



# centre ecotox news

10. édition mai 2015

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL



Amphibiens et produits phytosanitaires : un grand besoin d'informations _____	3
Stratégie d'évaluation pour les micropol- luants de sources non ponctuelles _____	6
Evaluation grossière de la pollution des eaux au moyen de bioessais _____	8
Les brèves du Centre Ecotox _____	10
L'écotoxicologie dans le monde _____	12

## Editorial

# Les pesticides en ligne de mire



Dr. Inge Werner,  
directrice du Centre Ecotox

Que ce soit en rapport avec les risques dus aux rejets diffus dans les eaux de surface, l'impact des insecticides sur les colonies d'abeilles ou une possible implication dans la régression des amphibiens, il est actuellement impossible de ne pas entendre parler des pesticides. Face à cette menace, la Suisse met en place, cette année, un plan d'action visant à réduire les risques liés aux produits phytosanitaires et à favoriser une utilisation durable de ces produits. De leur côté, le Centre Ecotox et l'Eawag viennent d'élaborer une « stratégie d'évaluation pour les micropolluants de sources non ponctuelles » (p. 6). Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les rejets diffus ne proviennent pas tous des terres agricoles mais également des zones urbaines et des voies de communication. Et les pluies qui traversent ces espaces n'entraînent pas uniquement des pesticides issus des produits biocides et phytopharmaceutiques mais aussi des métaux lourds et des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Seule une approche globale peut donc être envisagée pour appréhender les sources de pollution diffuse dans toute leur diversité et évaluer le

risque lié à toute cette variété de polluants. Le rythme de rejet des polluants de sources non ponctuelles est très différent de celui des substances transitant par les STEP. Il exige donc une stratégie de prélèvements particulière. Les émissions diffuses sont très variables dans le temps et sont donc mal détectables par le biais de prélèvements ponctuels. Un échantillonnage moyenné sur deux semaines asservi au temps constitue alors un bon compromis. Il n'appréhende certes pas directement les pics de concentration mais la probabilité de passer à côté des arrivées massives de polluants est beaucoup plus faible qu'avec un échantillonnage ponctuel. Il peut arriver, cependant, que la toxicité du milieu pour la faune et la flore soit sous-estimée et qu'un effet aigu de courte durée ait un impact à long terme sur les populations. Ce peut être par exemple le cas des invertébrés qui ne se reproduisent qu'une fois par an s'ils sont atteints à ce moment-là. Pour évaluer le risque écotoxicologique, il est donc pertinent de comparer les concentrations mesurées à la valeur du critère de qualité relatif aux pollutions chroniques, déterminé pour protéger les organismes aquatiques des effets sublétaux, se manifestant à long terme.

De par l'activité biologique inhérente à leur fonction, les pesticides ont la capacité de nuire aux organismes non cibles même à des concentrations sublétales. Nous avons une connaissance encore trop limitée de ces effets « secondaires », qui peuvent pourtant être lourds de conséquence pour les écosystèmes. Grâce aux importants efforts de recherche actuellement déployés sur l'impact des insecticides, en particulier des néonico-

tinoïdes, sur les abeilles, nous cernons de mieux en mieux ces effets. Les néonicotinoïdes sont de puissants neurotoxiques qui, dès les plus faibles concentrations, affectent non seulement le comportement et les capacités cognitives des abeilles mais aussi leur taille et leur système immunitaire, et finissent ainsi par provoquer l'effondrement de colonies entières. Nous devrions tirer les leçons de cet exemple tragique et redoubler de prudence vis-à-vis des produits chimiques puisqu'ils peuvent très bien avoir des effets tout aussi difficilement discernables sur d'autres organismes, comme par exemple les amphibiens. Jusqu'à présent, l'impact des produits phytosanitaires sur les amphibiens a été peu étudié. L'UE exige pourtant maintenant d'en tenir plus grand compte dans les dossiers de demande d'autorisation de mise sur le marché de ces produits. Face aux lacunes existantes, le Centre Ecotox organise avec plusieurs partenaires un atelier de réflexion entre experts et un débat public sur le thème « Amphibiens et produits phytosanitaires » (p.3). Nous espérons contribuer de la sorte à une meilleure protection des amphibiens en Suisse.

Il ne me reste plus qu'à vous souhaiter une agréable lecture du nouveau Centre Ecotox News - et à vous rappeler de vous inscrire au colloque annuel de la branche germanophone de la SETAC qui sera organisé à Zurich par le Centre Ecotox du 7 au 10 septembre 2015.

Bien cordialement,



## Amphibiens et produits phytosanitaires : un grand besoin d'informations

**La majorité des amphibiens en Suisse sont en danger. Les causes avancées sont multiples et les produits phytosanitaires pourraient y figurer en bonne place. Cependant, étant donné que les effets des phytosanitaires sur les amphibiens ont encore été très peu étudiés, un atelier de discussion a été créé pour débattre entre experts des besoins de recherche et des moyens de protection des animaux menacés.**

Les amphibiens occupent une place centrale dans le réseau trophique des écosystèmes: les têtards se nourrissent d'algues et de débris végétaux et animaux rencontrés dans le milieu aquatique et, après métamorphose, les batraciens servent de nourriture aux petits mammifères et aux oiseaux et chassent de leur côté cafards, araignées, insectes, limaces et autres organismes de petite taille. Dans les écosystèmes intacts, la biodiversité est élevée et la présence d'amphibiens atteste de la bonne qualité des habitats. La Suisse en compte 20 espèces, dont trois seulement ne sont pas menacées: la Salamandre noire, le Triton alpestre et la Grenouille rousse. Sur les espèces indigènes, 14 (soit 70 %) figurent sur la liste rouge de l'IUCN, l'International Union for Conservation of Nature: le Crapaud vert est considéré comme éteint en Suisse, neuf espèces sont jugées en danger et quatre sont qualifiées de vulnérables. De leur côté, les espèces cryptiques de la Grenouille verte sont considérées comme potentiellement menacées. Dans l'ensemble, le risque est particulièrement élevé dans les milieux s'asséchant par intermittence. Dans la littérature, plusieurs causes de menace sont avancées pour les amphibiens: fragmentation et modification des habitats, engrais et pesticides, maladies – chytridiomycose, notamment –, espèces invasives, rayonnement UV et changement climatique.

L'IUCN tient l'altération d'habitats pour principale responsable de la disparition des amphibiens mais cite la pollution chimique en deuxième position. Etant donné que les amphibiens fréquentent beaucoup les terres cultivées, les produits phytosanitaires (PPS) pourraient jouer un rôle non négligeable. Jusqu'à présent, l'écotoxicité des PPS pour les amphibiens a été très peu étudiée. Or, l'an passé, l'Union européenne a demandé de façon explicite à ce que les données de toxicité sur les amphibiens soient prises en compte dans l'étude des demandes de mise sur le marché des produits phytosanitaires. A ce jour, aucune proposition concrète n'a encore été émise, que ce soit dans l'UE ou en Suisse, sur la manière dont cette toxicité doit être évaluée.

