



HAL
open science

Effets des pesticides sur le vol de retour des butineuses à la ruche : une épopée scientifique motivée par la controverse

Axel Decourtye, N. Cerrutti, Vincent Bretagnolle, Jean Francois Odoux, Pierrick Aupinel, Mickaël Henry

► To cite this version:

Axel Decourtye, N. Cerrutti, Vincent Bretagnolle, Jean Francois Odoux, Pierrick Aupinel, et al.. Effets des pesticides sur le vol de retour des butineuses à la ruche : une épopée scientifique motivée par la controverse. *Innovations Agronomiques*, 2016, 53, pp.17-26. 10.15454/1.5135854649034707E12 . hal-01608093

HAL Id: hal-01608093

<https://hal.science/hal-01608093>

Submitted on 28 May 2020

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

Effets des pesticides sur le vol de retour des butineuses à la ruche : une épopée scientifique motivée par la controverse

Decourtye A.^{1,2,3}, Cerrutti N.^{3,4}, Bretagnolle V.^{5,6}, Odoux J.-F.⁷, Aupinel P.⁷, Henry M.^{3,8}

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

² ACTA, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon Cedex 9

³ UMT PrADE, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon Cedex 9

⁴ Terres Inovia, 2485 route des Pécolets, F-26800 Etoile sur Rhône

⁵ Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, UMR 7372, CNRS et Université de La Rochelle, F-79360 Beauvoir-sur-Niort

⁶ INRA, UE1255, UE Entomologie, F-17700 Surgères

⁷ INRA, UR Abeilles et environnement, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon Cedex 9

⁸ LTER Zone Atelier Plaine et Val de Sèvre, Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, CNRS, F-79360 Villiers-en-Bois

Correspondance : axel.decourtye@acta.asso.fr

Résumé

En 2012, l'UMT PrADE a publié une étude dans laquelle le vol de retour à la ruche de 650 butineuses marquées d'une micropuce électronique RFID a été enregistré, et dont certaines ont été expérimentalement exposées à une faible dose de thiaméthoxam (la substance active des pesticides Cruiser® et Cruiser OSR®) utilisé en protection des cultures. Cette molécule, même administrée à une faible dose n'entraînant pas d'effet direct sur la survie, provoque la disparition des butineuses. En conditions habituelles de butinage, ce phénomène peut aboutir à un taux de mortalité deux à trois fois supérieur chez les butineuses intoxiquées. Il s'ensuit des controverses sur l'approche scientifique (réalisme des doses, prédiction des effets sur la colonie par un modèle) et sur l'interprétation des résultats (généricité des effets) qui a motivé la réalisation d'une série de travaux pour tenter de les lever une à une. Cette épopée nous a amené à combler de nombreuses lacunes de connaissances sur la modulation des effets toxiques selon le contexte paysager, climatique ou sanitaire des abeilles. Toujours grâce au dispositif RFID, nous avons confirmé pour la première fois l'impact d'un insecticide néonicotinoïde sur la survie des ouvrières en conditions réelles d'exposition au champ.

Mots-clés : Abeille domestique, Néonicotinoïdes, Effets sublétaux, Butinage, RFID

Abstract : Pesticides effects on the homing flight of honeybee foragers: scientific saga motivated by controversy

In 2012, colleagues of UMT PrADE tagged 650 free-ranging honeybees with tiny radio-frequency identification (RFID), microships that were glued to each bee's thorax. This device allowed the researchers to track the bees as they came and went from their hives after an oral exposure to sublethal dose of the insecticide thiamethoxam (active ingredient of Cruiser® and Cruiser OSR®). Compared to the non-exposed bees, the treated bees were about two to three times more likely to die while away from their nests. This study was related to controversy as regards the scientific methodology (field-realistic doses, predictive model for colonial effects) and the generalization of results in real conditions.

This controversy was a true motivation for our scientific investigation to address the lack of knowledge on the modulation of insecticide effects according to landscape, weather or sanitary status of bees. Using also the RFID device, we confirmed that field exposure to neonicotinoid accelerated the disappearance of bees.

Keywords : Domestic honeybee, Neonicotinoids, Sublethal effects, Foraging, RFID

1. Un pesticide néonicotinoïde affecte le retour à la ruche des butineuses

Issue d'observations de terrain, l'hypothèse est posée depuis les années 90 par les apiculteurs de nombreux pays que des insecticides néonicotinoïdes appliqués sur les semences de plantes cultivées, et visitées par les abeilles lors de la floraison, peuvent affecter le retour à la ruche des butineuses, entraînant des dépopulations et donc des répercussions économiques. Pour tester en toute rigueur cette hypothèse, nous avons longtemps manqué d'outils fiables, nous confrontant aux contraintes techniques pour identifier les abeilles, ces organismes au vol rapide, à large aire de prospection, très légers et de petite taille. Ainsi, acquérir le moyen de contrôler si une butineuse est de retour à la ruche n'est pas chose triviale. Pour combler cette lacune, l'outil RFID a été développé grâce à une démarche pas à pas, en vérifiant son innocuité, en miniaturisant les puces, en calibrant le marquage des abeilles, puis en optimisant l'acquisition des données (Decourtye et al., 2011). En 2011, grâce à l'aboutissement méthodologique et à un partenariat pluridisciplinaire permis par l'UMT PrADE, une étude sur l'insecticide thiaméthoxam a été réalisée (substance active de Cruiser OSR®) et parue dans la revue Science (Henry et al., 2012a).

