

centre ecotox news

26. édition mai 2023

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



Projet de surveillance p. 3

Évaluation de la qualité
de l'eau avec une batterie de
bioessais p. 4

Évaluation de la qualité des sédi-
ments avec des bioessais p. 6

Évaluation de la qualité de
l'eau avec des biomarqueurs
dans les truites p. 7

Un contrôle plus strict des eaux
de surface dans l'UE p. 9

Les bioessais ... des outils aujourd'hui incontournables



Dr. Benoît Ferrari,
directeur du Centre Ecotox

Peu de données existent sur la façon dont les produits chimiques se comportent en mélange ou sur leurs effets combinés, ce qui pose problème lorsqu'ils s'accumulent dans les rejets et se retrouvent dans les écosystèmes. Au final, des effets à long terme sur la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes, leurs services rendus et la santé humaine peuvent apparaître. Ces effets peuvent être amplifiés par des pressions déjà existantes, comme celles en lien avec le changement climatique.

Si nous voulons améliorer la situation actuelle et éviter les mauvaises surprises à l'avenir, nous avons besoin de méthodes capables de mieux connaître et de mieux prévoir les dangers et les risques liés aux substances chimiques. En outre, ces méthodes devraient être en mesure d'évaluer les « cocktails » complexes comme les effluents et les déchets, d'évaluer la santé des écosystèmes et de rechercher les causes de dégradation : C'est ainsi que nous verrons quelles mesures ciblées ou plus larges sont nécessaires. Les méthodes issues de l'écotoxicologie – c'est-à-dire les biotests *in vitro* et *in vivo*, les biomarqueurs – sont basées sur les effets biologiques et répondent à toutes les exigences. Déjà très utilisés pour l'évaluation du risque des substances (par exemple dans le cadre de REACH et pour le développement de

Critères de Qualité Environnementale), ils sont depuis quelques années aussi reconnus pour l'évaluation des rejets en Suisse et même depuis plus de 40 ans en Allemagne (cf. Loi fédérale sur les eaux). Un récent rapport technique de la Commission Européenne fait également état de leur possible application dans la surveillance des eaux dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau.

Un exemple : il y a quelques années, l'Office fédéral de l'environnement a lancé la « Stratégie MicroPoll ». Ce projet de grande envergure a montré, dans le cadre d'essais pilotes, qu'une étape de traitement supplémentaire dans les stations d'épuration des eaux usées (STEP) permettait d'éliminer un large éventail de substances des eaux usées et d'améliorer ainsi considérablement la qualité de l'eau. Mais le projet a également mis en évidence l'utilité des biotests pour mesurer la toxicité des eaux usées, car ils prennent en compte l'effet global de mélanges complexes. En 2016, la nouvelle loi sur la protection des eaux est entrée en vigueur en Suisse et prévoit d'équiper de nombreuses STEP sélectionnées d'une étape de traitement supplémentaire. Il peut s'agir par exemple d'un traitement au charbon actif ou d'une ozonation. Certaines eaux usées ne se prêtent toutefois pas au traitement à l'ozone. Des biotests sont ici également fortement recommandés par l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) afin de vérifier, avant la mise à niveau d'une STEP, si un effluent spécifique est adapté à un tel traitement.

En tant qu'écotoxicologue, mon rôle est de convaincre les parties prenantes de l'utilité des méthodes écotoxicologiques. Pour cela, le Centre Ecotox mène des études pilotes qui montrent que les méthodes écotoxicologiques sont complémentaires des analyses chimiques et des bioindicateurs. Pour cela, le Centre Ecotox contribue également à la standardisation des méthodes et à l'interprétation des résultats, ce qui facilite l'intégration des méthodes écotoxicologiques dans les programmes de surveillance. Pour cela, le Centre Ecotox développe aussi de nouvelles méthodes qui répondent aux besoins des gestionnaires et des décideurs. Dans ce numéro de Centre Ecotox News, vous en apprendrez plus sur un vaste projet dans le cadre duquel des méthodes chimiques et écotoxicologiques ont été utilisées et comparées pour la surveillance des eaux de surface.

Je vous souhaite une bonne lecture !

Photo de couverture : Pour évaluer la qualité des eaux, Anne-Sophie Voisin et Melanie Fasel analysent l'activité de gènes réagissant spécifiquement aux polluants dans les tissus hépatiques et cérébraux de truites de rivière (photo : Rébecca Beauvais, Centre Ecotox).

Bioessais et biomarqueurs pour l'évaluation de la qualité de l'eau et des sédiments

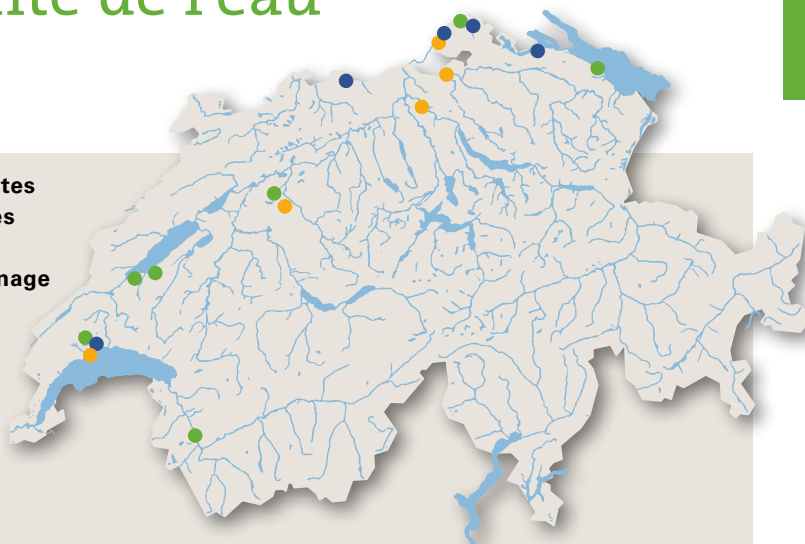
Le Centre Ecotox a évalué la qualité des eaux sur 17 sites à l'aide de nombreux bioessais et biomarqueurs. Les risques écotoxicologiques ont été déterminés sur la base de bioessais et comparés aux risques calculés à partir d'analyses chimiques. Les résultats permettent au Centre Ecotox de proposer des méthodes pour la surveillance de routine.

Les approches basées sur les effets comme les bioessais et les biomarqueurs revêtent une importance croissante dans l'évaluation environnementale. Elles mesurent l'effet des substances de manière intégrée et englobent ainsi également les substances qui ne sont pas connues ou mesurées. Elles font par ailleurs le lien entre les composés chimiques présents et leurs effets sur les organismes dans l'environnement. De plus, elles sont à même de détecter certaines familles de substances à des concentrations plus faibles que ne le peut l'analyse chimique. Elles en constituent donc un complément très utile.