### Législation relative aux produits phytosanitaires

Les PPS sont appliqués directement dans l'environnement pour protéger les plantes cultivées d'insectes ravageurs, de maladies et de la concurrence d'autres végétaux. Etant donné leur toxicité voulue,

ils peuvent avoir des effets sur des organismes non cibles et doivent donc faire l'objet d'une évaluation minutieuse avant de pouvoir être utilisés dans l'environnement. En Suisse, les conditions de leur mise sur le marché sont spécifiées par l'Ordonnance sur les produits phytosanitaires et les données et critères à utiliser pour l'évaluation sont les mêmes que dans les autres pays européens: les effets de chaque substance doivent être évalués sur les oiseaux, les mammifères, les arthropodes, les végétaux non cibles, les macro- et micro-organismes du sol, les poissons, les invertébrés aquatiques et les plantes aquatiques. Les tests sont effectués sur un petit nombre d'espèces choisies pour représenter les différents groupes d'organismes. L'objectif de l'ordonnance sur les produits phytosanitaires est cependant d'éviter que les PPS ne nuisent à l'environnement dans son ensemble et aux organismes non cibles en particulier. Jusqu'à présent, les effets sur les reptiles et les amphibiens n'ont pas été directement testés. Il a été considéré que la toxicité pour les têtards pouvait être déduite de celle déterminée pour les organismes aquatiques et la toxicité pour les formes terrestres de celle mesurée sur d'autres vertébrés terrestres comme les mammifères ou les oiseaux.

### Les amphibiens: un groupe à part

Contrairement aux organismes censés les représenter, les amphibiens ont un cycle biologique très particulier: les œufs sont pondus dans l'eau et les batraciens qui en émergent vivent tout d'abord dans le milieu aquatique sous forme de têtards avant de se métamorphoser et de mener une vie presque exclusivement terrestre. A travers leurs différentes phases de développement, les amphibiens entrent donc en contact avec les PPS dans leur nourriture, dans l'eau, dans le sol et dans l'air. Les modèles mathématiques utilisés dans le cadre des dossiers de demande de mise sur le marché (voir encadré « évaluation du risque écotoxicologique ») ne permettent pas d'évaluer l'exposition des amphibiens de façon satisfaisante. De par leurs multiples formes de vie, leur régime alimentaire est beaucoup plus varié que celui des oiseaux ou des mammifères. Il a cependant été peu étudié et s'avère difficile à évaluer. Toutefois, leur principale voie de contamination n'est probablement pas la nourriture, comme elle l'est chez oiseaux et mammifères, mais l'absorption cutanée. La peau des amphibiens est très importante pour la respiration, l'équi-



libre hydrique et les échanges d'ions et présente généralement une grande perméabilité aux produits chimiques. Elle n'est en aucun cas comparable à l'épiderme couvert de plumes ou de poils des oiseaux ou des mammifères. Jusqu'à présent, très peu d'études se sont penchées sur l'absorption cutanée des polluants chez les amphibiens.

#### **Exposition et effet des phytosanitaires sur les amphibiens**

D'après les quelques études disponibles, la toxicité aiguë des PPS pour les amphibiens dans l'eau n'est pas plus élevée que pour les organismes représentatifs. C'est ce que montre la comparaison des  $CL_{50}$  déterminées pour différents amphibiens avec celles mesurées sur la truite arc-en-ciel (la  $CL_{50}$  est la concentration de pesticide causant la mort de la moitié des animaux testés). Plus de 250 valeurs avaient été déterminées avec 48 espèces de batraciens et différents stades de développement (embryons, têtards etc.). Peu d'études sont en revanche disponibles sur les effets chroniques ou sublétaux. L'une d'entre elles parvient à la conclusion que les poissons réagissent alors de façon plus sensible que les amphibiens. De même, les données concernant l'exposition des stades terrestres et la toxicité des PPS à leur endroit sont rares. Il est donc difficile d'esti-

mer le danger encouru par les amphibiens par rapport aux espèces censées les représenter en milieu aquatique ou terrestre.

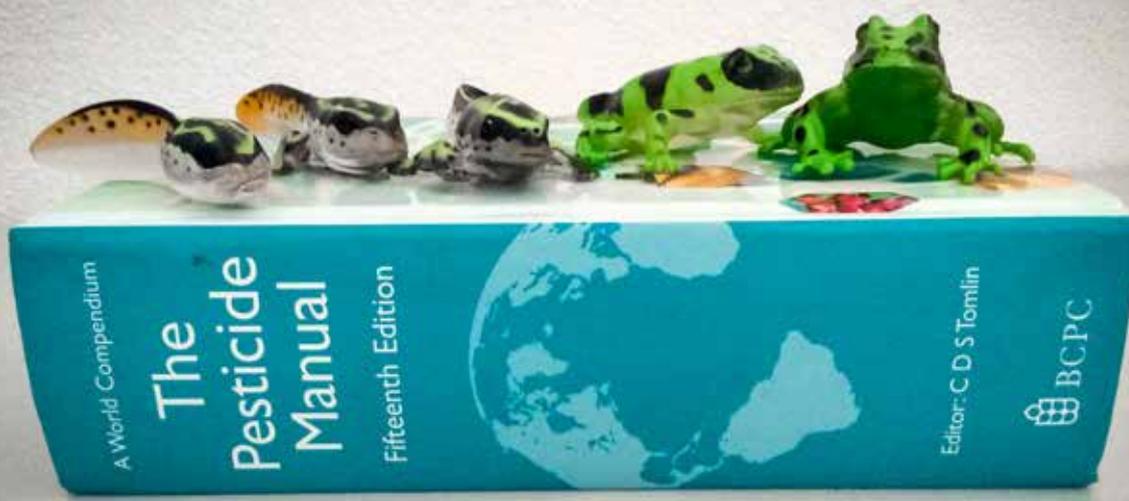
Plusieurs essais de laboratoire ont montré que les PPS pouvaient être toxiques pour les amphibiens aux concentrations habituellement rencontrées dans l'environnement. Dans une étude effectuée avec sept préparations différentes (4 fongicides, 2 herbicides et 1 insecticide), des taux de mortalité élevés ont ainsi été mesurés chez des grenouilles rousses sur lesquelles des PPS avaient été pulvérisés à des concentrations comparables à celles autorisées en Allemagne. De même, des effets ont été observés en laboratoire sur des têtards : retards de croissance, malformations, perturbations endocriniennes, etc.

