

centre ecotox news

25. édition novembre 2022

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



Des chironomes pour mesurer
la qualité des matières en
suspension dans le Léman p. 3

Contamination aux raticides
dans la faune sauvage suisse
p. 4

Produit d'abrasion des pneus :
toxique pour les poissons ? p. 6

Nouvelles directives
européennes pour la gestion
des sédiments p. 8

Un bon dans le temps



Dr. Benoît Ferrari,
directeur du Centre Ecotox

Nous sommes en 2022, et il y a maintenant 60 ans que la biologiste Rachel Carson a tiré la sonnette d'alarme pour la protection de la nature en publiant son livre « Silent Spring » (Printemps silencieux). À la fin des années 1950, Rachel Carson se concentra sur la protection de l'environnement et sur les problèmes causés par les pesticides de synthèse. Ceci la conduisit à publier cet ouvrage qui documente comment l'utilisation non contrôlée de pesticides peut entraîner une mortalité chez les animaux et chez les humains. Elle y accusait notamment un produit chimique alors jugé inoffensif, le dichloro-diphényl-dichloroéthane, plus connu sous le nom de DDT. Ceci en raison de son potentiel de biomagnification – le DDT est transférable le long de la chaîne trophique – et de ses effets cancérigènes et reprotoxiques – le DDT empêche la bonne reproduction des oiseaux en amincissant la coquille de leurs œufs.

L'impact du livre de Rachel Carson fut retentissant dans la sphère sociétale. Il déclencha un renversement dans la politique nationale américaine conduisant à bannir l'utilisation du DDT et d'autres biocides de synthèse et à pousser les élus à établir de nouvelles lois pour ce type de substances. Cet ouvrage s'est exporté au-delà des frontières américaines. Près

d'une décennie plus tard, celui-ci aurait contribué à lancer le mouvement écologiste moderne dans le monde occidental. Il a également joué un rôle déterminant dans la naissance d'un nouveau domaine : l'écotoxicologie.

Raphel Carson écrivait « Si nous devons maintenant partager notre intimité avec ces produits chimiques [...] nous avons tout intérêt à connaître une chose ou deux à propos de leur nature et de leur pouvoir ». Cette phrase ressemble à un vrai avertissement pour nous inciter à déployer tous les moyens pour évaluer le risque que les produits chimiques peuvent causer avant leur mise sur le marché, et après, une fois qu'ils sont présents dans l'environnement. Son témoignage est encore plus pertinent aujourd'hui et pour ainsi dire prophétique, si nous rapprochons cela au triste constat de dépassement en 2022 de la limite planétaire concernant le rejet des « nouvelles entités » (voir édito de Mai 2022) et de la dégradation de la biodiversité.

Bien sûr, de nombreux progrès ont été réalisés dans les politiques mises en place, dans l'évaluation prospective et rétrospective du risque environnemental des produits chimiques, dans les approches pour la gestion intégrée des écosystèmes ou encore dans le développement d'outils innovants en chimie, écotoxicologie et écologie pour aider à tout cela, mais il reste encore de nombreux défis à relever. Un des défis et non des moindre, c'est le

temps ! Faire un bon dans l'histoire nous montre à quel point les choses peuvent avancer lentement lorsqu'il s'agit de transposer la science à la réglementation ou bien de rendre plus rapide les décisions qui concernent la protection de la santé et de l'environnement. Par exemple, en Europe, il existe un contraste frappant entre les quelques semaines qu'il faut aux entreprises pour accéder au marché et les années, voire les décennies, qu'il faut aux autorités pour restreindre les produits chimiques dont elles apprennent qu'ils sont gravement nocifs pour les personnes ou l'environnement.

Si Rachel Carson vivait à notre époque et devait réécrire son livre, quels seraient les exemples qu'elle utiliserait ? Dans ce numéro, vous pourrez en savoir plus sur certaines de ces « nouvelles entités », comme les rodenticides, les filtres UV ou bien les particules de pneus. Vous trouverez aussi des informations sur ce qui est nécessaire pour la gestion intégrée des sédiments en Europe pour ainsi atteindre un bon état des eaux. Je vous souhaite une excellente lecture !

