

# centre ecotox news

21. édition novembre 2020

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



Stratégie d'évaluation  
de la qualité des sédiments  
en Suisse p. 3

Moins de rejets de produits  
phytosanitaires dans les  
eaux thurgoviennes p. 6

Utilisation des codes-barres  
génétiques pour l'évaluation  
de la qualité biologique des  
sédiments p. 8

Biomonitoring des produits  
phytosanitaires en Suisse p. 9

# L'ambition « pollution zéro »



Dr. Benoît Ferrari,  
directeur *ad interim* du Centre Ecotox

Quel est le point commun entre un magnifique paysage traversé par une rivière, une ville, un site industriel et une décharge ? La présence de substances chimiques pourrait être la réponse. Les substances chimiques représentent un élément essentiel de notre vie quotidienne. Elles sont partout dans notre société moderne et servent à beaucoup de choses. Nous les retrouvons dans de nombreux secteurs comme par exemple la santé, l'énergie, le logement et l'agro-alimentaire. Dès lors qu'elles sont utilisées, une partie (sans même parler des métabolites) peut se retrouver dans les différents compartiments de l'environnement comme l'air, le sol, l'eau et le sédiment, mais aussi dans notre corps et celui des organismes peuplant les écosystèmes. Cela n'est pas sans conséquences puisque la plupart des substances ont des propriétés dangereuses. La pollution engendrée par celles-ci, individuellement ou en cocktail, peut provoquer des maladies et aussi aboutir à long terme à un déclin de la biodiversité, un dérèglement du fonctionnement des écosystèmes et à une réduction des services qu'ils rendent.

Rappelons qu'il existe en Europe une législation sur les substances chimiques, couverte par REACH pour les autorisations de mise sur le marché et CLP pour l'étiquetage, qui normalement vise à garantir un niveau élevé de protection de la santé et de l'environnement. Pour les groupes de substances, tels que les biocides, les pesticides, les produits pharmaceutiques ou les cosmétiques, cette législation peut être même spécifique. Mais parlons chiffre ! A l'échelle de l'Europe, il a été reporté par Eurostat que sur environ 300 millions de tonnes de substances chimiques produites en 2018, plus des deux tiers de cette quantité correspondaient à des produits chimiques classés comme dangereux pour la santé et l'environnement. C'est tout simplement énorme et inquiétant ! Cela repose la question de comment faire pour améliorer cette situation pour garantir des écosystèmes sains et un cadre de vie sain dans un monde qui en veut toujours plus.

Parmi les réponses possibles, l'Union Européenne est en route pour adopter en 2021 un plan d'action qui s'intitule explicitement « Vers une ambition zéro pollution pour l'air, l'eau et les sols – construire une planète plus saine pour des personnes

en meilleure santé ». Ce plan d'action est un engagement clé du Green Deal, un vaste programme européen pour engager l'ensemble des acteurs de la société et de l'économie vers un modèle durable. Il reposera sur différentes actions phares, notamment l'application d'une stratégie sur les produits chimiques (tout juste adopté le 14 octobre 2020) pour « mieux protéger les citoyens et l'environnement et stimuler l'innovation pour des produits chimiques sûrs et durables » et d'un plan d'action « pour mieux prévenir la pollution, y remédier, la surveiller et en rendre compte ».

Le Centre Ecotox est toujours en première ligne pour aider aux développements de concepts d'évaluation du risque pour l'environnement et d'outils pour la surveillance des milieux. Dans ce numéro, par exemple, vous pourrez en savoir plus sur notre engagement à réduire l'utilisation des pesticides et à surveiller les sédiments.

Bonne lecture et surtout ne relâchez pas vos efforts pour rester en bonne santé face à la pandémie COVID qui n'en finit plus !

Photo de couverture: Andrea Schifferli et Sarah Bratschi vidant des cages de gammarets. Les gammarets sont introduits directement dans le cours d'eau, où leur comportement alimentaire et leur survie renseignent sur la qualité de l'eau.

Photo: Nicolas Furler, Centre Ecotox

# Stratégie d'évaluation de la qualité des sédiments en Suisse

**Après six ans de travail, la stratégie d'évaluation de la qualité des sédiments en Suisse est presque prête. Une méthode harmonisée de prélèvement et de préparation des échantillons a été élaborée, une liste de substances à surveiller dans le monitoring des sédiments a été établie, des critères de qualité spécifiques à ce compartiment ont été déterminés et un système d'évaluation a été développé.**

Les sédiments jouent un rôle décisif pour la qualité des eaux. L'un des objectifs de l'Ordonnance sur la protection des eaux est d'empêcher que les sédiments ne contiennent des polluants persistants et qu'ils n'accumulent des substances ayant un effet délétère sur les organismes. Mais jusqu'à présent, les cantons ne disposent d'aucune méthode harmonisée pour la surveillance de la qualité des sédiments. Pour pallier ce manque, le Centre Ecotox travaille depuis six ans à l'élaboration d'une telle stratégie sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement et en partenariat avec la Plateforme Qualité des eaux de l'Association des professionnels de la protection des eaux (VSA). Une enquête menée auprès des cantons avait montré qu'ils souhaitaient pouvoir s'appuyer sur un protocole unifié pour le prélèvement et la préparation des échantillons, se voir recommander une liste de polluants à surveiller régulièrement et disposer de valeurs de référence écotoxicologiques pour apprécier la qualité des sédiments. La stratégie d'évaluation a été élaborée dans le cadre du système modulaire gradué qui livre des méthodes standardisées d'analyse et d'appréciation de la qualité des cours d'eau en Suisse. La première phase du projet Sédiment est maintenant terminée ; un rapport d'expertise paraîtra prochainement.

## **Un protocole de terrain validé par des essais croisés avec les cantons**

La stratégie porte d'abord sur la programmation des campagnes de monitoring et sur le choix des sites de prélèvement. Elle recommande de prélever des sédiments sur au moins trois emplacements



Carmen Casado-Martinez prélève des échantillons de sédiment dans le Bainoz.

par site et de les mélanger pour former un échantillon composite. Les échantillons sont ensuite tamisés frais pour obtenir la fraction granulométrique des particules de moins de 2 mm. « Nous recommandons d'utiliser cette fraction pour l'évaluation du risque écotoxicologique », précise Carmen Casado-Martinez. La plupart des tests de toxicité sont en effet réalisés avec cette fraction, de sorte que les critères de qualité des sédiments dérivés de ces tests se réfèrent principalement à cette fraction. Par contre, si l'objectif est de suivre les concentrations de polluants dans le temps ou de comparer les concentrations entre différents sites, dans la plupart des cas, il est recommandé d'utiliser la fraction fine (< 63 µm) des sédiments, qui concentre la majorité de la contamination. Le Centre Ecotox a validé le protocole proposé pour l'échantillonnage dans deux études de terrain menées avec les Services de protection des eaux de huit cantons. Ces essais ont montré que la méthode était reproductible et, surtout, applicable en routine.