Deux voies d'exposition attendent les amphibiens en milieu agricole. D'un côté, ils peuvent entrer directement en contact avec les polluants en séjournant dans les champs cultivés ou en les traversant pour aller pondre ou après la métamorphose. Mais des PPS peuvent également se trouver dans les mares temporaires dans lesquelles les têtards aiment se développer. Pour l'heure, l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux ne fixe de seuil de concentration pour les produits phytosanitaires que dans les cours d'eau permanents et les mares ne

#### **L'évaluation du risque écotoxicologique**

Le risque écotoxicologique lié aux PPS est évalué à partir de la sensibilité d'une espèce et de l'exposition attendue dans l'environnement. La sensibilité est déterminée dans des essais de laboratoire ou de terrain en évaluant le taux de mortalité au bout de quelques jours et les effets sur la reproduction, la croissance ou le comportement au bout de quelques semaines d'exposition. Les tests sont effectués selon des protocoles standardisés de l'OCDE, de sorte que des résultats similaires puissent être obtenus dans différents laboratoires avec les différentes substances. Etant donné que, dans les procédures d'autorisation, le risque doit être évalué avant que les PPS soient utilisés dans l'environnement et que les concentrations environnementales des produits non encore autorisés ne peuvent pas encore être connues,

celles-ci sont estimées à partir de modèles. Les milieux aquatiques sont alors représentés par des milieux standards de 1 m de large et de 30 cm de profondeur à l'eau stagnante ou à faible écoulement. Les PPS peuvent contaminer ces milieux soit par drift aérien pendant la pulvérisation, soit par ruissellement ou drainage. Pour les animaux vivant au contact du sol comme les oiseaux et les mammifères, l'absorption de PPS est modélisée à partir de l'ingestion de graines, de plantes ou d'insectes en considérant la quantité de résidus présents dans la nourriture et les quantités consommées.



sont pas prises en compte dans les programmes de surveillance. Cela signifie que nous disposons de connaissances insuffisantes aussi bien sur l'exposition des amphibiens aux phytosanitaires que sur leur sensibilité à ces polluants.

#### Un atelier de discussion entre experts

Le cycle biologique particulier et la physiologie des amphibiens ne sont pas représentés par les organismes actuellement utilisés dans les tests mis en œuvre pour l'évaluation du risque écotoxicologique. C'est pourquoi l'Agroscope, le karch (Centre de coordination pour la protection des amphibiens et reptiles de Suisse) et le Centre Ecotox organisent un atelier devant rassembler un panel d'experts le 17 juin 2015. Ce workshop vise à analyser la situation en Suisse de façon proactive et à proposer des pistes d'action. Il permettra par ailleurs de créer un réseau et de renforcer les échanges scientifiques. Des experts venus de tous les domaines ont répondu à l'appel des organisateurs : recherche, administrations, agriculture, industrie et ONG environnementales. Les questions suivantes sont notamment à l'ordre du jour :

- Quel est, d'après les experts, le risque représenté par les PPS pour les amphibiens sur le terrain ?
- Quelles sont les mesures pouvant être mises en œuvre sur la base du bénévolat ou du principe de précaution pour réduire les impacts sur les populations d'amphibiens ?
- Sur quelles questions la recherche doit-elle se pencher pour améliorer l'évaluation du risque écotoxicologique en ce qui concerne les amphibiens ?

Les résultats de ces réflexions seront publiés dans une revue spécialisée suisse. Nous espérons ainsi contribuer à une meilleure protection des amphibiens de Suisse contre les produits phytosanitaires.

#### Contacts

Annette Aldrich, [annette.aldrich@agroscope.admin.ch](mailto:annette.aldrich@agroscope.admin.ch)  
Marion Junghans, [marion.junghans@oekotoxzentrum.ch](mailto:marion.junghans@oekotoxzentrum.ch)  
Benedikt Schmidt, [benedikt.schmidt@unine.ch](mailto:benedikt.schmidt@unine.ch)

Le workshop de spécialistes sera suivi d'un débat public auquel le Centre Ecotox et l'association environnementale suisse Pro Natura vous invitent cordialement.

#### Débat public « Les amphibiens et les produits phytosanitaires »

**17 juin 2015, 19 h 00 – 21 h 00**  
**ETH Zurich**  
**Audi Max (HG/bât. principal F30)**

Plus d'infos sur [www.centreecotox.ch](http://www.centreecotox.ch)

Tous les intéressés sont les bienvenus !

oekotoxzentrum  
centre ecotox 

pro natura 



# Stratégie d'évaluation pour les micropolluants de sources non ponctuelles

**Les rejets diffus de micropolluants dans le milieu aquatique peuvent entraîner des pics de concentration dépassant largement les seuils réglementaires et les valeurs fixées pour les critères de qualité environnementale. En raison de leur forte dynamique, ils sont cependant difficiles à prévoir et à estimer. Une nouvelle stratégie a été élaborée pour la mesure pratique des rejets diffus et pour l'évaluation de la contamination des eaux sur des critères écotoxicologiques.**

Les campagnes de mesure effectuées ces dernières années ont montré que les eaux suisses étaient contaminées par de nombreux composés traces organiques et la pollution par les produits phytosanitaires a particulièrement alarmé l'opinion: conçus pour neutraliser les organismes nuisibles, ils peuvent en effet porter atteinte à la vie aquatique à partir de concentrations extrêmement faibles. Contrairement aux substances contenues dans les détergents, les cosmétiques ou les médicaments qui sont principalement émises dans l'environnement au niveau des stations d'épuration, les phytosanitaires et quelques autres composés sont surtout rejetés de façon diffuse dans les eaux de surface en empruntant plusieurs voies possibles. Les autorités d'exécution avaient donc besoin d'une méthode de mesure et d'évaluation de la pollution des eaux par ce type de micropolluants: pour y répondre, le Centre Ecotox et l'Eawag ont élaboré, sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, une stratégie d'évaluation de la qualité des eaux conçue pour les micropolluants de sources non ponctuelles.

