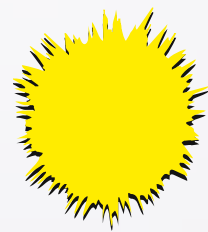


A3 Magazine

Rayonnement du CNRS



N° 77 - Automne 2021

L'environnement et nos conditions de vie aujourd'hui et demain



RAYONNEMENT
DU CNRS

Association des Ancien et des Amis du CNRS



cnrs



To bee or not to bee, l'exemple édifiant des insecticides néonicotinoïdes



Jean-Marc Bonmatin est chercheur au Centre de biophysique moléculaire (CBM) du CNRS à Orléans depuis 1989, après une thèse de chimie-physique en 1987 puis un post-doctorat au Canada. Il a d'abord établi par RMN les relations structure-activité de nouveaux peptides antibiotiques naturels (surfactines, défensines) et de toxines (scorpions et insectes). Il a dirigé le service des contrats de la DR8 en 1996/97, puis est revenu au CBM pour des recherches dans le cadre de programmes européens sur les pesticides et sur leurs impacts sur les abeilles. En 2010, il co-crée la Task Force on Systemic Pesticides (TFSP), un réseau d'une soixantaine de scientifiques indépendants et volontaires sur 25 pays, dont il est vice-président. Il est expert pour plusieurs organismes nationaux (Ministère de l'agriculture, ANSES, Institut de l'abeille) et internationaux (IUCN, OCDE, IPBES) avec un domaine de compétences élargi à la biodiversité et la santé publique.

Résumé : Travaillant sur les pesticides neurotoxiques depuis plus de 20 ans, d'années en années, en tirant le fil des découvertes successives, le constat est devenu alarmant. Tout a commencé en 1995 lorsque les apiculteurs ont sonné les premières alertes : les abeilles disparaissaient. Aujourd'hui, le désastre est devenu mondial. Il concerne tout l'environnement (sols, plantes, eaux, air), la pyramide de biodiversité et notre santé. D'abord, sans abeilles, pas de pollinisation. Et sans pollinisation, ni fleurs ni cultures. L'ensemble des pollinisateurs de la planète s'effondre, à commencer par les abeilles (mellifères et sauvages) et les papillons. Sur le banc des accusés se trouvent des insecticides neurotoxiques. Les nouveaux insecticides néonicotinoïdes sont responsables, preuves scientifiques à l'appui, de dégâts sur l'ensemble de la biodiversité, des services écosystémiques, de la chaîne alimentaire et sur notre santé. Tous les indicateurs sont au rouge. Il est urgent d'agir vraiment.

DISPARITION DES INSECTES

Les plus anciens peuvent le constater : lorsqu'on roule l'été en voiture, notre calandre et notre pare-brise ne sont plus couverts d'insectes comme il y a une trentaine d'années. Et des études le confirment. L'une d'entre elle, réalisée en Allemagne en 2017, montre que 78 % de la masse des insectes volants a disparu en 27 ans, et ceci même dans les zones protégées (1). La Plateforme inter-gouvernementale sur la biodiversité et les Services écosystémiques (IPBES) a lancé, de son côté, une alerte mondiale dès 2016, nous informant que déjà 40 % des pollinisateurs invertébrés et 16,5 % des pollinisateurs vertébrés (comme les chauves-souris), sont menacés d'extinction. Pour la première fois, les pesticides sont clairement identifiés comme liés à ce déclin. L'IPBES a même le courage d'incriminer un type d'insecticide en particulier : les néonicotinoïdes.

DES NEUROTOXIQUES MASSIVEMENT DÉVERSÉS SUR LA PLANÈTE

Les néonicotinoïdes constituent une nouvelle classe d'insecticides apparus au début des années 90 et ils sont à la pointe de la modernité. Ils constituent une petite famille d'une dizaine de molécules actives, dont l'archétype est l'imidaclopride (Fig. 1). Ils représentent près

