

# Bulletin épidémiologique Santé animale - alimentation

Novembre 2017  
Numéro spécial abeilles

## L'épidémiologie appliquée à la santé de l'abeille domestique

Pascal Hendrixx (1), Axel Decourtye (2,3,4), Maryline Pioz (3,5), Stéphanie Franco (6), Sébastien Wendling (7), Anne Bronner (7), Didier Calavas (8), Marie-Pierre Chauzat (9)

Auteur correspondant : pascal.hendrixx@anses.fr

(1) Université de Lyon-Anses, Laboratoire de Lyon, Unité de coordination et d'appui à la surveillance, Lyon, France

(2) Institut technique et scientifique de l'Apiculture et de la pollinisation, Avignon, France

(3) Unité mixte technologique Protection des abeilles dans l'environnement, Avignon, France

(4) Association de coordination technique agricole, Avignon, France

(5) Institut national de recherche agronomique, Unité Abeilles et Environnement, Avignon, France

(6) Anses, Laboratoire de Sophia Antipolis, Unité Pathologie de l'abeille, Sophia Antipolis, France

(7) Direction générale de l'Alimentation, Bureau de la santé animale, Paris, France

(8) Université de Lyon-Anses, Laboratoire de Lyon, Unité Épidémiologie, Lyon, France

(9) Anses, Direction de la stratégie et des programmes, Unité de coordination et d'appui à la surveillance, Maisons-Alfort, France

### Résumé

L'approche épidémiologique de la santé de l'abeille domestique *Apis mellifera* est encore récente et motivée depuis quinze ans par l'augmentation des mortalités de colonies. Elle est conditionnée par des spécificités liées à la filière apicole. Dans le domaine de la surveillance, les objectifs doivent être déterminés avec précision pour s'assurer de répondre à une finalité opérationnelle. Les cas sont souvent difficiles à définir et doivent tenir compte de l'unité épidémiologique considérée. La collecte des données se heurte souvent à la disponibilité et à la qualité des outils de mesure. Pour lever ces contraintes, un effort particulier est à porter sur la formation et l'organisation des acteurs. Dans le domaine de l'épidémiologie analytique, les études se confrontent à la difficulté du choix des facteurs de santé à prendre en considération, en raison notamment de l'implication combinée de ces facteurs dans les troubles de santé observés. Cette multiplicité des facteurs et la complexité des mécanismes de leurs impacts nécessitent d'avoir recours à de grandes tailles d'échantillon ce qui est difficile dans la pratique. De même, le développement de modèles prévisionnels se heurte à la difficulté d'estimer les paramètres de ces modèles. L'ensemble de ces difficultés pousse les acteurs à partager les référentiels qui permettraient de mutualiser les données collectées.

### Mots-clés

Épidémiologie, santé des abeilles, surveillance, épidémiologie analytique

### Abstract

#### *Epidemiology applied to honeybee health*

*Epidemiology applied to honeybee health is still recent and has been motivated for fifteen years by the increase in colony mortality and conditioned by specificities related to the sector. In the field of surveillance, objectives must be precisely determined to ensure that they meet an operational purpose. Cases are often difficult to define and must take into account the considered epidemiological unit. Data collection is often limited by the availability and quality of measurement tools. To remove these constraints, a special effort has to be made on the training and the organization of surveillance actors. In the field of analytical epidemiology, a difficulty is to choose the health factors to be taken into account, in particular because of the associated implication of these factors in the health problems. This multiplicity of factors and the complexity of the mechanisms of their impacts require the use of large sample sizes, which is difficult in practice. Similarly, the development of predictive models is hampered by the difficulty of estimating their parameters. All these difficulties push the actors to share data repository in order to make it possible to pool data collected for further analysis and interpretation.*