Cette étude testait l'hypothèse qu'une faible dose d'un produit néonicotinoïde, même si elle n'induit pas une mortalité directe, pourrait induire la disparition des abeilles par un phénomène de désorientation. L'attention a été portée sur le thiaméthoxam, substance active des spécialités commerciales Cruiser® et Cruiser OSR®, utilisée dans un grand nombre de pays en traitement de semences de cultures butinées par les abeilles (notamment le colza pour le nectar et le pollen).

Pour répondre à la question, la technologie RFID (*Radio-Frequency Identification*) a été employée : des micropuces ont été collées sur le thorax de plus de 650 abeilles, de façon à ce que celles-ci soient individuellement identifiées à chacune de leur entrée ou sortie de la ruche grâce à une série de capteurs électroniques. Pour simuler des événements d'intoxication, la moitié des individus ont été nourris avec une solution sucrée contenant une dose non létale de 1,34 ng de thiaméthoxam (quantifiée par analyses chimiques).

Ces butineuses ont ensuite été relâchées à 1km de leur ruche, considérée comme une distance moyenne de butinage chez les abeilles domestiques. Parallèlement, les autres individus ont été nourris avec une solution non contaminée, puis relâchés en même temps que les individus contaminés, afin de faire office de groupe témoin. Ainsi, en comparant entre les deux groupes d'abeilles les proportions de retours à la ruche, on a pu évaluer le taux de disparition imputable à l'exposition au produit testé.

Dans le dispositif expérimental utilisé, les abeilles devaient connaître le trajet à suivre entre le point de relâcher et leur ruche. Pour ce faire, la ruche a été positionnée à 1km d'une parcelle expérimentale de phacélie – une plante fleurie très attractive pour les abeilles, non présente aux alentours de la ruche en dehors de cette parcelle et produisant un pollen bleu qui est distinguable des autres sources de pollens. Les butineuses revenant à la ruche avec du pollen de phacélie ont été spécifiquement sélectionnées. Elles avaient donc parcouru au moins une fois le trajet entre la parcelle et leur ruche. Ces individus ont ensuite été équipés d'une micropuce RFID, contaminés expérimentalement – ou non pour les individus témoins – et relâchés depuis la parcelle de phacélie précédemment butinée.

Outre celles des butineuses connaissant le trajet du retour, nous avons étudié les performances de retour de butineuses plus naïves. Il est en effet important de noter qu'en conditions naturelles, les

abeilles ne sont pas toutes familiarisées avec le chemin du retour entre leur site de butinage et la ruche. C'est le cas des jeunes butineuses, des « éclaireuses » dont le rôle est de trouver de nouvelles ressources florales, mais aussi des butineuses qui se rendent pour la première fois sur une ressource florale sur la simple base des informations qui leur ont été transmises par les éclaireuses. L'expérimentation a donc été répétée avec des individus relâchés, toujours à 1km de leur ruche, mais à un point aléatoire par rapport à leurs précédentes expériences de butinage.

Les deux expérimentations, avec butineuses familiarisées ou non, ont mis en évidence une mortalité significative des abeilles par un phénomène de désorientation dû à l'intoxication (Figure 1). Lorsqu'elle est combinée à la mortalité naturelle (15 % des butineuses par jour), cette disparition liée à l'insecticide aboutit à une mortalité totale journalière de 25 % à 47 % chez les butineuses intoxiquées, soit jusqu'à trois fois le taux mesuré chez les témoins.

