

centre ecotox news

30. édition mai 2025

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



Disparition des truites dans
le ruisseau des Marais p. 3

Système de détection
précoce pour les stations
d'épuration p. 4

Les lombrics évitent les résidus
d'abrasion des pneus p. 6

Appréciation de la qualité
de l'eau du Léman p. 8

Centre Ecotox à l'EPFL :
Entretien avec
Christof Holliger p. 9

Des dangers encore bien réels pour les poissons



Dr. Etienne Vermeirssen, directeur adjoint du Centre Ecotox

Ce numéro vous présente deux projets traitant directement de toxicité pour les poissons : l'un porte sur le déclin inexplicable du peuplement pisciaire du ruisseau genevois des Marais, et l'autre sur un cas d'empoisonnement tout aussi mystérieux dans le lac Léman. Mais ce ne sont pas les seuls projets du Centre Ecotox sur les poissons. En effet, nous nous sommes récemment intéressés à un épisode de déclin piscicole dans la Suze ainsi qu'au phénomène de mortalité qui se poursuit dans la Thur. Tous ces projets livrent malheureusement le même constat : 25 ans après le projet Fischnetz, les menaces qui pèsent sur les populations de poissons sont encore bien présentes.

Les causes des problèmes rencontrés par les poissons sont souvent floues : elles sont certainement multiples et dépendent d'une combinaison de facteurs. Toutefois, la pollution chimique reste un élément déterminant. Nous avons ainsi été très surpris lorsqu'en 2022, nous avons détecté des rodenticides dans le foie de certains poissons et notamment de corégones du lac de Constance. De même, nos travaux sur les effets des particules d'usure des pneus sur les vers de terre ont un rapport direct avec les poissons. En effet, c'est après avoir constaté en 2020 que des produits de dégradation de substances chimiques contenues dans les pneus avaient provoqué une hécatombe dans une population californienne de saumons argentés

après des orages que de nombreux projets de recherche ont été lancés sur le sujet – qui est ainsi venu s'ajouter à la liste déjà longue des nuisances recensées pour les poissons.

Dans leur pluralité, les activités de recherche menées au Centre Ecotox dans le domaine piscicole me ramènent souvent à mes débuts de doctorant, lorsque je travaillais sur les phéromones chez les poissons. Le laboratoire qui m'avait accueilli en Angleterre publiait alors les toutes premières études montrant une relation entre la présence d'œstrogènes dans les eaux usées et la féminisation des poissons mâles. Ces observations ont ensuite été confirmées dans le monde entier et ont contribué, avec les nouvelles connaissances sur les perturbateurs endocriniens, à l'interdiction de substances problématiques telles que le nonylphénol et le bisphénol A. Le problème des hormones, en rapport avec les poissons, a aussi été l'une des principales raisons ayant poussé à investir des milliards de francs dans l'amélioration des stations d'épuration (STEP) en Suisse. L'intérêt de la population pour les substances à activité hormonale reste fort – même dans les jeunes générations. Nous encadrons ainsi trois travaux de maturité sur le sujet cette année.

Le Centre Ecotox consacre encore de multiples projets aux perturbateurs endocriniens. En plus d'utiliser les bioessais pour détecter les effets hormonaux dans le lac Léman et le ruisseau des Marais, nous travaillons avec l'EPFL à l'étude d'alternatives au bis-

phénol A – pour le papier thermique des tickets de caisse ou les résines époxy, par exemple. Par ailleurs, nous sommes depuis longtemps impliqués dans les travaux de normalisation internationale des biotests destinés à la détection des effets hormonaux. Nous travaillons actuellement à la validation de ces tests afin qu'ils puissent bientôt être intégrés à la directive-cadre sur l'eau européenne. Il reste beaucoup à faire, mais d'importants progrès ont déjà été réalisés : avec l'extension des STEP, des solutions efficaces ont déjà été mises en œuvre pour éliminer les micropolluants et elles agissent aussi sur les perturbateurs endocriniens. On observe d'autre part une forte volonté de remplacer les composés problématiques par des alternatives moins nocives et de procéder systématiquement à leur évaluation.

Pour conclure, j'aimerais adresser quelques mots à Christof Holliger qui, après avoir accompagné le Centre Ecotox pendant des années – quasiment depuis le tout début – nous quitte pour un repos bien mérité. Christof, heel hartelijk bedankt pour ton dévouement et tes innombrables conseils.

Titre : Dans le ruisseau des Marais, le nombre de truites de rivière a fortement diminué. Afin d'étudier les causes de ce déclin, quelques truites juvéniles sont pêchées en vue d'une étude plus approfondie. (Photo : Centre Ecotox).

Disparition des truites dans le ruisseau des Marais : un travail de détective pour identifier les causes grâce à l'écotoxicologie

Dans le canton de Genève, le ruisseau des Marais a connu un effondrement de sa population de truites. Le Centre Ecotox a recherché les causes du phénomène à l'aide d'une série de biomarqueurs et de tests écotoxicologiques appliqués à l'eau et au sédiment.

Un déclin des populations de poissons – jusqu'à 60 % dans certaines régions – s'observe en Suisse depuis les années 1980. La pollution des eaux, sous sa forme classique de substances toxiques pour les poissons telles que l'ammonium et les nitrates, a depuis été réduite grâce au perfectionnement des stations d'épuration et à la définition de normes législatives. Mais, conjointement, les maladies ichtyologiques progressent et les micropolluants émis de façon diffuse par les surfaces agricoles, les routes ou les chantiers posent de nouveaux défis.

Le ruisseau des Marais illustre bien cette complexité. En octobre 2022, une seule truite de rivière a été recensée dans ce petit cours d'eau du canton de Genève malgré un repoissonnement au printemps. En 2016, un inventaire avait pourtant recensé 42 truites et 14 vairons.

Une évaluation tous azimuts avec une série d'essais biologiques

Pour déterminer les causes de cet effondrement, le Centre Ecotox, mandaté par l'Office cantonal de l'eau du canton de Genève, a mené une étude mettant en œuvre tout un éventail de méthodes écotoxicologiques allant de bioessais avec des échantillons d'eau et de sédiment à l'étude de la qualité écologique du milieu à travers la communauté d'oligochètes en passant par l'analyse de biomarqueurs.

