

centre ecotox news

12. édition mai 2016

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL



L'écotoxicité des produits anticorrosion	3
Une source de PCB localisée grâce aux échantillonneurs passifs	5
La qualité des sédiments dans la Venoge	7
Élaboration d'un nouveau test avec les vers de terre	8
Les brèves du Centre Ecotox	9
L'écotoxicologie dans le monde	12

Editorial

PCB : quand le passé frappe à notre porte



Dr. Inge Werner,
directrice du Centre Ecotox

Et nous qui avons cru que les PCB (polychlorobiphényles) appartenaient bel et bien au passé ! Dans un certain sens, c'est bien là leur place puisque, dans beaucoup de pays dont la Suisse, ils sont interdits depuis 30 à 40 ans. L'ennui, c'est que ces composés sont tellement stables qu'ils sont encore intacts dans les matériaux et appareils de l'époque et qu'ils peuvent aujourd'hui s'en échapper pour venir polluer notre environnement.

Les PCB ont été synthétisés pour la première fois à des fins commerciales dans les années 1920 par Monsanto sous le nom d'arochlore. Ils sont bon marché et présentent des propriétés techniques très intéressantes puisqu'ils sont chimiquement stables, bons isolants électriques et résistants à la chaleur et à la corrosion. Dans les années 1960, notamment, ils ont été très utilisés en tant que plastifiants et en tant que composants des revêtements ignifuges et des isolants et liquides caloripporteurs des appareils électriques, transformateurs et condensateurs. Mais ces propriétés si intéressantes pour l'industrie en font des composés dangereux pour l'environnement puisqu'elles les rendent peu dé-

gradables, leur confèrent une grande affinité pour les graisses et les font donc s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Cancérogènes, reprotoxiques et immunotoxiques, les PCB font partie des « douze vilains » dont la production et l'utilisation sont interdites dans 177 pays depuis l'entrée en vigueur de la Convention de Stockholm en 2004.

Malheureusement, il est très difficile de s'en débarrasser. Rien qu'à Zurich, de 50 à 500 kilos de PCB sont encore émis chaque année dans l'atmosphère, principalement par les bâtiments anciens. Mais les PCB peuvent aussi s'échapper d'anciennes décharges comme celle de La Pila (FR) ou de sites industriels comme la fonderie de Choindex (JU), gagner les cours d'eau et s'accumuler dans les sédiments, les invertébrés et les poissons. Le Centre Ecotox a ainsi participé à des projets visant à localiser les sources d'émission (p. 5) ou à déterminer le degré de contamination des sédiments (p. 7). Vous en saurez plus en lisant ces pages.

Les PCB sont maintenant présents sur toute la planète, même dans les endroits les plus éloignés de leurs lieux d'utilisation. Ils sont ainsi détectables dans l'arctique et l'antarctique où les baleines blanches les transmettent à leurs petits. Même les glaciers alpins, en fondant, déversent dans les rivières suisses des PCB accumulés dans leurs glaces à partir de l'atmosphère. Bien que les PCB soient interdits depuis très longtemps, le problème environnemental reste donc d'actualité.

Mais au fait, qu'utilisons-nous en tant qu'agents ignifuges, qu'isolants liquides ou

que plastifiants depuis que les PCB sont interdits ? En général des produits chimiques aux mêmes propriétés que les PCB en raison d'une structure similaire comme par exemple les retardateurs de flamme bromés. L'ennui, c'est que ces composés présentent également un comportement similaire dans l'environnement et sont souvent tout aussi toxiques. Beaucoup de produits de remplacement, comme certains retardateurs de flamme mais aussi les composés alkyls poly et perfluorés (surfactants ou imperméabilisants) et les phtalates (plastifiants), ont ainsi déjà été retirés du marché ou sont en passe de l'être.

Comment alors sortir du cycle infernal de la commercialisation des produits chimiques puis du constat de leur dangerosité suivi de leur interdiction et de l'utilisation d'autres composés (potentiellement toxiques) ? Le règlement REACH va dans le bon sens puisqu'il pourrait éviter que la toxicité des produits chimiques ne soit reconnue qu'après leur mise sur le marché. Il ne faudrait cependant pas que des composés produits en petites quantités parce qu'ils sont justement très efficaces ou très toxiques passent au travers des mailles du filet en se situant en dessous du tonnage imposant un enregistrement. D'un autre côté, les progrès réalisés dans le sens d'une chimie plus respectueuse de l'environnement donnent également des raisons d'espérer un avenir moins toxique pour l'Homme et la nature.

Bien cordialement,



L'écotoxicité des produits anticorrosion

Conçus pour protéger les éléments en acier de l'oxydation, les produits anticorrosion peuvent renfermer des substances nocives pour les organismes aquatiques. Dans des essais de laboratoire, deux des produits anticorrosion étudiés par le Centre Ecotox libéraient des composés ayant un effet écotoxique et une action œstrogène.

L'acier est apprécié dans de nombreux domaines pour sa solidité et sa robustesse. Cependant, les intempéries et certaines contraintes telles que le sel ou la condensation peuvent oxyder ce matériau. Pour le protéger, sa surface est donc généralement traitée avec des produits anticorrosion. Cette nécessité est particulièrement forte dans le domaine des constructions hydrauliques où l'acier est en contact permanent avec l'eau, que ce soit au niveau des piliers de ponts, des écluses ou encore des turbines. Sans protection anticorrosion, les pièces en acier perdraient toute résistance au bout de quelques années à peine.

Une protection nécessaire contre la corrosion

Pour éviter que la surface des éléments en acier soit corrodée, celle-ci est généralement recouverte d'une pellicule de métal ou de plastique. Le revêtement initial métallique – à base de poussière de zinc ou d'aluminium ou de fer micacé – peut être doublé d'un revêtement final organique à base de résine époxy ou de polyuréthane. La question se pose alors de savoir si ces couches protectrices libèrent des composés chimiques dans l'eau environnante et si ces composés sont alors toxiques pour les organismes aquatiques. L'Office fédéral de l'environnement a donc chargé l'Institut de technologie environnementale appliquée (UMTEC) de la Haute école technique de Rapperswil et le Centre Ecotox de traiter le sujet. Les scientifiques ont tout d'abord effectué une étude de marché pour identifier les produits anticorrosion les plus utilisés en Suisse avant de réaliser des essais pour étudier le lessivage éventuel des composants et l'impact de ceux-ci sur les organismes aquatiques.

