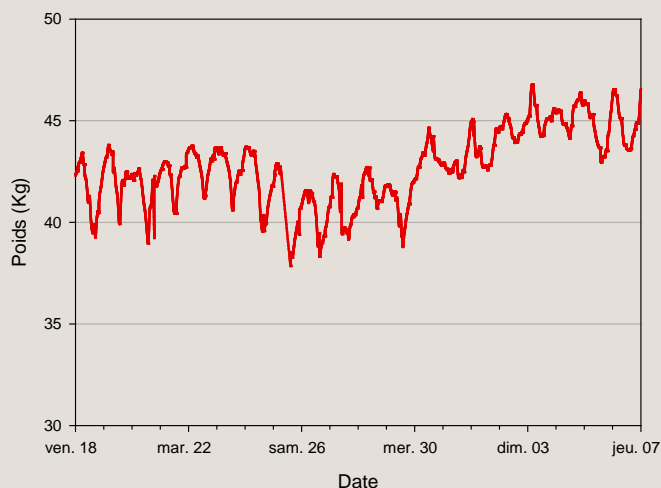
### Température et humidité relative

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 pour 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 la ventilation). 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 davantage influencées par les conditions atmosphériques et seront moins représentatives de l'intégrité des fonctions d'homéostasie de la colonie. 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.

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.

2 L'évolution du poids d'une ruche de dix cadres entre le 18 mai et le 7 juin 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.



1. <http://itsap.asso.fr/outils/balances-automatiques/>

2. <https://beeinformed.org/hive-scaleprogram/>

3. <http://w3.avignon.inra.fr/lavandes/biosp/>

4. <http://w3.avignon.inra.fr/lavandes/biosp/tournesolToutv1.html>

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).

### 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 1 000 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 des compétences très spécifiques. Or, la bioacoustique s'intéresse depuis peu aux facultés de la colonie à produire différentes vibrations. Pour les enregistrer, il est possible d'utiliser un vibromètre laser (Nieh et Tautz, 2000) posé sur les cadres de la ruche, ou un accéléromètre qui semble plus adapté pour enregistrer les vibrations en périphérie du système et moins coûteux (quelques dizaines d'euros au lieu de plusieurs centaines). D'après 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 3 ; 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.

### Traceurs

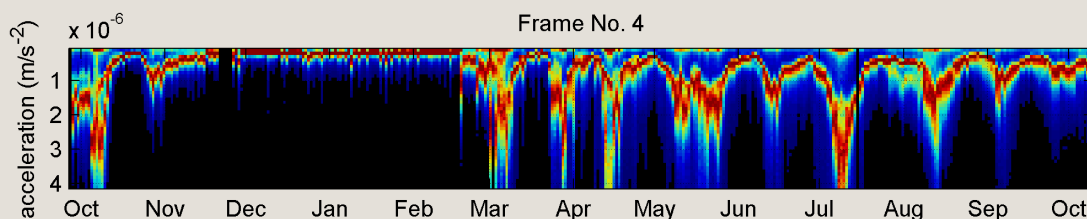
Si une sonde géolocalisant la ruche peut être employée à des fins scientifiques pour connaître précisément le parcours géographique des transhumances, cet objet est surtout utilisé comme antivol par les apiculteurs. En effet, les apiculteurs subissent de plus en plus fréquemment des vols de leurs ruches. Les importantes pertes de cheptel qu'ils subissent et le prix élevé des colonies posent alors problème aux apiculteurs. 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.

### Applications scientifiques

La technologie des capteurs renouvelle 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).

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. Finalement, nous pouvons présager que des capteurs de variables chimiques, par exemple des nez électroniques qui détecteraient certaines phéromones, seront prochainement employés dans les laboratoires.

- 3 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). Source : Bencsik *et al.* (2015).