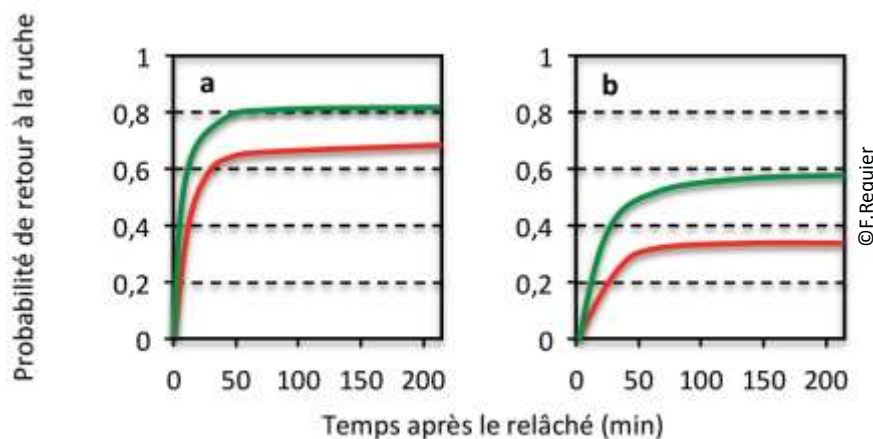


Figure 1 : Effet de l'exposition orale des abeilles butineuses à la dose de 1,3 ng/abeille de thiaméthoxam sur le vol de retour à la ruche. En rouge, le lot d'abeilles exposées, en vert le lot d'abeilles non exposées. (a) relâché à un point connu par les butineuses, (b) relâché à un point aléatoire (Requier et al., 2014).

2. Controverses à la suite de la publication d'Henry et al. (2012a)

Le sujet d'étude des scientifiques apidologues est parfois jugé comme ne coïncidant pas avec les attentes prioritaires des professionnels. A notre connaissance, la pertinence de la question posée par rapport aux attentes des apiculteurs n'a pas fait l'objet de critique à l'issue de la publication de Henry et al. (2012a). Cela s'explique probablement par le fait que la question de l'impact des insecticides néonicotinoïdes sur le vol de retour à la ruche des butineuses a été posée par les apiculteurs eux-mêmes, suite à des dépopulations de ruches à proximité de cultures traitées. Cette hypothèse semblait d'autant plus évidente pour les apiculteurs que de précédents travaux avaient démontré que d'autres insecticides, de la famille des pyréthrinoides, pouvait désorienter les butineuses (Cox et Wilson, 1984 ; Vandame et al., 1995). Pourtant le sujet des effets des néonicotinoïdes a été l'objet durant plus de 15 ans de fortes tensions entre les apiculteurs, les scientifiques, les gestionnaires du risque et les services de l'état (Van der Sluijs et al., 2013). C'est pourquoi les travaux de recherche de l'UMT PrADE aboutissant aux résultats présentés ici ont paru si bien accueillis par la filière apicole.

Si sa pertinence vis-à-vis des besoins de connaissances n'a pas fait l'objet de controverses, l'étude Henry et al. (2012a) n'a pas été épargnée par des critiques concernant plusieurs points :

- Les méthodes, les outils et la démarche employés ;
- L'interprétation des résultats ;
- Le transfert des nouvelles connaissances acquises dans la politique publique.

1.1 Pertinence de la dose expérimentale

Des critiques ont été formulées sur la méthode employée et en premier lieu le fait que la dose testée soit jugée irréaliste en comparaison avec les doses reçues par les butineuses en conditions réelles (Guez et al., 2013). Cependant, en considérant les scénarii d'exposition établis par l'EFSA (2012), cette dose appartient bien à la gamme des doses auxquelles on estime que les abeilles sont exposées dans leur activité quotidienne de butinage sur un colza traité (Tableau 1). Il est remarquable que les scénarii d'exposition utilisés contiennent une grande part d'incertitude puisqu'ils associent des données mesurées récemment (concentration en résidus dans le nectar) à des données issues de peu d'articles, souvent anciens, et qui présentent une forte amplitude : par exemple, le nombre d'heures de vol d'une butineuse par jour (de 4 à 10 h) (Ribbands, 1953 ; Winston, 1987).

Tableau 1 : Dose d'exposition prédite au thiaméthoxam d'une butineuse de nectar de colza traité avec Cruiser OSR® (EFSA, 2012).

| % en sucres du nectar | ng par abeille et par heure de butinage | ng par abeille et par jour de butinage |
|-----------------------|---|--|
| 10 | 0,368-0,552 | 1,472-5,888 |
| 20 | 0,184-0,276 | 0,736-2,944 |
| 30 | 0,123-0,184 | 0,491-1,963 |
| 40 | 0,092-0,138 | 0,368-1,472 |
| 50 | 0,074-0,110 | 0,294-1,178 |
| 60 | 0,061-0,092 | 0,245-0,981 |
| 70 | 0,053-0,079 | 0,210-0,841 |
| 80 | 0,046-0,069 | 0,184-0,736 |

Une seconde critique sur le volet méthodologique concerne l'absence d'une gamme de doses testées. Cette limite implique que nous ne connaissons pas les effets d'une dose plus faible que celle employée. Pour dépasser cette limite de l'étude initiale qui employait en effet une seule dose de thiaméthoxam, un travail ultérieur a montré une relation dose-réponse sur le vol de retour à la ruche (Henry et al., 2014). Cinq doses comprises entre 0,42 et 2,39 ng par abeille ont été testées (quantifiées par analyse chimique). La dose expérimentale sans effet observé, quel que soit le contexte climatique et paysager, a été établie à 0,42 ng. Nous avons par ailleurs montré que l'assimilation du volume de sirop contaminé par le polluant était incomplète au moment du relâcher de la butineuse (Fournier et al., 2014). Ainsi, ces doses souhaitées par l'expérimentateur sont probablement surestimées par rapport à la dose réellement assimilée par la butineuse dans nos expérimentations (par exemple, sur les 0,42 ng administré par abeille, elle assimilerait seulement 0,17 ng avant son relâcher).