Résines époxy : moins inoffensives qu'il n'y paraît

La Suisse utilise chaque année de 315 à 490 tonnes de produits organiques anticorrosion. Les plus consommés sont les résines époxy avec 40 à 60 % du marché, suivies par les produits à base de polyurée et de résines synthétiques. Les produits anticorrosion utilisés en Suisse ont été hiérarchisés en fonction des quantités vendues et des données de toxicité. « Les résines époxy sont particulièrement préoccupantes d'un point de vue toxicologique, explique Etienne Vermeirssen, du Centre Ecotox. Elles renferment en effet par nature du bisphénol A (BPA) qui se comporte comme un œstrogène et perturbe de ce fait le système hormonal. Avec le temps, le BPA peut

gagner la surface et être libéré dans le milieu environnant. » Les résines peuvent également contenir d'autres composés toxiques, qui n'ont pas été spécifiquement étudiés ici, comme par exemple des nonylphénols ou du 4-tert-butylphénol. Pour cette étude, les scientifiques ont donc choisi de travailler sur quatre produits anticorrosion du groupe des résines époxy qui, pour préserver leur anonymat, seront appelés produits 1 à 4.

Les revêtements organiques ont été manipulés conformément aux notices techniques et appliqués sur des plaques de verre. « Nous avons choisi de nous concentrer sur les effets écotoxicologiques du revêtement le plus extérieur. C'est celui qui importe le plus pour l'environnement aquatique et c'est pourquoi nous n'avons appliqué que celui-ci » explique Michael Burkhardt de l'UMTEC. Les scientifiques ont laissé sécher les supports traités pendant un ou sept jours puis les ont immergés pendant sept jours dans de l'eau déionisée. Différents composés ont ensuite été dosés dans l'eau environnante : le BPA, le bisphénol F (BPF) qui agit de manière similaire et l'éther de diglycidyle et de bisphénol A. Les résines époxy sont souvent des polymères de BADGE (éther de diglycidyle et de BPA) et de BFDGE (éther de diglycidyle et de BPF).

Évaluation de la toxicité grâce aux bioessais

Pour évaluer les effets des substances entraînées sur les organismes aquatiques, les chercheurs ont mesuré l'action œstrogène de l'éluat à l'aide d'un test sur levures (L-YES). Ils ont complété ces essais de divers tests CALUX faisant appel à des cultures de cellules humaines pour détecter une plus grande variété de perturbateurs endocriniens, dont ceux interférant avec les androgènes. Enfin, d'autres bioessais ont été mis en œuvre pour évaluer les effets sur les bactéries luminescentes, les algues et les daphnies.

Le produit 1 s'est révélé très toxique dans le test de bioluminescence bactérienne et a présenté des effets endocriniens dans le test L-YES et le CALUX. L'analyse chimique n'a cependant fait état que de concentrations assez faibles de BPA, de BPF et de BADGE (1–2 µg/l), de sorte qu'il s'avère difficile de désigner la ou les substances responsables de la toxicité ou de la perturbation endocrinienne. Le produit 3 a induit de fortes réponses dans le test L-YES et



l'ER-CALUX (révélateurs des œstrogènes) et dans l'AR-CALUX (révélateur des androgènes) et s'est révélé très toxique pour les daphnies. Les analyses ont indiqué la présence de fortes concentrations de BPA dans l'éluat (respectivement 6890 et 10400 µg/l) ; ces teneurs sont 7000 fois supérieures au seuil de 1,5 µg BPA/l proposé par le Centre Ecotox et dérivé à partir des données de toxicité pour les organismes aquatiques. Ces fortes concentrations de BPA n'expliquent que partiellement la forte toxicité du produit pour les daphnies alors que la perturbation endocrinienne peut en revanche facilement leur être liées. Le critère de qualité proposé par le Centre Ecotox pour les perturbateurs endocriniens de type œstrogène est de 0,4 ng/l d'équivalent 17β-œstradiol. Pour qu'il puisse être respecté, l'éluat du produit 1 devrait être dilué d'un facteur 60 et celui du produit 3 d'un facteur 1400. Les produits 2 et 4 étaient beaucoup moins toxiques : seule une légère toxicité a été mesurée avec le produit 2 dans le test sur les daphnies et aucune réponse notable n'a été enregistrée avec le produit 4. Les concentrations de BPA et de BPF étaient inférieures ou très légèrement supérieures à la limite de quantification.

Un système d'évaluation valable ?

Il n'existe pas encore de stratégie officielle pour évaluer la toxicité des produits anticorrosion employés en construction hydraulique ou dans le bâtiment à partir de bioessais. L'Institut allemand de technique de construction (DIBt, Berlin) a toutefois élaboré un système d'évaluation des produits entrant en contact avec la terre afin d'estimer les impacts potentiels sur le sol et les eaux souterraines. Ce système se base sur la toxicité mesurée dans le test de bioluminescence bactérienne, le test sur daphnies et le test algal. En cas de forts soupçons de toxicité, les études sont approfondies par une évaluation des effets mutagènes et par des tests sur les poissons ou les œufs de poissons. Selon ce système, un éluat est jugé conforme aux exigences en matière de toxicité si une dilution d'un facteur inférieur ou égal à 8 pour le test de bioluminescence et à 4 pour les tests sur daphnies et sur algues suffit pour que l'effet qu'il produit soit inférieur à 20 % de l'effet toxique probable maximum. D'autre part, les produits ne doivent pas contenir de substances potentiellement mutagènes ou toxiques pour les poissons.

En partant des courbes dose-réponse, les chercheurs ont calculé pour les quatre produits anticorrosion de l'étude quelle serait la dilution nécessaire pour atteindre la concentration produisant 20 % d'effet (CE20). D'après le système du DIBt, seul le produit 4 répondrait alors aux critères fixés. Le produit 1 serait surtout limité par son effet sur les bactéries bioluminescentes ; sur ce point, il dépasse de 160 fois l'exigence définie. Le produit 3 est surtout problématique pour les daphnies avec un dépassement d'environ 16 fois du critère établi. Il convient cependant de noter que ce système ne tient pas compte des effets œstrogènes.

Le système proposé par le DIBt pour évaluer la toxicité des éluats de matériaux de construction offre donc une approche intéressante pour exploiter les résultats des bioessais effectués avec les produits anticorrosion organiques utilisés dans le bâtiment et les constructions hydrauliques. Dans la pratique, cependant, les dilutions obtenues dans le domaine hydraulique sont souvent plus élevées que dans les essais. L'étude du Centre Ecotox correspond donc plutôt au pire des scénarios («worst-case scenario»). Il faudrait utiliser une fonction d'extrapolation pour déterminer les concentrations prévisibles dans l'environnement en « conditions naturelles » à partir des concentrations de polluants mesurées en laboratoire. Toutefois, l'interprétation des résultats de l'étude à l'aide du système du DIBt permet déjà d'obtenir une première description du lessivage et de l'écotoxicité des produits. Le Comité européen de normalisation (CEN) travaille actuellement à une diffusion de ce système dans l'UE par le biais d'un rapport technique.