Batteries de bioessais combinant différents organismes et modes d'action

Les bioessais écotoxicologiques mettent en œuvre des cellules vivantes, des organismes ou des communautés biotiques pour mesurer leurs réactions face aux substances chimiques présentes dans les échantillons prélevés dans l'environnement. En dehors de la survie, les fonctions affectées peuvent être le développement, la croissance ou encore la reproduction. Étant donné qu'il n'existe pas de bioessai unique capable de mettre en évidence toutes les réactions possibles chez tous les organismes, il est judicieux de combiner plusieurs essais dans une batterie de tests. On est alors en mesure d'évaluer différents modes d'action des polluants tout comme différents effets sur différents groupes d'organismes. Alors que beaucoup de bioessais sont aujourd'hui normalisés, l'utilisation des biomarqueurs est encore peu établie. C'est pourtant une approche très prometteuse : les biomarqueurs sont des réactions biologiques quantifiables suite au stress environnemental qui peuvent être mesurées à différents niveaux, comme l'expression génique. Ils permettent de mesurer une grande diversité d'impacts potentiels comme les perturbations du système nerveux ou du système immunitaire, pour lesquelles il n'existe pas encore de bioessais.

Aperçu des sites échantillonnés et des types d'échantillonnage



		Cours d'eau	Eau	Sédiment	Poissons	
Bassin versant exploité de manière	extensive	Aubonne	X		X	
		Glariseggerbach	X	X	X	
		Hemishoferbach	X	X	X	
		Lochgraben	X	X	X	
		Möhlbach	X	X	X	
	agricole	Le Bainoz			X	
		Beggingerbach	X			X
		Le Combagnou	X			X
		Chrümli bach	X		X	X
		Eschelisbach	X		X	X
	agricole et urbaine	Ruisseau de Collonges			X	
		Ruisseau de Gi	X	X		X
		Boiron de Morges	X	X		
		Furtbach	X	X		
		Glatt	X			
		Landgrabe	X		X	
		Urtenen	X		X	

Un grand projet de surveillance

Le Centre Ecotox s'est engagé dans trois projets pour améliorer l'appréciation de la qualité des eaux par les méthodes basées sur les effets. Ce travail doit déboucher sur une méthode pratique pour les contrôles de routine de la qualité de l'eau et des sédiments venant compléter l'analyse chimique. Car une surveillance uniquement basée sur les approches chimiques peut s'avérer lacunaire puisque toutes les substances ne sont pas connues ou analysables.

Le Centre Ecotox a, dans ce but, prélevé des échantillons d'eau et/ou de sédiment sur 17 sites du Plateau (voir Figure) en mai et juin 2021 et les a étudiés avec une batterie de bioessais pour la plupart normalisés. La majorité des sites d'échantillonnage sont des stations du programme national d'observation de la qualité des eaux de surface NAWA. Une

partie des sites présente un bassin versant agricole, une autre partie un bassin versant agricole et urbain et une troisième un bassin versant exploité de manière extensive avec beaucoup de forêts ou de surfaces non productives pouvant être considérées comme peu polluées. Des biomarqueurs ont été analysés chez des alevins de truites des zones d'exploitation extensive ou agricole. Le risque écotoxicologique déterminé à l'aide des bioessais et des biomarqueurs a été comparé au risque calculé à partir de l'analyse chimique. Les résultats de ces études sont présentés dans les articles qui suivent.

Pour en savoir plus :

Kienle, C. et al. (2023) Ökotoxikologische Biotests und -marker. Biologische effektbasierte Methoden zur Beurteilung der Wasser- und Sedimentqualität. Aqua & Gas, 103(4), 18–22

Évaluation de la qualité de l'eau à l'aide d'une batterie de bioessais

Une étude d'envergure sur l'évaluation de la qualité de l'eau en Suisse a montré la complémentarité de l'analyse chimique et des bioessais écotoxicologiques. Alors que les risques pour les poissons étaient déterminés avec une plus forte sensibilité avec les bioessais, l'analyse chimique s'est avérée plus sensible en ce qui concerne les risques encourus par les invertébrés au contact des insecticides pyréthri-noïdes. Fort de ces résultats, le Centre Ecotox propose une batterie de bioessais pour la surveillance de routine.

Les scientifiques et les autorités s'efforcent depuis des années d'intégrer les méthodes écotoxicologiques dans les contrôles de routine de la qualité de l'eau. Elles sont en effet complémentaires aux analyses chimiques et aident à détecter et à identifier les effets toxiques sur les organismes. L'appréciation de la qualité de l'eau peut se faire à l'aide de lignées de cellules d'organismes unicellulaires (bioessais *in vitro*) ou en exposant des organismes pluricellulaires (bioessais *in vivo*). Les tests *in vitro* sont souvent plus sensibles à certaines familles de substances comme les herbicides ou les perturbateurs endocriniens. Ils permettent d'effectuer des screenings rapidement et à moindre frais afin d'estimer le risque lié à ces polluants pour les organismes exposés dans l'environnement. De leur côté, les organismes employés dans les bioessais *in vivo* réagissent à la totalité des substances auxquelles ils sont sensibles dans un échantillon d'eau mais ne permettent souvent pas d'identifier les polluants responsables des dommages.

Une étude d'envergure sur le Plateau suisse

Étant donné qu'il n'existe pas de bioessai unique capable d'appréhender tous les effets possibles sur tous les organismes, il est judicieux de combiner plusieurs tests dans une batterie de bioessais. En mai et juin 2021, le Centre Ecotox a prélevé des échantillons d'eau dans 15 cours d'eau du Plateau suisse (cf. p. 3) et les a étudiés avec une batterie de 14 biotests couvrant une grande diversité d'effets toxiques (cf. Tableau). « Ces tests sont pour la plupart normalisés et beaucoup d'entre eux sont de courte durée, ce qui les rend très intéressants pour la pratique », explique Cornelia Kienle, qui dirige le projet. En parallèle, les échantillons ont été analysés par les laboratoires cantonaux de la protection des eaux qui y ont ciblé 206 substances organiques – dont 114 produits phytosanitaires et 30 médicaments – ainsi que de nombreux métaux et divers paramètres abiotiques.