Le débat autour de l'adéquation entre les doses utilisées et les doses réelles rencontrées par l'abeille sur le terrain est quasi systématique lors des expérimentations en laboratoire : soit parce qu'il existe parfois peu de données nous informant de l'exposition des abeilles à la molécule testée dans leur environnement, soit parce que les scénarii d'exposition pour convertir une quantité de molécule dans une quantité de nectar ou de pollen (concentration) en une quantité par abeille (dose) sont entachés d'une très forte incertitude (facteur cinq entre la dose minimale et celle maximale). Cette conversion demande de savoir combien de nectar est consommé par la butineuse lors de son trajet de retour. Le volume consommé dépend des besoins en sucres de la butineuse en vol pour qu'elle possède l'énergie

nécessaire à son retour. Ce volume dépend du taux de sucre et des dépenses énergétiques de la butineuse qui sont elles-mêmes fortement dépendantes des conditions météorologiques. Les connaissances sont trop faibles sur les besoins énergétiques et sur l'offre en sucres dans les nectars récoltés pour déterminer précisément la dose reçue par la butineuse en conditions réelles. C'est pourquoi dans le but de clore ce débat, une expérimentation en champ a été menée pour confirmer les effets du thiaméthoxam en exposant les abeilles au colza traité par la spécialité commerciale Cruiser OSR®, c'est-à-dire en reproduisant l'usage usuel du produit par les agriculteurs (Henry et al., 2015). Nous avons enregistré la longévité de près de 7000 ouvrières marquées avec des tags RFID et vivant dans des colonies placées à différentes distances des parcelles de colza traité, de quelques mètres à plus de 6 km. En employant ces conditions réelles d'exposition au champ, nous avons confirmé l'effet négatif des néonicotinoïdes sur la survie des ouvrières. Par contre, il n'a pas été possible de distinguer l'effet dû à l'exposition du thiaméthoxam à celui dû à l'exposition de l'imidaclopride. En effet, alors que nous voulions tester l'effet du thiaméthoxam, l'exposition fortuite à l'imidaclopride a été découverte. Les quantités de résidus de thiaméthoxam retrouvés dans le nectar de colza ont été corrélées à celle de résidus d'imidaclopride. Cette étude ne s'affranchit bien évidemment pas de controverses, nous le verrons plus tard dans ce texte, mais il est indéniable qu'elle marque un point final à un long récit, ponctué par de nombreux débats, sur l'impact des néonicotinoïdes chez les ouvrières.

1.2 Des effets de l'insecticide variables selon le contexte

Toute démarche scientifique a pour objectif final de tirer des règles générales à une échelle plus large que celle employée dans son approche expérimentale. Pourtant, lorsqu'il étudie l'impact d'un pesticide sur l'abeille, l'expérimentateur tente d'annuler les autres facteurs de variabilité qui pourraient masquer ou brouiller les effets dus aux polluants (maladies, alimentation, climat...). Il s'agit souvent d'une étape de simplification nécessaire pour circonscrire la problématique. Mais le contexte expérimental dans lequel les effets des pesticides sont mesurés est alors souvent très éloigné de celui dans lequel vit l'abeille. Cette démarche de simplification s'applique également dans les tests mesurant la toxicité des pesticides avant leur mise sur le marché. Or, l'abeille au cours de sa vie va être confrontée à varroa (associé le plus souvent à des virus), à un climat plus ou moins favorable, à d'autres polluants, à une alimentation variable en quantité et en qualité, etc. Il est reconnu que les effets d'un pesticide sont modulés selon ces autres facteurs liés aux cocktails de polluants, aux bioagresseurs de l'abeille, à sa génétique, à son alimentation ou au climat (Poquet et al., 2016). C'est pourquoi à la suite de la publication de Henry et al. (2012a), nous avons réalisé une série de travaux scientifiques pour étudier la modulation de l'effet du thiaméthoxam sur le vol de retour des butineuses selon trois facteurs contextuels qui nous semblaient cruciaux : le paysage, le climat, l'état de santé des abeilles.

Nous avons ainsi montré que, selon le contexte paysager ou météorologique, l'effet du pesticide peut être sous-estimé ou surestimé d'un facteur six. L'effet est d'autant plus marqué que la température ambiante est basse. Et plus le paysage est complexe, en présentant des haies et des lisières qui créent des obstacles pour la navigation, plus l'effet du néonicotinoïde sur le vol de retour des butineuses est élevé (Henry et al., 2014). Le taux de disparition lié à l'insecticide est ainsi modulé par l'environnement paysager, atteignant 35 % dans les paysages bocagers contre 18 % dans les paysages ouverts, caractéristiques des plaines céréalières.