Pour en savoir plus, consultez le rapport du projet «Organische Beschichtungen im Schweizer Stahlbau und deren Ökotoxizität» sur www.centreecotox.ch/news-publications/rapports

Contacts :

Etienne Vermeirssen, etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch
Michael Burkhardt, michael.burkhardt@hsr.ch



Une source de PCB localisée dans la Birse grâce aux échantillonneurs passifs

Il y a quelques années, des teneurs en PCB très supérieures aux normes autorisées avaient été détectées dans les poissons de la Birse sans que l'on connaisse l'origine de cette contamination. Grâce à l'usage d'échantillonneurs passifs, il a été possible de localiser la source de la pollution dans une entreprise industrielle située au bord de la rivière. Des mesures adéquates ont alors pu être prises et le danger est maintenant écarté.

Ce fut un choc pour les autorités environnementales du canton du Jura lorsqu'en 2007, des teneurs en PCB (polychlorobiphényles) largement supérieures aux normes autorisées ont subitement été détectées dans les poissons de la Birse. Entre Choindez (Jura) et Münchenstein (Bâle-Campagne), des analyses avaient indiqué des concentrations atteignant 60 picogrammes d'équivalent toxique dioxine par gramme de poids frais dans la chair des poissons (60 pg WHO-TEQ/g de poids frais) soit presque 10 fois plus que le seuil de 6,5 pg/g de poids frais fixé pour les denrées alimentaires.

Les PCB sont des composés cancérigènes autrefois très utilisés dans l'industrie pour leurs propriétés isolantes et ignifuges, notamment en tant que fluides isolants dans les installations électriques ou que plastifiants dans les mastics ou les revêtements anticorrosion. Bien qu'ils soient interdits en Suisse depuis 1986, plusieurs centaines de tonnes de ces composés très persistants sont encore présents dans les anciens appareils et dispositifs et peuvent être libérés dans l'environnement à la faveur de conditions défavorables. En particulier, les décharges et les casses dans lesquelles les anciens appareils contenant des PCB sont entreposés sans précautions particulières peuvent constituer des sources ponctuelles de contamination. En 2010, l'Office fédéral de l'environnement publiait déjà un rapport sur la contamination aux PCB de la chair des poissons pêchés dans les eaux suisses rassemblant et commentant les données des 20 années précédentes [1].

PCB : une contamination venue du passé

Dans la Sarine (Fribourg) aussi, des poissons contaminés ont été capturés. Mais, alors que dans cette rivière, la source de pollution, l'ancienne décharge de La Pila, a rapidement été identifiée, l'origine des PCB de la Birse est longtemps restée un mystère. Lors des études engagées pour éclaircir la question, les autorités ont d'autre part constaté qu'il n'existait pas de méthode d'échantillonnage et d'analyse standardisée pour la mesure des PCB et des dioxines dans les sédiments et l'eau des rivières. Face à ce constat, l'Office fédéral de l'environnement a lancé un projet avec l'Eawag et l'Empa en 2009 pour déterminer et mettre au point des méthodes adéquates et localiser la source ponctuelle de PCB dans la Birse. « De telles méthodes doivent être mises à la disposition des cantons pour qu'ils puissent effectuer des prélèvements de façon standardisée dans les eaux de surface et pour qu'ils puissent comparer les résultats obtenus dans différents sédiments », estime Etienne Vermeirssen du Centre Ecotox (anciennement Eawag), qui a travaillé avec Markus Zennegg de l'Empa au développement des méthodes d'échantillonnage et d'analyse et a contribué aux recherches consécutives.

L'échantillonnage passif comme moyen d'enquête

Pour les prélèvements dans l'eau, les scientifiques ont utilisé des capteurs passifs en PDMS (polydiméthylsiloxane). Ils souhaitent ainsi augmenter leurs chances de découvrir la source de pollution en s'assurant de ne manquer aucun rejet, aussi bref soit-il.

L'échantillonnage passif se base sur la propriété qu'ont les composés peu solubles dans l'eau de se fixer sur la membrane du capteur et donc de s'y accumuler avec le temps. Le paramètre décisif est alors le coefficient de partage entre la phase aqueuse et le matériau dont est constitué le capteur. Ce système permet d'étendre les capacités de détection aux substances présentes à très faible concentration qui seraient très difficiles à appréhender par les méthodes classiques. Par ailleurs, l'échantillonnage passif livre une valeur cumulée sur plusieurs semaines alors que les prélèvements ponctuels ne donnent, par nature, que des photographies de la pollution et ne peuvent garantir la prise en compte des rejets sporadiques.

Markus Zennegg et Etienne Vermeirssen ont constaté que les capteurs passifs étaient faciles à utiliser dans les cours d'eau et qu'ils donnaient une indication fiable de la teneur moyenne en PCB sur plusieurs semaines. « Étant donné la faiblesse des concentrations de PCB dans les rivières suisses, il faudrait prélever plus de 10 litres par échantillon ponctuel pour en avoir une quantité analysable, explique Markus Zennegg. Cela demanderait un travail titanesque. » L'échantillonnage passif est alors une réelle alternative : les capteurs retiennent les polluants contenus dans l'eau qui passe à leur portée et ils peuvent ainsi « filtrer » plus d'une centaine de litres en à peine deux semaines. La capacité de détection est donc considérablement accrue. Pour l'étude, des capteurs passifs en PDMS ont été placés à 13 endroits de la Birse, répartis sur environ 60 km de son cours. A la fin du temps prévu, les capteurs sont retirés de la

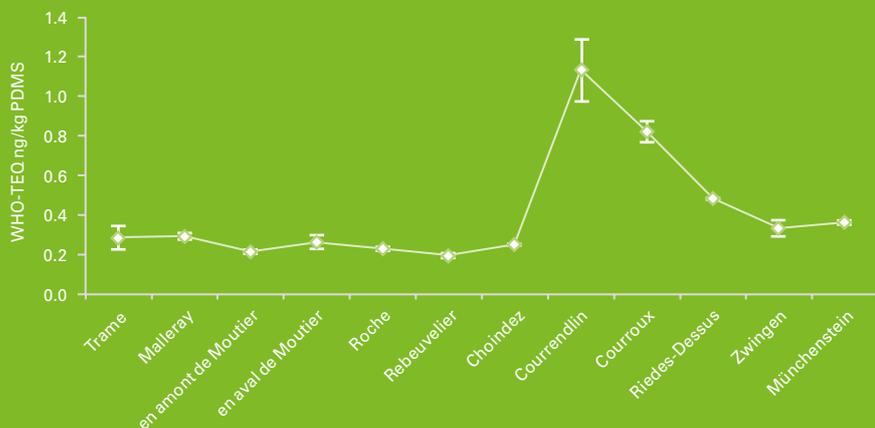


Figure : Concentrations de PCB mesurées sur les membranes en PDMS des capteurs passifs placés pendant 4 semaines à différents endroits du cours de la Birse.

rivière et les PCB en sont extraits avec du méthanol puis analysés en chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (GC/HRMS). Dans l'étude de la Birse, les teneurs en PCB ont également été mesurées dans des sédiments prélevés sur le tronçon équipé d'échantillonneurs passifs.