## La grande complexité des rejets diffus

Les émissions diffuses dans les eaux superficielles proviennent principalement de l'agriculture, du milieu urbain et des routes et voies ferrées. Elles s'effectuent par drainage, par ruissellement ou par effet de drift, directement ou à travers les déversoirs d'orage des réseaux unitaires et les collecteurs d'eaux pluviales. Alors que les composés rejetés dans les effluents d'épuration se déversent de façon plus ou moins constante dans le milieu aquatique, les émissions dif-

fuses sont très variables dans le temps et surviennent souvent à l'occasion d'événements particuliers. Cette forte dynamique s'explique principalement par le caractère momentané de certains rejets – émission par drift aérien lors de la pulvérisation d'un pesticide par exemple – et par la mobilisation des polluants par les pluies – déversement suite au lessivage des sols ou des façades de bâtiments par exemple. D'autre part, un même composé peut avoir plusieurs sources d'émission et une même source peut être reliée aux cours d'eau par plusieurs voies de rejet. Ainsi, le diuron peut provenir du lessivage des façades et se déverser dans les cours d'eau par les collecteurs d'eau pluviale, les déversoirs d'orage ou les stations d'épuration. Mais il peut également provenir des vignobles et vergers et transiter par drift, par écoulement de surface ou par drainage. Cette complexité rend une évaluation de la contamination par les rejets diffus particulièrement difficile.

## Sélection de micropolluants représentatifs

La liste des substances chimiques pouvant se déverser dans les milieux aquatiques est longue. La banque de données des substances dangereuses en Suisse, Indatox, comptabilise 5500 produits ne comprenant qu'une seule substance active; le nombre de composés appliqués en mélange s'élèverait à plus de 100 000. Parmi cette multitude de substances, quelles sont celles qui contribuent à la pollution diffuse des eaux? Les plus problématiques pour la vie aquatique sont celles qui sont utilisées pour leur activité biologique, c'est-à-dire les produits phy-

tosanitaires, les biocides, les médicaments et produits vétérinaires et certains métaux lourds. En se basant sur les informations concernant leur utilisation, leur biodégradabilité et leur écotoxicité, Irene Wittmer, du département de Chimie de l'environnement de l'Eawag, a sélectionné 48 micropolluants organiques à la fois représentatifs des principales sources d'émission et susceptibles de se retrouver dans l'environnement à des concentrations préoccupantes pour l'écosystème. La liste comprend 45 phytosanitaires et/ou biocides, 2 produits de dégradation de pesticides et un médicament vétérinaire. En complément, le cuivre et le zinc ont été retenus pour leur importance pour la pollution des eaux et le caractère diffus de leurs émissions.

## Bien choisir le site d'étude et la stratégie d'échantillonnage

Pour bien choisir le site d'étude, il convient tout d'abord de bien définir l'objectif poursuivi: caractérisation générale de la pollution (a), examen d'une pollution particulière (b) ou étude d'un cours d'eau présentant déjà des dysfonctionnements biologiques flagrants (c)? Dans les trois cas, il est conseillé de commencer par une analyse de l'utilisation du sol dans les bassins de tous les sites entrant en ligne de compte pour évaluer leur représentativité pour la problématique étudiée en fonction de la présence éventuelle de sources agricoles ou urbaines de pollution diffuse – il existe par exemple une relation entre la probabilité de contamination des cours d'eau par les pesticides et la part de terres arables dans leur bassin versant. Une fois le site choisi, les concentrations

## Principe de la méthode d'évaluation de la micropollution diffuse



- Utilisation du sol
- Données des programmes de surveillance
- Taille du cours d'eau

- Stratégie de prélèvement recommandée : échantillonnage moyenné sur 14 jours asservi au temps
- Sélection de micropolluants représentatifs de sources non ponctuelles
- Détermination des pollutions locales

- Comparaison avec les critères de qualité environnementale
- Appréciation substances par substance
- Eventuellement, bioessais en complément

des micropolluants représentatifs doivent être déterminées dans le milieu. Pour évaluer une pollution chronique, la stratégie de prélèvement la mieux adaptée est alors l'échantillonnage moyenné sur 14 jours asservi au temps : même s'il livre des données moins précises qu'un échantillonnage fractionné au moment des pluies, il livre de bons résultats pour une demande de travail raisonnable. Pour apprécier la gravité de la pollution et le risque encouru par l'écosystème, les concentrations mesurées dans le milieu sont comparées aux valeurs déterminées pour chaque composé pour le critère de qualité environnementale relatif à la pollution chronique. Les critères de qualité également déterminés par le Centre Ecotox pour évaluer les risques aigus ne peuvent pas être utilisés pour cette appréciation étant donné que la stratégie d'échantillonnage recommandée ne permet pas de détecter les pics de concentration.

### Stratégie d'évaluation de la micropollution d'origine diffuse

En utilisant les données de toxicité aiguë et chronique disponibles pour les algues, les invertébrés et les poissons, Marion

Junghans, du Centre Ecotox, a établi des critères de qualité environnementale (CQE) pour les composés sélectionnés – c'est-à-dire les concentrations ne devant pas être dépassées pour que l'environnement aquatique ne soit pas menacé. Toutes les valeurs proposées pour les CQE sont publiées sur [www.oekotoxzentrum.ch/qualitaetskriterien](http://www.oekotoxzentrum.ch/qualitaetskriterien). Jusqu'à présent, la loi Suisse n'impose pas de critères de qualité environnementale pour les micropolluants mais se limite à fixer un seuil général de 0,1 µg/l pour les pesticides organiques sans fondement écotoxicologique. Un remaniement de l'ordonnance sur la protection des eaux est en cours pour, notamment, pallier ce manque. Actuellement en phase de consultation, la nouvelle ordonnance prévoit l'utilisation de critères de qualité écotoxicologiques. La qualité de l'eau est évaluée à partir du rapport entre la concentration dans l'environnement et la valeur du critère de qualité et son appréciation se fait en cinq classes d'état allant de très bon à mauvais comme dans le système modulaire gradué (cf. tableau).

L'objectif des auteurs était de proposer une méthode pratique permettant d'apprécier la

qualité des eaux de surface en fonction de leur contamination par les micropolluants de sources non ponctuelles. Ce travail s'adresse aux autorités en charge de l'application de la loi sur la protection des eaux – en particulier aux services cantonaux – ainsi qu'aux autres spécialistes de la protection des eaux, dont beaucoup ont d'ailleurs participé à son élaboration. Associée au système d'évaluation de la qualité des eaux au vu des micropolluants issus de l'assainissement communal élaboré en 2010, cette méthode servira de base à une publication de l'OFEV dans la série L'environnement pratique qui aidera à l'application de la loi.

Le rapport complet est disponible sur [www.centreecotox.ch/dokumentation/berichte](http://www.centreecotox.ch/dokumentation/berichte)

Contact  
Irene Wittmer, [irene.wittmer@eawag.ch](mailto:irene.wittmer@eawag.ch)  
Marion Junghans, [marion.junghans@oekotoxzentrum.ch](mailto:marion.junghans@oekotoxzentrum.ch)

### Evaluation de la qualité de l'eau sur des critères écotoxicologiques au regard des micropolluants de sources non ponctuelles. Classification inspirée du module Nutriments du système modulaire gradué de l'OFEV.

