

SOMMAIRE

Numéro – **idée principale pouvant motiver la lecture**

(premier auteur et al, année ; *revue* ; notoriété revue)

1- La maladie des rivières : le mystère enfin résolu

(Rossini et al 2021 ; *Journal of Chemical Ecology* ; IF 2.12)

2- Les débuts de la sélection génomique chez l'abeille mellifère

(Bernstein et al 2021 ; *Genetics Selection Evolution* ; IF 4.02)

3- L'élevage des reines repose-t-il sur le népotisme ?

(Al-Kahtani & Bienefeld 2021 ; *Plos One*; IF 3.24)

4- Réchauffement climatique et varroa : la hausse des températures pourrait avoir un impact négatif sur la tolérance des abeilles au parasitisme

(Aldea-Sánchez et al 2021 ; *Frontiers in Ecology and Evolution* ; IF 3.26)

5- Pour une meilleure compréhension du comportement agressif des abeilles

(López-Incera et al 2021 ; *BMC Biology* ; IF 7.43)

6- Une étude COLOSS sur les performances du VarroMed®

(Smodiš Škerl et al 2021 ; *Preprint*)

7- Pour bien polliniser, mieux vaut des colonies fortes que des colonies nombreuses

(Grant et al 2021 ; *Peer J* ; IF 2.98)

8- Un cas clinique d'affaiblissement de colonies coexposées à différents facteurs de stress

(Alonso-Prados et al 2021 ; *Pathogens* ; IF 3.49)

9- L'abeille japonaise ne souffre pas de l'anthropisation des paysages

(Donkersley et al 2021 ; *Insects* ; IF 2.77)

10- Chez les pesticides aussi, l'union fait la force

(Wang et al 2021 ; *Ecotoxicology and Environmental Safety* ; IF 6.29)

Ont collaboré à ce numéro : M. L'Hostis, A. Menage, P. Gilles, G. Therville, S. Hoffmann & Ch. Roy

Version anglaise : N. Vidal-Naquet

Attention : cette revue ne prétend pas être exhaustive et ne regroupe que des publications d'intérêts aux yeux des membres de la commission apicole SNGTV ; seules 10 publications par numéro sont ainsi retenues pour faire l'objet d'un focus.



1- La maladie des rivières : le mystère enfin résolu

Rossini, C., Almeida, L., Arredondo, D., Antúnez, K., Santos, E., Haralambides, A.R., Invernizzi, C., 2021. When a Tritrophic Interaction Goes Wrong to the Third Level: Xanthoxylin From Trees Causes the Honeybee Larval Mortality in Colonies Affected by the River Disease. *Journal of Chemical Ecology*.

Résumé : la "maladie des rivières" (RD), connue depuis longtemps par les apiculteurs dans certains pays d'Amérique du Sud, a été décrite récemment par Invernizzi et al (2018). Il s'agit d'une affection qui touche les colonies d'abeilles situées à proximité des cours d'eau où la végétation riveraine est abondante notamment *Sebastiania schottiana*, Euphorbiaceae d'Amérique du Sud. Le tableau clinique consiste en une mortalité massive des jeunes larves nouvellement écloses, conduisant à un affaiblissement et à terme à la mort des colonies atteintes. La preuve a été précédemment faite que les abeilles butineuses des colonies affectées par la RD collectent les excréments de miellat d'*Epormenis cestri* (Hemiptera : Flatidae), une cicadelle se nourrissant des arbres de *S. schottiana* (plante nectarifère également). Et les larves d'abeilles au premier stade nourries avec ce miellat meurent. Ainsi, nous avons postulé que les nectars et miellats consommés par les colonies affectées par la maladie des rivières contenaient une toxine naturelle provenant soit d' *E. cestri*, soit de *S. schottiana*. Une caractérisation métabolomique d'extraits de nectars frais provenant de colonies avec et sans RD a permis d'identifier la xanthoxylin comme l'une des substances chimiques présente en plus grande quantité dans le nectar des colonies affectées par la RD que dans les nectars des colonies saines. En outre, la xanthoxylin a également été trouvée dans les parties aériennes de *S. schottiana* et dans le miellat excrété par *E. cestri* se nourrissant de cet arbre. Des tests larvaires avec des régimes alimentaires enrichis en xanthoxylin ont été proposés à des larves de 1^{er} stade : ils ont montré que les larves mouraient dans la même proportion que les larves nourries avec des nectars de colonies atteintes de RD. Ces résultats montrent que cette toxine peut imiter le syndrome de la RD chez les larves d'abeilles et qu'elle en est probablement responsable. Ils fournissent aussi la preuve d'un flux interspèce de xanthoxylin entre trois niveaux trophiques. Nos résultats fournissent des informations qui peuvent être prises en compte pour la mise en œuvre de mesures visant à contrôler cette maladie de l'Abeille mellifère.