Photo de couverture : Le Centre Ecotox a utilisé la plateforme de recherche LÉXPLORE dans le lac Léman pour y collecter des matières en suspension et en étudier la qualité.
(Photo : Rébecca Beauvais, Centre Ecotox)

Des larves de chironomes pour mesurer la qualité des matières en suspension dans le Léman

La qualité des matières en suspension peut être mesurée grâce à une combinaison de biotests et de biomarqueurs avec les chironomes. Dans le Léman, cette méthode a montré que cette qualité variait au cours d'une année. Les particules peuvent affecter l'état de santé des larves de chironomes.

Depuis 2019, les scientifiques de multiples disciplines peuvent collecter des données sur le Léman grâce au laboratoire flottant LÉXPLORE installé sur le lac. Le Centre Ecotox a également utilisé cette infrastructure en 2021 pour étudier la qualité des matières en suspension. Ces matières sont en interaction avec les substances dissoutes qu'elles accumulent et transportent, et constituent ainsi un intermédiaire important entre l'eau et les sédiments. Contrairement à ces derniers, les matières en suspension réagissent rapidement aux conditions environnantes et peuvent présenter d'importantes fluctuations. Le Centre Ecotox a collecté des matières en suspension pendant plusieurs mois et étudié les effets de leur qualité sur les larves de chironomes.

Les chironomes, des organismes clés du fond des lacs et cours d'eau

Les scientifiques ont collecté des matières en suspension sur deux périodes: de février à juillet (saison 1) puis de juillet à novembre (saison 2). Les particules ont ensuite été analysées et leur effet sur la croissance et l'émergence des larves de chironomes mesuré. En complément, leur effet sur l'expression génique des insectes a été étudié à l'aide de biomarqueurs. Les chironomes sont des organismes clés du fond des lacs et cours d'eau et se prêtent particulièrement bien à l'étude de la biodisponibilité et de la toxicité des polluants liés aux sédiments et de leur transfert le long de la chaîne alimentaire.

L'analyse des particules par une approche de screening non ciblé a révélé qu'elles contenaient plus de 1000 substances, dont 197 d'origine anthropique. Une grande partie de ces substances ont été détectées dans les échantillons des deux périodes, ce qui semble indiquer un caractère diffus de la pollution. « La plupart des composés que nous avons détectés ne nous ont pas surpris », indique Rébecca Beauvais, la responsable du projet. Ils comptaient notamment des produits d'entretien, des substances perfluoralkylées



Rébecca Beauvais et Christina Thiemann préparent des pièges à matières en suspension pour les immerger dans le lac Léman afin d'y prélever des échantillons.

et polyfluoroalkylées (PFAS) et des composés marqueurs de la circulation routière. « Ces résultats doivent cependant encore être confirmés par des analyses quantitatives ciblées », souligne Rébecca Beauvais.

Un impact sur l'émergence des insectes

Lorsque des larves de chironomes étaient mises au contact de matières en suspension de la saison 2, le pourcentage d'émergence était significativement plus faible que chez les témoins. Les particules de la saison 1, en revanche n'avaient aucun effet significatif. Pour confirmer leurs résultats, les toxicologues ont étudié les effets des matières en suspension sur les ostracodes. À nouveau, les particules de la saison 2 se révélaient plus toxiques que celles de la saison 1. Les analyses ont indiqué que les deux groupes de particules se distinguaient notamment par leur teneur en mercure qui était plus de deux fois plus élevée dans celui de la saison 1. « Les concentrations étaient cependant inférieures au critère de qualité du sédiment déterminé pour le mercure. Elles étaient à un niveau tel que le mercure ne peut pas être mis en cause dans la toxicité observée », note Rébecca Beauvais.