### Keywords

*Epidemiology, Honeybee health, Surveillance, Analytical epidemiology*

La santé des populations d'abeilles mellifères *Apis mellifera* a été plus particulièrement marquée au cours de ces dernières décennies par l'apparition de *Varroa destructor* en Europe dans les années 1970 (1982 en France), et, depuis le début des années 2000, par le signalement d'une augmentation importante des mortalités de colonies, que ce soit au cours de l'hiver ou en saison apicole. Même si l'on connaît plusieurs des facteurs déterminants de la santé des colonies, que ce soient des facteurs biologiques (parasites, champignons, bactéries, virus, prédateurs, ravageurs), chimiques, ou encore liés à des facteurs environnementaux ou humains (Anses, 2015), un grand nombre de questions restent sans réponse : quelle est la part relative de ces facteurs dans les mortalités mises en évidence ? Quelle est la distribution de ces facteurs dans le temps et dans l'espace ? Quelles associations de facteurs ont un impact sur la santé des abeilles ? Quel est le niveau réel des indicateurs de santé dans les populations (mortalité, morbidité notamment) et leur évolution dans le temps ? C'est à ces questions que l'épidémiologie cherche à répondre par des programmes de surveillance ou par la mise en place d'études analytiques destinées à expliquer les mécanismes épidémiologiques affectant la santé des abeilles.

L'épidémiologie en santé animale est une discipline encore récente, qui s'est longtemps inspirée directement des méthodes d'épidémiologie en santé humaine, et qui s'est plus particulièrement développée à partir des années 1950 dans le cadre des grands programmes d'éradication des maladies des ruminants, des porcs ou des volailles. La filière apicole est restée longtemps à l'écart de ces programmes nationaux, certainement en raison d'un manque d'organisation de la filière et de son moindre poids économique. Les problèmes importants de santé des colonies qui sont rapportés aujourd'hui par les apiculteurs ont conduit les scientifiques à intégrer l'épidémiologie dans les disciplines amenées à contribuer à la recherche de réponses aux questions évoquées plus haut. Appliquer l'épidémiologie à la santé de l'abeille nécessite cependant un certain nombre d'adaptations aux spécificités de la filière apicole. Ces adaptations sont aujourd'hui portées dans le cadre des groupes de suivi de la Plateforme d'épidémiosurveillance en santé animale (Plateforme ESA) qui interviennent en appui de plusieurs dispositifs de surveillance en santé apicole (comme l'Observatoire des mortalités et des affaiblissements de l'abeille mellifère ou la vigilance du petit coléoptère des ruches). Cet article a pour objectif de détailler certaines de ces spécificités.

L'épidémiologie s'appuie sur plusieurs domaines d'activité. Nous aborderons ici les spécificités de trois de ces domaines : l'épidémiologie descriptive, représentée notamment par la surveillance, l'épidémiologie analytique qui s'attache à expliquer les causes d'un phénomène de santé et enfin l'épidémiologie prévisionnelle qui cherche à les anticiper.

## La surveillance de la santé des abeilles

La surveillance est une *méthode fondée sur des enregistrements permettant de suivre de manière régulière et prolongée l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie, en particulier de déceler l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace en vue de l'adoption de mesures appropriées de lutte* (Toma et al., 2010). La surveillance est donc une activité durable dans le temps et dont la finalité est l'action sanitaire. La première question à se poser est donc de savoir ce que l'on surveille, et pour quoi faire ?

### La surveillance, la question cruciale de l'objectif

L'objet et l'objectif de la surveillance sont particulièrement importants à déterminer pour mettre en place les modalités de surveillance adaptées et fonder une action sanitaire sur des données pertinentes. Dans la plupart des filières, l'objet de la surveillance est le plus souvent un