Pour prendre en compte tous les effets mesurés dans les bioessais, les quotients de risque biologiques de tous les tests d'un même site ont été additionnés (cf. Encadré). « Nous avons observé de nettes différences en fonction du mode d'utilisation des sols dans le bassin versant, révèle Cornelia Kienle. Le risque était le plus fort dans les zones à dominance agricole et urbaine; il était plus modéré dans les zones purement agricoles et c'est dans les zones d'utilisation extensive des sols qu'il était le plus faible. » Le plus grand nombre d'effets toxiques a été observé avec le PXR-CALUX®, le test de toxicité avec les embryons de poissons, le test avec les lignées cellulaires de poissons et le test combiné sur algues vertes (inhibition de croissance). Les analyses chimiques ont indiqué des risques dans les trois catégories de sites, principalement liés à des insecticides de la famille des pyréthri-noïdes comme la cyperméthrine,



La croissance des algues sur la plaque de microtitration est mesurée au photomètre.

la deltaméthrine, la lambda-cyhalothrine et la perméthrine. Des dépassements des critères de qualité environnementale ont par ailleurs été constatés pour les insecticides chlorpyrifos, fenvalérate, thiaclopride, fipronil et fénoxy-carbe, pour les herbicides métazachlore et propyzamide et pour l'antalgique diclofénac.

Un risque élevé pour les invertébrés face aux pyréthri-noïdes

Mais les risques déterminés à partir des biotests sont-ils les mêmes que ceux basés sur l'analyse chimique? Sur les **sites à bassin versant exploité de manière extensive**, aucun des deux quotients de risque (biologique ou chimique) n'indiquait de risque pour les plantes. L'approche chimique indiquait un risque pour les invertébrés, principalement dû à des pyréthri-noïdes très toxiques. « Dans les bioessais, nous n'avons cependant observé aucun effet sur les invertébrés, note Cornelia Kienle. C'est certainement parce que nous avons utilisé des daphnies qui ne sont pas très sensibles à ces substances. » Les amphipodes seraient les plus sensibles mais il n'existe pas encore d'essai standardisé les mettant en œuvre. Concernant le risque pour les poissons, la situation était inversée. Alors que l'analyse chimique n'indiquait pas de risque pour les vertébrés, des effets ont été observés avec les embryons de poissons. Les substances responsables faisaient probablement partie de celles non ciblées par les analyses chimiques.

Sur les **sites à bassin versant agricole**, les analyses chimiques ont indiqué un risque pour les plantes et les algues et ce risque a été confirmé par le test combiné sur algues vertes. Pour les invertébrés, la situation était la même que sur les sites à bassin versant exploité de manière extensive: l'approche chimique indiquait un risque dû aux pyréthri-noïdes qui n'était pas confirmé par les bioessais avec les daphnies. Pour les poissons, l'analyse chimique n'indiquait à nouveau aucun risque pour les vertébrés alors que des effets ont été observés avec les embryons et les lignées cellulaires de poissons.

Sur les **sites à bassin versant agricole et urbain**, l'approche chimique indiquait un risque écotoxicologique pour tous les groupes d'organismes. Alors que ce risque était confirmé par les biotests pour les plantes et les invertébrés, aucun effet n'était à nouveau observé avec les daphnies sur les invertébrés.

Batterie de bioessais proposée

Partant des résultats de cette campagne de mesures, le Centre Ecotox propose de combiner les bioessais suivants pour la surveillance des eaux de surface :

- Deux à quatre **tests à gène rapporteur** (système CALUX®) pour cibler, par exemple, le stress oxydatif, l'activité œstrogénique et la biotransformation des polluants.
- Le **test combiné sur algues vertes** pour un screening des effets herbicides. Les résultats sont en bonne concordance avec les analyses chimiques.
- Le **test sur lignées cellulaires de poissons et/ou le test de toxicité sur embryons de poissons** réalisés sur 120 heures avec des poissons zèbres. Ces tests indiquent des risques qui, jusqu'à présent, passaient inaperçus avec les seules analyses chimiques.
- Un **test avec des invertébrés**, dans l'idéal des crustacés, car ils sont souvent exposés au risque le plus élevé. Le test de reproduction des daphnies peut par exemple convenir car ces dernières sont entre autres sensibles à beaucoup d'insecticides. Pour les pyréthrinoides, les amphipodes seraient mieux adaptés car présentant la plus forte sensibilité. Il n'existe cependant encore aucun test normalisé avec ce groupe. La détection de pyréthrinoides doit donc encore se faire par chimie analytique.

Selon le but spécifique des études, la batterie de tests peut être complétée par d'autres tests CALUX® ciblant p. ex. d'autres activités hormonales, l'action des substances polyfluoroalkylées (PFAS) ou des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et d'un test de génotoxicité. « C'est particulièrement recommandé si l'on soupçonne la présence de ce genre de polluants au vu d'autres résultats », souligne Cornelia Kienle.

Détermination des risques écotoxicologiques

Le risque pour les organismes biologiques peut être déterminé à partir des résultats de bioessais ou d'analyses chimiques.

Pour déterminer le risque **sur la base de bioessais**, on calcule le **quotient de risque biologique QR_{bio}**. Il se calcule pour chaque test en faisant le rapport entre la valeur mesurée dans le biotest et la valeur limite écotoxicologique correspondante. En dessous de cette valeur spécifique, il est peu probable que les organismes subissent les dommages évalués dans le test. La somme des quotients de risque déterminés pour tous les bioessais est calculée pour chaque site, soit individuellement pour les algues, les invertébrés et les poissons, soit de façon groupée pour toutes les catégories d'organismes.

Pour déterminer le risque chronique **sur la base d'analyses chimiques**, on calcule le **quotient de risque chimique QR_{chim}**. Il se calcule pour chaque substance en faisant le rapport de la concentration mesurée sur le critère de qualité environnementale (CQE) correspondant aux expositions chroniques. Le CQE est une concentration déterminée à partir des données de toxicité de la substance et indique la valeur en dessous de laquelle aucun effet toxique n'est attendu sur les organismes. La somme des QR_{chim} déterminés pour toutes les substances est calculée pour chaque site, soit individuellement pour les plantes, les invertébrés et les poissons, soit de façon groupée pour toutes les catégories d'organismes.