Non téléchargeable gratuitement

2- Les débuts de la sélection génomique chez l'abeille mellifère

Bernstein, R., Du, M., Hoppe, A., Bienefeld, K., 2021. Simulation studies to optimize genomic selection in honey bees. *Genetics Selection Evolution* 53, 64.

Résumé : Avec l'établissement d'une puce de polymorphisme nucléotidique unique (SNP) pour *Apis mellifera*, la sélection génomique pourrait potentiellement permettre une sélection basée sur l'analyse des données génomiques (GBLUP). Comme c'est déjà le cas pour d'autres espèces animales, il s'agit de prédire la valeur génétique d'un individu à partir de marqueurs denses couvrant l'ensemble du génome. Cependant, pour son application pratique chez l'abeille, les méthodes d'estimation des valeurs de sélection génomiques doivent être adaptées aux spécificités de la génétique et des caractéristiques de sélection d' *Apis mellifera*. Couramment, des reines productrices de mâles (DPQ) sont utilisées pour le contrôle de l'accouplement. Elles sont sélectionnées par leur ascendance et non par la phénotypage de leurs colonies. Les reines destinées à produire les œufs des futures reines sélectionnées (BQ) sont quant à elles sélectionnées sur le phénotype de leurs colonies (production, agressivité, résistance aux maladies). Notre objectif était ici d'évaluer différents modèles de programmes d'élevage pour initier l'utilisation de la sélection génomique chez l'abeille mellifère. Ce programme s'est déroulé sur six ans et différents nombres de reines génotypées par an ont été pris en compte. Des simulations stochastiques ont été effectuées pour évaluer la qualité des valeurs de reproduction estimées. L'inclusion des génotypes de 5000 BQ phénotypées a augmenté la précision des prédictions des valeurs d'élevage jusqu'à 173 %, selon la taille de la population de référence et le caractère considéré. Pour initier un programme d'élevage, le génotypage d'un nombre minimum de 1000 reines par an est requis. Dans ce cas, le gain génétique était le plus élevé lorsque la présélection génomique de la DPQ était couplée au génotypage de 10 à 20 % des BQ phénotypées. Pour un gain génétique maximal par génotype utilisé, plus de 2500 reines génotypées par an et une présélection de toutes les BQ et DPQ est nécessaire. Cette étude montre que la priorité dans un programme de sélection est de génotyper des BQ phénotypées pour obtenir une population de référence suffisamment importante, ce qui permet une présélection génomique réussie des reines. Pour maximiser le gain génétique, les DPQ doivent aussi être présélectionnés et leurs génotypes inclus dans la matrice de relations génomiques.

Téléchargeable <https://doi.org/10.1186/s12711-021-00654-x>

3- L'élevage des reines repose-t-il sur le népotisme* ?

AL-Kahtani, S.N., Bienefeld, K., 2021. Strength surpasses relatedness—queen larva selection in honeybees. *PLoS ONE* 16, e0255151.

Résumé : La question du choix, par une colonie, des larves qui seront élevées pour devenir reines est souvent posée. De façon très théorique, la pratique du népotisme a été initialement prédit et parfois mise en évidence pour expliquer la sélection de larves spécifiques élevées comme reines par l'abeille domestique *Apis mellifera*. Bien que l'importance de la sélection de la prochaine reine d'une colonie indique qu'elle ne doit pas se faire au hasard, le népotisme est de plus en plus considéré comme improbable dans les sociétés eusociales d'insectes. Différentes caractéristiques prénatales maternelles des embryons ont un impact sur la condition physique chez de nombreuses espèces et pourraient donc être un déclencheur possible de la probabilité d'être élevé comme une reine. Nous avons donc proposé des larves, apparentées ou non, provenant de six colonies distinctes et issues d'œufs de différents poids dans un contexte d'élevage de sauveté dans des unités sans reine avec des abeilles ouvrières de ces six colonies. Nous avons montré que les nourrices ne préféraient pas significativement les larves qui leur étaient apparentées lors de l'élevage de la reine, ce qui confirme la théorie selon laquelle les différentes préférences de parenté au sein d'une colonie ne peuvent pas être converties en une décision au niveau de la colonie. En revanche, nous avons constaté que les larves provenant d'œufs plus lourds étaient significativement préférées pour l'élevage des reines. Des études sur d'autres espèces ont montré qu'un apport maternel supérieur est important pour le succès reproductif ultérieur. Effectivement, nous avons observé des tendances dans la direction attendue (par exemple, les reines qui émergent à partir d'œufs plus lourds ont à la fois plus d'ovarioles et une période de préoviposition plus courte). Néanmoins, nos données ne permettent pas de conclure de manière significative pour affirmer que la sélection des larves issues d'œufs lourds offre réellement des avantages en termes de fitness.