### ► 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 peu de ces capteurs sont intégrés dans les pratiques zootechniques de l'apiculteur. La balance automatique mesurant le poids des ruches est l'exception. Elle serait employée par 9 à 10% des apiculteurs professionnels français à des fins d'optimisation des pratiques. 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, l'apiculteur 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<sup>5</sup>. 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 refusée par certains apiculteurs qui craignent la compétition avec d'autres apiculteurs ou le vol de leurs ruches. Demain, le développement d'autres capteurs, différents des pesons électroniques, pourra probablement aboutir à leur transfert chez les apiculteurs, en tant qu'outil d'aide à la décision. Pour cela, il nous faudra identifier la gamme de valeurs normales et les seuils au-delà desquels une atteinte à l'intégrité de la colonie, ou à ses performances, risque d'être observée. Cela pourrait être le cas des accéléromètres ou des sondes enregistrant la température. Ces capteurs ont l'avantage d'être peu coûteux (40-70 euros), contrairement aux pesons automatiques (200-500 euros), permettant d'envisager 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 météorologiques associées aux capteurs pour vérifier leur fiabilité.

### Surveillance environnementale

Des collectivités et des entreprises s'engagent pour relever les défis sociétaux actuels (réduction de la pollution, réchauffement climatique, agroécologie, préservation d'espèces en danger, qualité de l'alimentation). Or, on entend régulièrement parler des abeilles dans les médias, comme d'une espèce particulièrement sensible aux atteintes de l'environnement. Les abeilles sont ainsi un

bon vecteur pour sensibiliser les acteurs à la défense de la nature car les valeurs portées par ces insectes suscitent un grand capital de sympathie chez un public large. Les abeilles sont porteuses de significations positives liées à leur rôle de pollinisateur mais aussi à la conscience des menaces qui pèsent sur elles. Ainsi, des bureaux d'études proposent-ils des ruches équipées de capteurs pour évaluer la qualité de l'environnement. Les capteurs fournissent des indicateurs 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, comme 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 seraient nécessaires.

### 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 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 accessible la vie interne de 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 souvent à se substituer, à leurs observations visuelles, tactiles et olfactives. ■

### Les auteurs

#### Axel DECOURTYE

ITSAP-Institut de l'abeille, UMT Prade, ACTA,  
228 route de l'aérodrome,  
F-84914 Avignon, Cedex 9, France

✉ [axel.decourtye@itsap.asso.fr](mailto:axel.decourtye@itsap.asso.fr)

#### Alexandre DANGLÉANT et Fabrice ALLIER

ITSAP-Institut de l'abeille, UMT Prade,  
228 route de l'aérodrome,  
F-84914 Avignon, Cedex 9, France.

✉ [alexandre.dangleant@itsap.asso.fr](mailto:alexandre.dangleant@itsap.asso.fr)

✉ [fabrice.atier@itsap.asso.fr](mailto:fabrice.atier@itsap.asso.fr)

#### Cédric ALAUX

UMT Prade,  
INRA, UR 406, Abeilles et environnement,  
228 route de l'aérodrome,  
F-84914 Avignon, Cedex 9, France.

✉ [cedric.alaux@inra.fr](mailto:cedric.alaux@inra.fr)

5. [http://adaaq.adafrance.org/infos/suivi\\_miellee.php](http://adaaq.adafrance.org/infos/suivi_miellee.php)

## Remerciements

Cette synthèse est issue de réflexions autour de deux programmes : MIELLEES « Mutualiser les mesures automatiques de poids des ruches pour surveiller et optimiser la production de miel », coordonné par l'ITSAP-Institut de l'abeille et financé par le Compte d'affectation spécial « Développement Agricole et Rural » ; TOOLBEE « Tester des outils de suivi des colonies d'abeilles et des risques d'affaiblissement » (17-03R) coordonné par l'INRA et financé par le Programme communautaire de l'apiculture.

## EN SAVOIR PLUS...

- 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*, n° 217, p. 3416-3424.
- 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*, n° 20, p. 429-437, DOI: 10.1007/s10646-011-0594-4
- DECOURTYE, A., 2018, *Les abeilles, des ouvrières agricoles à protéger*, La France Agricole/ACTA Éditions/ITSAP-Institut de l'abeille, Paris, 295 p.
- 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*, n° 336, p. 348-350.
- MEIKLE, W.G., HOLST, N., COLIN, T., WEISS, M., CARROLL, M.J., MCFREDERICK, Q.S., BARRON, A.B., 2018, Using within-day hive weight changes to measure environmental effects on honey bee colonies, *PLoS ONE*, 13(5), disponible sur : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197589>