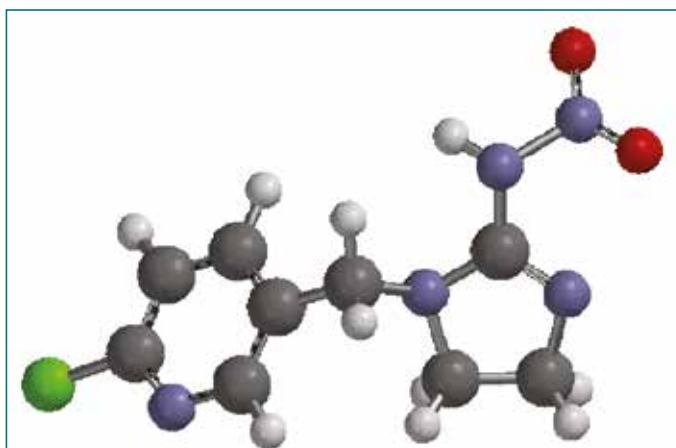


Fig. 1 : Structure chimique de l'imidaclopride ($C_9H_{10}ClN_5O_2$), archétype des néonicotinoïdes. © J.-M. Bonmatin.

d'un tiers du marché mondial des insecticides. Cinq néonicotinoïdes ont dominé le marché français. Ces molécules organochlorées sont construites sur la base de la structure de la nicotine et celle de l'acétylcholine (un neurotransmetteur essentiel). Elles agissent au niveau du système nerveux central sur les récepteurs nicotiques de l'acétylcholine. Elles ont un spectre de toxicité très large puisque qu'elles activent et bloquent les récepteurs neuronaux de presque tous les insectes. Ainsi, les insectes ravageurs des cultures sont immédiatement tués par une sorte de crampes généralisée, dès qu'ils piquent ou sucent

les racines ou les parties aériennes des cultures traitées. En effet, ces insecticides neurotoxiques sont systémiques, c'est-à-dire qu'ils diffusent dans toute la plante. Ils sont véhiculés par la sève, puis stockés dans les racines, feuilles, fleurs et fruits. Quelle que soit la partie attaquée par les insectes, ceux-ci sont empoisonnés.

Comme ces insecticides ont une extrême toxicité, ils peuvent être employés pour asperger les cultures (pulvérisation) mais également pour enrober les semences, ce qui est plus discret et pratique (Fig. 2). Dans ce dernier cas, les semences sont préalablement pelliculées d'insecticide, avant le semis. Cette technique d'enrobage de semence permet généralement de diviser la quantité d'insecticide utilisée à l'hectare par un facteur cinq par



Fig. 2 : Semences enrobées d'insecticide avant semis (bleu : tournesol, rouge : maïs). © J.-M. Bonmatin.

rapport à un équivalent DDT, insecticide interdit depuis les années 1970 et pris comme référence toxique. Toutefois, les études ont montré que la toxicité de l'imidaclopride pour les abeilles est plus de 7000 fois supérieure à celle du DDT. Cinq fois moins à l'hectare, 7000 fois plus toxique... L'enrobage de semences constitue une facilité pour les agriculteurs : semis et traitement définitif sont faits en un seul passage, dès le départ. Mais cela représente un traitement systématique et préventif, dit prophylactique, lequel n'est pas sans graves conséquences. Cette idée de traiter tout *a priori*, et tout le temps, est une impasse. Elle favorise les résistances (comme l'excès d'antibiotiques favorise la résistance des bactéries) et s'oppose à la gestion des ravageurs uniquement lorsque ceux-ci présentent un risque économique pour la récolte. Au final, en traitant systématiquement tout et tout le temps, ce sont des milliers de tonnes de ces insecticides qui sont déversés inutilement sur la planète chaque année.

L'ABELLE MELLIFÈRE, PARTIE VISIBLE DE L'ICEBERG

Si les apiculteurs français constatent des hécatombes parmi les ruches qui butinent le tournesol dès la mise sur le marché (1995), et commencent à soupçonner les néonicotinoïdes, les scientifiques ne mettent en évidence leur responsabilité qu'au début des années 2000. Des recherches montrent alors que, contrairement aux hypothèses émises lors de l'homologation, l'insecticide est présent dans les fleurs, les grains de pollen et les nectars des plantes traitées. D'autre part, les études révèlent que les niveaux de contamination de ces sources de nourriture pour les abeilles sont largement supérieurs aux doses qui induisent, en laboratoire, plus de 50 % de mortalité chez les butineuses suite à une exposition chronique sur 8 jours. En effet, tester la toxicité des néonicotinoïdes à court terme (1 ou 2 jours) avec une seule dose, comme cela était réglementaire, ne révèle pas les effets dramatiques d'une intoxication chronique avec de très faibles doses répétées. En 2003, la première évaluation scientifique très argumentée est faite par le Comité scientifique et technique (CST) de l'étude multifactorielle des troubles des abeilles, groupe d'experts du Ministère de l'agriculture. Les conclusions sont claires. Les risques associés aux néonicotinoïdes pour les abeilles sont inacceptables et expliquent les pertes massives de colonies.