Pour en savoir plus: Kienle, C., Bramaz, N., Schifferli, A., Olbrich, D., Werner, I., Vermeirssen, E. (2023) Beurteilung der Wasserqualität mit einer Biotestbatterie. Aqua & Gas 103(4), 24 – 33

Contact: Cornelia Kienle, cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch

Bioessais utilisés dans le projet de surveillance

Effet	Mode d'action	Test
Cytotoxicité	Dommages aux constituants des cellules comme les membranes, le noyau ou les lysosomes	Cytotox-CALUX® (lignée de cellules humaines)
		Test avec des cellules branchiales de truite arc-en-ciel (RTgill-W1)
Stress oxydatif	Réaction cellulaire au stress oxydatif	Nrf2-CALUX®
Métabolisation des polluants	Activation de la réponse cellulaire à différentes substances étrangères, détection des substances étrangères (xénobiotiques)	PAH-CALUX® DR-CALUX® (Dioxine Receptor) PFAS-CALUX® PXR-CALUX® (Pregnane X Receptor)
Activité hormonale	Oestrogénicité Anti-androgénicité	ER-CALUX® Anti-AR-CALUX®
Génotoxicité	Mutagenèse	Test d'Ames
Croissance végétale	Action herbicide	Test combiné sur algues vertes
Reproduction, létalité	Non spécifique, zooplancton	Test sur daphnies / Test sur ostracodes
Développement embryonnaire, létalité	Non spécifique, poissons	Test de toxicité aiguë sur embryons de poissons (FET)

Évaluation de la qualité des sédiments avec une batterie de bioessais

Le Centre Ecotox propose une batterie de trois bioessais pour apprécier la qualité des sédiments en complément des analyses chimiques. Le test sur ostracodes est particulièrement sensible et se prête bien au screening des effets biologiques.

Les sédiments constituent un compartiment écologiquement important des eaux de surface et sont en tant que tels pris en compte dans l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux. Bien qu'il n'existe pas de programme national de surveillance de la qualité des sédiments, des campagnes d'évaluation sont réalisées plus ou moins régulièrement par plusieurs cantons. Pour harmoniser les activités de veille, le Centre Ecotox a proposé en 2021 une stratégie de surveillance de la qualité des sédiments pour la Suisse.

Elle présente deux niveaux. Le premier niveau consiste en une analyse chimique des sédiments portant sur de nombreux composés organiques et inorganiques et en une comparaison des concentrations mesurées avec les critères de qualité du sédiment (CQS) correspondants. Ces CQS sont des concentrations seuils au-delà desquelles un risque d'effets néfastes pour les organismes benthiques (vivant dans ou sur les sédiments) ne peut être exclu. En cas de dépassement de ces valeurs limites,

un deuxième niveau prévoit des études complémentaires afin de déterminer l'effet des polluants dans des bioessais ou d'évaluer l'impact sur les communautés in situ. Mais avant que ces bioessais puissent être employés dans les contrôles de routine de la qualité des sédiments, il est nécessaire de déterminer plus largement leur sensibilité et leur applicabilité.

La batterie de bioessais couvre divers groupes d'organismes benthiques

Pour ce faire, le Centre Ecotox a mené une étude pilote sur 13 sites du Plateau suisse (dont 10 stations du réseau national d'observation de la qualité des eaux de surface NAWA, cf. p. 3) avec une batterie de trois bioessais normalisés. Ces derniers mettent en œuvre plusieurs groupes majeurs d'organismes benthiques et couvrent différentes formes d'alimentation et d'exposition. Les **ostracodes** sont des consommateurs primaires vivant à la surface des sédiments. Les **nématodes** vivent dans le sédiment et sont représentatifs de la méiofaune. Les **chironomes** ont des larves benthiques qui se nourrissent de débris à la surface du sédiment. « Pour évaluer la toxicité chronique, nous avons considéré des paramètres importants pour le fonctionnement des écosystèmes aquatiques, comme la croissance, l'émergence ou la reproduction », explique Carmen Casado-Martinez, la responsable du projet.

Pour cerner l'état de pollution chimique des sédiments, des analyses de métaux et de nombreux micropolluants organiques (pesticides, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényles (PCB), retardateurs de flamme, filtres UV, muscs de synthèse, etc.) ont été menées sur tous les sites d'étude. Les toxicologues ont déterminé le risque écotoxicologique à l'aide de bioessais et l'ont comparé au risque calculé à partir de ces analyses (selon une méthode similaire à celle décrite p. 5).

Les effets mesurés dans les bioessais complètent les analyses chimiques

Des effets toxiques ont été observés sur 12 des 13 sites pour au moins un biotest. Ces effets étaient alors plus fréquents et plus forts sur les sites à bassin versant agricole ou à la fois agricole et urbain que dans les sites à bassin versant exploité de manière extensive. « L'évaluation du risque à partir des analyses chimiques a confirmé cette appréciation », indique Carmen Casado-Martinez. Des dépassements des critères de qualité ont été constatés sur de nombreux sites pour les HAP et les PCB. Le risque dû aux pesticides était plus élevé dans les zones agricoles ou faisant l'objet d'une utilisation agricole et urbaine que dans les bassins versants exploités de manière extensive. C'est alors pour l'insecticide chlorpyrifos que les dépassements étaient les plus fréquents. Mais certains pyréthrinoides, l'insecticide méthoxychlor et le néonicotinoïde thiaclopride posaient également problème. « Il faut toutefois souligner que pour beaucoup de composés, les critères de qualité sont encore entachés de fortes incertitudes en raison de la rareté des données écotoxicologiques disponibles, avertit Carmen Casado-Martinez. Ils doivent donc être utilisés en screening et être complétés d'études biologiques. » C'est sur les sites à bassin versant agricole et urbain que le risque lié aux métaux était le plus élevé.

Le test sur ostracodes, un bioessai particulièrement sensible

Le bioessai le plus sensible était celui mettant en œuvre les **ostracodes**. La mortalité était élevée sur trois sites, qui présentaient également un risque important selon l'évaluation chimique. Une inhibition significative de la croissance a d'autre part été constatée sur près des trois quarts des sites. « La fréquence des dépassements du seuil de toxicité



La pollution des sédiments peut affecter la qualité des eaux.

citée pour la croissance est peut-être excessive et doit être considérée avec précaution ; ce seuil doit être vérifié avec davantage de données et ajusté au besoin », commente Carmen Casado-Martinez. La France, l'Italie et la Belgique recommandent déjà le test avec les ostracodes pour les programmes de surveillance de la qualité des sédiments, le nombre de données disponibles devrait ainsi progressivement augmenter.

Des effets ont été mesurés dans le test sur les **larves de chironomes** sur un site à bassin versant agricole et un site à bassin versant agricole et urbain. Les chironomes sont souvent utilisés pour l'évaluation réglementaire des produits phytosanitaires et des sédiments contaminés. « Notre projet a montré que le bioessai avec les chironomes était complémentaire au test avec les ostracodes », indique Carmen Casado-Martinez.

Dans le bioessai avec les **nématodes**, aucun des sédiments testés n'a été classé comme toxique. Toutefois, la croissance et la reproduction des vers exposés étaient significativement réduites par rapport aux témoins et des études précédentes ont montré que ce test permettait de mettre en évidence des effets toxiques dans des sites aux pollutions multiples.

