

FACE À DE NOMBREUX STRESS, DE NOUVEAUX OUTILS SONT UTILISÉS DANS LES SUIVIS DE TERRAIN POUR ÉVALUER LA SANTÉ DES POLLINISATEURS

Chauzat Marie-Pierre^{1,3}, Sanson Caroline¹, Druesne Christine² et Laurent Marion³



RÉSUMÉ

Grâce au service écosystémique de pollinisation qu'ils offrent, les insectes pollinisateurs, qui sont en déclin, sont des acteurs clé de la conservation de la biodiversité. Les changements globaux et notamment les modifications de l'environnement, entraînent depuis une vingtaine d'années un déclin marqué de ces insectes pollinisateurs. Pour mieux connaître les méthodes appliquées et les résultats des suivis de terrain mis en place pour étudier les causes de ce déclin, une étude bibliographique exhaustive a été réalisée. Les suivis de terrain sont conduits pour la plupart sur des colonies d'abeilles mellifères avec l'intégration récente d'autres espèces de pollinisateurs. Le spectre des facteurs étudiés s'élargit avec le temps en augmentant le nombre de molécules recherchées dans les matrices, en diversifiant les matrices prélevées et en s'intéressant aux interactions sur le terrain. Par ailleurs, le panel des outils utilisés pour mesurer les différents paramètres liés à la santé des colonies s'agrandit en incluant la méthode ColEval qui permet de quantifier la population et les réserves dans les colonies d'abeilles, les compteurs d'entrées et de sorties des ouvrières ainsi que les capteurs à pesticides.

Ces études longues dans le temps et étendues dans l'espace nécessitent des ressources matérielles et humaines importantes, notamment pour le suivi des populations et les analyses ultérieures. Cependant, elles produisent des informations indispensables sur la santé des pollinisateurs sur le terrain, pour mieux comprendre l'impact des changements globaux auxquels ils sont soumis.

Mots-clés : épidémiologie, outils, abeilles, protocoles, comparaison.

ABSTRACT

Because of the pollination service they provide, declining populations of pollinators are key actors for biodiversity conservation. Global changes and particularly environmental modifications, cause the observed pollinator decline. A bibliographic study was undergone to better assess the methods used and the results steaming from field surveys to monitor the causes of pollinator losses. Field surveys are currently mostly conducted with honeybee colonies, although other pollinator species are also used.

>>>>

Article reçu le 4 septembre 2023 ; accepté le 15 décembre 2023

¹ Université Paris-Est, ANSES, Laboratoire de santé animale, Maisons-Alfort, France

² ANSES, Département de recherche, financement et veille scientifique, Maisons-Alfort, France

³ ANSES, Laboratoire de Sophia Antipolis, Unité de pathologie des abeilles, France

Le PowerPoint de la conférence présentée sur ce sujet est visible sur le site de l'AEEMA : https://aeema.vet-alfort.fr/images/Documents/Journ%C3%A9es_scientifiques/JS_2023/6._Chauzat_et_al_AEEMA_2023_v2.pdf

>>>

Over time, the study scopes extend with the increasing number of active ingredients screened in the different matrices, the growing number of matrices collected in the field and the study of stressor interactions. The panel of tools used to measure colony end points also increases with the use of ColEval method which quantify the honeybee populations and storages, the in and out counters, and the pesticide sensors.

These long-term and wide-range field studies need a lot of material and human resources, particularly for field recordings and subsequent analyses. However, they produce essential information on the pollinator health from a field perspective, to better understand the global changes.

Keywords: *Epidemiology, Tools, Bees, Protocols, Comparison.*



I - INTRODUCTION

Grâce au service écosystémique de pollinisation qu'ils offrent, les insectes pollinisateurs sont des acteurs clés de la conservation de la biodiversité. Le déclin des pollinisateurs a été largement documenté pendant les dix dernières années sur tous les continents [IPBES *et al.*, 2016 ; Potts *et al.*, 2010]. Plusieurs causes ont été avancées pour expliquer les chutes de populations : l'utilisation grandissante des pesticides [Zioga *et al.*, 2020], l'appauvrissement des paysages et des lieux de nidification [Rollin *et al.*, 2019], le changement climatique avec ses conséquences sur la flore, le manque de ressources alimentaires [Somme *et al.*, 2016],