Les scientifiques ont également étudié l'expression de gènes biomarqueurs impliqués dans différents processus métaboliques

tels que la détoxification, la régulation endocrinienne et les défenses immunitaires. L'expression génique se mesure en quantifiant la production d'ARN messager et permet ainsi par exemple de détecter les effets qui provoquent une réaction de stress et peuvent donc, avec le temps, porter atteinte à l'intégrité de l'organisme. L'exposition aux matières en suspension a modifié l'expression des 18 gènes étudiés. Alors que celles de la saison 2 affectaient surtout des gènes impliqués dans le métabolisme hormonal et les mécanismes de détoxification, les particules de la saison 1 faisaient principalement réagir ceux impliqués dans les défenses immunitaires et le stress cellulaire.

Une méthode de diagnostic prometteuse

Dans l'ensemble, l'étude a montré tout l'intérêt de l'utilisation des chironomes pour le diagnostic de qualité des matières en suspension. Combinés à des bioessais menés au laboratoire ou in situ, les biomarqueurs sont une méthode prometteuse pour détecter les effets toxiques de manière sensible et précoce et évaluer ainsi la qualité des eaux de surface.

Contact: Rébecca Beauvais,
rebecca.beauvais@centreecotox.ch

Contamination aux raticides dans la faune sauvage suisse

En Suisse, les rapaces et les renards sont contaminés par des rodenticides très toxiques. C'est ce que montrent les premiers résultats d'une étude du Centre Ecotox. Les substances utilisées pour lutter contre les ravageurs sont difficilement biodégradables et s'accumulent dans la chaîne alimentaire.

Avec leurs yeux ronds et leur fourrure soyeuse, les souris sont plutôt mignonnes et n'ont pas l'air bien dangereuses. Pourtant, leur vue n'est pas très bon signe. Car les rongeurs, dont les rats et les campagnols font partie, causent partout dans le monde d'importants dommages humains et matériels. Ces animaux se sentent particulièrement bien dans les égouts et les décharges publiques mais également dans tous les lieux où des aliments sont entreposés. Lors de leurs explorations, ils entrent en contact avec de nombreux agents pathogènes qu'ils peuvent transmettre aux humains et aux autres animaux à travers leurs excréments et sont donc considérés comme une menace pour la santé publique. Suite à leur besoin de ronger, ils causent par ailleurs des dégâts au niveau des fils électriques, des isolants et des matériaux de construction. Les campagnols causent de leur côté des dégâts importants dans l'agriculture et affectent la production d'aliments pour les animaux. Pour éviter tous ces désagréments, des agents chimiques sont souvent employés pour lutter contre les rongeurs : les raticides ou plus exactement, les rodenticides.

Une action anticoagulante

La plupart des rodenticides utilisés en Suisse empêchent la régénération de la vitamine K et inhibent ainsi la coagulation du sang ; ce sont donc ce que l'on appelle des anticoagulants. La mort est entraînée par des hémorragies internes et externes incontrôlées qui résultent de la perméabilité accrue des vaisseaux sanguins et de la perte de la capacité du sang à coaguler. C'est une action lente et les rongeurs mettent souvent plusieurs jours à mourir après avoir absorbé le poison. Cette

particularité est voulue car elle permet d'éviter que les rongeurs, qui sont très intelligents, n'évitent les appâts empoisonnés en faisant la relation avec la mort. Mais les anticoagulants n'agissent pas uniquement sur les rongeurs : ils affectent tous les vertébrés. Ils constituent donc un danger pour tous ceux qui entrent en contact avec le poison par accident.