« Ces méthodes de « détective de l'environnement » nous permettent de détecter directement les effets biologiques sur les poissons et les autres organismes dans leur chaîne alimentaire », explique Anne-Sophie Voisin, co-responsable du projet. Fait important, les études ont également porté sur le sédiment, compartiment indispensable à toute évaluation globale de la qualité des eaux. À titre de comparaison, deux autres milieux ont été étudiés en parallèle : un site sur la Drize, qui présente une population

de truites stable, et un site en aval de la confluence des deux ruisseaux.

Les sédiments contribuent aux effets toxiques

« Au regard de l'écotoxicologie, la qualité de l'eau est jugée globalement bonne à moyenne sur les trois sites », résume Anne-Sophie Voisin. Toutefois, plusieurs tests indiquent des effets supérieurs aux seuils écotoxiques. Ainsi, les sédiments du ruisseau des Marais ont provoqué une forte mortalité chez les chironomes et ont perturbé la communauté d'oligochètes. Cependant, l'échantillon de la Drize étudié à titre de comparaison n'était pas non plus sans effets et a provoqué une forte mortalité chez les ostracodes. « Le colmatage du fond par les sédiments fins est aussi un facteur déterminant. Dans le ruisseau des Marais, il pourrait compromettre la reproduction des truites », ajoute Anne-Sophie Voisin.

Les échantillons d'eau étaient, eux aussi, porteurs de risques. Bien que l'analyse chimique n'ait indiqué aucun dépassement des seuils critiques pour les polluants individuels, le risque dû à un effet cocktail était plus élevé dans le ruisseau des Marais que sur les autres sites. Les essais avec des cultures cellulaires ont indiqué un impact de xénobiotiques et un stress oxydatif sur les trois sites. Les échantillons du ruisseau des Marais ont également provoqué une inhibition de la croissance algale.

Les rares truites encore présentes dans le ruisseau des Marais étaient toutes affectées par la maladie rénale proliférative (MRP). Cette maladie est surtout influencée

par la température de l'eau mais elle peut également être aggravée par la pollution de l'eau. L'analyse des biomarqueurs suggère par ailleurs une contamination par les métaux des truites du ruisseau des Marais ainsi que des modifications du métabolisme des lipides et des fonctions thyroïdiennes.

Une probable combinaison de facteurs

Il apparaît ainsi que le déclin de la population de truites du ruisseau des Marais n'est pas dû à une seule et unique cause mais résulte très probablement d'une combinaison de facteurs :

- dégradation de la qualité du sédiment et colmatage du fond du lit ;
- dégradation de la qualité de l'eau suggérée par les essais biologiques ;
- MRP potentiellement aggravée par la pollution de l'eau.

« Cette étude montre toute l'importance, pour une évaluation globale de la qualité des eaux, de combiner analyses chimiques, biotests et biomarqueurs, conclut Anne-Sophie Voisin. Les essais biologiques peuvent indiquer des perturbations même lorsque les analyses chimiques ne révèlent aucun risque ou ne sont pas assez sensibles. »

Informations supplémentaires : Voisin, A-S., Kienle, C., et al. (2024). Évaluation écotoxicologique de la qualité de l'eau et du sédiment du ruisseau des Marais, de la Drize et de leur confluence. www.centreecotox.ch/news-publications/rapports

Contact : Cornelia Kienle
cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch,
Anne-Sophie Voisin
annesophie.voisin1@gmail.com



La pêche de truites juvéniles permet d'étudier les animaux de plus près.

Système de détection précoce pour les stations d'épuration

Un système de détection précoce combinant biosurveillance en ligne et analyses chimiques en continu a été testé dans une station d'épuration communale. Le système est capable de détecter les pics de pollution dus à la présence de micropolluants dans les eaux traitées et d'identifier les substances toxiques en temps réel. Il peut ainsi aider à améliorer la gestion des eaux usées.

La qualité des eaux de surface est exposée à une menace plurielle dans la mesure où nous utilisons de plus en plus de produits chimiques empruntant différentes voies de rejet dans le milieu aquatique. Les stations d'épuration (STEPs) jouent ainsi un rôle essentiel en centralisant la majorité des flux d'eaux usées pour les traiter avant leur rejet dans l'environnement. Grâce à l'équipement de nombreuses STEPs d'une chaîne de traitement supplémentaire, l'élimination des micropolluants a été fortement améliorée. Il reste toutefois nécessaire de contrôler la qualité des eaux traitées afin, notamment, de détecter d'éventuels incidents venant de rejets industriels et de pouvoir réagir à temps.

Les méthodes traditionnelles de surveillance basées sur un échantillonnage ponctuel ou composite s'avèrent insuffisantes

lorsqu'il convient de détecter les pics de pollution ou de réagir rapidement à la présence de substances critiques. Lorsque les STEPs accueillent des effluents industriels, en particulier, la composition des eaux usées peut changer brusquement. Suite à la modification récurrente des chaînes de production et des processus industriels, de nouvelles substances résiduelles ou de transformation se déversent dans les STEPs. De plus, les événements météorologiques extrêmes comme les pluies torrentielles peuvent conduire à une saturation des égouts et des stations d'épuration. Enfin, la température a également une influence sur le rendement d'épuration. Tous ces facteurs font en sorte que la qualité des eaux traitées ne peut pas toujours être assurée au niveau voulu.

Les systèmes biologiques d'alerte précoce – ou systèmes de biosurveillance en ligne – offrent une solution intéressante. Ils font appel à des organismes aquatiques pour suivre en temps réel et en continu l'impact des substances contenues dans les eaux usées sur le vivant. Si ces méthodes sont associées à des analyses chimiques en continu, le système permet d'évaluer dans leur globalité la qualité des effluents et les effets toxiques potentiels des micropolluants.

Système de biosurveillance basé sur une batterie de tests

Dans les systèmes biologiques d'alerte précoce, les organismes exposés aux eaux à évaluer réagissent aux polluants par des modifications mesurables de leur métabolisme ou de leur comportement. Lorsque ces modifications, surveillées en continu, dépassent un seuil prédéfini, le système déclenche une alarme. Les organismes faisant office de sonde biologique sont des bactéries, des algues, des crustacés ou des poissons choisis pour représenter les éléments vivants de l'écosystème. Les fonctions mesurées peuvent alors être l'activité photosynthétique des algues ou le comportement natatoire et la respiration des crustacés et des poissons, qui peuvent être influencés par les polluants.