## **Sélection des polluants les plus pertinents pour les sédiments**

L'un des objectifs du projet était de recommander une liste de polluants pour la surveillance régulière des sédiments. Une première sélection a tout d'abord été effectuée sur les critères suivants, dont un au moins devait être rempli : 1) substances déjà détectées dans les sédiments en Suisse ou dans l'Union européenne, 2) substances pour lesquelles des critères de qualité (EQS<sub>Sed</sub>) ont été déterminés pour le sédiment dans d'autres pays, 3) substances dont l'hydrophobie et la persistance permettent de supposer la présence dans les sédiments. Les composés ainsi sélectionnés ont ensuite été répartis en cinq catégories d'action, déterminantes pour les recommandations futures, en fonction de la disponibilité des données et du facteur de risque (concentration mesurée/EQS<sub>Sed</sub>). Ils ont ensuite été priorisés en fonction de l'exposition, de la dangerosité et du risque.

Au total, 20 substances ou groupes de substances ont ainsi été sélectionnés et peuvent être recommandés pour la surveillance de la qualité des sédiments en Suisse (voir tableau). Cette sélection comprend d'une part des polluants classiques comme des polychlorobiphényles (PCB), des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et certains métaux lourds, et d'autre part des polluants plus émergents comme des produits phytosanitaires, des produits d'hygiène corporelle et des médicaments. La liste peut être modifiée en fonction de la nature du plan ou cours d'eau, des sources de polluants alentour et des objectifs de l'étude. Le Centre Ecotox a déterminé des EQS<sub>Sed</sub> pour tous ces composés à partir des données de toxicité disponibles ; les derniers sont en cours de développement. La méthode de détermination des EQS<sub>Sed</sub> est similaire à celle utilisée pour le milieu aquatique (voir encadré). En comparant les concentrations mesurées par analyse chimique avec les EQS<sub>Sed</sub> correspondants, la qualité du sédiment peut être appréciée selon un système à cinq classes.

Pour une partie des composés (PCB, HAP, phtalate de bis (2-éthylhexyle) (DEHP), cuivre, zinc, mercure, plomb), les concentrations en Suisse sont déjà connues et un risque potentiel pour les organismes aquatiques lié à ces substances a été identifié. Ces substances sont recommandées pour un monitoring régulier. Pour les autres, comme les produits phytosanitaires, les médicaments et les

produits d'hygiène, les données disponibles ne permettent qu'une évaluation provisoire du risque. « Dans leur cas, nous recommandons d'initier des campagnes de mesures afin de collecter davantage de données sur les concentrations environnementales », explique Carmen Casado-Martinez.

### Validation dans la campagne NAWA SPEZ 2018

La stratégie d'évaluation a été validée en 2018 dans le cadre de la campagne NAWA SPEZ de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface. « Nous avons étudié des échantillons de sédiments prélevés dans 18 petits cours d'eau répartis dans toute la Suisse et présentant différents niveaux de pollution », indique Carmen Casado-Martinez. Les concentrations des substances sélectionnées pour le monitoring (voir tableau) ont alors été mesurées dans le sédiment total (< 2 mm) et dans les sédiments fins (< 63 µm). La plupart des sédiments renfermaient des polluants classiques de ce compartiment comme des métaux, des PCB et des HAP. Dans certains cas, ils ont été détectés à des concentrations supérieures aux EQS<sub>Sed</sub> correspondants, ce qui signifie qu'un risque pour les organismes du sédiment ne peut être exclu. Trois des produits phytosanitaires de la liste, à savoir le chlorpyrifos, le



Le sédiment est d'abord tamisé pour obtenir la granulométrie souhaitée.

### Substances proposées pour le monitoring des sédiments

Substance	Type	Utilisations
Diuron	Herbicide	Vigne, fruitiers, biocide en zone urbaine
Chlorpyrifos	Insecticide	Fruitiers, vigne, betterave sucrière; utilisation limitée depuis 2019
Cyperméthrine	Insecticide	Fruitiers, vigne, betterave sucrière
Tébuconazole	Fongicide	Traitement du bois, céréales
Ciprofloxacine	Antibiotique	Médecine humaine et vétérinaire
E2, E1, EE2	Hormones	Hormones, contraception
Triclosane	Bactéricide	Désinfectants, produits d'hygiène utilisation limitée depuis 2015
PBDE (8 indicateurs)	Composés organobromés	Retardateurs de flamme
PFOS	Tensides perfluorés	Nombreux produits
DEHP	Phtalate	Plastifiants
Nonylphénol	Phénol	Tensioactif non ionique utilisé dans les détergents, les peintures, les pesticides, les produits d'hygiène et les plastiques
Octylphénol	Phénol	Produit intermédiaire de synthèse chimique
Tonalide	Muscs de synthèse	Parfums, cosmétiques et lessives
HCBD	Hydrocarbures aliphatiques chlorés	Solvant
HAP (16 indicateurs)	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Libérés par pyrolyse
PCB (7 indicateurs, PCB 118)	Polychloro-biphényles	Interdits
Cuivre	Métal	Matériaux, agriculture, industrie chimique
Zinc	Métal	Matériaux, agriculture, industrie chimique
Mercure	Métal	Utilisation limitée
Plomb	Métal	Piles, batteries, munitions

## Détermination des critères de qualité pour le sédiment

Les critères de qualité déterminés pour le sédiment (EQS<sub>Sed</sub>) ont pour fonction de protéger les organismes vivant dans ce compartiment des effets délétères des polluants. Comme les critères de qualité environnementale définis pour le milieu aquatique, ils sont déterminés par les spécialistes du Centre Ecotox selon la méthode utilisée dans l'Union européenne. Il convient tout d'abord de compiler les données de toxicité disponibles et d'en vérifier la pertinence et la fiabilité. La méthode de sélection des données utilisables pour la détermination des critères de qualité a cependant dû être adaptée à la spécificité des études sur les sédiments. Des facteurs tels que les propriétés physico-chimiques des sédiments considérés et le type d'organismes exposés ont été pris en compte. Seules les études portant sur des espèces vivant en contact étroit avec le sédiment pouvaient être admises. Alors que pour les eaux de surface, deux critères de qualité différents avaient été déterminés pour les expositions aiguës et les expositions chroniques, les critères de qualité du sédiment ne reposent que sur des expositions de longue durée des organismes aux polluants afin de protéger les organismes de la toxicité chronique. La méthode utilisée pour calculer un EQS<sub>Sed</sub> dépend de la quantité de données fiables et pertinentes disponibles. Trois options se présentent :