* Le népotisme est la tendance qui consisterait, pour un dirigeant, à favoriser l'ascension des membres de sa famille dans la hiérarchie qu'il dirige, au détriment des processus de sélection ordinaires et du mérite. Dans le cas des abeilles et appliqué au processus d'élevage naturel des reines, le népotisme consisterait pour les nourrices à élever uniquement les larves qui leur sont apparentées pour qu'elles deviennent reines, au détriment de celles avec lesquelles elles n'ont pas de lien de parenté.

Téléchargeable <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255151>

4- Réchauffement climatique et varroa : la hausse des températures pourrait avoir un impact négatif sur la tolérance des abeilles au parasitisme

Aldea-Sánchez, P., Ramírez-Cáceres, G.E., Rezende, E.L., Bozinovic, F., 2021. Heat Tolerance, Energetics, and Thermal Treatments of Honeybees Parasitized With Varroa. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 9, 656504.

Résumé : Les changements globaux en cours affectent à la fois la vie sauvage et les espèces domestiquées, qui doivent dorénavant faire face à un double défi : les changements climatiques et une exposition plus importante aux agents vivants pathogènes. Les colonies d'abeilles mellifères du monde entier sont sous la menace de températures plus élevées et de l'ectoparasite *Varroa destructor*, c'est pourquoi nous avons étudié l'impact de ces facteurs combinés sur la biologie thermique et le métabolisme énergétique d' *Apis mellifera*. Nous avons estimé la tolérance à la chaleur et la dépense énergétique (production de CO₂) d'abeilles acclimatées à différentes températures (allant de 32 à 38°C) et soumises à différents niveaux de parasitisme (0, 1 ou 2 Varroas par abeille). La tolérance à la température a été quantifiée grâce aux courbes de mort thermique qui permettent de distinguer l'intensité et la durée du stress thermique. Les abeilles sans Varroa acclimatées à des températures chaudes ont montré une tolérance thermique supérieure à celles acclimatées à des températures froides, mais l'infestation par Varroa a montré une baisse significative de la tolérance aboutissant à deux courbes de mort thermique équivalentes. Sans surprise, la production de CO₂ a dramatiquement augmenté pour les abeilles parasitées (46,5 et 67,1 % d'augmentation respectivement pour 1 et 2 Varroas), suggérant que Varroa augmente significativement les dépenses énergétiques ce qui, associé à de plus faibles réserves énergétiques dues au parasitisme, doit avoir un effet synergique sur la survie des abeilles et leurs performances. Ces résultats montrent l'impact négatif de Varroa sur la tolérance des abeilles à la chaleur, qui diminue la capacité d'adaptation liée à l'acclimatation thermique. Ces résultats montrent également que les traitements thermiques représentent une vraie solution à la gestion de l'infestation par Varroa et nous discutons de l'intérêt des courbes de mort thermique dans l'optimisation de ces traitements.

Téléchargeable <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.656504>

5- Pour une meilleure compréhension du comportement agressif des abeilles

López-Incera, A., Nouvian, M., Ried, K., Müller, T., Briegel, H.J., 2021. Honeybee communication during collective defence is shaped by predation. *BMC Biology* 19, 106.