Dans la stratégie d'évaluation du Centre Ecotox, des études supplémentaires doivent être effectuées avec les systèmes biologiques si les critères de qualité du sédiment sont dépassés. Dans la présente étude, le critère de qualité était dépassé pour au moins un composé sur la quasi-totalité des sites. Les résultats sur les sites à bassin versant agricole, où peu de contaminants traditionnellement analysés dans les sédiments (comme les HAP, les PCB ou les métaux) dépassent les critères de qualité, montrent

une qualité médiocre des sédiments selon les bioessais. De ce fait, la mise en œuvre du bioessai avec les ostracodes comme outil de screening pourrait aider à prioriser les sites à plus fort potentiel écotoxicologique pour une investigation plus approfondie, que ce soit par l'analyse chimique de groupes de substances non surveillées en routine (par exemple les pesticides) ou des outils biologiques complémentaires.

Pour en savoir plus: Casado-Martinez, M.C., Beauvais, R., Ferrari, B., Cirelli, S., Schaad, E.J., Chiaia-Hernandez, A., Höss, S., Loizeau, J.-L. (2023) Évaluation de la qualité des sédiments. *Projet pilote d'application d'une batterie de bioessais à l'échelle nationale. Aqua & Gas 103(4), 34–41*

Contact: Carmen Casado-Martinez
carmen.casado@centrecotox.ch

Évaluation de la qualité de l'eau par l'analyse de biomarqueurs dans les truites

L'analyse de biomarqueurs permet de détecter de façon précoce et sensible l'effet des polluants sur les animaux sauvages et vient compléter l'analyse chimique. Des études sont cependant encore nécessaires pour évaluer la variabilité naturelle de la méthode.

Les méthodes basées sur les effets biologiques constituent un outil prometteur d'évaluation de la qualité de l'eau. Elles permettent en effet de faire le lien entre l'exposition aux mélanges complexes de polluants et les conséquences pour les organismes aquatiques. Outre les bioessais, ces méthodes comprennent également les biomarqueurs (on appelle biomarqueur une réponse biologique quantifiable suite à un stress environnemental). Les biomarqueurs permettent de cibler une grande variété de modes d'action comme

la neurotoxicité ou l'immunotoxicité, dont certains ne sont pas encore mesurables dans les bioessais. Analysés ici chez des poissons sauvages, les biomarqueurs reflètent directement leur état de santé et peuvent indiquer la nature des facteurs de stress auxquels les animaux ont été et/ou sont exposés.

Les changements dans l'expression de gènes font partie des premières réponses cellulaires suivant l'exposition à des polluants et peuvent servir de biomarqueurs moléculaires permettant de détecter les effets de façon sensible et précoce. Chez les poissons, les premiers stades de vie sont particulièrement sensibles aux stress environnementaux. Qui plus est, ils sont potentiellement présents dans l'eau au printemps et au début de l'été, c'est-à-dire au moment où les pesticides sont épanchés dans les champs.

Près d'une centaine de biomarqueurs analysés dans le foie et le cerveau

« Dans ce projet, nous avons sélectionné 96 biomarqueurs chez la truite de rivière afin de détecter les effets des polluants et en particulier des pesticides », explique la responsable du projet, Anne-Sophie Voisin. Les biomarqueurs couvrent de nombreux processus biologiques comme la biotransformation des polluants, le stress oxydatif dû aux espèces réactives de l'oxygène, les effets sur le système immunitaire et nerveux, les effets sur l'équilibre hormonal et la réponse générale des cellules. Les biomarqueurs ont été analysés chez des truites de 10 cours d'eau du Plateau suisse, dont 5 à bassin versant agricole et 5 à bassin versant exploité de manière extensive (cf. p. 3). « Les gardes-pêche cantonaux ont prélevé pour nous des alevins dans ces cours d'eau », explique Anne-Sophie Voisin. Nous en avons disséqué le foie et le cerveau, puis nous en



Les truites de rivière utilisées pour les analyses ont été capturées avec l'aide de collaborateurs de la surveillance cantonale de la pêche. Sur la photo, Stefan Eglau et Roman Niedermann de la surveillance de la pêche de Thurgovie lors d'une pêche électrique dans l'Eschelisbach.

avons extrait l'ARN et l'avons analysé. » Les résultats font état de réactions de biotransformation des substances toxiques dans le foie et d'effets neurotoxiques dans le cerveau. Parallèlement à l'étude des biomarqueurs, les concentrations de nombreux polluants ont été déterminées dans les échantillons d'eau.

Une concordance partielle avec l'analyse chimique

« Les effets sur l'expression génique étaient particulièrement nombreux sur les sites à bassin versant agricole mais nous en avons également observé en zone d'exploitation extensive, indique Anne-Sophie Voisin. Nous avons ainsi noté des effets sur la biotransformation, le système immunitaire, le système nerveux ou encore le métabolisme lipidique de même que des réactions au stress oxydatif. » L'analyse chimique n'a indiqué de risque chronique élevé pour les vertébrés que sur un seul site et ce, en raison de fortes concentrations d'un insecticide pyréthrinolide, la deltaméthrine. Sur ce site, les biomarqueurs ont indiqué une possible perturbation endocrinienne, une réduction du métabolisme des lipides ainsi qu'un possible retard de maturité. Ici, l'analyse du risque chimique et les résultats biomarqueurs semblent concorder.

« Mais nous avons également observé des effets sur des sites où l'analyse chimique n'indiquait aucun risque pour les vertébrés »,

signale Anne-Sophie Voisin. Sur trois de ces sites, les concentrations d'insecticides étaient telles qu'un risque chronique était identifié pour les invertébrés. Or les effets sur les invertébrés peuvent avoir un impact direct ou indirect sur les poissons. Par ailleurs des concentrations élevées de cuivre ont été mesurées sur plusieurs sites, doublées d'un excès de zinc à un endroit et de nitrates à un autre. Les résultats de biomarqueurs concordaient ainsi parfois avec l'analyse chimique mais ne coïncidaient pas toujours.

Besoin de valeurs de référence

L'analyse des biomarqueurs moléculaires dans les animaux sauvages apporte une plus-value à l'analyse chimique. En effet, ces organismes sont exposés de façon continue à l'ensemble des conditions environnementales. « En combinant plusieurs approches – comme l'analyse chimique et les biomarqueurs, par exemple – on accroît les chances de détecter les risques écotoxicologiques », estime Anne-Sophie Voisin. L'analyse des biomarqueurs se prête à la biosurveillance de routine de la qualité des eaux et présente un bon potentiel pour l'identification des sites problématiques (hot spots) et des facteurs de stress pertinents. Cet outil doit cependant encore faire l'objet de développements.