La méthode probabiliste de **distribution de la sensibilité des espèces (SSD)** part du principe que la sensibilité des différentes espèces d'un écosystème suit une distribution log-normale. Ainsi, si l'on dispose de données de toxicité pour un nombre suffisant d'espèces différentes, il est possible de déterminer sur la courbe

la concentration pour laquelle 5 % des espèces sont affectées, soit une proportion jugée acceptable. Pour tenir compte de l'incertitude restante, cette valeur est divisée par un facteur de sécurité généralement fixé à 5. Pour que cette méthode soit applicable, il faut disposer de données de toxicité pour au moins dix espèces appartenant à au moins huit groupes taxonomiques différents. Dans le cas des sédiments, ces conditions sont rarement réunies et la méthode ne peut généralement pas être utilisée.

La méthode basée sur l'application d'un **facteur d'extrapolation** ou facteur de sécurité est plus souvent utilisée car elle nécessite moins de données de toxicité. Il faut, dans l'idéal, disposer de données pour trois espèces. La concentration suivie d'effets la plus faible est alors divisée par un facteur de 10 à 100, selon la quantité de données disponibles. Si ces données ne portent que sur des effets à court terme, un facteur de 1000 est appliqué. La valeur obtenue doit ensuite être comparée à celle livrée par l'approche basée sur l'équilibre de partition.

Si aucune donnée de toxicité n'est disponible pour le sédiment, les données relatives à la toxicité dans l'eau peuvent être utilisées en se basant sur **l'équilibre de partition**. Cette approche part du principe que la toxicité d'une substance dans le sédiment est proportionnelle à sa concentration dans l'eau interstitielle. L'EQS<sub>Sed</sub> peut alors être calculé à partir du coefficient de partage sédiment-eau et du critère de qualité pour les eaux. En raison d'un fort niveau d'incertitude, les EQS<sub>Sed</sub> calculés avec la méthode de l'équilibre de partition et avec le facteur d'extrapolation de 1000 sont considérés comme provisoires et ne permettent donc pas d'appréciation définitive de la qualité du sédiment.

tébuconazole et le diuron, ont été surtout détectés sur les sites caractérisés par une agriculture intensive. Le risque dû à ces substances ne peut cependant être apprécié que de façon provisoire car les données relatives à leur toxicité pour les organismes du sédiment sont encore trop peu nombreuses (voir encadré).

Le DEHP et le PFOS (acide perfluorooctanesulfonique) ont été détectés sur tous les sites – même sur ceux choisis comme témoins en raison de leur éloignement des sources importantes de contamination. Le DEHP témoigne de la présence étendue des phtalates et le PFOS des alkyle perfluorés. « Nous n'avons pas identifié de risque pour les organismes du sédiment avec le DEHP pris isolément, révèle Carmen Casado-Martinez. Mais sur ces sites, plusieurs autres phtalates sont présents à des concentrations notables et ils peuvent, ensemble, constituer un risque par effet de mélange. » En ce qui concerne le PFOS, les données de toxicité disponibles sont encore insuffisantes pour permettre une appréciation définitive du risque. L'octylphénol, le nonylphénol et le tonalide ont été rarement détectés et lorsqu'ils l'ont été, cela a toujours été à des concentrations inférieures à l'EQS<sub>Sed</sub>.

## Et si les critères de qualité pour le sédiment sont dépassés ?

La stratégie d'évaluation tient compte du principe de précaution et est donc délibérément conservatrice. Selon le type de sédi-

ment, un même polluant peut toutefois présenter une biodisponibilité plus ou moins importante. Qui plus est, un dépassement des EQS<sub>Sed</sub> n'implique pas nécessairement une modification de la structure des communautés benthiques ou une toxicité directe des polluants concernés. De ce fait, l'évaluation du risque à partir des EQS<sub>Sed</sub> doit toujours être accompagnée d'informations précisant le contexte comme les concentrations naturelles de fond, les résultats de biotests ou d'autres évaluations de la qualité du milieu. Selon le but recherché, un niveau de complexité des analyses plus ou moins élevé peut être requis pour l'appréciation de la qualité du sédiment. Si l'on cherche simplement à se faire une idée de la qualité des sédiments dans un canton ou une région, une étude assez simple suffit (mesure des contaminants dans les sédiments). Si l'objectif est en revanche de définir des priorités pour la gestion environnementale d'un site (identification et contrôle de sources de pollution, décontamination, etc.), une caractérisation approfondie de la qualité des sédiments est nécessaire. Dans une deuxième phase du projet, le Centre Ecotox travaillera donc à la définition de méthodes, comme des biotests et une analyse de la composition de communautés benthiques in situ, pouvant être recommandées pour compléter cette approche.

Le rapport qui paraîtra dans quelques mois livrera de plus amples détails.  
Contact : Carmen Casado-Martinez, [carmen.casado@centrecotox.ch](mailto:carmen.casado@centrecotox.ch)

# Moins de rejets de produits phytosanitaires dans les eaux thurgoviennes

**En Thurgovie, les autorités et de nombreux agriculteurs travaillent ensemble à une réduction des rejets de produits phytosanitaires dans le milieu aquatique. Les biotests réalisés avec des échantillons d'eau et de sédiment montrent que l'état écotoxicologique des cours d'eau est encore fortement altéré.**

En Suisse, les petits ruisseaux contiennent encore des quantités trop élevées de produits phytosanitaires (PPH). C'est ce qu'a montré, l'an passé, l'Observation nationale de la qualité des eaux superficielles (NAWA). Dans le canton de Thurgovie, l'Eschelischbach et la Salsmäscher Aach étaient particulièrement pollués. Ces deux ruisseaux présentaient des concentrations de PPH très supérieures au seuil de 0,1 µg/l fixé par l'Ordonnance sur la protection des eaux et dépassant également les valeurs critiques pour les petits organismes aquatiques. Ces résultats montrent que les PPH continuent de se déverser dans les cours d'eau malgré l'usage raisonné et prudent qu'en font les agriculteurs.