Localisation de la source de contamination

En analysant les échantillons obtenus avec les capteurs passifs, Zennegg et Vermeirssen ont constaté que les concentrations de PCB présentaient un véritable pic au niveau de Courrendlin, en aval de Delémont (cf. Figure). La source principale devait donc se trouver dans cette zone. Pour la localiser avec plus de précision, un réseau dense de capteurs a été installé entre l'amont de Choindez et l'aval de Courrendlin. Les analyses ont alors démasqué le responsable des émissions : une usine de Choindez qui produit des tubes en fonte à partir de vieux métaux. L'entreprise prélevait de l'eau dans la Birse pour refroidir les gaz de fumée puis la restituait à la rivière après une épuration sommaire. En 2011, le canton du Jura, fort de ces résultats, a poussé l'industriel à prendre des mesures adéquates pour empêcher les rejets de PCB dans la Birse.

Pour vérifier l'efficacité des mesures prises, Markus Zennegg a contrôlé les teneurs en PCB pendant plusieurs années à l'aide de capteurs passifs en PDMS placés au niveau de Choindez. En 2011 et 2012, il a observé une baisse de la contamination d'un facteur 20 ! Les données obtenues en 2014 et 2015 dans les poissons et dans la Birse indiquent

que la rivière est aujourd'hui beaucoup moins contaminée par les PCB et que les normes y sont à nouveau respectées sans aucun problème. L'interdiction de pêche prononcée en 2009 a pu être levée au printemps 2014.

Il est étonnant de constater que, trente ans après leur interdiction totale en Suisse, des teneurs préoccupantes en PCB aient encore pu y être mesurées récemment dans la chair des poissons. Les nets dépassements des normes autorisées qui peuvent être constatés révèlent la présence de sources ponctuelles de contamination, comme celles identifiées au bord de la Birse ou de la Sarine. Pour éviter que les rejets de PCB dans les rivières se poursuivent, il est primordial que ces sources soient rapidement localisées et éliminées. Il est donc nécessaire de contrôler de façon ciblée les sites potentiellement émetteurs comme les sites contaminés, les industries et les sites de production installés à proximité des eaux superficielles. L'usage des capteurs passifs au PDMS a prouvé son intérêt dans un tel contexte.

Une méthode de choix pour la localisation des sources et les contrôles d'efficacité

L'analyse des sédiments livre une information sur la pollution en général et sur le stock de PCB en particulier. Elle se prête cependant assez mal à une identification des sources de PCB : étant donné que les sédiments peuvent être mobilisés et déplacés par le courant, il est difficile, sans connaissance précise de la dynamique alluvionnaire, de déterminer l'origine géographique de matériaux contaminés éventuels. Les capteurs passifs en PDMS, en

revanche, ont prouvé leur valeur pour la localisation des sources ponctuelles de contamination, pour la vérification de l'efficacité des mesures prises pour juguler les émissions et pour la surveillance de la qualité de l'eau dans le cadre des monitorings. En dehors des PCB, ils conviennent à la détection d'autres polluants hydrophobes tels que les chlorobenzènes, les composés aromatiques polycycliques ou les produits ignifuges. En outre, les échantillonneurs passifs peuvent également être utilisés pour le screening de substances inconnues préoccupantes d'un point de vue écotoxicologique : les extraits obtenus peuvent être soumis à des bioessais pour déterminer leur toxicité puis, en affinant les tests, identifier la nature des substances responsables des effets observés.

Rapport final du projet «Messung von PCB und Dioxinen in Fließgewässern» disponible prochainement sur www.centreecotox.ch/news-publications/rapports

Contacts :
Markus Zennegg, Empa
markus.zennegg@empa.ch;
Etienne Vermeirssen,
etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch

[1] Schmid P. et al. (2010) Polychlorobiphényles (PCB) dans les eaux en Suisse. Données concernant la contamination des poissons et des eaux par les PCB et les dioxines: évaluation de la situation. UW-1002-F. Office fédéral de l'environnement, Berne.



La qualité des sédiments dans la Venoge

Les sédiments de la Venoge seraient-ils en partie responsables d'un mauvais état écologique de la rivière ? Pour tirer cette question au clair, les scientifiques du Centre Ecotox ont évalué la qualité de ces sédiments en combinant essais biologiques et physico-chimiques. Il s'avère que les alluvions de la partie aval sont effectivement des sources de polluants susceptibles de s'accumuler dans les organismes et de nuire à la faune aquatique.

Dans la Venoge, rivière vaudoise de moyenne importance, la qualité de l'eau s'est fortement améliorée depuis l'optimisation technique de la station d'épuration (STEP) de Bussigny qui y déverse ses effluents. Cependant, la qualité reste problématique en aval de cette rivière : les communautés biotiques du compartiment sédimentaire se sont appauvries, perdant les groupes taxonomiques les plus sensibles. Le Centre Ecotox a donc voulu savoir si les sédiments portaient une part de responsabilité dans la perte de qualité écologique du milieu. En 2010, des études de l'Office fédéral de l'environnement avaient en effet montré qu'une partie des poissons de la Venoge renfermaient encore des teneurs en PCB (polychlorobiphényles) supérieures aux normes fixées pour la consommation humaine – et ce, alors que ces composés étaient interdits en Suisse depuis des décennies. À l'instar des PCB, de nombreux micropolluants ont une forte affinité pour les particules solides et les alluvions peuvent donc rester une source de contamination des années après une pollution du milieu aquatique.

Combiner les approches pour une argumentation solide

Pour déterminer la qualité des sédiments, il est particulièrement judicieux de combiner des essais biologiques et des analyses chimiques de façon à étayer le diagnostic. Lidia Molano Leno, étudiante en master de l'université de Cadix, en Espagne, a prélevé des échantillons sur quatre sites dans la Venoge : le premier était situé à proximité du point de rejet des effluents de la STEP de Bussigny, le second plus en aval près d'Ecublens le Bois, à un endroit où le service de l'environnement du canton de Vaud avait relevé les plus fortes concentrations de PCB dans le cadre de ses contrôles de la qualité de l'eau, le troisième à l'embouchure dans le lac Léman et le dernier, servant de référence, en amont de la STEP de Bussigny.