l'exposition aux agents infectieux et parasitaires (AIP) [Oddie *et al.*, 2021]. Afin de mesurer la santé des pollinisateurs, des études de terrain ont été menées ces dernières années dans différents pays [Bacandritsos *et al.*, 2010 ; Genersch *et al.*, 2010]. Pour mieux connaître les méthodes appliquées et les résultats de ces suivis, une étude bibliographique exhaustive a été réalisée sur les articles scientifiques publiés dans des revues internationales. Cette étude s'est concentrée sur l'exposition des pollinisateurs à trois facteurs de stress : les pesticides, les agents infectieux et parasitaires (AIP) ainsi que la nutrition.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons appliqué la méthode PRISMA qui consiste à appliquer un procédé itératif sur l'ensemble des articles pour leur sélection et leur analyse [Moher *et al.*, 2009]. La recherche bibliographique a couvert la période de 2000 à 2021. Étant donné que les études de terrain ciblées n'étaient pas nombreuses, d'où la période étendue de la recherche bibliographique, l'objectif était d'inclure autant d'enquêtes de terrain que possible dans cette revue quantitative systématique [Pickering et

Byrne, 2014]. Suivant la méthode population - exposition - résultats, couramment utilisée pour identifier les concepts clés d'une question scientifique et pour structurer une recherche bibliographique, nous avons défini la population cible, l'exposition, les facteurs de stress divisés en trois catégories et le type d'enquête. Nous avons également défini une liste de termes que nous avons exclus de notre revue de littérature (tels que les organismes génétiquement modifiés et les antibiotiques)

qui ne correspondaient pas à notre question scientifique centrée sur les méthodes de mesure des facteurs de santé des pollinisateurs. La population cible comprenait tous les pollinisateurs et les abeilles mellifères en particulier. Les facteurs de stress ciblaient les pesticides (tels que les fongicides, les herbicides et les insecticides), les AIP affectant les abeilles en général et la nutrition, en utilisant notamment le prisme chimique des protéines, des lipides ou des sucres. Le type

d'enquête était particulièrement important car nous avons ciblé les suivis de populations (= exposition), par opposition aux études expérimentales afin de refléter la situation des populations en condition naturelle. Sept chaînes de caractères de recherche fondées sur des mots-clés ont été développées (figure 1). Ces termes ont été recherchés dans les bases de données de résumés Scopus et CAB abstract au niveau des titres, des résumés et des mots-clés des articles.

Figure 1

Chaînes de caractères utilisées pour cibler les suivis de terrain étudiant la santé des pollinisateurs