## Un projet ambitieux réunissant tous les intéressés

Pour réduire ces apports de PPH, de nombreux organismes et groupes d'intérêts du canton de Thurgovie se sont réunis au sein d'un grand projet Ressources, le projet AquaSan: le Centre de conseil et de formation d'Arenenberg, l'Office thurgovien de l'environnement, l'Office de l'agriculture, l'union des paysans thurgoviens, la fédération des arboriculteurs thurgoviens, la fédération des maraîchers des cantons de Thurgovie et de Schaffhouse, l'union des cultivateurs de petits fruits de Thurgovie, Agroscope et Agridea. On ignore encore quelles voies de rejet jouent le plus grand rôle pour la pollution des eaux mais on suppose que les rejets ponctuels émanant des sites de rinçage et de remplissage des pulvérisateurs et l'entraînement diffus par drainage, par le vent et par ruissellement sont fortement impliqués. Les partenaires du projet se sont donné huit ans pour évaluer la responsabilité respective des voies de rejet puis pour mettre en œuvre des mesures afin de réduire les risques et la pollution dus aux PPH dans les cours d'eau et d'optimiser leur utilisation.

Pour suivre l'évolution du risque dû aux PPH, il convient tout d'abord d'évaluer son état actuel. Pour ce faire, le Centre Ecotox étudie la situation écotoxicologique de la Salsmäscher Aach et de l'Eschelischbach depuis 2019 sur mandat des autorités cantonales thurgoviennes. « Nous examinons l'état actuel des deux cours d'eau pendant la période de végétation, c'est-à-dire d'avril à novembre, indique Cornelia Kienle, du Centre Ecotox. Cela nous permettra d'évaluer l'effet des différentes mesures sur la situation écotoxicologique. »

## L'état des eaux mesuré avec des algues et des microcrustacés

Pour évaluer les effets des PPH sur les organismes aquatiques, les scientifiques utilisent des biotests. Des échantillons composites de 14 jours sont prélevés dans les cours d'eau puis étudiés avec le test combiné sur algues vertes unicellulaires, qui mesure l'impact sur la photosynthèse et la croissance algale. Ce test permet d'évaluer la pollution du milieu aquatique par les composés toxiques pour les algues. En parallèle, les écotoxicologues ont étudié des échantil-

lons d'eau et de sédiment avec le test de mortalité et de croissance des ostracodes avec le laboratoire partenaire Soluval Santiago. Ce test indique si la croissance et la survie des petits crustacés sont altérées par l'exposition aux échantillons.

« Les résultats du test combiné sur algues vertes sont exprimés sous la forme de concentrations d'équivalents-diuron, explique Cornelia Kienle. Ils indiquent la concentration de diuron, un herbicide de référence, qui serait nécessaire pour obtenir le même effet que le mélange inconnu testé dans l'échantillon d'eau. » La concentration d'équivalent mesurée est ensuite comparée à la valeur seuil calculée pour le diuron sur la base des données de toxicité de nombreuses substances, ce qui permet de savoir si l'effet est acceptable ou inacceptable. « Si les concentrations sont supérieures à la valeur seuil, il ne peut être exclu que le milieu représente un danger pour les organismes aquatiques », explique Cornelia Kienle.



L'experte en protection des eaux du canton de Thurgovie, Margie Koster, lors d'un prélèvement d'échantillons dans l'Eschelischbach.

### Inhibition de la croissance algale

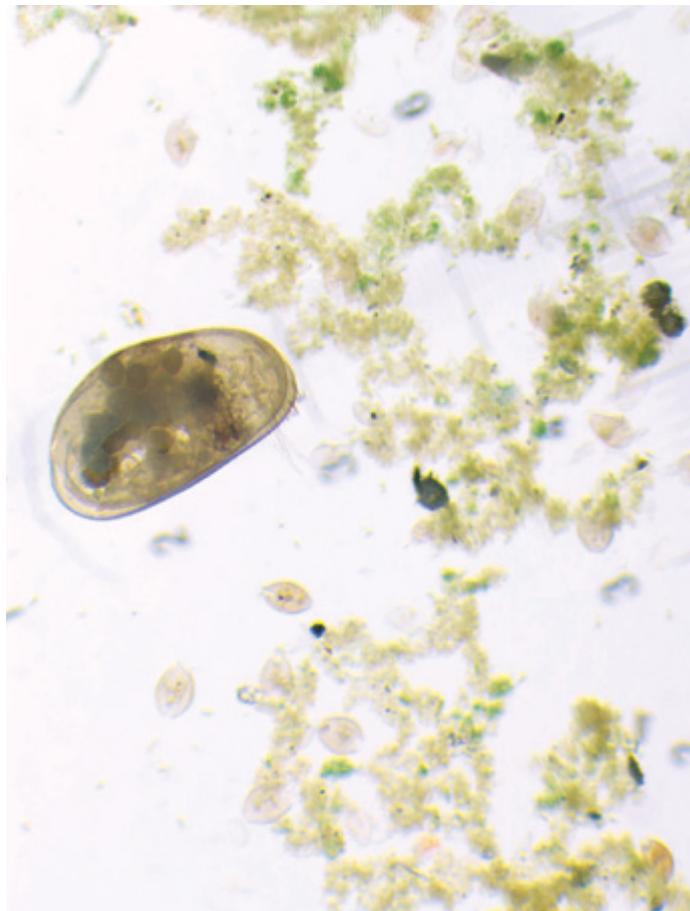
En considérant l'inhibition de la photosynthèse, les scientifiques ont observé en 2019 des concentrations pouvant atteindre 29ng/l d'équivalents-diuron dans l'Eschelisbach et 57 ng/l dans la Salmsacher Aach. La valeur seuil du diuron pour l'inhibition de la photosynthèse est de 70 ng/l et n'a donc jamais été dépassée pendant la période considérée. La situation était différente en ce qui concerne la croissance algale : la valeur seuil de 130 ng/l a été dépassée dans tous les échantillons. En effet des concentrations de 285 ng/l d'équivalents-diuron ont été mesurées dans l'Eschelisbach et elles ont même atteint 844 ng/l dans la Salmsacher Aach. Des effets sont donc vraisemblables dans ces cours d'eau. Visiblement, les ruisseaux étudiés renfermaient davantage de substances susceptibles d'inhiber la croissance des algues que de composés perturbant la photosynthèse. Mais il faut également considérer cette valeur seuil relative à la croissance avec une certaine prudence. « Cette valeur a été déterminée uniquement à partir de données obtenues avec des composés inhibant également la photosynthèse, c'est-à-dire sans tenir compte des composés inhibant seulement la croissance sans affecter la photosynthèse », explique Cornelia Kienle. Alors que les inhibiteurs de la photosynthèse sont principalement des herbicides, la croissance algale peut être influencée par d'autres types de polluants comme le triclosan, divers composés pharmaceutiques et certains métaux. « Nous travaillons actuellement à une redéfinition de cette valeur seuil. Si la nouvelle valeur s'avère plus élevée que celle utilisée actuellement, il pourrait y avoir moins de dépassements. » Au total, 13 PPH inhibiteurs de la photosynthèse ont été quantifiés dans les analyses chimiques du canton de Thurgovie. En comparant ces données d'analyse avec les résultats des biotests, il apparaît que ces PPH ne peuvent être responsables que d'une partie des effets observés.