L'effet des échantillons de sédiment a été étudié sur quatre groupes biologiques – les ostracodes, les larves de chironomes, les amphipodes et les macrophytes – représentatifs de différents niveaux trophiques, de différentes voies d'exposition et de différents modes de vie. En parallèle, Lidia Molano Leno a déterminé les concentrations en métaux lourds, en PCB et en HAP dans les sédiments et a évalué la capacité des larves de chironomes à accumuler ces PCB dans leurs organismes – une manière de savoir si les fortes teneurs en PCB mesurées dans les poissons s'expliquent par une accumulation dans la chaîne alimentaire.

Bonne complémentarité des données chimiques et écotoxicologiques

Les sédiments contenaient certains métaux et micropolluants organiques à des concentrations supérieures aux seuils définis pour les effets écotoxiques. Les teneurs les plus élevées ont été mesurées à l'embouchure dans le lac. Les analyses chimiques ont révélé la présence de nickel, de chrome, de cuivre et de zinc ainsi que de différents HAP et PCB. Les bioessais attestent d'une toxicité croissante des sédiments de l'amont vers l'aval. Les échantillons prélevés en amont de la STEP ne se sont révélés toxiques dans aucun des tests. Ceux prélevés au niveau de la STEP et à Ecublens avaient pour effet de réduire le taux d'éclosion des larves de chironomes mais n'avaient aucune action toxique sur les ostracodes ou les amphipodes. Les sédiments de l'embouchure, où les concentrations de polluants étaient les plus élevées, n'avaient pas d'effet sur les larves de chironomes mais affectaient les ostracodes et les amphipodes. « Les résultats montrent que les différents organismes biologiques réagissent très différemment au cocktail de polluants, commente Carmen Casado-Martinez, du Centre Ecotox, qui a supervisé l'étude. Il faut donc toujours une batterie de plusieurs tests portant sur des paramètres complémentaires pour obtenir une caractérisation complète de l'écotoxicité des sédiments. » Lidia Molano Leno a d'autre part observé que, dans les essais de laboratoire, les larves de chironomes accumulaient les PCB dans leur organisme et ce, d'autant plus quand leur degré de chloration était élevé.

« Dans cette étude, nous avons suivi trois voies parallèles pour déterminer la qualité des sédiments, indique Carmen Casado-Martinez. Les analyses de la composition chimique, de l'écotoxicité et de la bioaccumulation ont livré des résultats complémentaires qui, une fois combinés, ont abouti à une conclusion robuste. » Les résultats montrent que les sédiments peuvent effectivement contribuer à une réduction de l'état écologique dans la partie aval de la Venoge.

Pour en savoir plus : Casado-Martinez, M.C. et al. (2016) Impact des sédiments sur la qualité de l'eau : surveillance écotoxicologique de la qualité de la rivière Venoge. *Aqua & Gas* 4, 56–63

Contacts : Carmen Casado-Martinez, carmen.casado@centreecotox.ch
Benoît Ferrari, benoit.ferrari@centreecotox.ch



Élaboration d'un nouveau test avec les vers de terre

Le Centre Ecotox a élaboré une nouvelle variante du test *bait lamina* basée sur la mesure de l'activité alimentaire des vers de terre. Ce nouveau test donne une réponse fonctionnelle importante sur l'écosystème et pourrait donc compléter avantageusement l'évaluation des risques liés aux polluants.

Le sol fourmille et regorge de vie : chaque hectare abrite jusqu'à 25 tonnes d'organismes dans les premiers 30 centimètres, soit l'équivalent de 35 boeufs. Tous ces organismes remplissent des fonctions essentielles à la vie du sol et contribuent à sa fertilité. Dans le milieu édaphique, les polluants peuvent perturber la reproduction, le comportement ou l'activité alimentaire des organismes vivants et donc porter atteinte au bon fonctionnement de tout l'écosystème. Les scientifiques et les régulateurs choisissent souvent les vers de terre pour représenter la macrofaune édaphique dans l'évaluation du risque lié aux polluants chimiques. Ces animaux très utiles jouent en effet un rôle important dans les cycles biogéochimiques, dans l'aération du sol et dans le compostage de la matière organique.

Les vers de terre utilisés comme organismes modèles

Les évaluateurs ont à leur disposition plusieurs tests de laboratoire standardisés pour déterminer le risque que représentent les produits chimiques pour les vers de terre : le test de toxicité aiguë qui mesure la mortalité, le test de reproduction basé sur leur capacité à se multiplier et le test d'évitement qui évalue l'aptitude des vers à éviter les sols contaminés. Les tests de reproduction et d'évitement, notamment, donnent une mesure très sensible de la toxicité mais l'étude de la reproduction demande beaucoup de temps – 56 jours – et de travail. En revanche, le test *bait lamina*, qui bénéficie d'une normalisation ISO, est généralement utilisé sur le terrain pour évaluer le risque écologique des sols contaminés. Dans ce test, des bandes de PVC perforées et contenant un appât sont placées dans le sol. L'activité alimentaire de l'ensemble des organismes édaphiques est mesurée par la disparition de l'appât. Plus ces organismes sont actifs et nombreux, plus l'activité de nutrition est élevée.

« Ce test pourrait très bien être utilisé pour mesurer l'activité alimentaire des vers de terre au laboratoire » s'est dit Sophie Campiche du Centre Ecotox, voyant là le moyen d'obtenir un paramètre d'effet supplémentaire et pertinent. En association avec Margot Visse, étudiante en master de l'université de Bordeaux, elle a adapté le test *bait lamina* aux conditions de laboratoire en plaçant pour chaque échantillon de sol 5 bandes de PVC et 5 vers de l'espèce *Eisenia andrei* dans des récipients contenant du sol contaminé et en les exposant pendant 48 h. Avec ce système, les deux chercheuses ont

étudié l'impact d'un biocide composé de cuivre, de chrome et de bore (CuCrB) sur les vers de terre et comparé l'effet mesuré avec les résultats des tests de reproduction et d'évitement. Ce produit de traitement du bois très courant en Suisse est généralement utilisé en extérieur et pourrait donc être entraîné dans le sol par lessivage et porter atteinte à la faune édaphique.

Un test sensible

Les essais ont montré que le CuCrB avait un impact significatif sur l'activité alimentaire des vers de terre. Le test *bait lamina* avec *Eisenia andrei* indique pour le biocide une NOEC (No Observed Effect Concentration) de 3,4 mg/kg – c'est la concentration testée la plus élevée pour laquelle aucun effet significatif n'est observé sur les vers de terre. Sophie Campiche et Margot Visse ont obtenu une NOEC comparable avec le test d'évitement cependant que le test de reproduction de 56 jours n'a montré d'effets qu'à partir d'une concentration 10 fois plus élevée et se révélait être donc beaucoup moins sensible.