Appréciation de l'état	Condition/description (RQ = MEC / CQE)	Respect du critère de qualité (CQE)
Très bon	La concentration mesurée dans l'environnement (MEC) est au moins 10 fois inférieure au critère de qualité environnementale (CQE)	RQ < 0.1
Bon	La concentration mesurée dans l'environnement (MEC) est inférieure au critère de qualité environnementale (CQE)	0,1 ≤ RQ < 1
Moyen	La concentration mesurée dans l'environnement (MEC) est inférieure au double du critère de qualité environnementale (CQE)	1 ≤ RQ < 2
Médiocre	La concentration mesurée dans l'environnement (MEC) est inférieure à 10 fois le critère de qualité environnementale (CQE)	2 ≤ RQ < 10
Mauvais	La concentration mesurée dans l'environnement (MEC) est supérieure ou égale à 10 fois le critère de qualité environnementale (CQE)	RQ ≥ 10



# Evaluation grossière de la pollution des eaux au moyen de bioessais

**Les bioessais se prêtent particulièrement bien à l'évaluation de la qualité de l'eau lorsque le milieu est contaminé par des substances biologiquement actives et des cocktails chimiques qui ne peuvent pas être totalement appréhendés par les méthodes classiques d'analyse. Nous proposons une stratégie robuste et pratique d'évaluation grossière de la pollution des milieux aquatiques qui se base sur l'utilisation de tests biologiques d'écotoxicité. Une première étape dans l'évaluation globale et intégrée de la qualité de l'eau.**

Dans l'Union européenne, la qualité des eaux est évaluée par le dosage de composés individuels dont les concentrations sont ensuite comparées à des seuils basés sur des données d'écotoxicité appelés normes de qualité environnementale. Cette approche sera également bientôt adoptée en Suisse et sera inscrite dans la nouvelle ordonnance sur la protection des eaux actuellement en préparation. Elle a cependant l'inconvénient de se limiter aux polluants individuels mesurables pour lesquels suffisamment de données d'écotoxicité sont disponibles. Si l'évaluation de la qualité de l'eau doit sortir du cadre de ces composés individuels, il est nécessaire de faire appel à des méthodes globales et intégrées comme le recours aux essais biologiques. Ce genre de tests donne des informations sur la toxicité générale de l'eau ou de l'effluent ou sur la toxicité spécifique de certains groupes de substances. Ils permettent donc d'évaluer la toxicité globale des cocktails de polluants présents dans un échantillon d'eau. Les bioessais sont particulièrement utiles pour détecter les effets de substances qui agissent à très faible concentration et qu'il est difficile de doser par les méthodes classiques d'analyse chimique.

Avec l'aide de l'Office fédéral de l'environnement, des services cantonaux de la protection des eaux, de bureaux d'étude et de laboratoires de recherche, le Centre Ecotox a élaboré une stratégie qui permet une évaluation de routine de l'écotoxicité du milieu dans les cours d'eau pollués par les eaux usées. La méthode a été développée dans le cadre du module Ecotoxicologie du système modulaire gradué suisse, c'est-à-dire dans le cadre du projet visant à fournir aux autorités d'exécution et de contrôle des méthodes standardisées d'appréciation de la qualité des eaux de surface. Ces méthodes portent sur toutes les caractéristiques des cours d'eau – morphologie, hydrologie, chimie et biologie – pour apprécier leur état dans sa globalité. Les méthodes écotoxicologiques permettent, en complément des autres modules, d'évaluer les effets des polluants sur la faune, la flore et les micro-organismes.

## Les œstrogènes et les herbicides en ligne de mire

Pour les analyses de routine effectuées dans un cadre réglementaire, les bioessais doivent remplir un certain nombre de conditions : ils doivent être bon marché, pratiques et faciles à interpréter. « L'ex-

périence a montré que les tests effectués avec des cellules individuelles pour détecter les groupes de polluants par leurs effets spécifiques étaient les mieux adaptés aux besoins du terrain », souligne Cornelia Kienle, du Centre Ecotox. Pour la stratégie d'évaluation grossière présentée ici, les chercheurs chargés du projet ont adopté une solution pragmatique en se concentrant tout d'abord sur deux familles de substances : celles présentant des effets œstrogènes et celles capables d'inhiber la photosynthèse. « Les polluants œstrogènes constituent un réel danger pour les écosystèmes sensibles, explique Cornelia Kienle. Ces perturbateurs endocriniens se comportent en effet comme des hormones naturelles et se fixent sur les récepteurs des œstrogènes, ce qui peut fortement affecter les fonctions reproductrices des organismes aquatiques. » Les œstrogènes présents dans les cours d'eau peuvent être d'origine naturelle ou artificielle (médicaments, plastiques, filtres solaires, pesticides, etc.) et peuvent agir à des concentrations inférieures aux seuils de détection des techniques d'analyse chimique.

Le deuxième groupe de substances choisi par les chercheurs était celui des inhibiteurs du photosystème II (PSII) en raison de leur présence fréquente à des concentrations notables dans les eaux de surface suisses. Ces composés portent atteinte aux algues et aux plantes aquatiques qui jouent un rôle essentiel dans l'écosystème en servant notamment de nourriture aux daphnies et aux poissons et en produisant de l'oxygène. « Une inhibition de la photosynthèse peut également affecter la croissance des algues et des plantes aquatiques et affaiblir leur résistance vis-à-vis d'autres facteurs de stress », souligne Cornelia Kienle. Le groupe des inhibiteurs de la photosynthèse est essentiellement composé d'herbicides utilisés dans des fonctions biocides ou phytopharmaceutiques qui sont mal éliminés dans les stations d'épuration classiques. Mais d'autres polluants comme le triclosan, divers médicaments et certains métaux peuvent également présenter une activité phytotoxique.

## Les œstrogènes détectés grâce aux levures

Pour évaluer la pollution du milieu par les œstrogènes, le test d'œstrogénicité sur levure (test YES) est une méthode aussi robuste qu'efficace : dans ce bioessai faisant appel à des cellules de levure transgéniques, la fixation des perturbateurs endocriniens sur le



récepteur humain des œstrogènes est rendue visible par un changement de couleur du jaune au rouge. Ce test simple et bon marché est librement utilisable par tous sans brevet et déjà très répandu ; il est en cours de certification ISO. Pour être quantifiée, l'activité œstrogénique est exprimée en une concentration d'équivalents œstradiol (EEQ) qui correspond à la concentration de  $17\beta$ -œstradiol ayant le même effet que l'échantillon testé. En général, le test YES nécessite une pré-concentration des échantillons d'eau car leurs teneurs en composés œstrogéniques sont trop faibles pour être mesurées directement. Grâce à cette étape préalable, le test atteint une limite de détection de 0,09 ng EEQ/l et une limite de quantification d'environ 0,22 ng EEQ/l, ce qui permet de déterminer l'œstrogénicité dans les milieux les moins pollués. Sans pré-concentration, la limite de détection du test YES est en moyenne de 9,2 ng EEQ/l.