### Forte mortalité des ostracodes dans les sédiments

L'essai mené avec les ostracodes a montré que tous les échantillons de sédiment prélevés dans l'Eschelisbach faisaient augmenter la mortalité de ces microcrustacés. La valeur seuil à partir de laquelle des effets sévères apparaissent – c'est-à-dire 30 % de mortalité en plus que chez les organismes témoins – a été dépassée dans la totalité des échantillons de sédiment et dans un échantillon d'eau. Une mortalité de plus de 90 % a même été observée pour un des échantillons de sédiment. Ces résultats indiquent que la qualité des sédiments de l'Eschelisbach est nettement altérée et confirment les observations de la campagne 2017. À la Salmsacher Aach, la valeur seuil n'a été dépassée que dans un échantillon de sédiment sur les quatre prélevés. Les effets sur la croissance des ostracodes étaient plus faibles. Aucun des échantillons d'eau n'a provoqué d'inhibition de croissance supérieure à 35 %, soit la valeur seuil de toxicité fixée. Les échantillons de sédiment ont provoqué des effets légèrement plus prononcés : des dépassements de la valeur seuil et donc une inhibition de la croissance des crustacés ont été observés pour deux des quatre échantillons de l'Eschelisbach et pour un des quatre de la Salmsacher Aach.

### Un moyen d'apprécier directement l'efficacité des mesures prises

Le projet AquaSan se trouve encore dans sa phase pilote jusqu'à fin 2020. Des études sont menées en ce moment dans une série d'exploitations agricoles pour évaluer la façon dont les PPH parviennent dans les cours d'eau. Pour ce faire, le fonctionnement de



Les ostracodes ont été utilisés pour déterminer la qualité de l'eau et des sédiments.

l'exploitation est examiné et des analyses chimiques effectuées au niveau de la ferme et dans les champs. Ensuite, une discussion est menée avec les agriculteurs pour définir des mesures réalisables afin de réduire les rejets de PPH dans le milieu aquatique. Il peut s'agir de mesures permettant de réduire les quantités appliquées, comme par exemple un suivi des nuisibles assisté par ordinateur ou l'aménagement de bandes fleuries composées de plantes favorisant les organismes utiles et détournant les nuisibles des cultures. Une amélioration du travail du sol peut également être envisagée pour éliminer mécaniquement les plantes adventices. Enfin, des mesures peuvent être prises au niveau des sites de rinçage et de remplissage et la précision des applications peut être augmentée pour réduire les rejets.

Pendant les quatre prochaines années, de 2021 à 2024, les effets des mesures mises en œuvre seront évalués en mesurant la pollution dans l'Eschelisbach et la Salmsacher Aach. Au total, 90 exploitations agricoles participeront au projet. « Nous sommes très heureux de cette collaboration et nous espérons que ce projet contribuera substantiellement à améliorer l'état de santé de nos cours d'eau », commente Margie Koster, spécialiste de la protection des eaux à l'Office de l'environnement du canton de Thurgovie.

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

# Utilisation des codes-barres génétiques pour l'évaluation de la qualité biologique des sédiments

**La qualité des sédiments des lacs et cours d'eau peut être évaluée en étudiant la composition des communautés d'oligochètes présents in situ. Le recours au séquençage à haut débit permet une détermination fiable des oligochètes et rend la méthode de bioindication accessible.**

Les sédiments constituent un compartiment important des écosystèmes aquatiques. Ils représentent l'habitat d'une grande variété d'organismes se trouvant à la base de la chaîne alimentaire et ont la propriété de stocker de nombreux polluants. Ceux-ci peuvent être remobilisés et rejoindre la colonne d'eau. La qualité des sédiments est donc régulièrement suivie dans plusieurs cantons. Cette surveillance s'effectue en général par le biais d'analyses chimiques mais il est important de les compléter avec des analyses biologiques, seules à même d'apporter des informations sur la biodisponibilité et la toxicité des polluants contenus dans les sédiments. Les vers oligochètes ont été décrits comme de bons bioindicateurs. Des indices Oligochètes ont été développés pour apprécier la qualité biologique des sédiments des cours d'eau et des lacs. Ces indices sont calculés à partir de la présence/absence des taxons d'oligochètes et de l'abondance des individus de chaque taxon.

## **Des codes-barres génétiques pour les oligochètes de Suisse**

La détermination des oligochètes à l'espèce à l'aide d'un microscope requiert une expertise et n'est possible que pour une fraction des spécimens présents dans un échantillon. L'identification d'un organisme à l'aide d'outils moléculaires consiste à extraire de l'ADN de l'organisme et à séquencer une courte séquence d'ADN, appelée code-barre génétique, qui est similaire ou très proche entre les individus d'une même espèce. La séquence d'ADN obtenue est ensuite comparée aux séquences d'une base de données de référence, ce qui permet de connaître l'espèce à laquelle l'organisme appartient. Le Centre Ecotox établit actuellement une base de données de référence de codes-barres génétiques des espèces d'oligochètes aquatiques présentes en Suisse.

## **Séquençage à haut débit d'individus marqués**

Les approches de metabarcoding consistant à séquencer tous les organismes présents dans un échantillon environnemental ou dans un mélange de spécimens ne fournissent pas d'informations fiables sur l'abondance des individus de chaque espèce présente dans un échantillon. Par conséquent, le Centre Ecotox a développé une approche basée sur le séquençage à haut débit d'échantillons d'oligochètes préalablement marqués génétiquement lors d'amplifications d'ADN. Comme l'explique Régis Vivien, responsable du projet: « Cette méthode permet de connaître de manière précise et fiable le pourcentage de chaque espèce présente dans un échantillon. Mais elle n'est applicable en routine que si le nombre de spécimens à analyser par site n'est pas trop élevé, de l'ordre de 50 tout au plus. » À titre de comparaison, la méthode morphologique requiert l'identification de 100 individus par site. Pour tester l'applicabilité de la méthode génétique et la fiabilité des résultats obtenus, Régis Vivien et son équipe ont appliqué en parallèle les approches moléculaire et morphologique sur 13 sites de cours d'eau et 7 sites du lac Léman.