« L'un des problèmes est notamment que nous ne disposons pas encore de valeurs de référence pour les biomarqueurs qui

indiqueraient à partir de quel niveau d'expression les effets peuvent être qualifiés de toxiques, reconnaît Anne-Sophie Voisin. Les sites à bassin versant exploité de manière extensive présentaient, eux aussi, des concentrations parfois élevées de métaux et de pesticides et ne peuvent donc pas servir de référence pour déterminer ces seuils. » Les valeurs de référence sont nécessaires pour faire la distinction entre les différences d'expression génique dues au stress et celles dues aux variations naturelles liées au stade de vie, aux facteurs génétiques et aux facteurs abiotiques. Pour les déterminer, il conviendrait de mesurer les biomarqueurs ainsi que les facteurs d'influence sur un grand nombre de sites. « Si nous franchissons cette étape, nous serons en mesure d'exploiter pleinement le potentiel des biomarqueurs », conclut Voisin.

Pour en savoir plus: Voisin, A.-S., Fasel, M., Beauvais, R., Kienle, C., Ferrari, B., Werner, I. (2023) Biomarqueurs moléculaires. Application pour la surveillance de la qualité de l'eau avec la truite de rivière. *Aqua & Gas* 4, 42–48

Contact: Anne-Sophie Voisin
anne-sophie.voisin@oekotoxzentrum.ch

Un contrôle plus strict des eaux de surface dans l'Union européenne

De nouvelles valeurs limites plus strictes doivent entrer en vigueur dans l'UE pour de nombreuses substances dans les eaux de surface. Par ailleurs, des seuils globaux sont proposés pour les pesticides et les PFAS ainsi que des valeurs limites pour les PFAS dans les poissons.

Sur la base de connaissances scientifiques actualisées, la Commission européenne souhaite mettre à jour la liste des polluants à contrôler plus strictement dans les eaux de surface et souterraines. Elle a publié en ce sens une proposition de révision de la directive cadre sur l'eau.

Extension de la liste de substances prioritaires

La liste des substances prioritaires pour lesquelles des normes de qualité environnementale (NQE) sont définies dans l'UE doit être complétée de 25 substances ou familles de composés ayant des effets problématiques bien documentés sur la nature et la santé humaine. En font notamment partie :

- **les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS)**, un grand groupe de « produits chimiques éternels » utilisés notamment dans les ustensiles de cuisine, les vêtements et le mobilier, la mousse anti-incendie et les produits d'hygiène corporelle,
- de nombreux **pesticides** tels que le glyphosate, les pyréthri-noïdes bifenthrine, deltaméthrine, esfenvalérate et perméthrine, les néonicotinoïdes acétamipride, clothianidine, imidaclopride (déjà réglementé par l'Ordonnance suisse sur la protection des eaux OEaux), thiaclopride (déjà dans l'OEaux) et thiamethoxame (déjà dans l'OEaux), l'herbicide nicosulfuron (déjà dans l'OEaux), le triclosane ainsi que des produits de dégradation des pesticides,
- le **bisphénol A**, un plastifiant et composant d'emballages en plastique,
- les **hormones** 17-alpha-éthynylestradiol (EE2, synthétique) et 17-bêta-œstradiol (E2, naturelle), les **antibiotiques** azithromycine et clarithromycine (tous deux déjà inclus dans l'OEaux) et les **antalgiques** diclofénac (déjà dans l'OEaux) et ibuprofène.

Dans le même temps, quatre polluants qui ne constituent plus de menace à l'échelle de l'UE doivent être supprimés de la liste des substances prioritaires. Cette dernière doit ainsi comprendre 66 substances ou groupes de substances. Le Centre Ecotox a participé à la détermination des NQE.

En outre, les NQE applicables à 16 polluants déjà couverts par la réglementation, notamment les métaux lourds et les produits chimiques industriels, seront mises à jour (pour la plupart durcies). Cela concerne notamment le chlorpyrifos et le diuron, deux composés également réglementés par l'Ordonnance sur la protection des eaux. Pour les eaux souterraines, de nouvelles exigences ont également été formulées pour des métabolites non pertinents de pesticides. Elles prennent maintenant en compte la disponibilité des données de toxicité.

De nouveaux seuils globaux pour les pesticides et les PFAS

La nouvelle réglementation proposée prend également en compte les effets cumulés ou combinés des substances en mélange et

élargit ainsi l'accent mis actuellement sur les substances individuelles. Il est ainsi proposé de fixer un seuil global pour le groupe des PFAS en se basant à leur toxicité relative par rapport à celle de l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) pris comme substance de référence. La nouvelle NQE s'applique ainsi à la somme de 24 PFAS. De même, une exigence globale est proposée pour les pesticides et leurs principaux métabolites. Leur concentration cumulée ne devrait alors pas dépasser 0,5 µg/l.

La directive cadre sur l'eau en elle-même doit pouvoir être plus rapidement actualisée en fonction des avancées scientifiques. En ce sens, la détermination des NQE doit être désormais dirigée par l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA). À l'avenir, la liste des substances prioritaires n'aura plus à être approuvée par tous les États membres. Les modifications proposées pour la directive cadre sur l'eau pourraient entrer en vigueur en milieu d'année 2024.

Indépendamment de cette démarche, l'Agence européenne de la sécurité alimentaire (EFSA) a mis en place des limites maximales de résidus dans les denrées alimentaires pour quatre PFAS. Cela concerne également les poissons sauvages capturés à des fins de consommation humaine. Des seuils différents ont été déterminés en fonction des substances mais aussi des espèces de poissons et de la partie de la population concernée. Ainsi, les normes sont plus sévères pour les poissons destinés à l'alimentation des nourrissons et des enfants en bas âge.

Pour en savoir plus sur les modifications de la directive cadre sur l'eau : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/IP_22_6278

Pour en savoir plus sur les seuils maximum de l'EFSA pour les PFAS : https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/11659-Food-safety-maximum-levels-of-perfluorooctane-sulfonic-acid-and-perfluorooctanoic-acid-in-food_en.

Contact: Marion Junghans
marion.junghans@oekotoxzentrum.ch



Ce n'est que si les eaux sont moins polluées à l'avenir que les objectifs de la directive-cadre européenne sur l'eau – à savoir le bon état des eaux de surface et des eaux souterraines – pourront être atteints.