danger sanitaire bien identifié (la tuberculose bovine par exemple) avec des objectifs divers selon la situation épidémiologique, par exemple : i) pour une maladie présente, détecter chaque cas pour en permettre l'éradication, ii) pour une maladie exotique, détecter précocement toute introduction. Plusieurs dangers sanitaires de première catégorie sont fondés sur ce principe dans la filière apicole avec un objectif clair de mise en place de mesures de police sanitaire en cas de détection, comme c'est le cas pour le petit coléoptère des ruches *Aethina tumida* qui fait l'objet d'articles dans ce numéro spécial, ou encore l'infestation par l'acarien *Tropilaelaps* spp. Pour les autres dangers sanitaires, soit il existe une surveillance cantonnée au suivi de l'évolution de l'aire de répartition du danger sanitaire dans l'attente d'outils de gestion reconnus efficaces (cas du frelon asiatique *Vespa velutina*, voir l'article de Rome et al. dans ce numéro), soit aucune surveillance n'est en place, soit une surveillance peine à se mettre en place en raison des difficultés à déterminer les objectifs d'une action sanitaire. Il est en effet difficile d'identifier quelle action sanitaire collective pourrait se mettre en place sur la base d'une détection ou de la connaissance de la situation épidémiologique de certains virus qui affectent les abeilles, sans notamment la prise en compte des interactions entre ces virus et d'autres dangers sanitaires. Pour *Varroa destructor*, considérant sa présence dans la quasi-totalité des ruchers, si l'intérêt individuel pour l'apiculteur de connaître le niveau d'infestation de son rucher pour adapter son protocole de traitement paraît assez clair, l'intérêt collectif doit être bien précisé et la faisabilité technique de la mise en œuvre d'un protocole répondant aux objectifs vérifiée pour justifier d'investir dans la collecte de données populationnelles comme nous le rappelle Vallon et al. dans ce numéro (comme peut l'être par exemple l'identification de zones et de périodes d'augmentation des charges parasitaires pouvant justifier la diffusion d'alertes aux apiculteurs).

Face à l'augmentation de la mortalité des colonies, une attente légitime est que la surveillance prenne pour objet la mortalité des colonies (voir l'article de Jacques et al. sur le programme Epilobee). Si un objectif de cette surveillance est d'estimer des taux de mortalité représentatifs qui permettent de suivre la situation dans le temps et dans l'espace, il faut reconnaître que cet objectif peut être source de frustrations pour des apiculteurs qui questionnent plutôt les causes de cette mortalité. Or, si la surveillance peut apporter des hypothèses sur ces causes, elle ne peut en aucune manière apporter une réponse à cette question. En effet, la surveillance ne peut que décrire une situation et non l'expliquer.

### La difficulté à définir les cas

Une fois fixés l'objet et l'objectif de la surveillance, il convient de définir les cas qui seront comptabilisés. Cette étape est tout à fait essentielle pour assurer une standardisation des données qui sont collectées. Cette opération peut s'avérer particulièrement complexe dans le domaine apicole lorsqu'il s'agit de définir les cas de mortalité. Il faut alors d'abord prendre en considération l'unité épidémiologique : mortalité d'abeilles (adultes et/ou formes immatures) ou mortalité de colonies ? Si les deux peuvent apparaître intéressants, ce sont bien des situations différentes qui peuvent être le résultat d'étiologies différentes. De même, dans le cas de mortalité d'abeilles, il convient de définir plus précisément le cas en indiquant par exemple la quantité : quelques abeilles mortes, une tasse, un bol, un bac à glace, et sur quel pas de temps, avec la limite que toutes les abeilles mortes ne sont pas toujours accessibles à l'observation (mortalités à distance de la ruche, cadavres déplacés à distance de la ruche par les ouvrières fossoyeuses, cadavres consommés par des charognards) et en tenant compte du fait qu'il est parfois difficile d'objectiver et de donner une définition standardisée de la notion de mortalité anormale à l'échelle d'une colonie. Dans le cas de mortalité de colonies, il convient de définir ce qu'est une colonie morte : plus d'abeilles du tout ou un nombre insuffisant pour permettre la survie de la colonie, ou une absence de reine, etc. Ces définitions sont essentielles pour standardiser les données collectées entre les intervenants et ne pas mélanger les situations et cette question est au

cœur des dispositifs de surveillance des mortalités massives aiguës (voir l'article de Meziani et al. dans ce numéro) ainsi que de l'Observatoire des mortalités et des affaiblissements de l'Abeille mellifère (Omaa) (voir l'article d'Urrutia et Wendling dans ce numéro).