Nous avons récemment étudié la modulation des effets du thiaméthoxam sur le retour à la ruche des butineuses en fonction de l'état sanitaire de la colonie, et en particulier en fonction de la pression liée à l'acarien *Varroa* sp. et aux virus associés à ce parasite (Monchanin, 2016). Pour cela, nous avons mesuré les effets de l'insecticide à 3 doses sublétales (0,11, 0,33 et 1 ng/abeille) chez des butineuses provenant de colonies présentant un gradient d'infestation en *Varroa* sp. L'effet délétère sur le succès de retour à la ruche du thiaméthoxam appliqué à la plus forte dose a été d'autant plus marqué que la colonie fût infestée avec varroa.

1.3 L'impact sur la colonie

Afin d'évaluer l'impact sur les colonies de l'augmentation significative du taux de mortalité des butineuses mesuré dans Henry et al. (2012a), nous avons utilisé un modèle mathématique de la démographie des colonies d'abeilles, développé par une équipe de recherche australienne (Khoury et al., 2011). Plusieurs scénarii ont été envisagés, incluant un développement normal d'une colonie et un développement avec un taux de ponte de la reine faible. Dans tous les cas, le modèle démographique a prédit que si la majorité des butineuses sont contaminées chaque jour en allant butiner sur une culture traitée telle que le colza, la dynamique de la colonie subirait une déviation majeure par rapport à sa trajectoire normale. En particulier, l'effectif de la colonie pourrait chuter de moitié le temps de la floraison – et jusqu'à moins 75 % dans les scénarii les plus pessimistes – et atteindre ainsi un niveau critique de vulnérabilité. Cresswell et Thompson (2012) ont mis en doute un paramètre du modèle mathématique qui exprime le taux de croissance de la population d'abeilles. D'après ces auteurs, le taux de croissance a été sous-évalué dans notre calcul et ne refléterait pas la dynamique démographique que connaissent les colonies lors de la floraison de colza. Mais leur critique reposait sur de faibles références puisqu'elle s'appuyait sur une étude observant uniquement 3 colonies et qui ne précise pas si ces colonies ont bénéficié de colzas en fleurs (Wilson et al., 1981). Pour vérifier la valeur de l'estimateur mathématique utilisé, nous avons analysé le développement de 208 colonies de l'observatoire ECOBEE, dans la Zone Atelier Plaine et Val de Sèvre, au moment de la floraison du colza (Henry et al., 2012b). Avec cette démarche nous avons montré que la valeur du paramètre établie dans le modèle était comprise dans la gamme de valeurs mesurées sur le terrain.

Notre étude grandeur nature réalisée sur 17 colonies ne confirme pas cet effet significatif sur la population de l'exposition à un colza traité par Cruiser OSR®, malgré les effets mesurés sur les ouvrières (Henry et al., 2015). La décroissance de la population sous l'effet de l'exposition qui avait été prédite par le calcul n'a pas été retrouvée dans cette étude. Précédemment, Pilling et al. (2013) avaient déjà conclu en une absence d'effet de cultures traitées avec le thiaméthoxam sur le développement et la production en miel des colonies. Cependant, leurs conclusions restaient invalides scientifiquement car aucune analyse statistique ne testait la comparaison entre le devenir des colonies exposées et les autres (Godfray et al., 2014). Notre étude porte également des limites. Il faut en effet préciser que le dispositif expérimental n'avait pas été construit pour tester l'hypothèse d'un impact sur le développement des colonies, mais sur les traits de vie des ouvrières. Le faible nombre de colonies expérimentales – seulement 9 des 17 colonies présentaient une surface semée de colza traité dans leur rayon de butinage de 2 km – nous aurait permis de détecter une variation significative entre la taille de la population des colonies exposées et celle des colonies non exposées de plus ou moins 50 %. Une dépopulation massive et rapide, comme dans les pires scénarii simulés par le modèle mathématique dans Henry et al. (2012a), aurait donc pu être détectée, mais pas un affaiblissement plus subtil.

Comment imaginer que le taux de mortalité des ouvrières puisse être accru jusqu'à 22 %, comme cela a été mesuré en champ sous l'effet des insecticides (Henry et al., 2015), sans qu'il y ait de répercussions sur la taille de la population ? Un résultat nous laisse penser que la perte des butineuses a déclenché un phénomène de régulation dans les colonies exposées : l'apparition plus tardive des mâles. En effet, dans les colonies proches des parcelles traitées la période d'élevage des faux-bourçons a été retardée après la floraison du colza. Ce retard dans l'émergence des reproducteurs mâles serait le résultat visible d'un phénomène caché de régulation démographique, fruit d'un compromis entre croissance et reproduction. Selon cette hypothèse, la colonie perdant une part de ses butineuses sous la pression des insecticides doit remplacer ses « forces vives » assurant l'approvisionnement en alimentation et doit donc reporter à plus tard sa production de reproducteurs. L'investissement pour l'avenir de la colonie que représente la ponte de la reine serait aiguillé vers la production d'individus asexués (ouvrières) ou sexués (mâles) selon la proportion de butineuses présentes. Voilà des hypothèses qui alimenteront probablement de futurs travaux scientifiques passionnants...