Le test *bait lamina* et le test d'évitement livrent déjà des informations après de 48h sur l'activité alimentaire et la capacité des vers à éviter les sols contaminés. Le *bait lamina* avec *Eisenia andrei* présente en outre l'avantage de fournir de nouvelles informations sur la façon dont les polluants chimiques perturbent les fonctions du sol tout en étant simple, rapide et bon marché. « Avec les autres méthodes standardisées de laboratoire, il est difficile d'obtenir des réponses fonctionnelles. La combinaison du test *bait lamina* et des vers de terre apporte donc un complément d'information très intéressant », souligne Sophie Campiche. La mesure de l'activité alimentaire des vers de terre en laboratoire *via* le test *bait lamina* est donc un outil d'évaluation prometteur qui vient avantageusement compléter la batterie de tests déjà disponible.

Contact :

Sophie Campiche, sophie.campiche@centreecotox.ch

Les brèves du Centre Ecotox



Un nouveau visage au Centre Ecotox

L'équipe du Centre Ecotox compte un nouveau membre depuis octobre 2015 en la personne de Muris Korkaric qui vient renforcer les rangs des évaluateurs des risques liés aux micropolluants. Il travaille avec Robert Kase et Marion Junghans à l'actualisation des critères de qualité environnementale

pour les composés traces organiques, c'est-à-dire les concentrations au-delà desquelles un risque ne peut être exclu pour les organismes biologiques exposés dans l'environnement. Ces valeurs limites devraient bientôt être intégrées à la législation suisse sur la protection des eaux et donc prendre une valeur juridique. Muris a fait des études de biologie à la RWTH d'Aix-la-Chapelle (D) avant de travailler en tant que conseiller scientifique à l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) de Kampala, en Ouganda. Dans sa thèse à l'Eawag, Muris a étudié l'influence du rayonnement ultraviolet sur la toxicité des polluants pour les algues vertes.



Le module Sédiments du système modulaire gradué progresse

Le Centre Ecotox travaille depuis janvier 2015 avec l'Eawag et l'Office fédéral de l'environnement à l'élaboration d'un module Sédiments pour l'appréciation de l'état des cours d'eau. Dans sa première phase, le projet vise tout d'abord à établir une méthode harmonisée pour le prélèvement et la préparation des échantillons. Il prévoit ensuite la détermination de critères de qualité spécifiques aux sédiments pour une sélection de substances et l'élaboration d'un système d'appréciation compatible avec la classification des autres modules.

Jusqu'à présent, le Centre Ecotox a réalisé une esquisse méthodologique pour le prélèvement et la préparation des échantillons de sédiment en se basant sur les résultats les plus récents de la recherche et sur les méthodes utilisées par les services cantonaux de la protection des eaux. La méthode doit être validée cette année dans une étude de terrain impliquant plusieurs laboratoires : une comparaison de la méthode proposée avec celles utilisées par les cantons permettra d'identifier les aspects à améliorer. Par ailleurs, l'étude de terrain livrera des informations sur l'influence de la méthode d'échantillonnage sur les résultats de l'analyse chimique.

En parallèle, le Centre Ecotox a établi une liste de substances jugées prioritaires pour la surveillance de l'état des sédiments en Suisse en se basant sur les données d'exposition et de toxicité disponibles pour les eaux de surface en Suisse et dans d'autres pays. La liste doit être complétée de substances dont les concentrations doivent impérativement être réduites, surveillées ou mesurées. Les résultats de la priorisation seront publiés sur notre site dans le courant de l'année.

Pour en savoir plus :

www.centreecotox.ch/projets/ecotoxicologie-des-sediments/sedmod



Formation continue au Centre Ecotox

8/9 juin 2016 : Introduction à l'écotoxicologie

25/26 octobre 2016 : Toxicité des mélanges : concepts pratiques d'évaluation des cocktails chimiques dans l'environnement

Nous serions très heureux de vous accueillir à l'un de nos cours !

Plus d'informations sur notre site :

www.centreecotox.ch/prestations-expert/formation-continue

Micropolluants : un dossier pédagogique pour le gymnase et l'éducation à l'environnement

Dans le cadre de sa formation d'enseignant en biologie, Stefan Widmer de l'université de Zurich a élaboré un dossier pédagogique sur les micropolluants et l'écotoxicologie. Destiné à l'enseignement au gymnase et à l'éducation à l'environnement, ce dossier comprend des chapitres à inclure aux livres de biologie et à utiliser et distribuer en cours ainsi que des exercices didactiques, des idées d'expériences à réaliser et des cas concrets à présenter. Etienne Vermeirssen du Centre Ecotox a apporté son assistance scientifique au projet.

www.centreecotox.ch/news-publications/actualites/dossier-pedagogique

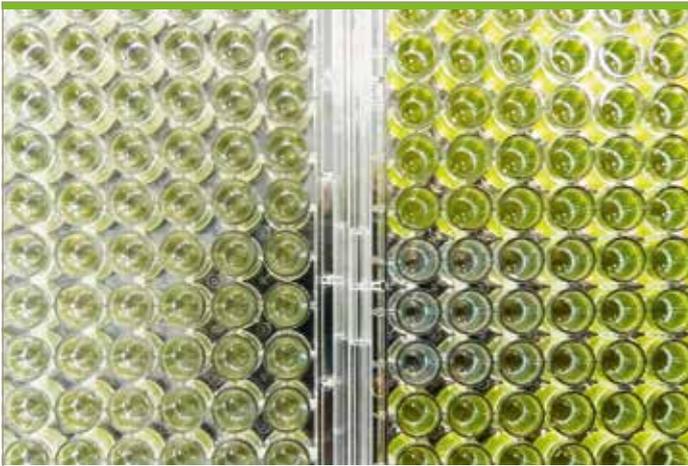


Effet des néonicotinoïdes sur les collemboles et la santé du sol

Les néonicotinoïdes comptent parmi les insecticides les plus employés au monde. Ces derniers temps, ils sont toutefois de plus en plus critiqués en raison de leur toxicité pour les abeilles mellifères dont ils sont jugés coresponsables de l'effondrement des colonies. Or ces substances pourraient également être néfastes à d'autres organismes non cibles qui vivent dans le sol et jouent un rôle essentiel pour les services écosystémiques rendus à la nature et à l'agriculture, comme les collemboles. Dans un nouveau projet, le Centre Ecotox s'est associé à l'université de Lausanne et à celle de Neuchâtel pour étudier la toxicité des néonicotinoïdes pour les collemboles dans les sols agricoles.