#### **L'inhibition de la photosynthèse mise en évidence par les algues**

La pollution des eaux par les inhibiteurs du PSII peut être déterminée à l'aide du test algues combiné avec l'algue verte unicellulaire *Pseudokirchneriella subcapitata*. Grâce à son utilisation sur des plaques de microtitration et à la faible durée d'exposition qu'il nécessite, ce test combiné est beaucoup plus rapide et beaucoup moins cher que les tests d'inhibition de la croissance algale certifiés par l'ISO et l'OCDE. Il permet d'évaluer les effets sur la photosynthèse en à peine deux heures et sur la croissance en seulement 24 heures. En détectant ces deux types d'effets, le test combiné met en évidence différents modes d'action, ce qui le rend particulièrement intéressant pour la veille environnementale. Une normalisation DIN/ISO du test algal miniaturisé est actuellement en préparation. Pour être quantifiée, l'inhibition de la photosynthèse est exprimée en une concentration d'équivalent diuron (DEQ). Le test algues combiné peut être utilisé aussi bien pour des échantillons bruts que pour des échantillons pré-concentrés. Après une étape d'extraction sur phase solide, il atteint une limite de détection de 1-2 ng DEQ/l et une limite moyenne de quantification de 3-6 ng DEQ/l. Sans pré-concentration, sa limite de quantification est en moyenne de 129 ng DEQ/l.

#### **Appréciation de la qualité de l'eau**

Lorsque des œstrogènes ou des inhibiteurs de la photosynthèse ont

été détectés dans un milieu, il convient d'interpréter les résultats en termes de qualité de l'eau. Pour ce faire, les concentrations d'équivalents sont comparées aux critères de qualité environnementale correspondants (CQE), c'est-à-dire aux concentrations à ne pas dépasser pour que l'environnement aquatique ne subisse pas de dommages. A partir du rapport entre la concentration environnementale et le CQE, la qualité de l'eau est évaluée selon un système de cinq classes allant de *très bonne à mauvaise*. Pour l'évaluation de la contamination œstrogénique, le critère de qualité environnementale pris comme référence est celui déterminé pour les expositions chroniques au  $17\beta$ -œstradiol (0,4 ng/l) ; pour les inhibiteurs de la photosynthèse, il s'agit du critère de qualité « chronique » déterminé pour le diuron (20 ng/l). Ce système d'évaluation permet une appréciation intégrée de la qualité des eaux et une identification des tronçons présentant des concentrations problématiques d'œstrogènes et d'inhibiteurs du PSII.

La méthode présentée est conçue pour l'appréciation de la qualité des milieux aquatiques contaminés par des eaux usées et constitue une première étape sur la voie d'une évaluation globale et intégrée de la qualité de l'eau. Les bioessais proposés sont censés compléter les analyses de composés individuels de la méthode d'appréciation classique pour appréhender de façon intégrée un plus large éventail de micropolluants organiques. Le Centre Ecotox soutient activement les travaux de normalisation et de certification ISO des tests proposés, nécessaires à la finalisation du système d'évaluation grossière de la pollution de l'eau. Il travaille également à la sélection d'autres essais biologiques pouvant être successivement intégrés au système d'évaluation pour en améliorer les performances.

Plus d'informations dans le rapport (en allemand) disponible sur : [www.centreecotox.ch/dokumentation/berichte](http://www.centreecotox.ch/dokumentation/berichte)

#### **Contact**

Cornelia Kienle, [cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch](mailto:cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch)

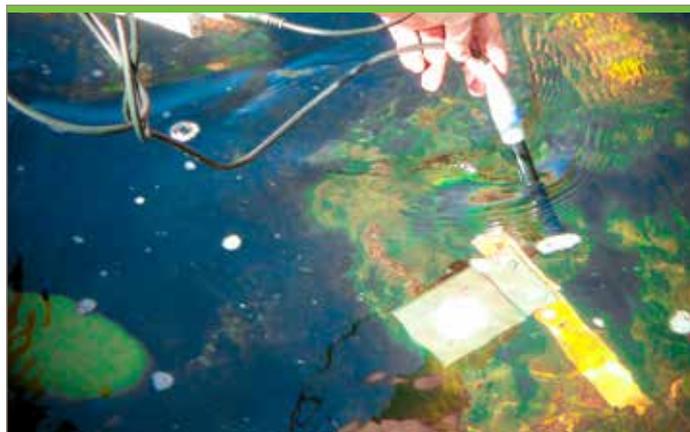
# Les brèves du Centre Ecotox

## Le Centre Ecotox coordonne les essais croisés pour la détection des œstrogènes

Il n'existe pas encore de bioessai certifié pour mettre en évidence les œstrogènes et pseudo-œstrogènes et seuls quelques laboratoires d'analyse sont en mesure de les doser aux concentrations à partir desquelles ils sont biologiquement actifs. En vue d'une harmonisation internationale des méthodes de détection, le Centre Ecotox et l'Istituto Superiore di Sanità (IT) ont été chargés par l'Union européenne de coordonner des essais croisés impliquant 20 laboratoires européens dans lesquels sept tests cellulaires faisant appel à des récepteurs sont comparés entre eux et évalués par le biais d'analyses chimiques. L'objectif est de proposer une méthode harmonisée pour le prélèvement et la préparation des échantillons, la détection des composés œstrogéniques et l'interprétation des données. Il sera alors possible d'effectuer un monitoring optimal du 17 $\alpha$ -éthynylestradiol, du 17 $\beta$ -œstradiol et de l'estrone, trois œstrogènes figurant sur la liste des substances prioritaires de l'UE et devant donc être surveillés dans les contrôles de routine.