Étant donné que les organismes réagissent différemment aux micropolluants, un seul type de sonde biologique ne suffit pas à une détection fiable de tous les polluants. L'idéal est donc d'en combiner plusieurs dans une batterie de tests complémentaires. L'équipe de recherche d'Ali Kizgin, qui a effectué sa thèse sur ce sujet, a sélectionné trois sondes couvrant différents niveaux trophiques : une algue verte, dont l'activité photosynthétique est suivie en continu par mesure de la fluorescence, et deux crustacés, la daphnie et le gammare, dont la nage et l'activité sont surveillées par vidéo-tracking et détection de mouvements. Aux côtés du Centre Ecotox, le projet a également impliqué la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse (FHNW) et les départements Chimie de l'environnement et Technologie des procédés de l'Eawag.

Combinaison avec les analyses chimiques connectées

« Si l'on combine la biosurveillance avec des analyses chimiques haute résolution, il est possible de confirmer les alertes du système biologique et d'identifier les substances à l'origine des réactions observées, explique Ali Kizgin. Nous avons eu la chance d'arriver juste au moment où l'Eawag venait de mettre au point son MS2field, le premier spectromètre de masse itinérant qui permet de mesurer les micropolluants sur le terrain, quasiment en continu et en temps réel, et aux concentrations rencontrées dans l'environnement. Ce système de mesure se base sur la technique de chromatographie liquide



Les eaux usées épurées peuvent être surveillées en continu grâce à un monitoring en ligne avec des organismes

haute performance couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (LC-HRMS/MS) et peut mettre en évidence aussi bien les polluants connus que les substances inconnues.»

Il n'est cependant pas aisé de mettre en relation la présence de substances chimiques et les réactions comportementales observées, car d'autres facteurs environnementaux peuvent induire de fausses alertes. Pour parer à cet écueil, divers paramètres physico-chimiques ont été mesurés en parallèle dans les effluents : nitrites, nitrates, ammonium, température, pH, et conductivité. Le système d'alerte précoce combinant biosurveillance et analyse chimique a été testé pendant cinq semaines dans une station d'épuration communale de 40 000 équivalents-habitants du canton de Saint-Gall. Les stations d'épuration communales sont des sources importantes de micropolluants d'origine domestique, agricole et industrielle. Le rejet de ces polluants peut, selon leur origine, être extrêmement variable dans le temps et l'espace, ce qui rend leur surveillance très difficile avec les contrôles habituels.

Vérifications en cas de toxicité détectée

«Au cours de cette période d'essai, le système de biosurveillance a effectivement donné l'alarme plusieurs fois», révèle Ali Kizgin. Les systèmes d'alerte avec les daphnies et les gammare ont alors été plus fortement activés que celui basé sur les algues vertes. Aucun écart significatif par rapport à la normale n'a été observé avec les algues, ce qui indique que les effluents ne présentaient pas de toxicité due aux herbicides (le groupe de substances principalement ciblé par ce test). «Cela ne nous a pas vraiment surpris, commente Ali Kizgin. Nous avons réalisé l'essai en hiver et c'est une période pendant laquelle les herbicides sont très peu employés aussi bien dans les ménages que dans l'agriculture.»

«À chaque fois qu'une alarme s'est déclenchée, nous avons consulté les analyses pour savoir si les micropolluants détectés étaient présents à des concentrations potentiellement toxiques, indique Kizgin. Si c'était le cas, nous avons effectué des essais supplémentaires au laboratoire pour savoir si un composé particulier était responsable de la réaction biologique observée.»



Les données ainsi obtenues permettent de réagir rapidement à des pollutions aiguës.

Sensibilité maximale chez le gammare

Le système d'alerte avec les gammare a déclenché une alarme significative à deux reprises au cours de l'essai. La première fois, les crustacés ont soudain présenté un surcroît d'activité après de fortes précipitations. La surveillance chimique n'a cependant révélé aucune substance toxique à des concentrations notables. Étant donné que la pluie avait fait chuter la température de l'eau de 18,5°C à 16,5°C, la réaction était probablement due au choc thermique.

Lors de la deuxième alarme, le système MS2field a révélé la présence de carbofurane, un insecticide interdit en Suisse. La concentration mesurée était de 1,4 µg/l, soit une valeur très proche de celle à laquelle la substance s'avère toxique pour 50 % des invertébrés aquatiques exposés. Les essais complémentaires effectués au laboratoire ont confirmé la responsabilité hautement probable du carbofurane dans le déclenchement de l'alarme. «Nos analyses ne nous permettent pas de savoir d'où venait l'insecticide, relève Ali Kizgin. Mais on peut supposer qu'il a été déversé sans précautions pour s'en débarrasser.»

Une aide précieuse pour la gestion des eaux usées

L'étude montre que la combinaison de la biosurveillance en ligne et de la surveillance chimique haute résolution est très utile pour détecter les pics de pollution dans les stations d'épuration. Elle permet de détecter les polluants toxiques en temps réel et contribue ainsi à l'amélioration de la gestion des eaux usées. «Maintenant que le système a fait ses preuves avec les effluents domestiques, nous pouvons le tester dans une station de traitement des eaux usées industrielles, déclare Ali Kizgin. Car il est également en mesure d'identifier les polluants présents dans les effluents industriels complexes qui ne peuvent pas être mis en évidence avec les méthodes de surveillance classiques.»

Pour en savoir plus : Kizgin, A., Schmidt, D., Bosshard, J., Singer, H., Hollender, J., Morgenroth, E., Kienle, C., Langer, M. (2024). Integrating biological early warning systems with high-resolution online chemical monitoring in wastewater treatment plants. *Environmental Science and Technology*, 58(52), 23148-23159. doi.org/10.1021/acs.est.4c07316

Contact : Miriam Langer
miriam.langer@fhnw.ch,
Cornelia Kienle
cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch

Les vers de terre évitent les résidus d'abrasion des pneus

Les résidus d'abrasion des pneus sont entraînés dans les sols bordant les routes où ils agissent sur les organismes qui y vivent. Une nouvelle étude montre que les vers de terre évitent les sols contaminés par les particules de pneus. Dans les essais, ces particules n'avaient cependant pas d'effet négatif sur la survie ou la reproduction des lombrics.

Les pneus s'usent avec le temps, ce qui ne limite pas seulement leur durée de vie mais entraîne aussi la formation de résidus d'abrasion. Les particules qui se forment contiennent des gommes, des minéraux, du bitume et de nombreuses substances chimiques provenant aussi bien des pneus en eux-mêmes que du revêtement de la chaussée. D'année en année, la quantité de particules produites par l'usure des pneus augmente – on estime qu'il en est émis plus de trois millions de tonnes annuelles dans le monde.