### Des outils de mesure à développer

La colonie d'abeilles est un super-organisme qui ne peut s'investiguer comme d'autres organismes vivants à organisation sociale plus simple: pas de sang avec recherche d'anticorps, ni de rythme cardiaque à ausculter. Si certains cas peuvent être identifiés par une simple observation (l'absence totale d'abeilles dans une ruche ne nécessite pas d'outil de mesure particulier et plusieurs maladies présentent des signes cliniques parfois pathognomoniques), certains peuvent l'être difficilement par la technicité qu'ils requièrent ou la difficulté à les mettre en œuvre sur un grand nombre de colonies. Un premier exemple peut être donné pour la détection du petit coléoptère des ruches dont l'adulte peut être mis en évidence par

#### Encadré. La ruche connectée comme outil de surveillance

La ruche instrumentée de capteurs deviendra prochainement un outil de surveillance des colonies d'abeilles domestiques (Meikle et Holst, 2015). Par exemple, le capteur de poids de la ruche fait partie aujourd'hui de l'arsenal technique de l'apiculteur pour le renseigner sur la période de miellée ou son intensité, mais il pourrait demain être un moyen pour détecter les affaiblissements de colonies. Il en va de même pour la sonde de température au sein de l'essaim. D'autres capteurs, tels les enregistreurs de vibration, de pression des gaz, ou d'entrées et de sorties des abeilles sont employés aujourd'hui en recherche, et pourraient l'être à l'avenir pour révéler des événements de santé chez les colonies (perte d'abeilles, essaimage, déficit en couvain...). Les enregistreurs d'entrées/sorties permettent ainsi de savoir à chaque instant si les abeilles marquées (par code-barres ou puces RFID) se trouvent à l'intérieur ou à l'extérieur de la ruche (Decourtye et al., 2011). Cette méthode a notamment permis de mesurer le taux de butineuses disparues après une exposition à un insecticide (Henry et al. 2012).

l'examen interne de la ruche. Il faut cependant que l'observateur soit expérimenté, car les coléoptères vont rapidement se cacher et peuvent passer inaperçus si l'on n'est pas vigilant. Des pièges sont ainsi utilisés pour faciliter le dépistage mais leur sensibilité est moins bonne qu'une inspection visuelle approfondie. Des recherches sont donc nécessaires pour faciliter la détection de ce parasite de la colonie, comme celles sur le développement d'une PCR sur des débris collectés sur le plateau des ruches.

Les analyses toxicologiques posent également des questions de développement de méthodes standardisées qui soient utilisables par tous les laboratoires avec des seuils de détection bien établis.

La mesure de l'affaiblissement des colonies est un second exemple. S'il est facile pour un intervenant expérimenté de déterminer qu'une colonie est affaiblie de par sa connaissance empirique de la normalité et de l'anormalité, il est plus difficile de quantifier cet affaiblissement de manière standardisée, comme il conviendrait de le faire dans un programme de surveillance ou une étude épidémiologique. C'est pour cela que l'Inra d'Avignon, l'association pour le développement de l'apiculture provençale (Adapi) et l'Institut technique et scientifique de l'apiculture et de la pollinisation (Itsap) ont développé une méthode standardisée d'évaluation de la structure d'une colonie d'abeilles dénommée ColEval (Colony Evaluation) (Maisonasse et al. 2016). Cette méthode est fondée sur une évaluation des surfaces de couvain, d'abeilles et des réserves de miel et de pollen sur chaque face de cadres de la ruche. Il est ainsi possible grâce à cette méthode d'évaluer la taille de la population d'abeilles afin d'identifier d'éventuels affaiblissements. De nombreuses équipes travaillent ainsi sur le développement d'outils de mesure spécifiques allant de systèmes de pesée automatique des ruches, au comptage des abeilles entrantes et sortantes de la ruche (Encadré).

### Des acteurs à former et à organiser

La surveillance nécessite l'intervention successive de plusieurs catégories d'acteurs de manière à assurer la collecte, la transmission puis l'analyse et l'interprétation des données sanitaires. Ce processus est schématisé dans la figure 1. La réussite de l'ensemble de ce