## **L'identification moléculaire de seulement 33 individus par site est suffisante**

Les biologistes ont déterminé, par site, 33 ou 66 individus génétiquement et 100 mor-

phologiquement et calculé les indices Oligochètes. Les résultats ont montré une bonne concordance entre les deux approches. Il s'est également avéré que l'analyse génétique de 33 individus par site fournissait déjà suffisamment d'informations pour apprécier la qualité biologique des sédiments. Malgré un nombre d'individus analysés nettement inférieur, l'approche moléculaire a permis d'identifier globalement autant de taxons que l'approche morphologique. Ceci s'explique par le fait que l'analyse génétique permet de déterminer à l'espèce les individus difficilement ou non identifiables morphologiquement. Le séquençage à haut débit d'un petit nombre d'individus marqués est donc une méthode adéquate pour déterminer la diversité des oligochètes et le nombre d'individus par espèce et, par conséquent, pour évaluer la qualité biologique des sédiments. Régis Vivien s'en réjouit: « Une nouvelle approche très prometteuse pour les analyses de routine à venir ! »

**Pour en savoir plus:** Vivien, R., Apothéloz-Perret-Gentil, L., Pawlowski, J., Werner, I., Lafont, M. & Ferrari, B.J.D. (2020) High-throughput DNA barcoding of oligochaetes for abundance-based indices to assess the biological quality of sediments in streams and lakes. *Scientific Reports* 10, 2041. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58703-2>  
Contacts: Régis Vivien, [regis.vivien@centreecotox.ch](mailto:regis.vivien@centreecotox.ch); Benoît Ferrari, [benoit.ferrari@centreecotox.ch](mailto:benoit.ferrari@centreecotox.ch)



La diversité spécifique des oligochètes et le nombre d'individus de chaque espèce peuvent être déterminés génétiquement et fournir des informations sur la qualité des sédiments.

# Biomonitoring des produits phytosanitaires en Suisse



L'application de produits phytopharmaceutiques laisse des résidus dans le sol.

**Dans le cadre du plan d'action visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires, un système de surveillance est actuellement élaboré pour le suivi des résidus dans les sols agricoles de Suisse. Les principaux éléments en sont la détermination de valeurs guides écotoxicologiques pour les sols et le choix de bioindicateurs adaptés.**

En septembre 2017, le Conseil fédéral a adopté un plan d'action visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires (PPh). Ses objectifs sont de réduire de moitié les risques dus aux PPh dans les dix ans à venir et de proposer des alternatives à la protection chimique des cultures et des végétaux. Pour que ces buts soient atteints, de nombreuses mesures ont été décidées. L'une d'elles est de mettre en place un programme de surveillance des résidus de PPh dans les sols agricoles d'ici 2027.

## **Un travail de pionnier pour déterminer des valeurs guides pour les sols**

Dans le cadre de cette mesure, l'Observatoire national des sols (NABO) a élaboré une stratégie de monitoring chimique des résidus de PPh dans les sols pendant que le Centre Ecotox travaillait avec EnviBioSoil à un système de surveillance biologique

de longue durée. « Nous voulons quantifier les effets des résidus de PPh sur la qualité du sol », explique Janine Wong, du Centre Ecotox. La stratégie de biosurveillance élaborée prévoit tout d'abord la détermination de valeurs guides écotoxicologiques pour les sols. Il s'agit de seuils de concentrations basés sur les résultats d'études écotoxicologiques menées avec divers organismes édaphiques qui, comme les critères de qualité employés pour le milieu aquatique, peuvent être utilisés pour identifier un risque potentiel pour la faune du sol. Ensuite, divers bioindicateurs doivent être proposés pour étudier les effets des résidus de PPh sur les organismes édaphiques dans les sols agricoles de Suisse.

Dans la première phase du projet, dix substances représentatives sont tout d'abord sélectionnées pour la détermination des valeurs guides en concertation avec les responsables du projet à l'Office fédéral de l'environnement et à l'Office fédéral de l'agriculture. Mais alors que la méthode de détermination des valeurs limites écotoxicologiques est bien établie pour le milieu aquatique, les scientifiques doivent encore défricher le terrain dans le domaine du sol. « Le compartiment édaphique est beaucoup plus complexe : il existe de très nombreux types de sols et les produits phytosanitaires ne sont pas uniquement présents dans l'eau interstitielle mais peuvent également

être adsorbés sur les particules du sol. Cela influe sur leur biodisponibilité et sur leur toxicité pour la pédofaune », explique Janine Wong. Les objectifs de protection doivent également être mieux définis pour les sols. Mais il est déjà clair que, comme pour l'appréciation de la qualité des eaux, les scientifiques s'appuieront sur les études déjà publiées sur la toxicité des PPh pour les organismes. Malheureusement, la littérature scientifique est, à ce niveau, bien moins abondante pour les sols que pour les milieux aquatiques.

## **Quels sont les bioindicateurs les mieux adaptés ?**

Le Centre Ecotox va également sélectionner une série de bioindicateurs pouvant être suffisamment sensibles pour les résidus de PPh. Il convient, dans un premier temps, de mener une recherche bibliographique. Ce travail est actuellement en cours. Investiguer les effets sur les lombrics et les microorganismes paraît particulièrement prometteur.

Dans la deuxième phase du projet, il est prévu de tester les bioindicateurs présélectionnés sur le terrain et au laboratoire. Dans les sols agricoles, les organismes biologiques ne sont toutefois pas uniquement exposés aux résidus de manière individuelle mais le plus souvent sous la forme de mélanges complexes de produits phytosanitaires. La méthode à développer doit donc également permettre l'évaluation des mélanges de substances.

Dans une troisième phase, les données du biomonitoring seront finalement combinées à celles de l'évaluation chimique des risques. « D'un côté, nous allons comparer les données du monitoring chimique du NABO, c'est-à-dire les concentrations de produits phytosanitaires mesurées sur le terrain, avec les valeurs guides écotoxicologiques établies pour les sols. D'un autre côté, nous voulons étudier directement les effets des produits phytosanitaires sur les organismes bioindicateurs sur les sites de surveillance du NABO », explique Janine Wong. Cette double approche permettra de mieux quantifier les risques dus aux PPh pour la qualité des sols.