Les brèves du Centre Ecotox



Le Centre Ecotox se déplace dans le canton de Vaud

Le Centre Ecotox organise des cours sur mesure pour transmettre son savoir-faire aux cantons qui le souhaitent: en janvier 2023, il s'est ainsi rendu à la Direction générale de l'environnement du canton de Vaud pour montrer à de nombreux professionnels à partir d'exemples concrets comment utiliser les bioessais dans l'évaluation de la qualité des eaux de surface, des sédiments et des sols. Une discussion a ensuite permis de répondre aux questions et d'évaluer les possibilités de projets communs. Si vous êtes intéressé par ce genre de cours, n'hésitez pas à nous contacter !

Contact: Benoît Ferrari benoit.ferrari@centreecotox.ch



Le Centre Ecotox recherche les causes du déclin des poissons dans la Suze

La Suze est une rivière emblématique du canton de Berne. Contrairement à la plupart de ceux du Plateau, ce cours d'eau jurassien frais en été et particulièrement productif avait conservé une abondante population de truites de rivière. Or la situation semble se dégrader. La pêche de géniteurs de l'automne 2022 a été la plus mauvaise de ces 25 dernières années. Après la pollution qui avait causé une hécatombe en 2019, le peuplement pisciaire ne se régénère pas comme prévu en aval de la STEP de Villeret. La faune invertébrée et les biofilms algaux qui se développent normalement sur le fond ont également régressé. L'une des raisons pourrait être un rendement d'épuration insuffisant de la STEP. Suite à cette inefficacité, les teneurs en ammonium et en nitrites des effluents d'épuration ont été parfois très élevées ces dernières années. Or ces composés peuvent être toxiques pour les poissons et les organismes vivant sur le fond comme les gammares.

Mandaté par l'Inspection de la pêche du canton de Berne pour évaluer la pollution de la Suze, le Centre Ecotox étudie des échantillons d'eau et de sédiments prélevés en amont et en aval de la STEP en réalisant différents tests écotoxicologiques. Cette approche aidera à identifier une éventuelle toxicité pour les poissons et les organismes dont ils se nourrissent.

Contact: Sibylle Maletz, sibylle.maletz@oekotoxzentrum.ch



Nouveaux rapports sur la détermination de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols

Un programme de surveillance à long terme des résidus de produits phytosanitaires dans les sols est actuellement en développement dans le cadre du Plan d'action des Produits phytosanitaires. Pour évaluer la pollution par ces résidus, nous avons besoin de valeurs de référence qui prennent en compte le risque écotoxicologique qui leur est lié. Ces valeurs sont toutefois très difficiles à déterminer et la méthode à employer n'est pas encore bien établie. Le Centre Ecotox a rédigé deux nouveaux rapports dans lesquels il fait le point sur les méthodes envisageables pour déterminer des valeurs de référence écotoxicologiques pour les produits phytosanitaires (PPH) dans les sols et recommande une démarche pour la détermination de telles valeurs pour les résidus de PPH dans les champs.

www.centreecotox.ch/news-publications/rapports



Journée de dialogue du Centre Ecotox

Le Centre Ecotox vous invite le jeudi 31 août 2023 à une journée de dialogue à Soleure (événement bilingue français/allemand avec traduction simultanée).

Le nombre croissant de substances chimiques présentes dans l'eau, les sédiments et le sol rend plus impératif que jamais d'évaluer le risque qu'elles représentent et de comprendre leur impact sur la qualité des écosystèmes. Les méthodes d'évaluation écotoxicologique du risque et les méthodes basées sur les effets biologiques – c'est-à-dire les bioessais et les biomarqueurs – sont particulièrement adaptées à cette démarche.

Le Centre Ecotox s'attache à tester et développer ces méthodes pour les applications pratiques afin de répondre aux besoins de la Suisse en matière d'écotoxicologie appliquée. Le matin de sa journée de dialogue, le Centre Ecotox informera tout d'abord sur les projets en cours. L'après-midi sera consacré à des forums de discussion qui permettront d'échanger entre spécialistes sur les sujets d'actualité. Nous avons hâte de vous accueillir à Soleure. Réservez déjà la date du 31 août dans vos calendriers! Des informations détaillées paraîtront prochainement sur notre site.

www.centreecotox.ch

Activités autour de la communication sur les risques

Le Centre Ecotox évalue les produits chimiques sur la base de données écotoxicologiques et estime le risque qu'ils représentent pour l'environnement. Mais pour dialoguer avec les politiques et la société, il ne suffit pas d'évaluer les risques, il faut aussi savoir communiquer à leur sujet. C'est la seule façon de faire connaître les risques et leur nature. L'un des objectifs est d'améliorer la prise de conscience de la réalité du risque; on observe en effet sur ce point un fort décalage entre la perception des scientifiques et celle du public. Les personnes travaillant dans l'administration, les associations professionnelles, les organisations et les médias sont régulièrement concernées par ces aspects. En novembre 2022, le Centre Ecotox a ainsi réuni une vingtaine de spécialistes et professionnels de tous horizons pour échanger sur leur expérience et les difficultés rencontrées dans ce domaine. Le Centre prépare actuellement d'autres rencontres en allemand et en français sur le thème concret de la communication des risques liés aux PFAS.

Contact: Alexandra Kröll, alexandra.kroell@oekotoxzentrum.ch

Conférence 2023 de la SETAC GLB à Muttenz

Le Centre Ecotox participe à l'organisation de la conférence annuelle commune de la branche germanophone de la SETAC (SETAC-GLB) et du groupe Chimie de l'environnement et écotoxicologie de la Société allemande de chimie (GDCh) qui aura lieu du 11 au 13 septembre 2023 à Muttenz. La rencontre aura pour mot d'ordre « Contre la pollution globale de l'environnement: la formation et la recherche unies pour trouver des solutions durables ».

Quels sont les effets des diverses substances chimiques sur la santé humaine, les organismes vivants et les écosystèmes? Pour pouvoir répondre à cette question, il faut développer des méthodes adéquates, puis les optimiser et les mettre en œuvre, et évaluer les risques pour prévenir ou réparer les dommages. Dans cette optique, des solutions appliquées doivent être développées avec toutes les personnes concernées. La conférence annuelle est ainsi placée sous le signe de l'union des forces vives: nous voulons favoriser la formation des spécialistes et les encourager à travailler ensemble pour trouver des solutions durables face à la pollution globale de l'environnement.

www.setac-glb.de



Sélection de bioindicateurs pour la protection de la fertilité des sols

Dans le cadre du Plan d'action des Produits phytosanitaires, le Centre Ecotox travaille actuellement à la sélection de bioindicateurs pour l'évaluation de la qualité des sols agricoles. Pour ce faire, il a tout d'abord identifié les principaux organismes ayant une influence sur les fonctions écologiques du sol et agissant ainsi sur sa fertilité. Vous trouverez davantage d'informations à ce sujet dans un nouveau rapport disponible sur notre site.