Contact :

Sophie Campiche, sophie.campiche@centreecotox.ch



Des bioessais pour l'appréciation de la qualité des eaux

Pour pouvoir juger de la qualité des eaux à l'aide de bioessais écotoxicologiques, les évaluateurs ont besoin de tests sensibles, robustes, harmonisés et bon marché. Dans un nouveau rapport, le Centre Ecotox fait la synthèse des bioessais les mieux adaptés à ce type d'évaluation et indique les domaines dans lesquels des améliorations doivent encore être apportées. Pour l'heure, les bioessais se prêtant le mieux aux analyses de routine des programmes d'observation des eaux de surface sont ceux portant sur la toxicité générale, les effets herbicides, les perturbateurs endocriniens, la génotoxicité et les effets mutagènes. A l'avenir, ils devront être complétés de tests mesurant les effets de type dioxine, l'immunotoxicité et la neurotoxicité. Un important travail de recherche et développement doit cependant encore être fourni dans ce domaine.

Voir rapport «Methoden zur Beurteilung der Wasserqualität anhand von ökotoxikologischen Biotests: Ergebnisse einer Literaturrecherche und einer Expertenbefragung» sur www.centreecotox.ch/news-publications/rapports

Activités de conseil du Centre Ecotox

L'une des missions du Centre Ecotox est de transmettre le savoir des experts dans le domaine de l'écotoxicologie aux acteurs de terrain et de conseiller les autorités sur toutes les questions relatives à l'écotoxicologie. Nous souhaiterions vous rappeler que notre service de conseil est gratuit s'il ne dépasse pas quelques heures par demande et que vous ne devez pas hésiter à nous contacter en cas de besoin.



L'écotoxicologie pour les gymnasiens

Les 11 et 18 mars 2016, le Centre Ecotox a accueilli de nombreux gymnasiens dans son laboratoire de Lausanne pour leur donner un aperçu de l'écotoxicologie. Les élèves ont pu observer les organismes du sédiment et du sol et ont été sensibilisés à l'aide que peuvent apporter ces animaux à la veille environnementale par la détection précoce des polluants. Ce voyage dans le monde des sciences s'est tenu dans le cadre de la journée des gymnasiens de l'EPFL. Cette journée indispensable permet aux futures étudiantes et futurs étudiants d'obtenir des informations directes sur les études à l'EPFL et de faire un stage d'une journée au sein de la section de leur choix.



Écotoxicité des sédiments dans le Léman

Dans les eaux superficielles, les sédiments ne sont pas seulement un puits à polluants, ils en sont également une source. Les polluants hydrophobes, en particulier, ont tendance à s'adsorber sur les particules solides et ceux ainsi emmagasinés dans les sédiments peuvent être relâchés dans certaines conditions et venir contribuer à la pollution de l'eau. La CIPEL (Commission internationale pour la Protection des eaux du Léman) a financé un projet pour évaluer la qualité des sédiments du Léman, la dernière appréciation remontant déjà à 27 ans. Pour compléter les analyses biologiques et chimiques, le Centre Ecotox se charge d'évaluer la toxicité d'un certain nombre d'échantillons pour les copépodes, les larves de chironomes et les plantes aquatiques et de mesurer leur activité œstrogénique. Le projet permettra également d'estimer l'influence du stockage des échantillons sur la toxicité, ce qui sera très utile, à l'avenir, pour l'utilisation et l'interprétation des bioessais réalisés au laboratoire pour évaluer la qualité des sédiments.

Contact:

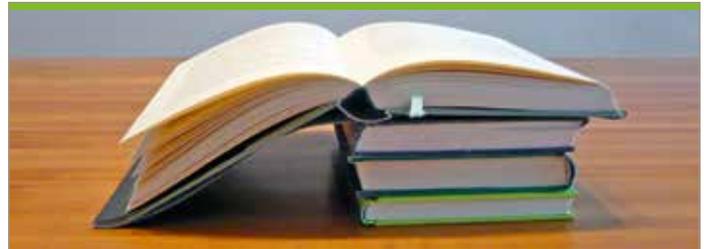
Benoît Ferrari, benoit.ferrari@centreecotox.ch

Une Inspiration pour la Suisse

Le projet européen INSPIRATION, qui fait partie du programme Horizon 2020 et rassemble plus de 20 partenaires dans 17 pays, vise l'élaboration d'un agenda stratégique de recherche pour une gestion des sols et une utilisation du territoire respectueuse de l'environnement, socialement acceptable et économiquement abordable permettant de relever les défis actuels et futurs dans le domaine, notamment, de l'eau, des sols et des sédiments. Le Centre Ecotox est engagé dans le développement de cet agenda en tant qu'acteur-clé pour la Suisse.

Contact:

Benoît Ferrari, benoit.ferrari@centreecotox.ch



Nouvelles publications du Centre Ecotox

Ces derniers mois, le Centre Ecotox a publié de nombreux articles présentant les résultats de rapports sur l'évaluation de la qualité des sols ou des eaux à l'aide de bioessais. D'autres articles vous sont aussi proposés en matière d'améliorations du système d'évaluation du risque. Vous trouverez toutes ces publications sur notre site à la page www.centreecotox.ch/news-publications/publications/.

Nous vous souhaitons une lecture enrichissante !

Aldrich, A. et al (2016) **Amphibien und Pflanzenschutzmittel: Forschungs- und Handlungsbedarf.** *Aqua & Gas* 4, 14–20

Campiche, S. et al (2015) **Messung der biologischen Aktivität am Dauerbeobachtungsstandort «Oberacker» anhand des Köderstreifentests.** *VBB-Bulletin-BSA* Nr. 16, 21–29

Casado-Martinez, M.C. et al. (2016) **Impact des sédiments sur la qualité d'eau: surveillance écotoxicologique de la qualité de la rivière Venoge.** *Aqua & Gas* 4, 56–63

Casado-Martinez M.C., Ferrari B.J.D., Werner I., Chèvre N. (2015) **Methoden zur Bewertung der Sedimentqualität** *Aqua & Gas* 4: 76–83

Casado-Martinez, M.C. et al. (2016) **The sediment-contact test using the ostracod *Heterocypris incongruens*: Effect of fine sediments and determination of toxicity thresholds** *Chemosphere* 151, 220–224

Gimbert, F. et al (2016) **Mercury tissue residue approach in *Chironomus riparius*: Involvement of toxicokinetics and comparison of subcellular fractionation methods.** *Aquatic Toxicology* 171, 1–8

Kase, R et al. (2016) **Criteria for Reporting and Evaluating ecotoxicity Data (CRED): comparison and perception of the Klimisch and CRED methods for evaluating reliability and relevance of ecotoxicity studies.** *Environ. Sci. Europe* 28:7

Roosa, S. et al (2016) **On the bioavailability of trace metals in surface sediments: a combined geochemical and biological approach.** *Environ. Sci. Pollut. Res.* DOI 10.1007/s11356-016-6198-z

Schoenborn, A. et al. (2015) **Estrogenic activity in drainage water: a field study on a Swiss cattle pasture.** *Environ. Sci. Europe* DOI 10.1186/s12302-015-0047-4

Kienle, C. et al. (2015) **Ökotoxikologische Biotests – Anwendung von Biotests zur Evaluation der Wirkung und Elimination von Mikroverunreinigungen** *Aqua & Gas* 7/8, 18–26.