Les résidus d'abrasion des pneus sont entraînés dans les sols bordant les routes

La majeure partie des particules produites se déposent à proximité de la chaussée et sont entraînées dans les sols environnants, voire dans le milieu aquatique. On estime que près de 70 % des particules restent au bord des routes et dans les sols avoisinants. Leur concentration est alors maximale au contact de la route et diminue à mesure que l'on s'en éloigne. Mais il s'avère également qu'une petite partie des produits d'usure des pneus peut être transportée par les airs et atteindre ainsi des zones plus éloignées.

Le caoutchouc qui constitue les pneus contient de nombreux additifs comme des agents de vulcanisation, des antioxydants, des antiozonants, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des métaux lourds qui assurent leur longévité, leur élasticité et leur résistance. Il est avéré que certains de ces composés chimiques peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques: ainsi, le produit d'oxydation d'un composant des pneus, la 6PPD-quinone, est extrêmement toxique pour le saumon coho et a déjà provoqué des hécatombes de saumons dans certains cours d'eau d'Amérique du Nord. Cet

effet semble cependant spécifique à l'espèce puisque les espèces parentes et les crustacés n'ont été que très peu affectés.

Des substances potentiellement œstrogéniques, génotoxiques et antibactériennes

En même temps, la toxicité d'autres substances entrant dans la composition des pneus et de leurs produits de transformation n'est pas encore entièrement connue. Une étude du Centre Ecotox a montré que les pneus contenaient des substances potentiellement œstrogéniques, génotoxiques et antibactériennes pouvant être libérées dans l'environnement. Certains composés issus des pneus pourraient s'accumuler dans la chaîne alimentaire, ce qui pourrait affecter la santé humaine et animale à travers la consommation de poisson.

Étant donné que les résidus d'abrasion des pneus sont tout d'abord entraînés dans les sols, les animaux qui y vivent, comme les lombrics ou les nématodes, y sont particulièrement exposés du fait de leur manière de se déplacer et de s'alimenter en creusant et en avalant la terre. En collaboration avec l'Eawag et l'EPFL, le Centre Ecotox a donc étudié l'accumulation des substances issues de l'abrasion des pneus dans les vers de terre, choisis pour leur rôle central dans l'écosystème. « Nous voulions d'autre part savoir si les particules avaient une influence sur le comportement, la survie, la croissance et la reproduction des vers », précise Thibault Masset, le chercheur de l'EPFL qui a réalisé l'étude.

Des particules modèles obtenues par broyage de la bande de roulement

« Pour les essais, un matériau modèle a été obtenu en broyant à très basse température la couche supérieure de la bande de roulement de pneus de différents fabricants, explique-t-il. Les particules ainsi obtenues ont ensuite été mélangées à du sol naturel pour recréer deux niveaux de contamination: un sol peu contaminé (0,05 % de particules) représentant les sols assez éloignés des routes, et un sol fortement contaminé (5 % de particules) représentant les sols jouxtant les routes. » Une troisième catégorie de sol a été créée en le traitant avec de l'eau de rinçage des particules de pneu sans lui ajouter les par-

ticules en elles-mêmes: ce type de substrat visait à simuler une pollution par les substances lessivées à partir des pneus. Les lombrics ont été exposés pendant trois semaines aux sols traités avant d'être étudiés en détail.

Absorption des substances chimiques par les vers de terre

« Nous avons analysé les échantillons de sol et les vers de terre, raconte Thibault Masset. Les résultats ont montré que, comme nous nous y attendions, le sol contenant 5 % de particules présentait des concentrations plus élevées de substances issues des pneus que celui n'en contenant que 0,05 %. » La plupart des substances détectées dans le sol fortement contaminé ont été retrouvées dans les lombrics. Les vers de terre les avaient ainsi absorbées en ingérant le substrat. Mais des concentrations accrues de certains composés ont également été mesurées chez les lombrics après une exposition au sol à 0,05 % de particules ou à celui traité à l'extrait de pneu. Cette observation montre que les substances chimiques peuvent contaminer les organismes même lorsque les particules sont présentes à faible concentration.

« Nous avons également cherché à savoir avec quelle rapidité s'effectuait l'absorption puis l'excrétion des substances chimiques par les lombrics », explique Thibault Masset. Les vers absorbaient la plupart des composés assez rapidement mais les excrétaient tout aussi vite lorsqu'ils étaient transférés dans un sol non contaminé. Non polaires, les HAP se maintenaient plus longtemps dans le corps des lombrics. « Les substances s'accumulent assez peu dans les vers de terre, commente Thibault Masset. Nous l'avons également constaté pour les HAP ou la 6PPD-quinone dont les propriétés chimiques laissaient supposer une bioaccumulation. » Cela peut signifier que les substances sont très efficacement métabolisées dans le corps des vers ou qu'elles sont rapidement rejetées. Une autre hypothèse serait que les substances sont si fortement liées aux particules qu'elles ne se dissolvent que très peu dans l'eau interstitielle du sol ou dans le suc digestif des lombrics et qu'elles sont donc peu biodisponibles. « Bien que les concentrations de zinc aient fortement augmenté dans le sol suite à l'ajout des particules de



Les vers de terre peuvent être utilisés pour étudier la toxicité des particules de pneus sur les animaux du sol.

pneu, les vers de terre n'en ont pas accumulé dans leur organisme, poursuit Thibault Masset. Cela s'explique probablement par la capacité des lombrics à réguler la teneur en zinc dans leur corps. Le zinc leur est essentiel à faible dose mais dangereux à forte concentration. »

Évitement mais pas d'effet négatif sur la reproduction

Un test d'évitement a été réalisé pour savoir si les lombrics fuyaient activement le sol contaminé s'ils en avaient la possibilité. Pour ce faire, les vers ont été placés deux jours durant dans un récipient contenant d'un côté du sol contaminé et de l'autre du sol non contaminé. À la fin de l'essai, les vers se trouvant de part et d'autre ont été comptabilisés. Les résultats montrent qu'à forte concentration de particules, les lombrics évitent fortement le sol contaminé alors qu'aucun effet n'était observé à faible concentration. « Lorsque le sol renferme une quantité importante de particules de pneu, il a donc un effet négatif sur les vers de terre qui ne le per-

çoivent apparemment plus comme un habitat adéquat », commente Thibault Masset. Le sol contenant 5 % de particules avait par ailleurs une forte odeur de produits chimiques, ce qui suggère que les particules de pneu émettaient des substances volatiles. Il se peut donc que les vers de terre évitent le sol contaminé parce que certaines substances contenues dans les pneus sont biodisponibles et sont perçues comme repoussantes ou toxiques par les lombrics. Il se pourrait également que le comportement d'évitement observé soit lié à une modification de la structure du sol due à l'ajout des particules de gomme.