Si les abeilles sont les premières à subir les conséquences de ces pesticides, la communauté scientifique s'accorde sur le fait que l'origine de leur déclin, rapide et prononcé, est multifactorielle (2). Ainsi les causes clairement identifiées des dépopulations d'abeilles sont directement liées aux activités humaines : raréfaction de la nourriture (monoculture, perte de diversité florale), usage massif de divers types de pesticides favorisant le développement d'agents infectieux (virus et microsporidies de type *Nosema* sp.), introduction d'espèces parasites (acarien varroa), invasives (petit coléoptère des ruches) ou prédatrices (frelon asiatique). S'agissant des néonicotinoïdes en particulier, ce qui est vrai pour les abeilles l'est pour les bourdons et pour tous les autres insectes pollinisateurs sauvages comme par exemple les papillons butineurs (Fig. 3). Il faut bien comprendre que les néonicotinoïdes sont des substances toxiques qui n'obéissent pas au vieux principe de Paracelse (1537) selon lequel *seule la (faible) dose fait qu'une chose n'est pas poison*. Depuis le Moyen Âge, la chimie de synthèse a fait de grands progrès et la toxicologie moderne découvre que certaines molécules, même à doses infimes, gardent une forte toxicité (perturbateurs endocriniens, PCB, dioxines, néonicotinoïdes, etc.). Et rien de tout cela n'avait été vérifié lors de l'homologation des néonicotinoïdes, que ce soit par les fabricants ou par les autorités.

Dès 2010, un groupe d'ornithologues, voyant les oiseaux communs se raréfier, se rassemblent à Paris avec des entomologistes, toxicologues, physiciens et chimistes pour tenter de comprendre ce qui se passe. Après avoir éliminé un certain nombre de causes possibles (lumière, ondes, etc.), il reste l'hypothèse crédible et probable des insecticides systémiques tels que les néonicotinoïdes et le fipronil. Mais cette hypothèse doit être validée ou invalidée, toujours sur une base factuelle et purement scientifique. La *Task Force on Systemic Pesticides* (TFSP ; www.tfsp.info) vient de naître sous l'égide de l'IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) et J-M Bonmatin en est le vice-président. Rapidement, la TFSP rassemble une soixantaine de scientifiques de nombreuses



Figure 3 : En haut : abeille récoltant du pollen sur maïs © J.-M. Bonmatin. En bas : papillon butineur © H. Mouret (*Arthropologia*).

disciplines, d'une vingtaine de pays, tous volontaires et indépendants, sans conflit d'intérêt. Leur évaluation mondiale intégrée est publiée en 2014 sous la forme d'une

méta-analyse compréhensive constituée de huit articles scientifiques. Plus de 1200 références soutiennent les conclusions. Après 2017, cinq nouveaux articles scientifiques conséquents (700 références supplémentaires) confirment et étendent les conclusions de la TFSP (3) : l'utilisation des néonicotinoïdes et du fipronil n'est pas durable, il faut réduire ou interdire leurs usages rapidement et développer à la place la lutte intégrée contre les ravageurs ou l'agriculture biologique.

DES IMPACTS DIRECTS ET EN CASCADE

Les constats, concernant les impacts des néonicotinoïdes sur les abeilles et sur l'équilibre rompu des écosystèmes, font l'objet d'un consensus scientifique. En France, le rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) de 2015, faisant suite aux travaux de la TFSP, conclut par exemple : « Devant le constat de la multiplicité et de l'ampleur de l'exposition aux substances chimiques utilisées en santé des plantes et des animaux d'élevage, il est impératif d'œuvrer de toutes les manières possibles pour une diminution globale des intrants ». Au niveau européen, l'EASAC remet également un rapport sur les néonicotinoïdes en 2015, lequel précise : « L'utilisation généralisée des néonicotinoïdes (et d'autres pesticides) limite le potentiel de restauration de la biodiversité sur les terres agricoles dans le cadre de la réglementation agroenvironnementale de l'UE ». Il faut bien comprendre qu'au-delà des abeilles, ce sont divers groupes taxonomiques qui sont impactés : pollinisateurs, invertébrés terrestres et invertébrés aquatiques (Fig. 4). Ces impacts sont démontrés au niveau des individus, des populations et des communautés entières. De plus, l'évaluation mondiale intégrée de la TFSP souligne les effets en cascade déjà visibles sur les prédateurs qui ont besoin des invertébrés pour se nourrir : amphibiens, poissons et oiseaux notamment (4) (Fig.4).