Kienle C. et al. (2015). **Anwendung von Biotests zur Evaluation der Auswirkungen von Mikroverunreinigungen und ihrer Elimination mit weitergehenden Abwasserreinigungsverfahren.** *Aqua & Gas* 7/8:2–10

L'écotoxicologie dans le monde

Dans cette rubrique, le Centre Ecotox souhaite vous informer des actualités internationales touchant à la recherche ou à la législation en matière d'écotoxicologie. La sélection proposée ne se prétend pas exhaustive et le contenu des communiqués ne reflète pas nécessairement les positions du Centre Ecotox.

Utilisation des moules pour le biomonitoring des médicaments en mer

Beaucoup de médicaments ne sont pas totalement dégradés dans l'organisme ou dans les stations d'épuration et se déversent malheureusement dans le milieu aquatique. Dans une nouvelle étude, des chercheurs ont étudié les effets de deux médicaments courants sur la moule commune, la fluoxétine (un antidépresseur) et le propranolol (un bêta-bloquant), en utilisant des biomarqueurs. Appliqués ensemble à des concentrations environnementales réalistes, les deux composés ont engendré un stress chez les moules, réduisant leur capacité à éliminer les résidus et provoquant une accumulation de propranolol dans la glande digestive. L'analyse des biomarqueurs chez la moule est une approche prometteuse pour évaluer les risques dus aux médicaments dans les zones côtières.

Franzellitti, S., Buratti, S., Du, B., Haddad, S., Chambliss, C., Brooks, B. and Fabbri, E. (2015) A multibiomarker approach to explore interactive effects of propranolol and fluoxetine in marine mussels. *Environmental Pollution* 205, 60–69

L'écotoxicologie des nanoparticules

Les courbes de distribution de sensibilité des espèces (SSD) sont fréquemment utilisées pour apprécier l'écotoxicité des substances à partir de leur toxicité pour différents groupes d'organismes. Dans une nouvelle étude, des toxicologues ont élaboré des courbes SSD relatives à la toxicité aiguë en eau douce pour 10 nanomatériaux, dont le nano-argent, le nano-oxyde d'aluminium, le nano-buckminsterfullerène, les nanotubes de carbone, le nano-cuivre et le nano-oxyde de cuivre. Les résultats donnent un premier aperçu de la toxicité des nanomatériaux et, combinés à de prochaines données, faciliteront l'évaluation du risque lié à ces nouveaux matériaux.

Garner, K.L., Suh, S., Lenihan, H.S., Keller, A.A. (2015) Species Sensitivity Distributions for Engineered Nanomaterials. *Environmental Science & Technology* 49: 5753–5759

Nouvel article de revue sur les microplastiques dans les eaux et le sol

La pollution de l'environnement par les plastiques ne cesse de prendre de l'ampleur. Celle par les microplastiques, notamment, ces particules de moins de 5 mm le plus souvent générées par la fragmentation de débris plus grands, a retenu l'attention des scientifiques et de l'opinion publique. Une nouvelle review vient de paraître qui fait le point des connaissances actuelles sur l'origine et le devenir des microplastiques dans l'environnement aquatique et

édaphique, sur leur absorption par les organismes et sur leurs effets sur ces derniers. L'article aborde également les méthodes d'échantillonnage et de quantification des microplastiques et la question de leur élimination dans les stations d'épuration.

Duis, K., Coors, A. (2016) Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe* 28:2

Les néonicotinoïdes affectent la capacité de pollinisation des abeilles

Dans le monde entier, les néonicotinoïdes sont tenus pour responsables de l'effondrement des colonies d'abeilles. Ces insecticides ne tuent pas les abeilles mais affectent leurs capacités à apprendre, à s'orienter, à collecter du nectar ainsi qu'à se reproduire. Une nouvelle étude montre maintenant que les performances de pollinisation des bourdons baissent s'ils ont été exposés à du thiaméthoxame : les sujets pré-exposés se rendaient moins souvent sur les fleurs des pommiers étudiés et ramenaient moins de pollen à la colonie ; les pommes résultant de leur pollinisation comptaient également moins de pépins, signe de leur moins bonne qualité.

Stanley, D.A., Garratt, M.P.D., Wickens, J.B., Wickens, V.J., Potts, S.G., Raine, N.E. (2015) Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees. *Nature* 528, 548–550

Les espaces naturels autour des vergers atténuent l'impact des pesticides sur les abeilles sauvages

Par leur action de pollinisation, les abeilles rendent un important service écosystémique à l'agriculture en augmentant la productivité des cultures. Dans une nouvelle étude, des chercheurs ont étudié l'impact de 50 pesticides appliqués dans les plantations de pommiers aux USA et constaté que l'emploi des insecticides et des fongicides avant, pendant et après la floraison faisait baisser le nombre d'abeilles sauvages. Cependant, cet impact était d'autant moins fort que les espaces naturels comme les forêts, les zones humides, les prairies ou les steppes étaient nombreux autour des vergers. Les auteurs proposent donc de combiner réduction de l'emploi de pesticides autour de la floraison et aménagement de nouveaux espaces « naturels » autour des plantations d'arbres fruitiers pour en améliorer la pollinisation.

Park, M.G., Blitzer, E.J., Gibbs, J., Losey, J.E. Danforth, B.N. (2015) Negative effects of pesticides on wild bee communities can be buffered by landscape context. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282: 20150299.

Impressum

Editeur : Centre Ecotox
Eawag/EPFL
Überlandstrasse 133
8600 Dübendorf
Suisse
Tél. +41 58 765 5562
Fax +41 58 765 5863
www.oekotoxzentrum.ch

EPFL-ENAC-IIE-GE
Station 2
1015 Lausanne
Suisse
Tél. +41 21 693 6258
Fax +41 21 693 8035
www.centreecotox.ch

Rédaction et textes non signés : Anke Schäfer, Centre Ecotox

Traductions : Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Copyright : Reproduction possible sous réserve de l'accord de la rédaction

Copyright des photos : Centre Ecotox, R. Baier (Bundesanstalt für Wasserbau, D) (p. 3), Markus Zennegg (p. 5), Alain Herzog (EPFL) (p. 7, 8)

Parution : deux fois par an

Maquette, graphisme et mise en page : visu'1 AG, Zürich

Impression : Mattenbach AG, Winterthur

Imprimé sur : sur papier recyclé

Abonnements et changements d'adresse : Bienvenue à tout(e) nouvel(le) abonné(e), info@centreecotox.ch