Résumé : Les colonies d'insectes sociaux sont régulièrement confrontées à de grands prédateurs vertébrés, contre lesquels elles doivent mettre en place une défense collective. Pour y parvenir, les abeilles mellifères utilisent une phéromone d'alarme qui recrute les abeilles alentour pour piquer en masse la menace perçue. Cette phéromone d'alarme est portée directement par le dard ; sa concentration s'accroît donc au cours de l'attaque. Nous étudions ici la façon dont les abeilles réagissent à différentes concentrations de phéromone d'alarme et comment ce modèle de réponse évolué conduit à une meilleure coordination au niveau du groupe. Nous présentons d'abord une courbe dose-réponse à la phéromone d'alarme, obtenue expérimentalement. Ces données révèlent deux phases dans la réponse des abeilles : au départ, les abeilles sont plus susceptibles de piquer lorsque la concentration de la phéromone d'alarme augmente, mais cette agressivité diminue lorsque des concentrations très élevées de phéromones d'alarme sont atteintes. Ensuite, nous avons réalisé une simulation en considérant chaque abeille comme un agent d'apprentissage artificiel qui se base sur la concentration de phéromone pour décider de piquer ou non. Les individus sont récompensés en fonction de la performance collective, imitant ainsi la sélection naturelle dans ces sociétés complexes. En modélisant également le comportement des prédateurs de manière détaillée, nous sommes en mesure d'identifier les principales pressions de sélection qui ont façonné le modèle de réponse observé expérimentalement. En particulier, la probabilité de piquer en l'absence de phéromone d'alarme (point de départ de la courbe dose-réponse) est inversement proportionnelle au taux de fausses alarmes, de sorte que les abeilles dans les environnements à faible densité de prédateurs sont moins susceptibles de gaspiller leurs efforts à répondre à des stimuli non pertinents. Ceci est compensé par une forte augmentation de l'agressivité lorsque la concentration de phéromone d'alarme commence à augmenter. Le déclin ultérieur de l'agressivité peut être expliqué comme un mécanisme de freinage empêchant la perte d'ouvrières. En conclusion, notre travail permet de comprendre en détail les réponses aux phéromones d'alarme chez les abeilles et de mettre en lumière les pressions de sélection qui les ont engendrées. En outre, notre approche est un outil puissant pour explorer la façon dont la sélection basée sur un résultat collectif façonne les réponses individuelles, question difficile à étudier dans le domaine de la biologie de l'évolution.

Téléchargeable <https://doi.org/10.1186/s12915-021-01028-x>

6- Une étude COLOSS sur les performances du VarroMed®

Smodiš Škerl, M.I., Rivera-Gomis, J., Tlak Gajger, I., Bubnič, J., Talakić, G., Formato, G., Baggio, A., Mutinelli, F., Tollenaers, W., Laget, D., Malagnini, V., Zanotelli, L., Pietropaoli, M., 2021. Efficacy and Toxicity of VarroMed® Used for Controlling *Varroa destructor* Infestation in Different Seasons and Geographical Areas (preprint)

Résumé : VarroMed® est un médicament acaricide dit « naturel », homologué pour les abeilles mellifères sur le marché de l'Union Européenne depuis 2017 dans le cadre de la lutte contre le varroa. Les chercheurs impliqués dans cette étude étaient originaires de différents pays, concernés par la lutte contre le varroa au sein de l'Association COLOSS. Notre objectif était d'évaluer les performances de VarroMed® (efficacité du médicament et effets toxiques sur les abeilles mellifères) dans différentes conditions climatiques. Nos résultats dans les ruchers testés ont montré une efficacité variant de 71,2 à 89,3 % en été/automne et de 71,8 % à 95,6 % en hiver. Aucun effet toxique sur les abeilles n'a été observé, sauf dans un rucher où les conditions climatiques particulièrement froides ont joué un rôle crucial. Le traitement pourrait être appliqué efficacement dans les colonies avec et sans couvain. Des recommandations sur la lutte antiparasitaire intégrée (Integrated Pest Management, IPM) pour les apiculteurs sont fournies afin d'appliquer le meilleur protocole de lutte contre le varroa.

Téléchargeable <https://doi.org/10.20944/preprints202107.0362.v1>

7- Pour bien polliniser, mieux vaut des colonies fortes que des colonies nombreuses

Grant, K.J., DeVetter, L., Melathopoulos, A., 2021. Honey bee (*Apis mellifera*) colony strength and its effects on pollination and yield in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*). *Peer J* 9, e11634.