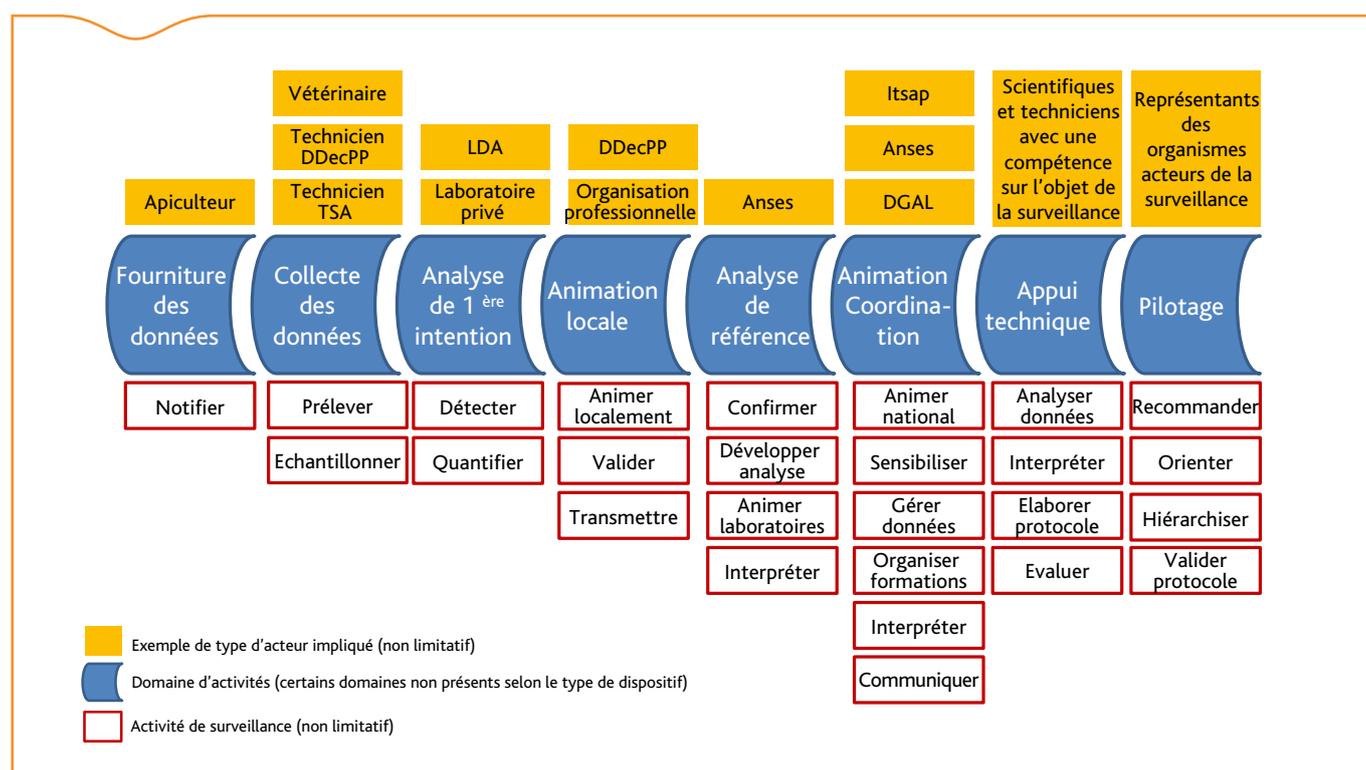


Figure 1. Schématisation du processus de la surveillance illustré dans le domaine apicole. (TSA : technicien sanitaire apicole; DDecPP : direction départementale en charge de la protection des populations; DGAL : direction générale de l'Alimentation; Itsap : Institut technique et scientifique de l'apiculture et de la pollinisation); LDA : laboratoire départemental d'analyse

processus repose sur la pertinence de l'organisation générale du dispositif et sur la qualité de l'animation qui est maintenue dans le temps. Par ailleurs, la sensibilisation et la compétence des acteurs sont des points clés pour assurer la qualité de l'information produite. Le manque général d'encadrement sanitaire organisé de la filière apicole évoqué dans l'introduction se traduit par un déficit longtempore constaté de formation des acteurs chargés de collecter, transmettre et analyser les données de surveillance. Les compétences en matière de santé de l'abeille ne font en effet pas partie des cursus de formation initiale des catégories professionnelles susceptibles d'intervenir (techniciens, vétérinaires, agronomes) et des formations spécifiques doivent donc être dispensées pour leur permettre d'intervenir efficacement dans la filière. Ces formations se développent aujourd'hui et permettent ainsi de disposer d'intervenants formés et de se doter d'une organisation sanitaire assurant le lien entre ces acteurs (comme c'est le cas entre techniciens sanitaires apicoles (TSA) et vétérinaires par exemple). L'amélioration de la compétence concerne également les analyses de laboratoire pour lesquelles il est marquant de constater qu'il n'existe un laboratoire européen de référence pour la santé de l'abeille que depuis 2011 (voir article de Franco et al. dans ce numéro).