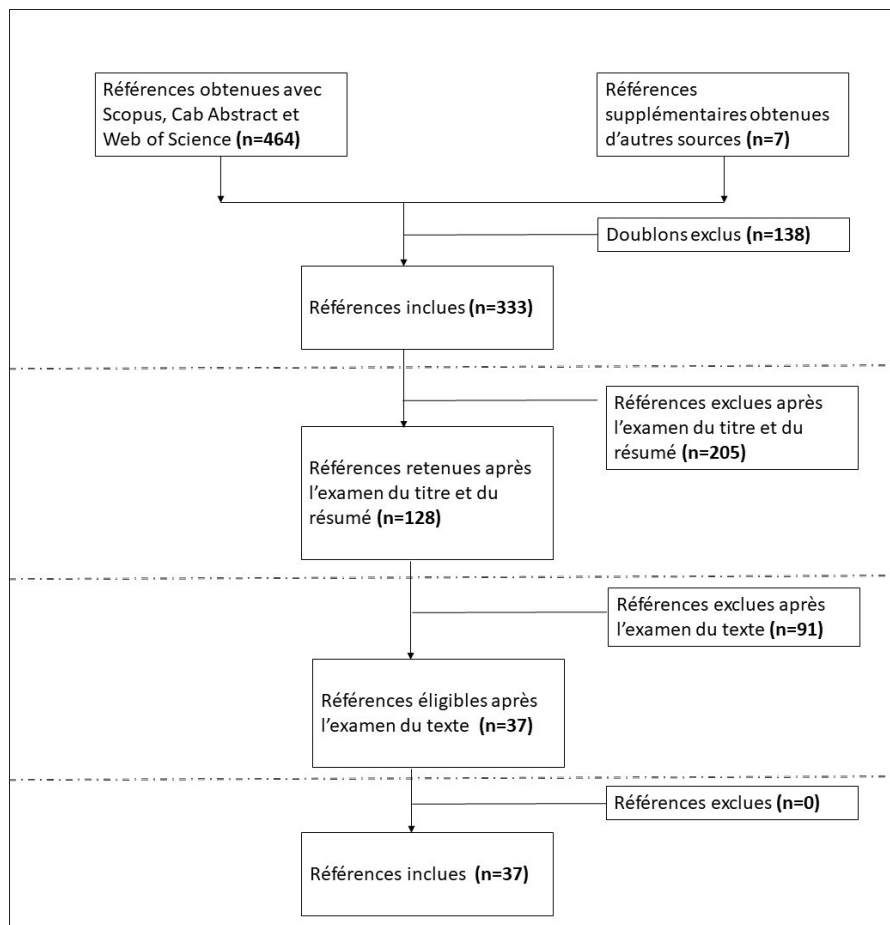
<p>#1 Population Honeybee OR apis* OR beehive OR bee OR pollinator</p>
<p>#2 Exposure Exposure OR "risk assessment"</p>
<p>#3 Pesticides Pesticide OR fongicide OR herbicide OR insecticide OR agrochemical OR chemical OR metals OR metabolite OR neonicotinoid</p>
<p>#4 Pathogens Pathogen* OR parasite* OR varroa* OR disease* OR virus* OR mite OR health OR pests OR bacteria</p>
<p>#5 Nutrition Nutrition OR probiotic OR protein OR lipids OR sugar OR "fat body" OR pollen OR nutrient* OR diet* OR "floral resources" OR nectar OR "bee bread" OR beeswax</p>
<p>#6 Field survey Monitoring OR agroecosystems OR "agricultural environment" OR crop OR field OR culture OR area OR nature OR domain OR zone OR land OR territory</p>
<p>#7 Excluded GMO OR antibiotic OR "immune response" OR laboratory OR "electromagnetic field"</p>

À la suite de l'examen des résumés, les doublons et les articles hors périmètre de la recherche ont été exclus de l'analyse (n=138). De nombreux articles faisaient état d'études impliquant des interventions humaines qui pouvaient être qualifiées d'expériences. Ces articles ont également été supprimés. Après

cette étape, tous les articles ont été lus et certains (n=91) ont été à nouveau exclus car traitant d'études expérimentales. Au terme de ce processus, 37 articles scientifiques ont été sélectionnés et versés à la base de données finale (figure 2).

Figure 2

Diagramme de PRISMA montrant la sélection finale des 37 articles retenus dans l'étude des suivis de terrain sur la santé des pollinisateurs



III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

Sur les 37 articles composant la liste finale, un seul article faisait état du suivi de trois facteurs de stress (AIP, pesticides et nutrition) étudiés en même temps et sur la même population, composée d'abeilles mellifères [Porrini *et al.*, 2016]. Dans ce suivi, réalisé en Italie, un réseau de surveillance a été mis en place en 2009 et 2010 comprenant 130 ruchers répartis sur tout le territoire. Des AIP (n = 11) ont été détectés chez des abeilles et des pesticides (n = 128), chez des abeilles, dans le pain d'abeille (forme du pollen stocké dans les alvéoles de cire) et la cire d'abeille. Le taux de perte de colonies était la variable mesurée pour qualifier la santé des abeilles. La qualité nutritionnelle était évaluée par la mesure de la

teneur totale en protéines des échantillons de pain d'abeille.

Cette étude a montré que la prévalence de *N. ceranae* (microsporidie infectant les abeilles) variait en moyenne de 47 à 69 % en 2009 et de 30 à 60 % en 2010, avec une forte variation saisonnière. Le coumaphos, le propamocarbe, le tau-fluvalinate et la fluméthrine étaient les molécules les plus trouvées grâce à l'analyse multi-résidus. La présence du virus des ailes déformées (DWV) en automne était positivement corrélée avec les pertes de colonies d'abeilles en 2019, tandis que, l'année d'après, les pertes de colonies étaient significativement liées à la présence de

pesticides chez les abeilles mellifères. Au cours des deux années, les taux de pertes des colonies étaient positivement liés au pourcentage de terres agricoles entourant les ruchers, étayant l'importance de l'environnement dans la santé des abeilles.

Les 36 autres articles présentaient l'impact de deux facteurs de stress lors de suivis de terrain.