Pour évaluer l'importance des différentes fonctions écologiques pour la fertilité des sols, une enquête est également menée auprès des acteurs du monde agricole. Leurs réponses vont contribuer à prioriser les organismes édaphiques. Le Centre Ecotox choisira ensuite en concertation avec des experts internationaux les méthodes de bioindication à employer pour les organismes les plus importants au terme de cette priorisation. Il peut s'agir aussi bien de tests de laboratoire avec des échantillons de terrain que de mesures de structure et de fonction sur le terrain. Les bioindicateurs sélectionnés seront alors étudiés dans des projets pilotes afin d'évaluer leur applicabilité pratique et leur sensibilité vis-à-vis des produits phytosanitaires.

www.centreecotox.ch/news-publications/rapports

Contact: Mathieu Renaud, mathieu.renaud@centreecotox.ch

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 microplastiques affectent le microbiote intestinal des oiseaux marins

Les microplastiques contaminent les écosystèmes du monde entier et peuvent être absorbés par les organismes vivants. Une nouvelle étude montre que même à faible concentration, de l'ordre de celles auxquelles ils sont présents dans l'environnement, ils peuvent perturber la flore intestinale des oiseaux. Des biologistes l'ont observé chez deux espèces d'oiseaux marins sauvages ingérant des microplastiques de façon chronique. Ils ont constaté qu'il existait une corrélation entre la quantité de microplastiques dans l'intestin et la diversité et la composition du microbiote intestinal. Ainsi, plus l'intestin contenait de microplastiques, moins la flore intestinale comprenait de « bons » microbes et plus les agents pathogènes et les microbes résistants aux antibiotiques ou capables de dégrader le plastique étaient fréquents. Fackelmann, G. et al. (2023) Current levels of microplastic pollution impact wild seabird gut microbiomes. *Nat. Ecol. Evol.* <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02013-z>

Effets des nanoplastiques sur la santé humaine et l'environnement

Un nouveau rapport de l'UE fait le point des connaissances actuelles sur les nanoplastiques et décrit les possibilités de détection, d'évaluation et de surveillance ainsi que leurs effets sur l'environnement, leur écotoxicité et leurs effets possibles sur la santé humaine. L'analyse des nanoplastiques reste un véritable défi mais il est clair que les particules sont présentes dans l'environnement. Leur très faible taille leur permet de franchir les barrières biologiques et d'atteindre le cerveau et les vaisseaux sanguins. Même si l'état des connaissances sur leurs effets est encore limité, divers impacts ont déjà été décrits chez diverses espèces. On sait notamment qu'en interaction dans l'environnement avec d'autres substances organiques, une couche se forme sur les particules pouvant modifier leurs propriétés et leur toxicité. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a9088790-ace5-11ed-8912-01aa75ed71a1>

Les engrais et les pesticides affectent la pollinisation par les abeilles

Des scientifiques ont découvert que les pollinisateurs butinaient plus rarement les fleurs ayant préalablement subi une pulvérisation d'engrais ou de pesticides. Il apparaît en effet que ces produits chimiques modi-

fient le champ électrique de la plante. Les abeilles et autres pollinisateurs sont capables de percevoir ces modifications du champ électrique autour de la fleur. Bien qu'ils se fient plus généralement à leur vue et à leur odorat pour rechercher le nectar, les pollinisateurs ont également besoin de signaux électriques. Ces signaux sont produits par le déplacement des ions dans les cellules de la plante. Les abeilles choisissent en fonction des signaux électriques les fleurs qui valent la peine d'être butinées. Or les pesticides et les engrais de synthèse provoquent des réactions de stress dans la plante qui modifient ces signaux électriques invisibles.

Hunting, E.R. et al. (2023) Synthetic fertilizers alter floral biophysical cues and bumblebee foraging behavior, *PNAS Nexus* 1 (5) <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac230>

Aux USA, les poissons d'eau douce contaminés par les PFAS

Une nouvelle étude montre qu'aux États-Unis, les poissons d'eau douce contiennent des quantités importantes de substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS). Ces polluants extrêmement persistants sont employés dans un grand nombre de produits du quotidien. Les scientifiques ont dépouillé les données de PFAS de plus de 500 poissons et constaté qu'ils contenaient en moyenne 9,5 ppb de PFAS et jusqu'à 11,8 ppb de PFAS dans les Grands Lacs. L'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) était la substance la plus fréquente et représentait en moyenne à lui seul 74 % de la quantité totale. Des concentrations de PFAS dans des poissons suisses ont été mesurés dans le même ordre de grandeur. Dans l'Union européenne, l'Allemagne, le Danemark, la Suède, la Norvège et les Pays-Bas ont proposé d'interdire l'utilisation de toute cette famille de composés.

Barbo, N. et al. (2023) Locally caught freshwater fish across the United States are likely a significant source of exposure to PFOS and other perfluorinated compounds. *Env. Res.* 220, 1 March 2023, 115165

Les services écosystémiques sont tributaires de la biodiversité

La nature fournit des services d'une valeur inestimable aussi bien sur le plan écologique qu'économique ou sociétal. On les appelle les services écosystémiques. Une nouvelle étude montre que, pour que ces services soient rendus dans les prairies, la diversité de plantes doit être suffisante à la fois à petite échelle, au niveau de la parcelle, et à grande échelle, aux alentours de la parcelle. La diversité des plantes alentour favorise en effet les services écosystémiques, directement par l'apport d'organismes extérieurs aussi bien qu'indirectement en assurant le maintien de la biodiversité à l'intérieur de la parcelle. L'étude indique les services qui sont le plus fortement tributaires de la biodiversité et montre à quels niveaux la biodiversité influence ces services. Ces informations peuvent nous aider à mieux gérer la biodiversité dans les milieux agraires.

Le Provost, G. et al. (2023) The supply of multiple ecosystem services requires biodiversity across spatial scales. *Nat. Ecol. Evol.* 7, 236–249

Impressum

Editeur: Centre Ecotox

Eawag

Überlandstrasse 133

8600 Dübendorf

Suisse

Tél. +41 58 765 5562

Fax +41 58 765 5863

www.oekotoxzentrum.ch

EPFL-ENAC-IIE-GE

Station 2

1015 Lausanne

Suisse

Tél. +41 21 693 6258

Fax +41 21 693 8035

www.centreecotox.ch

Rédaction: 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 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

Copyright des photos: Centre Ecotox, Office fédéral de topographie swisstopo (p.3), Daniel Bernet, Canton de Berne (p.10), Pixabay (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