En Suisse, huit rodenticides anticoagulants sont aujourd'hui homologués. Tous se caractérisent par une faible solubilité dans l'eau, une forte capacité d'adsorption sur les substances organiques, une grande solubilité dans les graisses et un fort potentiel de bioaccumulation. « Ces propriétés prédestinent ces produits à s'accumuler dans la chaîne alimentaire, commente Etienne Vermeirssen. Ils peuvent ainsi s'avérer particulièrement problématiques pour les animaux qui se trouvent au sommet de la chaîne. »

Transfert dans la chaîne alimentaire

Les rodenticides anticoagulants sont principalement utilisés dans l'élevage, les égouts, l'industrie agroalimentaire et, de manière générale, dans les zones urbaines. Suite à leur extrême toxicité, ils sont en général appliqués par des dératisateurs professionnels mais les exploitants agricoles, les services locaux et les particuliers les emploient également. Pour éviter l'empoisonnement d'organismes non cibles, les appâts sont souvent présentés dans des boîtes spécialement adaptées à l'espèce cible afin d'être difficilement accessibles aux autres animaux. Toutefois, ces derniers peuvent également absorber les substances en ingérant les rongeurs empoisonnés, si bien que les animaux se trouvant en haut de la chaîne alimentaire (les superprédateurs comme les rapaces ou le renard) sont particulièrement exposés au risque d'intoxication. Dans leur organisme, les rodenticides anticoagulants peuvent s'accumuler par adsorption sur les substances organiques. Mais une exposition par contact direct avec l'appât ou par le biais des eaux de ruissellement des égouts ou des installations agricoles reste toujours possible.



Les rongeurs sont considérés comme une menace pour la santé publique et causent des dommages aux personnes et aux matériaux.

Une contamination mise en évidence dans tous les pays

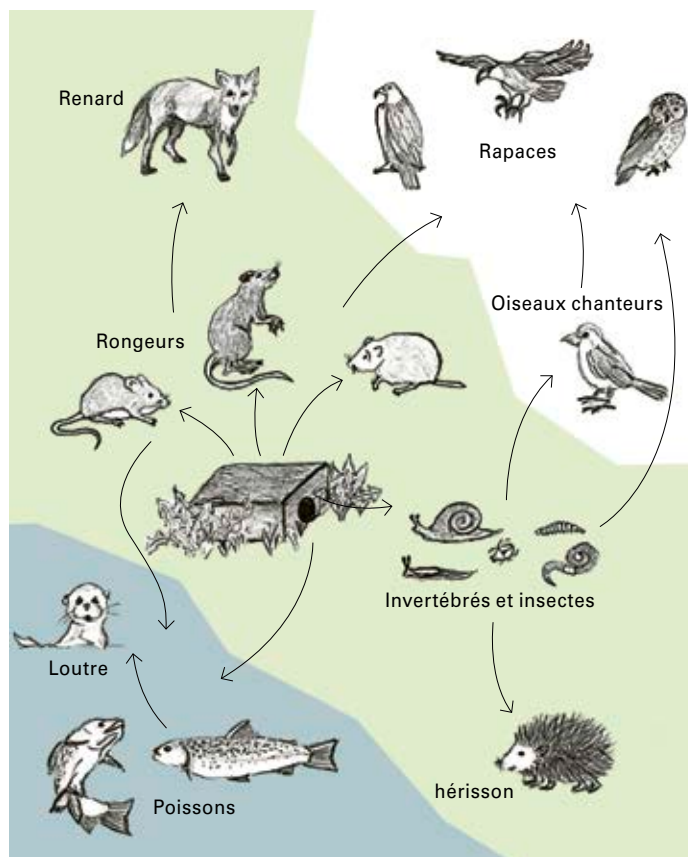
La présence de rodenticides anticoagulants a déjà été mise en évidence chez de nombreux animaux sauvages dans les pays voisins de la Suisse. Le problème concerne surtout les prédateurs au sommet de la chaîne alimentaire comme le renard, les rapaces et la loutre mais il touche aussi les insectes et les escargots. Bien que ces rodenticides soient également employés en Suisse, aucune étude n'avait encore porté sur leur présence dans l'environnement. Des cas d'intoxication d'animaux sauvages ou domestiques, en général dus à la disposition imprudente d'appâts, ont cependant été rapportés. Pour savoir si ces pesticides posent un problème en Suisse, le Centre Ecotox a déterminé leur concentration dans le foie de superprédateurs ainsi que dans celui de hérissons et de poissons. Pour le monitoring, les renards et les rapaces sont particulièrement intéressants car ils se nourrissent de rongeurs et n'hésitent pas à se rabattre sur des charognes, si bien qu'il peut leur arriver d'ingérer des animaux empoisonnés. La présence dans les écosystèmes aquatiques peut être étudiée à partir des poissons. L'étude a été commanditée par l'Office fédéral de l'environnement qui, en tant qu'organe responsable de l'évaluation du risque environnemental lié aux produits biocides et phytosanitaires, souhaitait en savoir plus sur l'utilisation des rodenticides anticoagulants en Suisse et sur les risques potentiels pour l'environnement.