C'est la compétence des acteurs qui garantira la qualité des interventions dans les ruchers et qui par là-même permettra une amélioration de l'acceptabilité par les apiculteurs de l'encadrement sanitaire et donc la collecte de données précoces et de bonne qualité.

## Expliquer les problèmes de santé : le défi de la multifactorialité

Si la surveillance ne peut que dégager des hypothèses de travail quant à l'étiologie des phénomènes suivis, il convient de mettre en place des études d'épidémiologie analytique pour tenter d'identifier les causes des problèmes de santé touchant les abeilles. La mise en place de ces études explicatives doit répondre à des critères méthodologiques qui se heurtent à des contraintes spécifiques de l'épidémiologie apicole.

Une première contrainte est de pouvoir identifier les facteurs d'intérêt à l'origine de problèmes de santé chez l'abeille. La liste théorique de ces facteurs est longue comme a pu le montrer le groupe de travail Healthy B de l'Autorité européenne de sécurité alimentaire (EFSA, 2016b). Certains de ces facteurs sont faciles à identifier et ne posent pas de problème de causalité, car ils ont un rôle pathogène majeur. C'est le cas par exemple de la loque américaine (*Paenibacillus larvae*), facile à diagnostiquer, tant cliniquement qu'au laboratoire, et dont la responsabilité dans la perte de colonies n'est pas discutable. Ce n'est cependant pas le cas d'un grand nombre d'autres facteurs de santé qui peuvent parfois agir seuls. Le meilleur exemple est probablement *V. destructor* qui, en cas d'infestation importante, aura un impact certain sur la survie de la colonie, mais qui est aussi une porte d'entrée pour d'autres facteurs, comme le virus des ailes déformées (DWV) qu'il transmet. Il peut également favoriser l'effet d'autres virus ou de produits chimiques par l'affaiblissement des abeilles qu'il occasionne. Ainsi, la seule présence d'un certain nombre de virus, bactéries, champignons, parasites, prédateurs, ravageurs ou contaminants chimiques ne saurait souvent expliquer à elle seule l'apparition de problèmes de santé. C'est alors l'association de plusieurs de ces facteurs, en tenant compte de critères quantitatifs (charges virales, concentration d'agents chimiques) qui peuvent expliquer les phénomènes constatés. C'est ce qui est dénommé depuis plusieurs années sous les termes de causes multifactorielles ou de phénomène de co-exposition (Anses, 2015).

Les études d'épidémiologie analytique qui ont pour objectif de mettre en évidence l'impact des phénomènes de co-exposition doivent donc établir dans un premier temps la liste des facteurs qui seront pris en compte pour définir les protocoles de l'étude. C'est là que ces études vont se heurter à plusieurs problèmes : quels facteurs est-il pertinent de prendre en compte, comment mesurer correctement leur présence et leur niveau, et quelle taille d'échantillon faut-il choisir ?

Ces trois questions sont liées et représentent une contrainte majeure des études épidémiologiques conduites dans le domaine apicole. En effet, plus le nombre de facteurs potentiels ou de combinaisons de facteurs à inclure dans une étude épidémiologique est élevé, plus grande est la taille de l'échantillon à étudier. Tester l'effet d'un facteur ou d'une association de facteurs nécessite de pouvoir comparer des populations exposées et non exposées ce qui augmente potentiellement la taille des populations à prendre en compte. De plus, si on cherche à mesurer une faible différence d'impact, ce qui est souvent le cas dans le domaine apicole où l'on suspecte de faibles effets sur le long terme entraînant *in fine* la mort de la colonie, il faudra des tailles de populations exposées et non exposées encore plus importantes pour obtenir une puissance statistique suffisante et être capable de mettre en évidence une différence statistiquement significative. Si les tailles d'échantillon ne sont pas suffisantes on ne pourra que conclure qu'il n'y a pas de différence statistique, sans être certain que les facteurs étudiés n'ont pas en réalité un effet.