« Nous avons également cherché à savoir si les particules de pneu affectaient la survie et la reproduction des lombrics adultes, indique Thibault Masset. Nous n'avons pas observé d'effets significatifs. » Le nombre de descendants augmentait légèrement avec la concentration de particules mais la différence avec les témoins n'était pas significative. Parallèlement, les descendants présentaient une masse corporelle

plus faible. « Il est possible que les lombrics réagissent au stress biologique par une descendance plus nombreuse, mais qu'en raison du coût énergétique plus élevé, les individus soient alors plus petits, explique Thibault Masset. Il se peut également que les jeunes lombrics soient directement affectés par les particules. » Selon le chercheur, d'autres études seront nécessaires pour évaluer les conséquences éventuelles à long terme pour les générations futures et pour l'écosystème.

Informations supplémentaires : Masset, T., Breider, F., Renaud, M., Müller, J., Bergmann, A., Vermeirssen, E., Dufey, W., Schirmer, K. and Ferrari, B. J. D. (2025). Effects of tire particles on earthworm (*Eisenia andrei*) fitness and bioaccumulation of tire-related chemicals. *Environmental Pollution*, 368, 125780

Contact : Benoît Ferrari
benoit.ferrari@centreecotox.ch,
Thibault Masset
thibault.masset@epfl.ch

Appréciation de la qualité de l'eau du Léman

Pour les lacs aussi, les bioessais complètent idéalement les analyses chimiques pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Dans une étude réalisée dans le Léman pour évaluer divers bioessais, le test sur embryons de poissons s'est avéré particulièrement sensible et les essais à gènes rapporteurs ont fourni de précieuses indications sur la pollution des eaux.

Les méthodes basées sur les effets sont de plus en plus utilisées dans l'évaluation de la qualité des eaux car elles complètent les analyses chimiques en livrant des informations supplémentaires très utiles: elles permettent ainsi de détecter la toxicité de polluants et cocktails chimiques inconnus et fournissent une indication des effets possibles sur les organismes dans l'écosystème. Le Centre Ecotox a proposé une batterie de bioessais pour l'appréciation de la qualité des eaux dans la pratique et l'a déjà utilisée dans de nombreux cours d'eau. « Jusqu'à présent, on ne disposait toutefois que de très peu de données sur les lacs, révèle Cornelia Kienle, qui dirige le projet. Nous voulions donc savoir si notre batterie de tests convenait aussi à l'appréciation de la qualité de l'eau dans le Léman. »

Pour répondre à cette question, les écotoxicologues ont étudié, en 2022, trois sites aux contextes différents: la baie de Vidy, qui reçoit les effluents d'une station d'épuration (STEP), le delta de la Dranse, une réserve naturelle située entre une zone industrielle et une STEP, et finalement, une

zone de prélèvement au milieu du lac. Le projet a été réalisé en partenariat avec la CIPEL (commission internationale pour la protection des eaux du Léman).

Les bioessais se complètent

Les échantillons d'eau prélevés sur les trois sites ont été soumis à de nombreux bioessais: en plus des tests à gènes rapporteurs sur lignées cellulaires humaines (panel CALUX®) qui détectent la **réaction des cellules aux xénobiotiques, aux composés cytotoxiques, au stress oxydatif et aux perturbateurs endocriniens**, le test d'Ames a été employé pour **évaluer les effets mutagènes**. Un test combiné sur algues vertes unicellulaires a d'autre part servi à évaluer la **toxicité pour les algues**. Enfin, des tests de toxicité ont été réalisés avec **des ostracodes, des daphnies et des poissons**, ces derniers sous la forme de lignées de cellules branchiales ou d'embryons. Pour évaluer le risque pour les organismes aquatiques, les effets ont été comparés à des valeurs limites spécifiques à chaque test. Ces dernières indiquaient le niveau de réaction encore acceptable et la valeur à partir de laquelle des effets sur les organismes ne pouvaient plus être exclus dans l'environnement.

Forte toxicité indiquée par le test avec les embryons de poissons

Les valeurs limites ont été dépassées dans trois des tests et ce, au moins une fois sur chacun des sites. Dans la baie de Vidy, les tests CALUX® ont indiqué des réactions notables au stress oxydatif et à l'activité

oestrogénique. Les échantillons du delta de la Dranse et du milieu du lac pouvaient causer la mort de 50 % des embryons de poissons exposés. « Cela nous a beaucoup surpris car nous nous attendions à ce que les échantillons prélevés en plein lac, notamment, n'aient aucun effet toxique, avoue Cornelia Kienle. Nous avons donc réétudié les trois sites l'année suivante. » La forte toxicité de 2022 n'a pas été retrouvée en 2023: cette année-là, les toxicologues ont observé des effets bien moindres en termes de mortalité mais ont constaté des effets sur le développement dans la baie de Vidy.

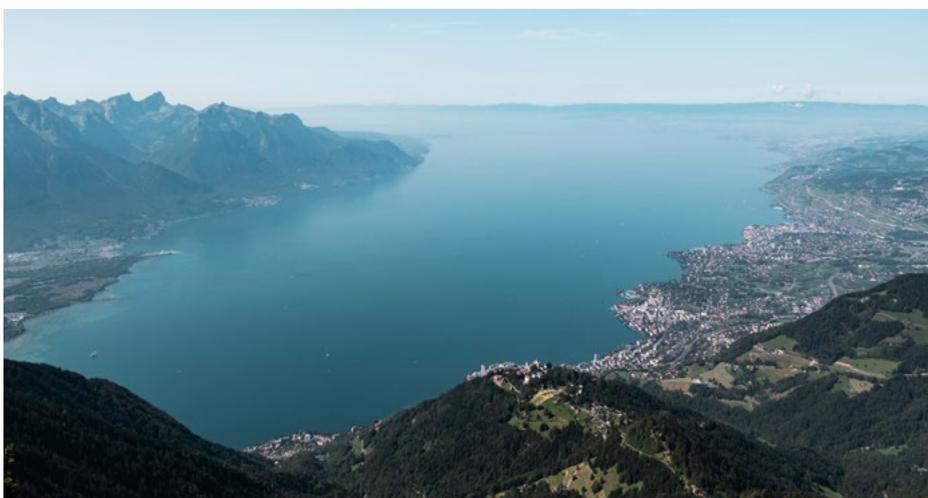
Les analyses chimiques n'expliquent qu'une partie de la toxicité