Le Centre Ecotox a étudié au total 25 renards, 21 rapaces (18 buses variées, deux chouettes hulottes et un faucon crécerelle), quatre hérissons et 41 poissons fournis par l'université de Zurich et divers centres d'étude des animaux sauvages. Ces animaux avaient été tués pour une étude de parasitisme (renards), étaient décédés dans un refuge pour animaux sauvages (rapaces, hérissons) ou avaient été capturés par des gardes-pêche ou des pêcheurs (poissons). Le foie des animaux a été homogénéisé puis soumis à une extraction. Sept rodenticides anticoagulants ont ensuite été quantifiés par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS). « Nous avons dû commencer par développer une méthode de détection adéquate », indique Etienne Vermeirssen.

Les renards et rapaces particulièrement menacés

De 1 à 4 rodenticides anticoagulants ont été détectés dans 92 % des renards examinés; chez 24 % d'entre eux, leur concentration dépassait 100 ng/g, concentration jugée potentiellement dangereuse. La teneur la plus élevée mesurée chez les renards était de 1100 ng/g. « La concentration moyenne était plus de 30 fois plus élevée chez les renards âgés que chez les jeunes, indique Etienne Vermeirssen. Cela suggère une accumulation dans les tissus au cours de la vie. »

Chez les rapaces, 95 % des animaux contenaient de 1 à 4 rodenticides anticoagulants et la concentration dépassait 100 ng/g chez 14 % d'entre eux. Deux buses affichaient une teneur supérieure à 400 ng/g. Les quatre échantillons de hérisson contenaient des rodenticides anticoagulants. Or, contrairement aux renards ou aux rapaces, les hérissons ne mangent pas de rongeurs; ce n'est donc pas ainsi qu'ils ont été exposés. « Même si l'échantillon était très petit, ce résultat montre qu'en milieu urbain, nous devons nous attendre à une contamination de fond des animaux sauvages par les rodenticides anticoagulants », estime Etienne Vermeirssen. L'étude des poissons indique par ailleurs une contamination assez générale des organismes aquatiques par ces rodenticides puisque 73 % des sujets examinés en contenaient dans le foie.



Les raticides sont distribués comme appâts et se propagent ensuite dans la chaîne alimentaire (dessin: Carolin Riegraf).

Un manque de consensus sur les concentrations d'effets

Etienne Vermeirssen s'attendait à ces résultats: « Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles observées dans les pays voisins de la Suisse. » Il estime toutefois qu'il convient d'y regarder de plus près. « L'ennui, c'est qu'il n'existe pas encore de consensus sur les concentrations qui seraient acceptables dans le foie des animaux », admet-il. Alors que, de façon générale, le dépassement d'un seuil de 100 à 200 ng/g est considéré comme préoccupant, une limite beaucoup plus faible de 20 ng/g a déjà été proposée pour les oiseaux.

Une étude de monitoring à plus grande échelle serait nécessaire

Pour la suite, les toxicologues proposent de mener une étude de plus grande envergure pour collecter davantage d'échantillons, évaluer la situation dans d'autres régions et confirmer les résultats de la présente étude. Pour ce monitoring, le mieux serait d'analyser des tissus provenant, par exemple, d'activités de chasse ou d'autres programmes de surveillance. L'établissement rigoureux d'un état des lieux permettrait aussi de suivre l'évolution de la situation, au moins sur certains sites. Si des mesures ou des dispositions légales étaient prises pour limiter ce type de contamination, un tel état des lieux permettrait de juger de leur efficacité.