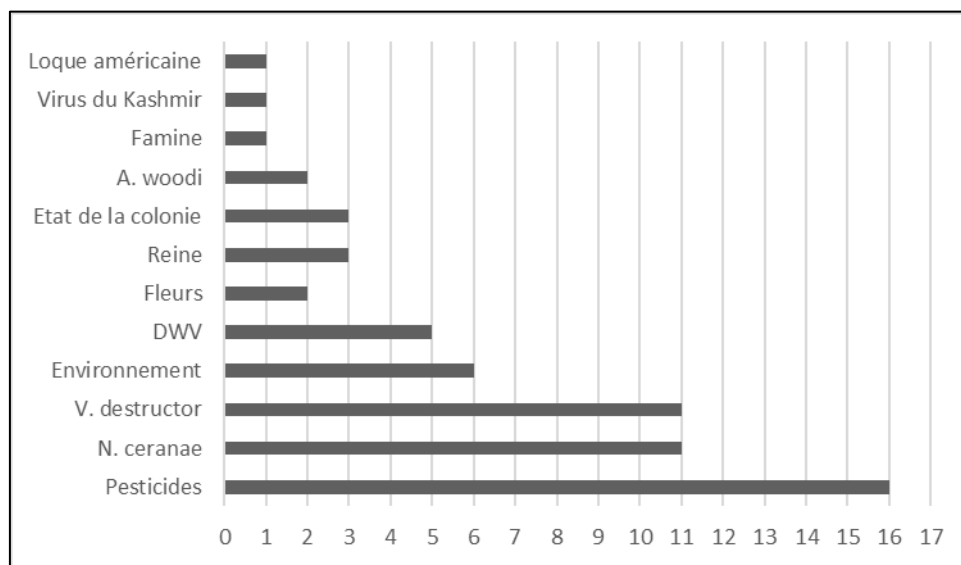
Notre étude bibliographique montre que les suivis sur le terrain sont conduits la plupart du temps sur des colonies d'abeilles mellifères. Cependant, on observe l'intégration récente d'autres espèces de pollinisateurs dans des études de terrain (les bourdons terrestres notamment). La plupart des enquêtes (n = 25) ont été conçues pour étudier les colonies d'abeilles mellifères dans des conditions naturelles (c'est-à-dire hors contexte particulier). Cependant, dans certains cas (n=11), les enquêtes ont été mises en place dans des milieux particuliers pour étudier spécifiquement les pertes inexplicées

d'abeilles mellifères [Kimura *et al.*, 2015] ou de colonies d'abeilles mellifères [Pistorius *et al.*, 2009].

Nous avons étudié les facteurs rapportés dans les suivis de terrain comme influençant la santé des pollinisateurs. Ils ont été divisés en douze catégories (figure 3). Les AIP influençant la santé des pollinisateurs ont été identifiés dans tous les cas. Les AIP spécifiquement mentionnés dans les enquêtes étaient la loque américaine, le virus du Cachemire, l'acarien des trachées *A. woodi*, le virus des ailes déformées (DWV), l'acarien *V. destructor*, ou la microsporidie *Nosema ceranae*. Ils représentent les facteurs de stress influençant le plus la santé des pollinisateurs dans les suivis de terrain décrits (n=31), suivis par les pesticides (n=17). L'état de la colonie en général et la famine en particulier, ainsi que l'environnement, ont également été signalés comme des facteurs influençant négativement la santé des colonies.

Figure 3

Facteurs influençant la santé des pollinisateurs décrits dans les suivis de terrain



« Reine » fait référence à tout problème lié à un échec (mortalité, mauvaise ponte) ou à un mauvais comportement de la reine. Lorsque les auteurs précisent un type de fleur (e.g. eucalyptus et colza/moutarde) influant sur la santé des colonies, celui-ci est signalé sous « Fleurs ». Les caractéristiques environnementales entourant les sites d'étude (cultures, zones agricoles, stress nutritionnel, conditions environnementales) mentionnées comme influençant la santé des colonies sont regroupées dans « Environnement ». Les études dans lesquelles les résultats ont trouvé un ingrédient actif spécifique de produit phytosanitaire, un groupe d'ingrédients (par exemple les fongicides) ou des cultures traitées influençant la santé des colonies ont été rassemblées dans la catégorie « Pesticides ».