Pour identifier les causes possibles des effets toxiques, les scientifiques ont comparé les risques écotoxicologiques indiqués par les bioessais avec les données d'analyse chimique. Pour les végétaux et les invertébrés, les résultats des deux approches étaient concordants et n'indiquaient pas de risque. Il n'en allait pas toujours de même avec les vertébrés: même si des concentrations d'ibuprofène supérieures au critère de qualité chronique ont été mesurées en 2023, ce qui indiquait que cette substance contribuait probablement aux effets toxiques observés sur les embryons de poissons, les teneurs en substances toxiques déterminées par analyse chimique ne suffisaient pas à expliquer la forte toxicité dévoilée par le test sur les embryons en 2022. Il est donc possible que d'autres composés que ceux analysés soient impliqués dans cette toxicité.

« Les résultats obtenus dans le Léman sont en bonne concordance avec nos données relatives aux cours d'eau, commente Cornelia Kienle. Là aussi, le test sur les embryons de poissons s'était révélé le plus sensible. » Elle souligne toutefois qu'il est encore nécessaire de rassembler davantage d'informations sur les bioessais mis en œuvre et sur les conclusions qu'ils permettent.

Informations supplémentaires :
rapport scientifique de la CIPEL 2024
<https://www.cipel.org/wp-content/uploads/2024/11/rapport-scientifique-2024.pdf>

Contact : Cornelia Kienle
cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch



Les tests écotoxicologiques conviennent également à l'évaluation de la qualité des lacs, comme ici le lac Léman.

Centre Ecotox à l'EPFL : Entretien avec Christof Holliger



Photo : Alain Herzog, EPFL

Christof Holliger, professeur de biotechnologie environnementale à l'EPFL, a accompagné le Centre Ecotox depuis sa création en 2008, tout d'abord en tant que membre de la direction et du comité stratégique puis en tant que représentant de l'EPFL dans le conseil des instituts d'accueil. Il a pris sa retraite fin février 2025 et revient avec nous sur ces années.

Tu as accompagné le Centre Ecotox pendant de nombreuses années en tant que représentant de l'EPFL et de la Romandie. Peux-tu nous en dire plus sur l'histoire du Centre Ecotox à l'EPFL? Pourquoi l'EPFL, quel était le lien?

Je n'ai pas été là depuis le tout début, à vrai dire. Dans la période qui a précédé l'ouverture du Centre Ecotox, la personne qui a le plus participé à sa conception de notre côté était Kristin Becker van Slooten, elle-même chercheuse en écotoxicologie du sol. C'est elle qui a fait le lien. Le Centre Ecotox devait être intégré au domaine des EPF avec un pôle d'écotoxicologie aquatique à l'Eawag et, justement, un pôle d'écotoxicologie terrestre à l'EPFL. Pour des raisons personnelles, Kristin Becker a changé de poste à l'EPFL et c'est moi qui l'ai remplacée en tant que représentant de

l'EPFL dans la dernière phase de préparation du centre. Et c'est ainsi que j'ai représenté l'EPFL au Centre Ecotox de son inauguration en 2008 jusqu'en février 2025. Ma collègue Tamar Kohn a maintenant repris le flambeau.

Pourquoi le Centre Ecotox est-il important pour l'EPFL? Pourquoi est-il si important que le Centre Ecotox soit également présent en Suisse romande?

Même si l'EPFL ne comporte plus de groupe de recherche en écotoxicologie, l'implantation du Centre Ecotox sur les deux sites a été une excellente décision. En la personne de Benoît Ferrari, le groupe lausannois a trouvé un responsable qui a poussé l'écotoxicologie des sols et des sédiments et qui a ensuite succédé à Inge Werner à la direction du Centre Ecotox. Cela a intensifié les rapports entre les deux sites et souligné l'indépendance du Centre Ecotox vis-à-vis des deux instituts d'accueil, l'Eawag et l'EPFL. Et cela facilite grandement la participation de partenaires romands à des projets de recherche. Le fait que le Centre Ecotox reçoive de nouveaux bureaux et laboratoires dans un peu plus d'un an montre bien qu'il tient à cœur de l'EPFL de lui fournir de bonnes conditions de travail.

Quelles étaient les principales difficultés au départ? Comment la situation du Centre Ecotox a-t-elle évolué depuis sa création?

Le plus grand problème était de faire comprendre à tous nos interlocuteurs, que ce soient les offices fédéraux, les services cantonaux ou autres, que le Centre Ecotox était une institution indépendante et que ni l'Eawag ni l'EPFL n'avaient d'influence notable sur les projets abordés. La structure actuelle, dans laquelle les représentants des instituts d'accueil ne font plus partie de l'équipe de direction, le montre très clairement, je crois.

Qu'as-tu le plus apprécié dans tes années avec le Centre Ecotox?

Pour moi, le meilleur moment a été la fête des dix ans du Centre Ecotox, à Berne, en 2018. Cet événement a vraiment montré la bonne santé et le dynamisme du centre. Sinon, je suis très heureux que la collaboration entre les représentants des deux instituts d'accueil ait si bien fonctionné. Surtout, je me réjouis de voir que le Centre Ecotox a une très bonne équipe qui fournit un travail de tout premier ordre.

À ton avis, quels sont les thèmes à venir? Quelles seront les principales préoccupations?

Je ne suis pas expert en écotoxicologie mais il me semble que l'évaluation des cocktails de polluants est l'un des grands sujets du moment. On entend aujourd'hui beaucoup parler des PFAS et des microplastiques mais même ces polluants émergents ne sont qu'une partie d'un tout ; d'un tout qui peut agir sur l'environnement, y-compris l'humain, et lui nuire. Je pense donc qu'il est primordial de traiter le sujet de façon globale et intégrée.

Quels sont tes vœux pour le Centre Ecotox?

Je souhaite vraiment au Centre Ecotox de disposer un jour d'une base financière assez solide pour pouvoir réellement traiter, avec tout le sérieux et les moyens nécessaires, tous les sujets qu'il devrait aborder. Dans ses dix-sept ans d'existence, nous n'y sommes malheureusement jamais parvenus.