Résumé : De nombreuses études sur la pollinisation ont examiné l'effet de la densité des colonies d'abeilles sur le rendement des cultures, mais elles négligent l'effet de la variation de la taille de la population de ces colonies. Par ailleurs la densité élevée des colonies dans les bleuetières dans certaines régions du Canada suscite des inquiétudes de la part des apiculteurs qui pensent que les fortes densités augmentent le risque d'épizooties de loque européenne (EFB). Notre étude avait pour but de mesurer la prévalence de la loque européenne dans les colonies pollinisant les bleuets et de déterminer dans quelle mesure la variation du nombre d'ouvrières adultes présent dans les champs pouvait expliquer la variation de rendements des bleuets. L'étude fût réalisée au cours de deux saisons de production dans 13 bleuetières de l'Oregon, aux États-Unis, pollinisées avec des densités identiques de 10 colonies/ha. Nous avons confirmé que, alors que toutes les colonies présentaient des signes cliniques négligeables d'EFB au début de la pollinisation des bleuets, respectivement 53 % et 41 % d'entre elles présentaient des signes cliniques nets immédiatement après la saison de pollinisation en 2019 et 2020. Nous avons également validé une méthode d'évaluation rapide des populations de colonies d'abeilles adultes, basée sur la mesure du taux de retour des butineuses dans les colonies. Cette méthode s'est avérée être fortement corrélée à la population réelle d'abeilles adultes dans la ruche, indépendamment de l'année et de la température ambiante au moment de l'observation. En utilisant le comptage des butineuses qui reviennent, nous avons déterminé qu'il y avait une variation considérable de la population moyenne des colonies dans chaque champ, allant d'environ 10300 à 30700 abeilles ouvrières adultes par colonie. Bien que la force moyenne des colonies n'ait pas permis de prédire l'efficacité de la pollinisation, elle montrait un lien significatif avec la variation des rendements, indépendamment de l'année. Notre modèle linéaire basé sur le nombre de vols (en tant qu'indicateur de la force de la colonie) prédit des augmentations possibles de rendement estimées jusqu'à 25 tonnes/ha de bleuets, qui pourraient être atteints par des colonies plus fortes que le minimum recommandé de six cadres, suggérant que des bénéfices de pollinisation pourraient être obtenus sans augmenter la densité en ruches si l'on choisit plutôt des colonies plus fortes.

Téléchargeable <https://doi.org/10.7717/peerj.11634>

8- Un cas clinique d'affaiblissement de colonies coexposées à différents facteurs de stress

Alonso-Prados, E., González-Porto, A.-V., Bernal, J.L., Bernal, J., Martín-Hernández, R., Higes, M., 2021. A Case Report of Chronic Stress in Honey Bee Colonies Induced by Pathogens and Acaricide Residues. *Pathogens* 10, 955.

Résumé : Dans ce cas clinique, nous analysons les causes possibles du mauvais état de santé du cheptel d'un éleveur professionnel d'*Apis mellifera iberiensis* à Gajanejos (Guadalajara, Espagne). Différents facteurs potentiellement impliqués dans le déclin des colonies ont été identifiés, notamment l'infection à *Nosema ceranae*, seule ou combinée à d'autres facteurs comme les infections au BQCV et au DWV, et l'accumulation des acaricides communément utilisés pour contrôler l'infestation par *Varroa* (le coumaphos et le tau-fluvalinate). En se basant sur les taux de résidus, l'unité toxique moyenne estimée des ruchers suggère une possible augmentation de vulnérabilité à l'infection à *N. ceranae* due à la présence de taux élevés d'acaricides et aux conditions climatiques mauvaises l'année de l'effondrement. Ces données soulignent l'importance de l'évaluation de ces facteurs dans de futurs programmes de surveillance, mais également le besoin d'adopter des mesures préventives adéquates dans le cadre des programmes nationaux et internationaux sur le bien-être ayant pour but de garantir la santé des abeilles.

Précision : l'Unité Toxique moyenne (TUm) peut être utilisée pour appréhender le risque lié à l'association de plusieurs toxiques dans une ruche. Son calcul se fait selon l'équation suivante : $TUm = \sum ni TU_i$ dans laquelle TU = concentration en ppb/DL50.

Téléchargeable <https://doi.org/10.3390/pathogens10080955>

9- L'abeille japonaise ne souffre pas de l'anthropisation des paysages

Donkersley, P., Covell, L., Ota, T., 2021. Japanese Honeybees (*Apis cerana japonica* Radoszkowski, 1877) May Be Resilient to Land Use Change. *Insects* 12, 685.