1.4 L'impact dans la politique publique

Le délai entre les premiers travaux scientifiques sur l'effet de faibles doses des néonicotinoïdes sur l'orientation des butineuses et leur impact final sur la politique publique a été de 14 ans. La question a été posée par des apiculteurs à la fin des années 90. La mise au point de la technologie RFID sur l'abeille domestique a débuté en 2006 et notre publication prouvant l'effet est parue fin mars 2012. Fin juillet 2012, le ministre chargé de l'agriculture signait l'arrêté relatif à l'interdiction d'utilisation et de mise sur le marché du pesticide Cruiser OSR®. L'analyse des impacts de la recherche publique agronomique a établi un délai moyen entre les premiers travaux scientifiques sur un sujet et son impact chez les acteurs socio-économiques de 19,4 ans (Colinet et al., 2014). Cette analyse, s'appuyant sur 30 cas de recherche, souligne le délai exceptionnellement court (4 mois) entre la production du produit final de la recherche, ici la démonstration par la publication de Henry et al. (2012a), et la génération d'un impact politique. Outre la décision du ministre, l'étude a eu un autre impact sur la politique réglementaire au niveau européen puisqu'elle a largement participé à la remise en question des procédures d'évaluation des pesticides avant leur mise sur le marché (Decourtye et al., 2013 ; EFSA, 2015).

La décision d'interdiction du Cruiser OSR® a également été un sujet de controverse qui contrairement à celles précédemment citées, ne porte pas sur des points méthodologiques ou interprétatifs, et ne constitue pas uniquement un débat entre spécialistes. Face à cette décision réglementaire, comme face à toutes celles visant la protection des abeilles et de l'apiculture, on lui oppose souvent l'argument qu'elle réduit la durabilité économique des systèmes agricoles reposant sur les productions végétales. Les cultivateurs ne bénéficiant plus de moyens de lutte efficace contre les ravageurs de leurs cultures, les rendements peuvent subir une décroissance. Pourtant, il est reconnu que les abeilles apportent un service de pollinisation aux cultures associé à des bénéfices économiques : leur disparition se traduirait par une perte de 10 % de la valeur de la production agricole dans l'Union Européenne (Gallai et al., 2009). Une certaine logique voudrait qu'en protégeant les abeilles, on protège ce service et ses bénéfices économiques. Comment alors expliquer cette opposition d'enjeux entre protéger les cultures et protéger la pollinisation ? La protection des plantes est souvent perçue par les agriculteurs comme un socle sur lequel repose leurs performances. Les pratiques agricoles se sont en partie construites sur ce paradigme dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle. Ainsi, l'incapacité d'utiliser des néonicotinoïdes pour protéger les plantes cultivées est mentalement associée à un risque économique bien supérieur à celui engendré par la perte du service de pollinisation. D'autant plus que les cultivateurs employant ces insecticides ne perçoivent pas nécessairement un bénéfice direct de la pollinisation sur leur système de culture. C'est le cas des agriculteurs céréaliers chez qui les abeilles sont souvent des espèces à protéger, représentantes de la santé de l'environnement, mais qui ne sont pas assimilées à un facteur de production. Les insectes pollinisateurs sont pourtant une ressource de nos territoires, un bien commun, dont les bénéfices ne doivent pas être circonscrits à l'exploitation agricole, ni même à une valeur économique.

La mise en débat avec les professionnels des filières est une étape finale nécessaire au cheminement scientifique. La mise en débat des travaux de la recherche appliquée en apidologie est dorénavant possible puisque des professionnels siègent dans des comités de gouvernance d'instances (comité apicole de FranceAgriMer, Conseil national d'orientation de la politique sanitaire animale et végétale, comité d'orientation de l'UMT PrADE). L'argumentation régit aujourd'hui l'organisation des débats. On souhaite souvent que cette argumentation soit uniquement basée sur des éléments techniques et scientifiques : par exemple, les uns démontrant la nocivité de telle ou telle pratique, les autres appuyant par des chiffres l'intérêt de maintenir cette pratique pour l'économie de la filière. Mais force est de constater qu'il nous faut prendre en compte des arguments emprunts d'une dimension émotionnelle ou culturelle. Ce constat implique de construire de nouvelles approches issues des sciences humaines et sociales.