Les brèves du Centre Ecotox



Écotoxicité des sols contaminés par les munitions

Dans les zones militaires, le sol peut être pollué par des munitions et des explosifs, et ces sites contaminés peuvent avoir un impact sur l'environnement. Les prescriptions actuellement en vigueur pour les sols pollués ne couvrent qu'une fraction des polluants possibles et ne tiennent pas compte du fait que ceux-ci sont souvent présents dans des mélanges complexes. Dans le cadre d'un nouveau projet, le Centre Ecotox va donc caractériser chimiquement les principaux polluants présents dans les sols contaminés par des munitions et déterminer leur écotoxicité. Il sera ainsi possible de déterminer le risque pour différentes utilisations du sol et de fixer des objectifs de protection et/ou de dépollution.

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



Cours de formation continue du Centre Ecotox

Le **30 septembre 2025**, un cours de formation continue sera proposé sur le thème **One Health – Lien entre la santé humaine et animale et l'état de l'environnement dans la réglementation et l'exécution**. Il aura lieu à Dübendorf et se tiendra en allemand (et en français). Dans ce cours, nous présenterons les moteurs politiques pour la mise en œuvre de l'approche « One Health », tels que les cadres législatifs et les directives en Suisse, dans l'UE et aux États-Unis, en particulier dans les domaines de la sécurité alimentaire, de la santé animale et de la protection de l'environnement. Nous présenterons des études de cas soutenant l'approche « One Health », discuterons des défis scientifiques liés à sa mise en œuvre et proposerons de nouvelles approches pour l'évaluation des risques liés aux stress biologiques et chimiques.

Les **17 et 18 novembre 2025**, nous proposons de nouveau notre cours **d'introduction à l'écotoxicologie**. Il aura lieu cette année à Lausanne en français. De l'origine et du devenir des polluants dans l'environnement à l'évaluation du risque, ce cours permettra aux participants d'acquérir les éléments fondamentaux de l'écotoxicologie. Des exercices encadrés et des études de cas illustreront les concepts (législation, établissement de critères de qualité, etc.) et les outils (biotests, biomarqueurs, indices biologiques, etc.) qui seront présentés pour l'évaluation écotoxicologique des eaux, des sédiments et des sols.

Le **4 décembre 2025**, nous serons associés à l'organisation du cours PEAK **«Émissions et impact des particules de pneus dans l'environnement»** qui sera donné en français et en allemand à Dübendorf. Le produit d'abrasion des pneus est un polluant important et très peu biodégradable qui se rencontre fréquemment dans le sol, l'eau et les sédiments. Dans ce cours, nous donnerons un aperçu de l'état de l'art concernant le devenir, le comportement et les effets, et nous discuterons des solutions pour limiter l'impact des particules de pneu sur l'environnement.

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



Journée de dialogue 2025 du Centre Ecotox

Nous vous invitons à nouveau à une journée de dialogue. Cette année, elle aura lieu à **Berne le mardi 26 août 2025 de 9h30 à 13h30** (manifestation bilingue français/allemand avec traduction simultanée).

Cette journée vous permettra d'en savoir plus sur nos projets en cours concernant l'utilisation des bioessais et l'évaluation du risque dans les eaux, les sédiments et les sols. Réservez dès à présent cette date dans votre calendrier ! L'invitation et le programme détaillé seront prochainement publiés sur notre site.

www.centreecotox.ch



Remplacer la tourbe dans les sols et sédiments artificiels

La toxicité des produits chimiques pour les organismes édaphiques dépend fortement des propriétés du sol ou du sédiment auquel ils sont exposés. Les bioessais normalisés de l'OCDE utilisés pour évaluer la toxicité des substances sont donc réalisés avec des sols ou des sédiments artificiels de composition strictement définie. Or ces substrats d'essai contiennent systématiquement de la tourbe comme source de matière organique.

Étant donné que les tourbières se raréfient en Europe et qu'elles sont pour la plupart dans un mauvais état écologique, il convient dorénavant de limiter l'exploitation de la tourbe. Pour pouvoir poursuivre l'évaluation des produits chimiques selon les prescriptions de l'OCDE, il est donc nécessaire de trouver une alternative à la tourbe pour pourvoir les sols et sédiments artificiels en matière organique. Dans cet objectif, le Centre Ecotox a, dans un premier temps, réalisé une étude bibliographique avec un groupe international de spécialistes pour identifier les alternatives à la tourbe envisageables pour les tests de l'OCDE.

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

Normalisation du test sur les sédiments avec les gammarès

Les produits chimiques susceptibles de s'accumuler dans les sédiments doivent être testés quant à leur toxicité pour les organismes benthiques dans le cadre du processus d'autorisation. Il n'existe actuellement que peu de lignes directrices de l'OCDE pour tester les produits chimiques liés aux sédiments : un test avec des chironomes est le plus couramment utilisé (Test No. 218 : Sediment-Water Chironomid Toxicity Using Spiked Sediment). Pour une évaluation détaillée des risques, des méthodes d'essai supplémentaires avec des organismes plus sensibles tels que les amphipodes sont nécessaires.

Une ligne directrice de l'OCDE pour les amphipodes est en cours de validation par le biais d'un essai interlaboratoire. La proposition de ligne directrice se concentre sur l'amphipode nord-américain *Hyalella azteca*, mais prévoit également la possibilité d'utiliser d'autres espèces. Le Centre Ecotox de Lausanne collabore donc à la normalisation par l'OCDE du test de toxicité des sédiments avec l'amphipode européen *Gammarus* sp.

Contact : Carmen Casado, carmen.casado@centreecotox.ch



Critères de qualité du Centre Ecotox – nouvelles valeurs, nouvelles substances, nouvelle liste

Vous souhaitez interpréter des concentrations de polluants mesurées dans l'environnement? Le Centre Ecotox gère une base de données qui rassemble les critères de qualité environnementale (CQE) et autres valeurs limites écotoxicologiques de nombreuses substances et vient d'être complétée de nouvelles informations.