Dans les suivis de terrain, le spectre des facteurs étudiés s'élargit peu à peu au cours du temps en augmentant le nombre de molécules recherchées dans les matrices, en diversifiant les matrices prélevées et en s'intéressant aux interactions sur le terrain, l'interaction pesticides-AIP étant la plus étudiée (identification et quantification de pesticides et des AIP en même temps). Par exemple, en Allemagne, les varroas et les virus étaient la cause la plus probable des pertes de colonies [Rolke *et al.*, 2016]. En Grèce, l'imidaclopride, les virus et *N. ceranae* ont agi en synergie sur les pertes de colonies [Bacandritsos *et al.*, 2010]. Les mêmes auteurs ont également conclu que le stress nutritionnel et l'infection à *Nosema spp.* ont eu un impact sévère sur la force de la colonie, avec des conséquences à court et à long termes [Bacandritsos *et al.*, 2010]. En Espagne, il a été conclu que la combinaison des deux agents pathogènes *N. ceranae* et *V. destructor* pouvait augmenter le risque de perte des colonies dans les colonies infectées [Bernal *et al.*, 2011 ; Higes *et al.*, 2010].

L'environnement est aussi de plus en plus pris en compte dans ces études récentes de terrain au travers notamment de l'évaluation de la qualité nutritionnelle des pollens (n=4), ou, plus couramment, par l'étude palynologique des pelotes de pollen collectées par les abeilles ou du pain d'abeilles (n=15).

Par ailleurs, le panel des outils utilisés pour mesurer les différents paramètres s'agrandit

dans les études récentes. Parmi ces outils, on notera la méthode ColEval qui permet de quantifier la population et les réserves dans les colonies d'abeilles mellifères [Hernandez *et al.*, 2020], les compteurs d'entrées et de sorties des ouvrières d'abeilles mellifères [Barascou *et al.*, 2022] et les capteurs à pesticides [Murcia-Morales *et al.*, 2020]. Ces outils sont en cours de validation pour la plupart et n'ont pas encore été couramment utilisés dans des suivis de terrain dont les résultats sont publiés.

Récemment, le projet européen PoshBee a poursuivi cette ouverture en étudiant sur le terrain l'effet de trois facteurs de stress (pesticides, AIP et nutrition) sur des populations (reproduction, état de santé) de trois espèces d'abeilles (*A. mellifera*, *B. terrestris*, *Osmia bicornis*). Un nombre élevé de colonies et de nids (384 par espèce de pollinisateur) a été suivi sur une étendue géographique importante (huit pays européens). L'analyse statistique des résultats de PoshBee permettra de classer les facteurs de stress affectant la santé des abeilles [Hodge *et al.*, 2022] par ordre d'importance. À notre connaissance, ce classement n'a jamais été effectué dans le cadre d'une étude de terrain impliquant trois facteurs de stress. L'utilisation des technologies "omiques" (notamment l'étude des protéines, c'est-à-dire, la protéomique) a fait de l'étude de terrain PoshBee un cas encore plus exceptionnel, car elles n'ont été appliquées qu'une seule fois auparavant dans un suivi de terrain.

IV - CONCLUSION

Les insectes pollinisateurs sont soumis à des variations importantes de leur environnement et il est essentiel de comprendre l'effet de ces facteurs de stress sur leur santé. Cette compréhension nécessite de conduire des études longues dans le temps, étendues dans l'espace et prenant en compte plusieurs facteurs de stress différents pour réellement comprendre l'exposition des pollinisateurs et prendre en compte toute la complexité de l'environnement. Elle nécessite aussi de développer des études de terrain ne ciblant pas uniquement l'abeille mellifère mais aussi les pollinisateurs sauvages pour mieux

comprendre l'affaiblissement auxquels ils font face. La réalisation de ces études nécessite la mobilisation de ressources matérielles et humaines importantes pour le suivi d'effectifs suffisants et la conduite des analyses de données rendues complexes par la dilution des effets et la combinaison d'un nombre important de facteurs. Notre étude montre que pour faire face à ces enjeux, les scientifiques élargissent les champs des outils et des méthodes d'investigation, ce qui permet de produire des résultats nouveaux et d'avancer ainsi dans la compréhension de facteurs qui influencent la santé des pollinisateurs.