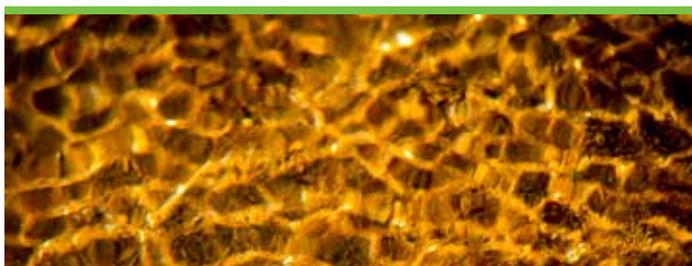
### Contact

Robert Kase [robert.kase@oekotoxzentrum.ch](mailto:robert.kase@oekotoxzentrum.ch)  
[www.centreecotox.ch/projekte/estromon/index\\_EN](http://www.centreecotox.ch/projekte/estromon/index_EN)



## Workshops sur l'échantillonnage passif pour la surveillance des eaux de surface

En adsorbant à leur surface les polluants contenus dans l'eau, les échantillonneurs passifs sont des instruments très intéressants pour la surveillance de la qualité des eaux. En janvier, le Centre Ecotox a organisé un workshop pour familiariser les professionnels avec ce type d'échantillonnage. Près de trente personnes issues des services et laboratoires cantonaux et nationaux de la protection des eaux ont profité de l'occasion. Suite au vif intérêt manifesté par les cantons de Suisse romande, le workshop sera à nouveau proposé à Lausanne, en français, le 24 septembre 2015. Intitulé « Echantillonnage passif pour la surveillance des eaux de surface », il sera organisé par le Centre Ecotox, l'Université de Lausanne et l'EPFL. Comme son équivalent germanophone, il s'adresse en premier lieu aux professionnels chargés de la surveillance de la qualité des eaux au niveau des autorités d'exécution. Plus d'informations sur [www.centreecotox.ch/weiterbildung/2015/index\\_FR](http://www.centreecotox.ch/weiterbildung/2015/index_FR)



## Cours sur l'évaluation du risque des matrices complexes

Les 4 et 5 novembre 2015, le Centre Ecotox organise un cours de formation continue sur l'évaluation du risque des matrices environnementales complexes telles que les effluents, le sol ou les sédiments. Il sera proposé en français à Lausanne et à Villeurbanne. Les matrices environnementales ont ceci de particulier que les interactions avec leurs composants sont susceptibles de moduler la disponibilité et par conséquent l'écotoxicité des polluants chimiques et donc d'influer sur le risque écotoxicologique.

[www.centreecotox.ch/weiterbildung/2015/index\\_FR](http://www.centreecotox.ch/weiterbildung/2015/index_FR)

## Lancement des inscriptions pour le colloque annuel de la SETAC GLB

Il est d'ores et déjà possible de s'inscrire au 20<sup>ème</sup> colloque annuel de la SETAC GLB qui se tiendra du 7 au 10 septembre prochains à Zurich. Cette année, la rencontre annuelle de la branche germanophone de la Society of Environmental Toxicology and Chemistry a pour thème : « Ecotoxicologie et chimie de l'environnement – de la théorie à la pratique ». Elle est organisée par le Centre Ecotox avec le soutien de l'Eawag, de l'Office fédéral de l'environnement, de l'Office fédéral de l'agriculture et du bureau exécutif de la SETAC GLB. Plus d'infos sur [www.setac-glb.de](http://www.setac-glb.de)



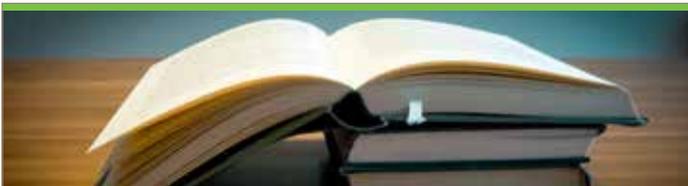
### De nouvelles recrues au Centre Ecotox

Nous sommes très heureux d'accueillir trois nouveaux talents au Centre Ecotox : Daniel Olbrich, Eszter Simon et Miriam Langer !

**Daniel Olbrich** est spécialiste de chimie analytique. Après des études à l'université allemande de Hohenheim couronnées par un diplôme de chimie alimentaire, il a tout d'abord été responsable chromatographie dans un laboratoire de chimie environnementale. Il a ensuite travaillé huit ans chez Sigma-Aldrich à Buchs dans le domaine contrôle qualité et BPF. « L'étude des perturbateurs endocriniens me tient particulièrement à cœur au regard de leurs effets sur les êtres vivants, explique-t-il. Je suis passionné par mon métier d'analyste et je me réjouis vraiment de travailler sur ce sujet d'actualité au Centre Ecotox. »

**Eszter Simon** travaille dans le domaine de l'écotoxicologie aquatique depuis mars 2015. Ingénieur environnement de formation, elle a effectué une thèse à l'Université libre d'Amsterdam sur l'analyse des perturbateurs endocriniens et des composés génotoxiques dans le biote et les capteurs passifs. Dans la suite de sa carrière, Eszter Simon a acquis une grande expérience des méthodes chimiques et biologiques de surveillance environnementale et d'évaluation des risques. « Il reste encore beaucoup de questions sans réponse sur les effets de la pollution des eaux, commente-t-elle. Le meilleur moyen d'y répondre est de les aborder par des approches multidisciplinaires alliant chimie, physique, biologie et toxicologie et recourant aux bioessais pour identifier les points sensibles. »

**Miriam Langer** travaille depuis avril 2015 dans le domaine de l'écotoxicologie aquatique au Centre Ecotox. « J'espère que mon travail contribuera à une meilleure compréhension de l'impact des polluants sur l'environnement, explique-t-elle. Car seul un phénomène bien compris peut être corrigé. » Miriam Langer a fait des études de biologie à Tübingen et à Uppsala. Au cours de sa thèse effectuée à l'université de Tübingen, elle a étudié l'impact des polluants sur les chironomes et les poissons tout en faisant des études post-grade d'écotoxicologie spécialisée. Elle a ensuite occupé le poste de directeur d'études en écotoxicologie aquatique dans un laboratoire d'analyses écotoxicologiques.



### Publications du Centre Ecotox

L'année dernière, le Centre Ecotox a organisé un workshop sur les bases scientifiques de la **réglementation des nanomatériaux**. Les résultats des réflexions ont été récemment publiés dans *CHIMIA*. Par ailleurs, le Centre est engagé depuis des années dans la recherche de méthodes harmonisées pour **l'évaluation de la qualité des sédiments** en Suisse. Un nouvel article vient de paraître dans *Aqua & Gas* sur l'évaluation du risque des sédiments; deux publications plus anciennes sont également disponibles sur le sujet: « Flück et al. (2012) Surveillance de la qualité des sédiments en Suisse: Etat actuel des méthodes disponibles et mise en place de recommandations » et « Flück et al. (2014) Retour sur l'article précédemment cité ». Enfin, l'article concernant **le screening des pesticides** dans les eaux de surface suisses est maintenant disponible en français: « Wittmer et al. (2014) Plus de 100 pesticides dans les cours d'eau ». Toutes les publications citées sont accessibles à partir de notre site.