Nous avons déterminé **un nouveau CQE** pour la téfluthrine, un insecticide pyréthrinöïde. Le dossier correspondant est maintenant sur notre site. Nous indiquons également des CQE *ad hoc* que nous avons déterminés sur la base des données d'homologation ainsi que des CQE déterminés par d'autres pays ou institutions que nous proposons d'utiliser pour l'appréciation de la qualité des eaux. En un mot : la liste de tous les CQE disponibles a été actualisée. Les valeurs ont changé pour certaines substances, d'autres sont venues s'ajouter à la liste. Cette dernière comprend ainsi maintenant des **CQE *ad hoc* supplémentaires**, des critères de qualité pour les métaux et des CQE supplémentaires pour les antibiotiques.

Les critères de qualité indiqués pour les métaux proviennent de l'Ordonnance sur la protection des eaux et n'ont pas encore été déterminés avec la méthode actuelle mais avec une méthode plus ancienne. Ils doivent être utilisés comme des critères de qualité aigus (CQA) car les concentrations ne doivent à aucun moment dépasser leur valeur.

Les **critères de qualité supplémentaires pour les antibiotiques** diffèrent des CQE habituels car ils ne visent pas en priorité la protection des écosystèmes mais servent surtout à éviter la sélection de formes d'antibiorésistance chez les bactéries présentes dans l'environnement. Il importe que les bactéries résistantes ne soient pas favorisées afin que l'antibiorésistance ne se répande pas. En Suisse, ces critères de qualité n'ont pas de valeur légale. Mais si vous mesurez des concentrations d'antibiotiques supérieures à ces valeurs, contactez-nous. Car nous continuerons de suivre ce dossier dans les années qui viennent.

Contact : Gianna Ferrari, gianna.ferrari@oekotoxzentrum.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.

Près d'un quart des espèces animales d'eau douce menacées d'extinction

Environ un quart des espèces animales d'eau douce de la planète sont menacées d'extinction. C'est ce que montre une nouvelle analyse réalisée pour la Liste rouge des espèces menacées de l'UICN. Cette étude, qui a considéré 23 496 espèces de crustacés, de poissons et de libellules, situe les principales menaces au niveau de la pollution, de la dégradation des habitats, de l'agriculture, des espèces exotiques envahissantes et de la surpêche. Elle montre par ailleurs que les mesures de protection actuelles, qui concernent surtout les vertébrés terrestres ou portent sur certains facteurs abiotiques tels que la pollution par l'azote ou le stress hydrique, ne suffisent pas pour protéger les espèces d'eau douce. Sayer, C.A. et al. (2025) One-quarter of freshwater fauna threatened with extinction. *Nature* 638, 138–145 <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08375-z>

Le plastique affecte les organes et le système nerveux des oiseaux marins

L'ingestion de plastique par les oiseaux marins a de graves conséquences pour leur santé – bien au-delà du système digestif. Une nouvelle étude montre que les jeunes oiseaux marins fortement contaminés par le plastique présentent des modifications dans des centaines de protéines. Leurs signatures protéomiques indiquent ainsi une dégradation des cellules ainsi qu'une perturbation des fonctions métaboliques de l'estomac, du foie et des reins. Fait particulièrement inquiétant, les scientifiques ont détecté des signes de neurodégénération chez les oiseaux. de Jersey, A.M. et al. (2025) Seabirds in crisis: Plastic ingestion induces proteomic signatures of multiorgan failure and neurodegeneration. *Science Advances* Mar 14;11(11):eads0834. doi: 10.1126/sciadv.ads0834.

Menace généralisée par l'acide trifluoroacétique

Les concentrations d'acide trifluoroacétique (TFA) augmentent très rapidement partout dans le monde dans l'eau de pluie, les sols, les plantes, les denrées alimentaires et même dans l'eau de boisson. Le TFA est un produit de dégradation particulièrement persistant qui se forme à partir de nombreux produits chimiques fluorés, comme certains liquides caloporteurs, pesticides et médicaments. Extrêmement mobile et quasiment non biodégradable, il s'accumule de façon irréversible, de sorte qu'il est aujourd'hui présent dans notre environ-

nement à des concentrations beaucoup plus élevées que d'autres PFAS. De premiers résultats indiquant une toxicité pour le foie et la reproduction ainsi que de possibles effets au niveau des écosystèmes suscitent l'inquiétude. En raison de sa répartition généralisée dans le monde et de la portée de ses effets, le TFA représente une menace pour les limites planétaires. Les scientifiques plaident donc ardemment pour des mesures contraignantes de réduction des émissions. Arp, H.P.H., et al. (2024) The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA). *Environ. Sci. Technol.* 58, 45, 19925–19935

Action des pesticides sur les organismes non-cibles : un nouvel article de revue

Les pesticides n'agissent pas seulement sur les organismes qu'ils ciblent mais aussi sur de nombreuses autres espèces dans presque toutes les catégories du vivant, qu'il s'agisse des micro-organismes, des végétaux, des insectes ou encore des amphibiens. Une méta-analyse portant sur plus de 20 000 données issues de 1 705 études montre que les pesticides affectent la croissance, la reproduction et le comportement des organismes non-cibles aussi bien dans les écosystèmes aquatiques que dans les sols. Ces effets sont plus prononcés en zone tempérée qu'en milieu tropical mais s'observent partout – même en conditions réalistes d'exposition. Ces résultats interrogent la durabilité de l'emploi actuel des pesticides et soulignent l'importance d'une amélioration de l'évaluation des risques. Wan, N.F. et al. (2025) Pesticides have negative effects on non-target organisms. *Nature Communications* 16, 1360. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56732-x>

De petites quantités de pesticides suffisent à perturber le comportement et le développement des insectes

Une nouvelle étude montre que pour de nombreux pesticides, des concentrations très faibles, comparables à celles présentes dans l'environnement, suffisent à perturber le comportement, le développement et la reproduction des insectes. Dans des essais de laboratoire portant sur plus d'un millier de substances actives, 57 % provoquaient des anomalies comportementales notables chez les larves de drosophile exposées, souvent couplées à une réduction du taux de survie. Des modifications du métabolisme et des perturbations de la ponte ont également été constatées. Ces effets s'intensifiaient avec la température et s'observaient également chez d'autres insectes tels que les moustiques ou les papillons. Ces résultats suggèrent que la pollution par les pesticides à des concentrations non létales pourrait être en partie responsable du déclin mondial des populations d'insectes. Gandara, L. et al. (2024) Pervasive sublethal effects of agrochemicals on insects at environmentally relevant concentrations. *Science* 386,446-453. DOI:10.1126/science.ado0251

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, Alain Herzog, EPFL (p. 7, 9), Adobe Stock (p. 8, 10, 11)

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

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