3. Les mécanismes expliquant les effets du thiaméthoxam sur le vol de retour

En raison de leur puissante action neurotoxique, les néonicotinoïdes peuvent altérer le fonctionnement du système nerveux central des insectes et altérer leur capacités cognitives (Palmer et al., 2013). Ces insecticides agissent au niveau de centres supérieurs du cerveau de l'abeille, qui intègrent des informations visuelles ainsi qu'une grande part de l'information olfactive et gustative, pour être le siège de la mémorisation à long terme. Après son exposition à l'insecticide, même à de faibles doses, la butineuse se trouve être dans l'incapacité de mobiliser les informations qu'elle a précédemment apprises et qui lui permettent de retrouver le chemin du retour. Plus précisément, sa capacité à s'orienter grâce à la lecture des repères visuels que constituent les éléments du paysage (haies, chemins, routes...) est altérée. La navigation de la butineuse en vol dépend, dans un premier temps, de sa capacité à apprendre la position de la ruche par rapport à la course du soleil dans le ciel et à des repères fixes du paysage lors des vols d'orientation. Lors de ses premières sorties de la ruche, la prospection des environs de la ruche va permettre à l'ouvrière de localiser sa ruche dans l'environnement. Puis dans un second temps, lorsque qu'elle deviendra butineuse, elle devra remobiliser les informations mémorisées dans son système nerveux central pour « lire » le paysage comme une carte la menant à sa ruche. De récents résultats (Fischer et al., 2014 ; Tison et al., 2016) montreraient que par son action neuronale au niveau d'une partie du cerveau de l'abeille - les corps pédonculés, qui sont le siège de la mémorisation à long terme, l'équivalent de l'hippocampe chez les mammifères - l'insecticide affecterait le processus cognitif de rappel de l'information précédemment apprise. Cette inhibition de la capacité à remobiliser la mémoire spatiale expliquerait que les effets du thiaméthoxam sur le vol de retour à la ruche aient été aggravés dans des paysages présentant un réseau de haies et de lisières (Henry et al., 2014). Sous l'effet neurotoxique de l'insecticide, les butineuses se retrouveraient dans l'incapacité de déchiffrer la carte complexe du paysage qui les mène à leur ruche. Un réseau bocager dense deviendrait alors un véritable labyrinthe pour ces abeilles, devenues moins aptes à reconnaître leurs repères visuels.

Conclusion

Face aux risques de contamination des abeilles par les pesticides, les procédures d'homologation de pesticides imposent aux fabricants de s'assurer du caractère non létal des doses que les abeilles pourraient rencontrer dans leur environnement. Cependant, ces études récentes montrent que, bien que n'entraînant pas la mort des individus contaminés, les faibles doses peuvent engendrer des effets indésirables. Nos études illustrent cela puisqu'elles montrent qu'une exposition des abeilles butineuses à un insecticide néonicotinoïde peut affecter leur survie, même à des doses faibles et qui peuvent être retrouvées dans l'environnement de la ruche. Nous pensons que cette surmortalité significative chez les ouvrières a le potentiel de déstabiliser le développement normal de la colonie, et de la rendre vulnérable aux autres facteurs de stress que sont les pathogènes ou les variations de la disponibilité des ressources florales naturelles.

La publication de Henry et al., (2012a) a été suivie d'un impact direct et rapide sur les politiques publiques et réglementaires, mais également de plusieurs controverses scientifiques sur les méthodes employées et sur l'interprétation des résultats. Le cheminement scientifique, comme nourri par le débat autour de nos travaux, a abouti à la confirmation en conditions réelles des effets négatifs sur la survie des ouvrières. Mais le débat est fécond uniquement si on garantit que le débatteur qui emploierait la stratégie du conflit et de l'opposition systématique ne trouve pas à terme sa capacité à influencer les décisions renforcée. Or, la controverse semble infinie puisque le sujet central du débat semble aujourd'hui se déplacer vers la question des effets sur la colonie et sur sa production de miel.

La méthode de vol de retour est en cours de validation par l'ITSAP-Institut de l'abeille en vue de son inscription dans les méthodes standardisées de l'OCDE, un prérequis pour qu'elle soit employée pour évaluer la toxicité des pesticides avant leur mise sur le marché (Fourrier et al., 2016). Cette validation passe par la coordination d'un test circulaire où une dizaine de laboratoires européens testent la méthode pour évaluer sa reproductibilité.

Remerciements

Ces études ont été réalisées par une équipe pluridisciplinaire (instituts de recherche et instituts techniques agricoles et apicoles : INRA, CNRS, ACTA, ADAPI, ITSAP-Institut de l'abeille) rassemblant des spécialistes de l'apiculture, de la biologie du comportement, de l'écotoxicologie et de l'agro-écologie. Elle a été portée par l'Unité Mixte Technologique PrADE d'Avignon, et menée sur le dispositif ECOBEE et la Zone Atelier Plaine et Val de Sèvre (région Poitou-Charentes), un territoire dédié à des programmes de recherche administrés par le CNRS de Chizé sur la biodiversité et les agrosystèmes. Les programmes de recherche ont été financés par les fonds européens FEAGA (projets TECHBEE et RISQAPI).