Contact :

Janine Wong, [janine.wong@centreecotox.ch](mailto:janine.wong@centreecotox.ch)



## Deux nouveaux visages au Centre Ecotox

**Alena Tierbach** a rejoint l'équipe Évaluation des risques en mai 2020. Elle a fait des études de biologie à l'université de Bonn et obtenu un master en toxicologie de l'environnement à l'université de Duisbourg-Essen. Alena avait déjà travaillé avec l'Eawag dans le cadre de son master sur la toxicité des nanomatériaux à base d'argent pour les algues. Elle a ensuite effectué une thèse à l'EPFL au cours de laquelle elle a à nouveau utilisé les laboratoires de l'Eawag pour étudier l'importance des glutathion transférases pour le potentiel de biotransformation des embryons de poisson-zèbre.

**Carolin Riegraf** travaille depuis juillet 2020 au Centre Ecotox en tant que collaboratrice scientifique chargée des biotests aquatiques. Carolin n'est pas non plus arrivée en terre inconnue. Elle avait déjà effectué un stage en 2016 au Centre Ecotox où elle avait activement participé à l'évaluation du risque lié aux produits pharmaceutiques. Avant cela, elle avait fait des études de sciences de l'environnement à l'université de Tübingen et obtenu un master dans ce domaine à Wageningen (Pays-Bas). Dans sa thèse, qu'elle est en train d'achever, Carolin a travaillé à la l'Institut fédéral d'hydrologie (BfG) de Coblence (Allemagne) sur l'utilisation de la chromatographie sur couche mince couplée à des biotests spécifiques pour la détection des micropolluants.



## Surveillance des produits phytosanitaires dans les biotopes d'importance nationale

L'un des objectifs du plan d'action de la Confédération visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires (PPh) est la protection des organismes non-cibles et des biotopes de l'influence néfaste des PPh. Ces dernières années, beaucoup de données ont été collectées sur la pollution des cours d'eau dans les régions agricoles. En revanche, la situation des biotopes d'importance nationale (étangs, zones humides, prairies et pâturages secs, etc.) vis-à-vis de ces polluants est encore largement méconnue. Or il est fort probable que ces écosystèmes particulièrement dignes de protection subissent également des apports de PPh, que ce soit par le lessivage de champs avoisinants ou l'inondation par les rivières, pour les étangs et zones humides, ou via la dispersion par le vent ou par les pluies pour les prairies et pâturages secs et les hauts-marais.

Le Centre Ecotox a donc été chargé par l'Office fédéral de l'environnement de coordonner un projet visant à établir des méthodes d'échantillonnage et d'analyse adéquates. Elles doivent ensuite permettre d'évaluer le degré de pollution des biotopes d'importance nationale par les PPh et d'identifier l'origine de ces polluants. Les trois compartiments que sont l'eau, l'air et le sol doivent être considérés. Les données collectées constitueront une base de travail pour la surveillance future des biotopes d'importance nationale et pour l'appréciation de la gravité de la pollution.

Contact:

Etienne Vermeirssen, [etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch](mailto:etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch)



### Service civil consacré aux gammares

**Nicolas Furler** a travaillé au Centre Ecotox de juin à novembre 2020 dans le cadre de son service civil. « Pour moi, ça a été une véritable aubaine », raconte Nicolas, qui a fait des études de géographie à l'université de Bâle. Après avoir travaillé sur les effets des stations d'épuration sur les gammares dans le cadre de son bachelor et de son master, il avait déjà de bonnes connaissances d'écotoxicologie en arrivant au Centre Ecotox. « J'ai pu compléter ma formation en me familiarisant avec l'utilisation des biotests sur le terrain. »

Nicolas a mené des essais sur différents sites du canton de Schaffhouse pour étudier l'influence des produits phytosanitaires ou des effluents d'épuration sur la prise de nourriture chez les gammares. Il procède actuellement à l'interprétation de ses données en les comparant avec les analyses chimiques réalisées par les autorités cantonales.

### Effets écotoxicologiques des polyacrylamides et des polyacrylates dans le domaine agricole

Jusqu'à présent, aucun produit d'amélioration du sol contenant des polymères d'acrylamides ou d'acrylates n'est autorisé en Suisse. Mais les polyacrylamides et polyacrylates réticulés sont capables d'absorber de grandes quantités d'eau et peuvent donc augmenter la capacité de rétention en eau du sol. Associés à des fertilisants, ces polymères permettent une libération progressive des nutriments dans le milieu. De leur côté, les polymères linéaires sont utilisés en tant que flocculants et sont donc présents à l'état de résidus de fabrication dans certains engrais. Mais, attendu que la plupart des seuils réglementaires ne s'appliquent pas aux polymères, leurs effets écotoxicologiques sont peu connus.

Les polyacrylamides et les polyacrylates s'adsorbent fortement sur les particules solides et leur biodégradation dans les sols est donc très lente. Ces polymères pourraient ainsi présenter un risque particulier pour les organismes du sol et du sédiment. Or, pour pouvoir apprécier leur dangerosité, il est nécessaire de disposer de davantage de données issues de biotests. Il est également important de mieux caractériser la dégradation de ces polymères par des études de terrain afin de s'assurer que leurs produits de dégradation ne soient pas toxiques. Le Centre Ecotox a maintenant publié un rapport qui fait le point des connaissances actuelles sur ces composés.

Rapport: Ecotoxicological effects of polyacrylate, acrylic acid, polyacrylamide and acrylamide on soil and water organisms, [www.centreecotox.ch/news-publications/rapports/](http://www.centreecotox.ch/news-publications/rapports/)

### Formation continue au Centre Ecotox

Les 26 et 27 janvier 2021, le Centre Ecotox proposera un cours sur **Les microplastiques dans l'environnement**. Il sera dispensé en allemand de manière hybride, c'est-à-dire qu'il pourra être suivi, au choix, en présentiel ou en ligne. Ce cours propose un tour d'horizon sur l'état de la pollution, sur les méthodes de détection et sur les effets des microplastiques. Il insistera tout particulièrement sur les concentrations mesurées en Suisse dans l'environnement et les risques potentiels pour l'homme et la nature.

En raison de la pandémie de Covid-19, le cours de formation continue **Utilisation des biomarqueurs pour la mesure de l'influence des polluants sur les organismes aquatiques** est reporté à l'année prochaine. Il sera dispensé avec le même programme le **29 octobre 2021** à Dübendorf, à la suite du cours PEAK de l'Eawag sur les alternatives à l'expérimentation animale en écotoxicologie aquatique (II) sur lequel il s'enchaînera. Il sera également proposé en allemand de manière hybride. Ce cours sera enregistré pour être reconnu comme un événement de formation continue pour les professionnels de l'expérimentation animale.