Par ailleurs, si le nuage de poussières chargées en néonicotinoïdes, émis derrière les tracteurs lors des semis, constitue déjà une pollution aérienne mortelle pour les butineurs, la TFSP a aussi démontré une contamination générale moins visible. C'est le cas par exemple pour les sols où les néonicotinoïdes sont présents dans des concentrations 100 à 100 000 fois supérieures à ce qu'on trouve en agriculture biologique. Et ils contaminent toutes les parcelles alentour. De plus, ils ont une durée de demi-vie qui peut atteindre plusieurs années. Ils s'accumulent dans les sols au fur et à mesure des traitements consécutifs. En traitement de semences, la situation est comparable au traitement foliaire, seule-



Figure 4 : Exemples de groupes taxonomiques parmi les plus impactés par les néonicotinoïdes. Invertébrés terrestres et aquatiques : insectes, vers de terre et crustacés. Vertébrés : amphibiens, poissons et oiseaux. Mammifères : rongeurs, cervidés et humains. Source : pixabay.com

ment 2 à 20 % des néonicotinoïdes pénètrent la plante traitée, tout le reste contamine les sols et impacte les invertébrés du sol comme les vers de terre (5). La contamination généralisée des eaux de surface découle de celle des sols et de la solubilité des néonicotinoïdes. Ils sont transportés par lixiviation ou lessivage. Les fortes valeurs atteintes dans les eaux de surface impactent alors les écosystèmes aquatiques et sédimentaires. Même les eaux profondes sont déjà significativement polluées.

Le constat de la contamination globale des trois compartiments de la nature (air, sol, eau) est tout aussi vrai pour nos denrées alimentaires, notamment pour les céréales, fruits et légumes. Ici les valeurs mesurées sont inquiétantes au regard de notre santé. Aujourd'hui, 42 % de la nourriture produite dans le monde excède les valeurs réglementaires en résidus néonicotinoïdes (> LMR : limite maximale de résidus) (6). Les néonicotinoïdes illustrent une dérive des méthodes chimiques utilisées en agriculture intensive. Les constats faits

pour ces insecticides peuvent en effet être étendus à d'autres classes de pesticides comme les herbicides (ex : glyphosate) et fongicides (ex : SDHI), tous bien trop largement utilisés en agriculture et agroalimentaire sur la planète entière.

ET L'HOMME DANS TOUT ÇA ?

Si des centaines d'études sont aujourd'hui disponibles pour divers groupes taxonomiques, très peu d'études concernent les mammifères et l'Homme. L'hypothèse de l'absence d'effet chez les mammifères était suggérée par une affinité moindre des néonicotinoïdes pour le système nerveux central des vertébrés, et de celui de l'Homme en particulier. Un peu comme si on avait oublié que la nicotine a un effet chez l'Homme. Pourtant, nous sommes tous exposés à ces insecticides. Tous les fruits et légumes du marché de Boston (USA) sont contaminés avec au moins un néonicotinoïde en 2015. De l'autre côté du Pacifique, 90 % des Japonais testés urinent au moins 4 néonicotinoïdes en 2014. Ces exemples illustrent ce à

quoi nous sommes exposés à chaque repas *via* les légumes, fruits, céréales, pain, vin, café, chocolat, thé, jus de fruits, etc. Il ne faut pas croire que la situation soit tellement différente en Europe : la France est sur le podium des 27 pays les plus utilisateurs de pesticides. Et puis nous importons beaucoup de denrées alimentaires des pays en voie de développement, souvent moins regardants en matière de sécurité alimentaire.

Du côté des effets sur les mammifères, on découvre à partir de 2007 le potentiel de perturbation du système endocrinien par certains néonicotinoïdes. Ils sont aussi génotoxiques, cytotoxiques, ont des effets sur le foie, la thyroïde et les testicules ; attention cancer... Ils induisent des tremblements et des pertes de mémoire durable, sont liés aux maladies du spectre autistique ou à des pathologies cardiaques chez le nouveau-né (7). Ce qui inquiète le plus les chercheurs est qu'ils impacteraient le bon développement du cerveau chez le fœtus, parfois jusqu'à l'anencéphalie, et aussi chez les plus jeunes. Censés ne pas passer la barrière placentaire, on les retrouve pourtant dans la première urine des bébés de très faible poids (8). Et plus les années passent, plus la liste des maladies induites chez l'Homme augmente et l'exposition chronique des populations s'allonge (www.youtube.com/watch?v=tmcYITNDj3A).