Résumé : Les pollinisateurs sont menacés par l'urbanisation et l'intensification agricole entraînées par une activité humaine croissante. En comprendre les impacts est essentiel pour assurer un système de pollinisation robuste. L'Abeille domestique (*Apis mellifera* L.) s'adapte facilement à de nombreux écosystèmes, et de ce fait, elle est devenue le pollinisateur le plus répandu dans le monde. Des recherches antérieures ont suggéré que l'Abeille domestique occidentale pourrait être moins résistante aux changements d'utilisation des terres en dehors de son aire de répartition naturelle ; des études sur le miel montrant une variation substantielle des monosaccharides. L'Abeille japonaise, *Apis cerana japonica* moins connue est l'objet de notre étude. Contrairement à l'Abeille domestique occidentale, cette espèce se trouve presque exclusivement dans son aire de répartition naturelle au Japon. Par conséquent, elle pourrait être mieux adaptée à ses sources alimentaires locales et donc plus résiliente. Cette étude présente des données préliminaires comparant les récoltes de miel et pollen et l'utilisation des terres dans une zone rurale selon un gradient sur 22 sites du sud du Japon à Kyushu. Des échantillons de miel ont été prélevés dans les ruches de juin 2018 à août 2019. Les pollens de trappe collectés dans les ruches en milieu urbain et rural (n=4) ont été analysés. Notre analyse du miel d' *A. cerana japonica* montre très peu de variations dans le glucose et le fructose (97 % des monosaccharides), malgré les différences dans la composition de la flore environnante. La variation temporelle du pollen prélevé par *A. cerana japonica* est liée à la phénologie des plantes. Ces premiers résultats suggèrent que les récoltes et nutrition d' *A. cerana japonica* ne semblent pas souffrir de l'utilisation des terres urbaines. Ces résultats mettent en évidence un besoin d'études comparatives entre *A. cerana japonica* et *A. mellifera*, suggérant une résilience des pollinisateurs vivant dans leur aire de répartition d'origine.

Téléchargeable <https://doi.org/10.3390/insects12080685>

10- Chez les pesticides aussi, l'union fait la force

Wang, Y., Zhu, Y.-C., Li, W., Yao, J., Reddy, G.V.P., Lv, L., 2021. Binary and ternary toxicological interactions of clothianidin and eight commonly used pesticides on honey bees (*Apis mellifera*). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 223, 112563.

Résumé : Bien que de nombreuses évaluations toxicologiques aient été menées pour les abeilles mellifères, la plupart de ces études se sont concentrées sur les effets individuels des principes actifs. Cependant, dans leur environnement, les abeilles mellifères sont généralement exposées à des mélanges de pesticides. Dans cette étude, nous avons examiné les effets de pesticides seuls et de mélanges de clothianidine (CLO) avec huit autres pesticides (carbaryl (CAR), thiodicarbe (THI), chlorpyrifos (CHL), bêta-cyfluthrine (BCY), gamma-cyhalothrine (GCY), tétraconazole (TET), spinosad (SPI) et indoxacarbe (IND)) administrés par voie orale chez l'abeille mellifère. Les tests de toxicité d'une exposition de quatre jours à chacun de ces pesticides ont d'abord révélé que la CLO avait la toxicité la plus élevée pour *Apis mellifera*, avec une valeur CL_{50} de 0,24 $\mu\text{g p.a.}/\text{ml}$, suivi par IND et CHL avec des valeurs de CL_{50} respectives de 3,40 et 3,56 $\mu\text{g p.a.}/\text{ml}$. Le SPI et le CAR avaient des toxicités relativement faibles, avec respectivement des valeurs de CL_{50} de 7,19 et 8,42 $\mu\text{g m.a.}/\text{ml}$. Le TET présentait la moindre toxicité, avec une valeur CL_{50} de 258,7 $\text{g m.a.}/\text{ml}$. La plupart des mélanges 50/50 de CLO avec les autres pesticides ont exercé des effets agonistes et antagonistes. Cependant, tous les mélanges triples contenant CLO et TET (à l'exception de CLO+TET+THD) ont provoqué des effets toxiques synergiques sur les abeilles. Cette étude démontre que des mélanges de pesticides sont susceptibles de provoquer une plus grande toxicité pour les abeilles mellifères que lorsqu'ils sont testés individuellement. Les évaluations des risques environnementaux sur la base de l'exposition individuelle pourraient donc ne pas protéger adéquatement les pollinisateurs. Une plus grande attention devrait être accordée aux effets synergiques de mélanges de pesticides car ils peuvent constituer une menace sérieuse pour les écosystèmes.

* p.a. = principe actif

Téléchargeable <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112563>