Les 15 et 16 novembre 2021, le Centre Ecotox proposera à nouveau son cours **d'Introduction à l'écotoxicologie**. Cette fois-ci, il sera dispensé en français à Lausanne. Il traitera des effets des polluants sur les écosystèmes aquatiques et terrestres et présentera les outils qui permettent de les mesurer (biotests, biomarqueurs, indicateurs biologiques). Le cours abordera également l'origine et le devenir des polluants dans l'environnement, l'évaluation du risque et les aspects réglementaires. Dans une partie pratique, les participants pourront se familiariser avec le travail dans un laboratoire d'écotoxicologie en touchant de près les divers tests et les organismes utilisés pour l'évaluation du sédiment et des sols.

[www.centreecotox.ch/prestations-expert/formation-continue/](http://www.centreecotox.ch/prestations-expert/formation-continue/)



### Fiche info sur les PFAS dans l'environnement

Les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) forment un groupe de plus de 4700 composés utilisés dans de nombreux procédés industriels et produits de consommation courante tels que les revêtements anti adhésifs et les mousses ignifuges. Très stables dans l'environnement, les PFAS sont déjà détectables presque partout dans l'eau, l'air, le sol et les êtres vivants, ce qui est très inquiétant car elles sont souvent toxiques et peuvent s'accumuler dans les animaux sauvages et les êtres humains. Dans une nouvelle fiche info, le Centre Ecotox informe sur les voies de rejet et la présence des PFAS dans l'environnement ainsi que sur leur toxicité et leur réglementation.

[www.centreecotox.ch/news-publications/fiches-info](http://www.centreecotox.ch/news-publications/fiches-info)

# 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.**

## La pollution de l'air néfaste aux abeilles

Une nouvelle étude indienne montre que la pollution de l'air ne nuit pas seulement à la population humaine mais aussi aux abeilles. Les scientifiques ont collecté 1800 abeilles géantes pendant quatre ans sur des sites présentant différents degrés de pollution et les ont étudiées au laboratoire. Il est apparu que le dépôt de poussières fines sur les insectes entraînait une mortalité accrue, une baisse de fréquentation des fleurs et une perturbation des fonctions cardiaques et immunitaires. Plusieurs biomarqueurs, indicateurs de stress ou de problèmes immunologiques, présentaient également une réponse positive chez ces abeilles. Des effets semblables ont été observés au niveau moléculaire et physiologique chez des drosophiles élevées en laboratoire puis exposées à la pollution sur les mêmes sites. Les abeilles géantes ont une grande importance pour les écosystèmes et la production alimentaire du sous-continent indien.

Thimmegowda, G.G. et al. (2020) A field-based quantitative analysis of sublethal effects of air pollution on pollinators, *PNAS* 117, 20653-20661, <https://doi.org/10.1073/pnas.2009074117>

## Cartographie du stress chez les organismes des lacs et cours d'eau d'Europe

Les écosystèmes aquatiques sont généralement exposés à une combinaison de plusieurs stress qui portent atteinte aux organismes biologiques. Dans une nouvelle étude, l'action conjuguée de ces facteurs a été évaluée dans de nombreux bassins fluviaux et lacs d'Europe. Il s'est avéré que, dans les lacs, le stress dominant était l'accumulation de matières nutritives. Dans les cours d'eau, ce stress nutritif était également dominant pour les algues et les plantes aquatiques mais pas pour la faune qui était plus fortement influencée par la disponibilité en oxygène. Ces effets étaient encore renforcés par la présence d'autres stress tels que la pollution chimique, le réchauffement climatique, la baisse des débits ou les apports de sédiments fins.

Birk, S. et al. (2020) Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution* 4, 1060-1068.

## Les perturbateurs endocriniens affectent les poissons sur plusieurs générations

Une nouvelle étude montre que les poissons exposés à des perturbateurs endocriniens transmettent certains problèmes de santé

aux générations suivantes sans que celles-ci soient directement exposées. Les scientifiques ont observé des malformations, une baisse de la survie et des problèmes reproductifs dans les générations-filles. Par ailleurs, les poissons présentaient des effets sur la méthylation de l'ADN de certains gènes pendant trois générations, ce qui semble indiquer une transmission transgénérationnelle d'effets épigénétiques.

DeCourten, B.M. et al. (2020) Multigenerational and Transgenerational Effects of Environmentally Relevant Concentrations of Endocrine Disruptors in an Estuarine Fish Model. *Environmental Science & Technology* <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02892>

## Évaluation intégrée de la qualité de l'eau

La qualité des eaux est souvent évaluée en mesurant individuellement certaines substances et en comparant leurs concentrations aux valeurs limites légales, ce qui permet de la classer dans deux catégories (objectif de qualité atteint/objectif de qualité non atteint). Une nouvelle méthode est maintenant proposée qui permet d'intégrer plusieurs polluants simultanément tout en considérant l'évolution de la pollution dans le temps. La toxicité des micropolluants et de leurs mélanges pour les organismes aquatiques est prise en compte en comparant les concentrations mesurées avec les normes de qualité environnementale (NQE). Plusieurs méthodes d'agrégation dans le temps et l'espace sont présentées en discutant de leurs avantages et inconvénients ainsi que de la gestion des incertitudes et de leurs implications pratiques.

Schuwirth, N. (2020) Towards an integrated surface water quality assessment: Aggregation over multiple pollutants and time.

*Water Research* 186, 116330

## Risques écotoxicologiques dus aux PFAS

Un nouvel article passe en revue l'écotoxicologie et les risques émanant des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS). Alors qu'un petit nombre d'entre elles, comme l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS), sont bien connues, les données concernant la plupart des PFAS sont trop rares pour permettre une évaluation des risques. Pour remédier à cette situation, les auteurs de cette étude demandent un vaste programme de surveillance des PFAS de même que le développement de modèles prévisionnels sur leur bioaccumulation et l'élaboration de méthodes *in vivo*, *in vitro* et *in silico* d'évaluation de leurs effets biologiques.

Ankley, G.T. et al. (2020) Assessing the Ecological Risks of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Current State-of-the Science and a Proposed Path Forward. *Environmental Toxicology and Chemistry*, doi: 10.1002/etc.4869.

### Impressum

Editeur: Centre Ecotox

Eawag

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: Anke Schäfer, Centre Ecotox

Traductions: Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Copyright: © Les textes et les photos non marqués autrement sont soumis à la licence Creative Commons « Attribution 4.0 International ». Ils peuvent être librement copiés, distribués et modifiés, à la condition de les attribuer à l'auteur en citant son nom. Plus d'informations sur la licence sur le site <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

Copyright des photos: Centre Ecotox, Margie Koster, canton de Thurgovie (p. 6), Eawag (p. 9), Kurt Schläpfer, Carbotech (p. 10), Shutterstock (p. 11)

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

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