Réduire le nombre de classes de facteurs à étudier pourrait apparaître une bonne solution mais se pose alors la question du choix des facteurs à privilégier. En imaginant n'étudier que l'impact des contaminants chimiques on se heurte également à un problème de choix pour savoir lesquels sont réellement importants : est-il pertinent de rechercher les 400 molécules qu'il est possible aujourd'hui de détecter dans une analyse multi-résidus ?, ou encore, que tirer des résultats des analyses de recherche des 76 molécules incluses dans l'étude « Ecotox » conduite en 2013 en France si les tailles d'échantillon sont insuffisantes par rapport de nombreuses contaminations multiples mises en évidence ? (voir l'article de Meziani et al. dans ce numéro).

Si cette contrainte de la taille des échantillons est importante pour les études rétrospectives (on regarde à un moment donné la présence des facteurs dans la population et les effets qu'ils ont déjà pu avoir sur cette population), elle est encore plus cruciale pour les études analytiques prospectives. Ces études sont en effet fondées sur le suivi d'une cohorte d'individus dans le temps pour en mesurer l'exposition et les effets sur leur santé, ce qui donne plus d'assurance sur le lien entre l'exposition et les effets sur la santé que les études rétrospectives. S'il est possible de maîtriser *a priori* l'exposition à certains facteurs (pratiques apicoles par exemple), de nombreux facteurs ne peuvent être maîtrisés dans les études de terrain (exposition aux contaminants chimiques) de même qu'est imprévisible l'effet de ces facteurs sur la santé (puisque c'est ce que nous cherchons à savoir). La taille de ces cohortes devra donc être très importante, pour pouvoir mettre en évidence un lien entre une exposition et un effet sur la santé.

Le problème de la mesure des facteurs va enfin se poser avec autant d'acuité que pour la surveillance avec la nécessité de définir précisément les cas, que ce soit pour l'effet sur la santé ou pour l'exposition. La complexité des études sera également liée à la mesure de l'intensité de l'exposition. S'il est admis que la dose létale médiane (DL50) n'est pas un critère suffisant pour juger de l'impact d'un contaminant chimique, il faudra considérer plusieurs niveaux d'exposition en fonction des concentrations ou limites de détection des techniques de laboratoire. Combinée à l'étude des différentes associations possibles, on comprendra les difficultés auxquelles se confrontent les études d'épidémiologie analytique sur le terrain.

Au-delà des questions de définition des cas et de la performance des outils de mesure, ces études nécessitent également des investissements importants en ressources humaines qualifiées et une coopération étroite avec les apiculteurs. Les visites régulières des ruchers avec l'inspection détaillée des colonies et la réalisation de mesures et de prélèvements sont très contraignantes pour les apiculteurs et pas toujours sans risque pour la santé des colonies (risque d'endommager la reine, prélèvement d'abeilles ou de morceaux de cadres).

## Les modèles prévisionnels

Face aux difficultés à mettre en place les études épidémiologiques ou expérimentations de terrain, il est assez séduisant d'imaginer développer des modèles mathématiques qui permettraient de simuler la dynamique de population d'une colonie, en intégrant l'influence que pourraient avoir un certain nombre de facteurs de santé et ainsi tester l'association de ces facteurs ou l'intensité de l'exposition. Des modèles ont ainsi été développés, tel que le modèle Beehave simulant la dynamique de population d'abeilles à l'échelle de la colonie (Anonyme, 2017; Becher, 2014). Des initiatives sont en cours à l'échelon européen, dans le cadre du projet MUST-B de l'EFSA, pour développer un modèle qui permettrait de pouvoir tester l'influence de contaminants chimiques et ainsi représenter une aide à l'évaluation des risques des produits phytopharmaceutiques (EFSA, 2016).