Références bibliographiques

- Colinet L., Joly P-B., Gaunand A., Matt M., Larédo P., Lemarié S., 2014. ASIRPA – Analyse des Impacts de la Recherche Publique Agronomique. Rapport final. Rapport préparé pour l'Inra. Paris, France.
- Cox R.L., Wilson W.T., 1984. Effects of permethrin on the behavior of individually tagged honey bees, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). *Environmental Entomology* 13, 375-378.
- Cresswell J.E., Thompson H.M., 2012. Comment on "A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees". *Science* 337(6101), 1453.
- Decourtye A., Henry A., Desneux N., 2013. Overhaul pesticide testing on bees. *Nature* 497, 188.
- 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.
- EFSA, 2015. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment for bees for the active substance imidacloprid considering all uses other than seed treatments and granules. *EFSA Journal* 13(8), 4211.
- EFSA, 2012. Statement on the findings in recent studies investigating sub-lethal effects in bees of some neonicotinoids in consideration of the uses currently authorised in Europe. *EFSA Journal* 10, 2752.
- Fischer J., Müller T., Spatz A.-K., Greggers .U, Grünewald B., Menzel R., 2014. Neonicotinoids Interfere with Specific Components of Navigation in Honeybees. *PLoS ONE* 9(3), e91364.
- Fourrier J., Dubuisson L., Petit J., Fortini D., Aupinel P., Munoz A., Chevallereau C., Vidau C., Gateau S., Henry M., Decourtye A., 2016. Validation d'une méthode mesurant les effets d'un pesticide sur le vol de retour à la ruche des butineuses. Actes des 5èmes Journées de la Recherche Apicole, Paris.
- Gallai N., Salles J., Settele J., Vaissiere B., 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68(3), 810-821.
- Godfray H.C.J., Blacquière T., Field L.M., Hails R.S., Petrokofsky G., Potts S.G., McLean A.R., 2014. A restatement of the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281(1786), 20140558.
- Guez D., 2013. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees: questioning the ecological relevance. *Frontiers in Physiology* 4, 2012–2014.

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.

Henry M., Bertrand B., Le Féon V., Requier F., Odoux J.-F., Aupinel P., Bretagnolle V., Decourtye A., 2014. Pesticide risk assessment in free-ranging bees is weather and landscape dependent. *Nature Communications*. 5, 4359.

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

Henry M., Beguin M., Requier F., Rollin O., Odoux J.-F., Aupinel P., Aptel J., Tchamitchian S., Decourtye A., 2012b. Response to comment on "A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees". *Science* 337, 1453.

Khoury D.S., Myerscough M.R., Barron A.B., 2011. A Quantitative Model of Honey Bee Colony Population Dynamics. *PLOS ONE*, 6(4), e18491.

Monchanin C., 2016. Modulation des effets d'une exposition aiguë à un insecticide sur le vol de retour à la ruche des butineuses d'*Apis mellifera* en fonction de l'état sanitaire de la colonie. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome, ENSAT, France, 73 p.

Palmer M.J., Moffat C., Saranzewa N., Harvey J., Wright G.A, Connolly C.N., 2013. Cholinergic pesticides cause mushroom body neuronal inactivation in honeybees. *Nature Communications* 4, 1634.

Pilling E., Campbell P., Coulson M., Ruddle N., Tornier I., 2013. A four-year field program investigating long-term effects of repeated exposure of honey bee colonies to flowering crops treated with thiamethoxam. *PloS One* 8(10), e77193.

Poquet Y., Vidau C., Alaux C., 2016. Modulation of pesticide response in honeybees. *Apidologie* 47, 412-426.

Requier F., Henry M., Decourtye A., 2014. Les puces RFID volent au secours des abeilles. *Biofutur* 357, 46-51.

Ribbands C.R., 1953. *The Behaviour and Social Life of Honeybees*, London.

Tison L., Hahn M., Holtz S., Greggers U., Bischoff G., Menzel R., 2016. Honey bees' behavior is impaired by chronic exposure to the neonicotinoid thiacloprid in the field. *Environmental Science and Technology* 50(13), 7218-7227.

van der Sluijs J.P., Simon-Delso N., Goulson D., Maxim L., Bonmatin J.-M., Belzunces L.P., 2013. Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5, 1-13.

Vandame R., Meled M., Colin M.E., Belzunces L.P., 1995. Alteration of the homing-flight in the honey bee *Apis mellifera* L. exposed to sublethal dose of Deltamethrin. *Environmental Toxicology and Chemistry* 14:855-860.

Winston M.L., 1987. *The biology of the honey bee* Harvard University Press, Cambridge USA.

Winston M.L., Dropkin J.A., Taylor O.R., 1981. Demography and life history characteristics of two honey bee races (*Apis mellifera*). *Oecologia* 48, 407.

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 son DOI)