[www.centreecotox.ch/dokumentation/publikationen](http://www.centreecotox.ch/dokumentation/publikationen)



2015

Année internationale  
des sols

### Activités du Centre Ecotox à l'occasion de l'Année internationale des sols

L'Assemblée générale des Nations-Unies a déclaré 2015 « Année internationale des sols » et attire ainsi l'attention pendant un an sur ce milieu de vie situé sous nos pieds. A cette occasion, le Centre Ecotox consacra une session du colloque annuel de la SETAC GLB à l'écotoxicologie du sol. Par ailleurs, deux séminaires seront proposés sur le sujet à l'EPFL: le 18 juin, Benjamin Pauget (Univ. De Franche-Comté, France) parlera des bioindicateurs utilisables pour déterminer la qualité des sols et le 6 octobre, Sebastian Höss (Ecossa, Allemagne) donnera une conférence sur le rôle des nématodes dans l'évaluation des sols. De plus amples informations seront prochainement disponibles sur notre site. Le prochain numéro de Centre Ecotox News sera par ailleurs consacré aux sols.

# 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.

## Les eaux de surface menacées par les insecticides dans le monde entier

Sur tous les continents, de nombreux cours d'eau présentent des concentrations d'insecticides supérieures aux seuils réglementaires. Une équipe de chercheurs a dépouillé 838 études portant sur la pollution des eaux de 2500 sites répartis sur 73 pays et constaté un dépassement des limites autorisées dans 52,4 % des cas. En réalité, le nombre de milieux concernés devrait être encore plus important étant donné l'irrégularité des rejets des insecticides dans les eaux de surface et la très forte proportion de cours d'eau n'ayant pas fait l'objet d'analyses (90 %). En Suisse aussi, certains insecticides sont régulièrement détectés à des concentrations largement supérieures aux seuils à partir desquels ils peuvent représenter une menace chronique pour la vie aquatique.

Stehle, S., Schulz, R. (2015) Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, doi: 10.1073/pnas.1500232112

Moschet, C., Wittmer, I., Stamm, C., Singer, H., Hollender, J. (2015) Insektizide und Fungizide in Fließgewässern. *Aqua & Gas* 5, 56-67

## Pollution des eaux : attention aux pesticides liés aux sédiments !

Dans une nouvelle étude, des chercheurs ont examiné la relation entre les utilisations de pesticides des 50 dernières années et la pollution actuelle des eaux de surface et souterraines par ces composés. Ils ont mesuré les concentrations de 32 pesticides dans l'eau et les sédiments de 14 cours d'eau danois et ont évalué la toxicité résultante pour les daphnies. Résultat : les insecticides du compartiment sédimentaire étaient la principale cause de l'écotoxicité estimée. Les chercheurs ont d'autre part constaté que les pesticides qui ne sont plus utilisés aujourd'hui mais qui se sont accumulés dans les sédiments au cours du temps contribuent parfois fortement à l'écotoxicité du milieu aquatique. Ils doivent donc impérativement être pris en compte dans les programmes de surveillance des eaux de surface.

McKnight, U.S., Rasmussen, J.J., Kronvang, B., Binning, P.J., Bjerg, P.L. (2015) Sources, occurrence and predicted aquatic impact of legacy and contemporary pesticides in streams. *Environmental Pollution* 200, 64-76

## Pesticides : une responsabilité dans la résistance croissante aux antibiotiques ?

Des chercheurs ont constaté que la réaction des bactéries aux antibiotiques – notamment à l'ampicilline, à la ciprofloxacine et à la tétracycline – était différente selon qu'elles étaient ou non exposées à trois herbicides très courants – le glyphosate, le 2,4-D et le dicamba. Aux concentrations appliquées, la survie des bactéries n'est pas atteinte par les herbicides mais elles mettent en action des

pompes dites à efflux pour expulser les toxines. Or ce mécanisme peut également favoriser leur résistance aux antibiotiques, ce qui peut poser un problème aussi bien aux populations humaines qui vivent en milieu agricole qu'aux abeilles, dont les ruches font souvent l'objet d'applications régulières d'antibiotiques.

Kurenbach, B. et al. (2015) Sublethal Exposure to Commercial Formulations of the Herbicides Dicamba, 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid, and Glyphosate Cause Changes in Antibiotic Susceptibility in *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *mBio* 6 (2), doi: 10.1128/mBio.00009-15

## Les néonicotinoïdes peuvent réduire les récoltes en empoisonnant les insectes utiles

Les staphylinins, ces coléoptères très utiles à l'agriculture, peuvent s'intoxiquer en ingérant des limaces ou escargots qui se sont auparavant nourris de végétaux traités aux néonicotinoïdes. Les gastéropodes eux-mêmes ne sont pas affectés par ces pesticides étant donné qu'il ne s'agit pas d'insectes mais de mollusques. En effectuant des études de terrain aux USA, les chercheurs ont découvert que les champs de soja dans lesquels les semences avaient été traitées aux néonicotinoïdes abritaient davantage de limaces et moins de staphylinins que les champs témoins. Le rendement des cultures était également de 5 % plus faible – probablement parce que la capacité des coléoptères à limiter la prolifération des gastéropodes se trouvait réduite.

Douglas, M.R., Rohr, J.R., Tocker, J.F. (2015) Neonicotinoid insecticide travel through a soil food chain, disrupting biological control of non-target pests and decreasing soya bean yield. *Journal of Applied Ecology* 52, 250-260.

## Accumulation de micro-plastiques dans les sédiments des fonds abyssaux

Ces dernières décennies, d'énormes quantités de plastique ont été entraînées dans les mers du monde. Or seule une petite partie est restée visible à leur surface. Les scientifiques pensent aujourd'hui avoir trouvé une explication à ce phénomène : une nouvelle étude montre en effet que les abysses agissent comme un véritable puits de déchets plastiques. L'analyse des sédiments collectés à 12 endroits dans les fonds abyssaux de l'Atlantique, de la Méditerranée et de l'océan Indien a révélé l'accumulation de quantités considérables de micro-plastiques dans ce compartiment. Ces débris peuvent être absorbés par de nombreux organismes marins, qui en sont très probablement affectés.

Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L.J., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A.D., Narayanaswamy B.E., Thompson, R.C. (2014) The deep sea is a major sink for microplastic debris. *Royal Society Open Science* 1: 140317 <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.140317>

### Impressum

Editeur : Centre Ecotox

Eawag/EPFL

Überlandstrasse 133

8600 Dübendorf

Suisse

Tél. +41 58 765 5562

Fax +41 58 765 5863

[www.oekotoxzentrum.ch](http://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](http://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, Andreas Meyer (karch ; photo de couverture, p. 3,4), Tobias Doppler (Eawag ; p. 6), Alain Herzog (EPFL ; p. 9)

Parution : deux fois par an

Maquette, graphisme et mise en page : visu'! AG, Zurich

Impression : Mattenbach AG, Winterthur, Imprimé sur : papier recyclé

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