BIBLIOGRAPHIE

- Bacandritsos N., Granato A., Budge G., Papanastasiou I., Roinioti E., Caldon M., Falcaro C., Gallina A., Mutinelli F. - Sudden deaths and colony population decline in Greek honey bee colonies. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2010, **105**, 335-340.
- Barascou L., Sene D., Le Conte Y., Alaux C. - Pesticide risk assessment: honeybee workers are not all equal regarding the risk posed by exposure to pesticides. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-21969-2>
- Bernal J., Martin-Hernandez R., Diego J.C., Nozal M.J., Gozalez-Porto A.V., Bernal J.L., Higes M. - An exposure study to assess the potential impact of fipronil in treated sunflower seeds on honey bee colony losses in Spain. *Pest Management Science*, 2011, **67**, 1320-1331.
- Genersch E., Von der Ohe W., Kaatz H.H., Schroeder A., Otten C., Buchleir R., Berg S., Ritter W., Muhlen W. - The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie*, 2010, **41**, 332-352.
- Hernandez J. *et al.* - ColEval: Honeybee COLony Structure EVALuation for Field Surveys. *Insects*, 2020, **11**(1), 41.
<https://doi.org/10.3390/insects11010041>
- Higes M., Martin-Hernandez R., Martinez-Salvador A., Garrido-Bailon E., Gonzalez-Porto A.V., Meana A., Bernal J.L., delNozal M., Bernal J. - A preliminary study of the epidemiological factors related to honey bee colony loss in Spain. *Environmental Microbiology Reports*, 2010, **2**(2), 243-250.
- Hodge S. *et al.* - Design and Planning of a Transdisciplinary Investigation into Farmland Pollinators: Rationale, Co-Design, and Lessons Learned. *Sustainability*, 2022, **14**, 10549.
- IPBES *et al.* - Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production, Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 2016, 36 p.
- Kimura K., Yoshiyama M., Saito K., Nirasawa K., Ishizaka M. - Examination of mass honey bee death at the entrance to hives in a paddy rice production district in Japan: the influence of insecticides sprayed on nearby rice fields. *Journal of Apicultural Research*, 2015, **53**, 599-606.
- Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D.G. - Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 2009, **6**, e1000097.
- Murcia-Morales M., Van der Steen J.J.M., Vejsnæs F., Díaz-Galiano F.J., Flores J.M., Fernández-Alba A.R. - APIStrip, a new tool for environmental contaminant sampling through honeybee colonies. *Science of the Total Environment*, 2020, **729**, 138948.
- Oddie M.A.Y., Burke A., Dahle B., Le Conte Y., Mondet F., Locke B. - Reproductive success of the parasitic mite (*Varroa destructor*) is lower in honeybee colonies that target infested cells with recapping. *Scientific Reports*, 2021, **11**, 9133.
- Pickering C., Byrne J. - The benefits of publishing systematic quantitative literature reviews for PhD candidates and other early-career researchers. *Higher Education Research & Development*, 2014, **33**, 534-548.
- Pistorius J., Bischoff G., Heimbach F., Stahler M. - Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize. *Julius Kühn Archiv*, 2009, **423**, 118-126.
- Porrini C. *et al.* - The Status of Honey Bee Health in Italy: Results from the Nationwide Bee Monitoring Network. *PLoS One*, 2016, **11**, e0155411.

Potts S.G., Biesmeijer J.C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., Kunin W.E. - Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 2010, **25**, 345-353.

Rolke D., Fuchs S., Grünewald B., Gao Z., Blenau W. - Large-scale monitoring of effects of clothianidin-dressed oilseed rape seeds on pollinating insects in Northern Germany: effects on honey bees (*Apis mellifera*). *Ecotoxicology*, 2016, **25**, 1648-1665.

Rollin O., Pérez-Méndez N., Bretagnolle V., Henry M. - Preserving habitat quality at local and landscape scales increases wild

bee diversity in intensive farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019, **275**, 73-80.

Somme L., Moquet L., Quinet M., Vanderplanck M., Michez D., Lognay G., Jacquemart A-L. - Food in a row: urban trees offer valuable floral resources to pollinating insects. *Urban Ecosystems*, 2016, **19**, 1149-1161.

Zioga E., Kelly R., White B., Stout J.C. - Plant protection product residues in plant pollen and nectar: A review of current knowledge. *Environmental Research*, 2020, **189**, 109873.