VERS UNE NÉCESSAIRE MUTATION AGRICOLE

À ce stade, il n'est pas impertinent de se poser quelques questions essentielles : quels sont les bénéfices réels de ces insecticides ? À quoi servent-ils vraiment ? Cela justifie-t-il le coût pour l'environnement, pour la biodiversité et pour notre santé ? En 2015, l'Agence américaine de protection de l'environnement constatait que les rendements du soja n'étaient pas différents entre cultures traitées aux néonicotinoïdes et cultures de soja n'ayant reçu aucun traitement insecticide. En d'autres termes : 540 tonnes/an de néonicotinoïdes, c'est-à-dire le deuxième poste de consommation aux USA après le maïs (910 tonnes/an), avaient été utilisés pour rien. D'ailleurs, pour le maïs, les canadiens savent faire sans traitement prophylactique puisqu'en Ontario et au Québec, une réduction progressive de 80 % des néonicotinoïdes a été décidée par les autorités. Mieux, le bénéfice net agricole apparaît plus élevé pour les agriculteurs qui pratiquent l'agriculture biologique ou la lutte intégrée, ceci avec des rendements équivalents. L'économie faite sur les pesticides, couplée à des récoltes de qualité meilleure (donc vendues à un prix plus élevé), assure ainsi une meilleure rentabilité agricole sur le maïs, soja, blé et colza. Ce constat a aussi été fait en Italie dans les provinces très agricoles du Frioul et de la Vénétie, en mettant en place

un simple système d'assurance mutuelle. En effet, les statistiques sur trois décennies montrent que seulement 4 % des surfaces de maïs sont attaquées par les insectes ravageurs. Pourquoi traiter à 40 € par hectare 100 % des surfaces, alors que l'assurance mutuelle à 3,5 € par hectare couvre tous les risques ? Ce système d'assurance est d'abord basé sur la prévention (rotation, pièges à insectes, etc.) et sur les conseils d'agronomes indépendants rémunérés par l'assurance mutuelle. C'est une mise en place rigoureuse de la lutte intégrée (9) : les traitements insecticides ne sont faits qu'en cas de nécessité, de façon ciblée, et avec des molécules de faible toxicité pour les écosystèmes. Au final, avec 53 000 hectares de maïs concernés, l'assurance ne dépense en indemnisation que la moitié de ce qu'elle percevait. Ce système socio-économique est viable depuis sa mise en place en 2014. Il est très économique et sécurisant pour les agriculteurs qui y adhèrent. Il est également protecteur de l'environnement et des consommateurs.

D'une manière plus générale, la TFSP a voulu répondre à la question de l'utilité/inutilité des traitements insecticides préventifs. La réponse montre clairement que la plupart des traitements néonicotinoïdes prophylactiques (c'est-à-dire systématiques et préventifs) ne sert pas à grand-chose en termes de rendements, comme illustré pour les principales cultures annuelles ou pérennes (9, 10). Les gains en termes de rendements sont mineurs par rapport au surcoût pesticide, et, au final, le bénéfice net agricole est significativement diminué. De plus, ces traitements préventifs sélectionnent les ravageurs résistants, de sorte qu'il faut alors continuer l'éternelle course à l'armement : soit en augmentant encore la toxicité, soit en utilisant plusieurs insecticides. Ce faisant, les impacts sur la biodiversité, les écosystèmes et notre santé s'aggravent et ne sont plus acceptables. La disparition des abeilles est une des conséquences les plus visibles, le reste suit, on parle de sixième extinction des espèces... Les solutions alternatives existent et sont efficaces. L'article de revue de la TFSP liste toutes ces solutions qui concernent l'agencement des paysages agricoles (haies, zones humides, etc.), les méthodes agronomiques (rotation, semis tardif, inter-cultures, etc.), l'utilisation des prédateurs des ravageurs ou de leurs parasitoïdes (bio-contrôle), et toute une batterie de solutions techniques aujourd'hui disponibles (phéromones, substances de base, barrières physiques, etc.) (9). En clair, il faut lutter contre les ravageurs avec la nature et non contre la nature. Le comité d'experts agronomes mis en place par l'Anses constate lui aussi que pour les 130 usages de néonicotinoïdes qui existaient en France, il existe une solution alternative non-chimique dans 78 % des cas (11). Cela

signifie qu'on aurait pu économiser 78 % des cas traités aux néonicotinoïdes, et, dans les autres cas, utiliser des molécules moins problématiques.