Si les connaissances dans le domaine de la biologie de l'abeille permettent effectivement de commencer à proposer des modèles intéressants, ces développements se heurtent encore à la détermination des données numériques pour le paramétrage des modèles. Il faut alors pour cela mettre en place des études de terrain pour estimer les paramètres à intégrer dans les modèles. Pour capter la diversité des situations, que ce soit du point de vue environnemental, des pratiques apicoles ou de la présence d'autres facteurs de santé, ces études sont soumises à des contraintes analogues à celles des études épidémiologiques mentionnées précédemment. Il reste donc encore de nombreux efforts à fournir avant de disposer de modèles réellement robustes et utilisables pour simuler l'influence des différents facteurs de santé des colonies. Il convient en outre de souligner que cette approche *in silico* via l'utilisation de modèles prévisionnels permettra d'identifier des facteurs de risque ou combinaisons de facteurs susceptibles de fortement altérer la dynamique des colonies mais que des études épidémiologiques *in vivo* seront néanmoins nécessaires pour confirmer les résultats obtenus (Henry et al. 2017).

## Conclusion

Si l'exposé des spécificités de l'application de l'épidémiologie au domaine de l'apiculture s'apparente à un long énoncé des difficultés rencontrées pour conduire la surveillance ou des études d'épidémiologie analytique, l'objectif n'est pas de décourager sur la possibilité d'obtenir des réponses mais bien d'avoir conscience des raisons qui expliquent pourquoi un grand nombre de questions sur les déterminants de la dégradation de la santé des abeilles n'ont pas encore trouvé de réponses.

Face à ces difficultés à collecter des données et à la nécessité de s'appuyer sur de grands jeux de données pour obtenir une puissance statistique suffisante, des initiatives voient le jour pour pousser l'ensemble des acteurs de la santé de l'abeille à travailler

sur des référentiels communs permettant un certain niveau de standardisation et donc de mutualisation des données collectées pour, *a minima*, être en mesure de calculer des index de situation sanitaire (*Health Status Index*) permettant de comparer la santé des abeilles à différentes échelles géographiques ou temporelles. C'est le projet ambitieux que porte l'EFSA à l'échelle européenne (EFSA, 2016c), qui prendra certainement du temps à se concrétiser mais qui représente sans doute un idéal vers lequel l'ensemble des équipes concernées, qu'elles proviennent d'organismes scientifiques, d'administrations vétérinaires ou d'organisations professionnelles pourraient avantageusement tendre.

## Références bibliographiques

- Anonyme (2017) BEEHAVE. <http://beehave-model.net/> accédé le 26 octobre 2017.
- Anses (2015) Co-exposition des abeilles aux facteurs de stress. Avis de l'Anses. Saisine n° 2012-SA-0176. Rapport d'expertise collective. Juillet 2015. 268 p.
- Becher, M.A., Grimm, V., Thorbek, P., Horn, J., Kennedy, P.J. & Osborne, J.L. (2014). BEEHAVE: a systems model of honeybee colony dynamics and foraging to explore multifactorial causes of colony failure. *J Appl Ecol*, 51, 470-482.
- 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.
- EFSA (2016) A mechanistic model to assess risks to honeybee colonies from exposure to pesticides under different scenarios of combined stressors and factors. Technical report. 28 juillet 2016. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/sp.efsa.2016.EN-1069/epdf> (accédé le 27/10/2017). 116 p.
- EFSA (2016b) Assessing the health status of managed honeybee colonies (HEALTHY-B): a toolbox to facilitate harmonised data collection. Scientific opinion. EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW). *EFSA Journal*. doi: 10.2903/j.efsa.2016.4578. 241 p.
- EFSA (2016c) Workshop "The health status of a managed honeybee colony". Event Report. 29 juin 2016. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/sp.efsa.2016.EN-1055/epdf> (accédé 27/10/2017). 14p.
- Henry M., Becher M., Osborne J., Kennedy P., Aupinel P., Bretagnolle V., Brun F., Grimm V., Horn J., Requier F. (2017) Predictive systems models can help elucidate bee declines driven by multiple combined stressors. *Apidologie*, 48:328-329, DOI: 10.1007/s13592-016-0476-0.
- 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, DOI: 10.1126/science.1215039.
- Maisonnasse, A., Hernandez, J., Le Quintrec, C., Cousin, M., Beri, C., Kretzschmar, A. (2016). Evaluation de la structure des colonies d'abeilles, création et utilisation de la méthode ColEval (Colony Evaluation). *Innovations Agronomiques* 53: 27-37.
- Meikle W.G., Holst N., (2015). Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie*, 46:10-22, DOI: 10.1007/s13592-014-0298-x.