VERS UNE INTERDICTION DES NÉONICOTINOÏDES ?

En France, l'interdiction totale de tous les néonicotinoïdes a été votée (Amendement 452 du 22 juin 2016), ceci contre l'avis du ministre de l'Agriculture, Stéphane Le Foll. Cette interdiction a pris effet au 1^{er} septembre 2018. Elle a été assortie d'un autre amendement pour élargir l'interdiction à toute molécule proposée sur le marché français qui présenterait le même mode d'action (ex. sulfoxaflor, fluppyradifurone ; Amendement CE2049 du 13 avril 2018). Ainsi, la France était le premier pays à prononcer une interdiction totale de ces pesticides. L'Europe avait, pour sa part, interdit partiellement trois molécules néonicotinoïdes en 2013, puis étendu cette interdiction à toutes les cultures hors serres en 2019. Par ailleurs, des pays avaient ponctuellement interdit certains néonicotinoïdes pour certaines cultures depuis l'interdiction française de 1999 (imidaclopride sur tournesol), mais toujours au cas par cas. Cependant, un autre néonicotinoïde venait immédiatement prendre le marché laissé libre par celui qui avait été interdit. De fait, une mesure efficace de protection de l'environnement voudrait des interdictions totales, sur toute la famille de néonicotinoïdes, sur toutes cultures. Les dérogations ne devraient être accordées qu'avec une extrême précaution et sur une base scientifique argumentée. Pourtant, une dérogation très controversée vient de ré-autoriser en France (premier producteur de sucre européen), l'usage de deux néonicotinoïdes jusqu'en 2023 pour traiter environ 450 000 hectares de betterave sucrière contre un puceron vecteur de la jaunisse pour cette culture. C'est une marche-arrière environnementale d'autant plus regrettable qu'on apprend aujourd'hui par l'Anses qu'il existe nombre de solutions alternatives pour la betterave sucrière.

UNE RÉFLEXION SUR NOTRE MODÈLE AGRICOLE

À la faveur de ce cas emblématique qui démontre les impacts des néonicotinoïdes sur les abeilles, sur toute la biodiversité et l'ensemble des écosystèmes dont nous dépendons, de graves failles dans le système d'homologation sont apparues et demandent à être corrigées. Ces failles concernent les propriétés de ces pesticides (hypothèses erronées de non-contamination, non toxicité, non persistance) mais également leur utilité réelle et leur coût

global. Plus généralement, le cas des néonicotinoïdes montre que le système de production agricole intensif et basé sur les traitements chimiques en première intention n'est pas durable. Ses coûts cachés sont exorbitants : pollution généralisée, effondrement des écosystèmes, santé humaine. Non seulement les sociétés humaines ont profité et profitent des sociétés d'abeilles pour la pollinisation des végétaux comme pour leur miel, mais les pollinisateurs nous préviennent des dangers globaux qui nous menacent et de l'urgence d'agir pour corriger nos erreurs.

RÉFÉRENCES

- (1) Hallmann CA *et al.* (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12 : e0185809.
- (2) Goulson D *et al.* (2015) Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science* 347 : 1435-1435.
- (3) Bonmatin JM *et al.* (2021) An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. *Environmental Science and Pollution Research* 28 : 11709–11715.
- (4) Pisa L *et al.* (2021) An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: impacts on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* 28 : 11749–11797.
- (5) Sánchez-Bayo F (2014) The trouble with neonicotinoids. *Science* 346 : 806-807.
- (6) Wyckhuys KAG *et al.* (2020) Resolving the twin human and environmental health hazards of a plant-based diet. *Environment International* 144 : 106081.
- (7) Cimino A *et al.* (2016) Effects of neonicotinoid pesticide exposure on human health: A systematic review. *Environmental Health Perspectives* 125 : 155-162.
- (8) Ichikawa G *et al.* (2019) LC-ESI/MS/MS analysis of neonicotinoids in urine of very low birth weight infants at birth. *PLoS ONE* 14 : e0219208.
- (9) Furlan L *et al.* (2021) An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 3: alternatives to systemic insecticides. *Environmental Science and Pollution Research* 28 : 11798–11820.
- (10) Veres A *et al.* (2020) An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic pesticides. Part 4: Alternatives in major cropping systems. *Environmental Science and Pollution Research* 27 : 29867–29899.
- (11) Jactel H *et al.* (2019) Alternatives to neonicotinoids. *Environment International* 129 : 423-429.