Contact: Etienne Vermeirssen,
etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch

Produit d'abrasion des pneus : toxique pour les poissons ?

Des essais menés avec des cellules intestinales et branchiales de truite arc-en-ciel montrent qu'aux concentrations mesurées dans l'environnement, les particules provenant de l'abrasion des pneus ne présentent pas de toxicité aiguë pour les poissons. La toxicité chronique doit cependant être étudiée plus en détail, de même que le mode d'action toxique du dangereux produit d'oxydation 6PPD-quinone.

L'abrasion des pneus sur les routes est une source importante d'émission de plastique dans la nature. D'après une simulation, 10600 tonnes de particules de pneu sont produites chaque année en Suisse, dont plus de 8000 tonnes se retrouvent dans l'environnement. Les particules se détachent en particulier dans les virages et aux feux rouges et se composent principalement d'un mélange de caoutchouc, de noir de carbone et d'autres substances telles que des métaux et des plastifiants. Suite au frottement avec le revêtement des routes et au contact avec d'autres matériaux présents à leur surface, elles se chargent aussi en bitume, en particules provenant du freinage, en métaux, en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et en autres substances organiques. Bien que ces résidus de l'abrasion des pneus soient omniprésents

dans l'environnement, on en sait peu sur leur toxicité potentielle. C'est pour en savoir plus qu'un projet commun a été lancé par le Centre Ecotox, l'Eawag et l'EPFL avec un financement du World Business Council for Sustainable Development.

Un test novateur avec des lignées cellulaires de poisson

Une partie des particules de pneu peuvent être retenues par le nettoyage des rues et le traitement des eaux usées. Le plus souvent, cependant, elles aboutissent dans le milieu aquatique ou sur les talus routiers. Des concentrations de 100 mg/l ont déjà été mesurées dans les eaux de ruissellement et l'eau des rivières peut en contenir jusqu'à 4 mg/l. Mais ces concentrations peuvent-elles causer des effets toxiques ? Pour le savoir, William Dufefoi, post-doctorant au département de toxicologie de l'environnement de l'Eawag, a examiné de près la toxicité des particules sur les poissons. La composition de l'usure des pneus étant très complexe, il a utilisé des particules produites par la couche supérieure des pneus pour se focaliser d'abord sur les substances provenant des pneus eux-mêmes.

Pour ses essais, William n'a pas travaillé avec des poissons vivants mais avec une lignée cellulaire créée à partir de branchies de truite arc-en-ciel (lignée RTgill-W1). Une

lignée cellulaire est un ensemble de cellules provenant d'un seul type de tissu qui ont été cultivées dans un milieu nutritif pour se reproduire à l'extérieur de l'organisme. Le test sur lignée cellulaire de poisson utilisé dans l'étude a été mis au point ces dernières années par la chercheuse de l'Eawag Kristin Schirmer et constitue la première alternative standardisée au monde aux essais sur poissons vivants. Il est aujourd'hui certifié aussi bien par l'OCDE que par l'ISO – sa fiabilité a donc été vérifiée dans les moindres détails. Le test sur lignée cellulaire de poisson peut être utilisé aussi bien pour l'évaluation d'échantillons environnementaux que pour le développement de produits et les dossiers de demande d'autorisation des substances chimiques.

Les branchies et l'intestin, organes cibles

« Les branchies ont une très grande surface de contact et sont l'un des premiers organes à rencontrer les polluants chimiques – c'est la raison pour laquelle nous avons choisi les cellules branchiales pour notre lignée cellulaire », explique Kristin Schirmer. Lorsque les cellules branchiales sont affectées par une substance chimique, la fonction respiratoire du poisson est très probablement perturbée – or elle est absolument vitale. La viabilité des cellules diminue et cela peut être suivi dans le test avec la lignée RTgill-W1. « En considérant la capacité d'une substance à endommager les cellules branchiales, nous pouvons donc prédire la façon dont elle agit sur le poisson vivant », résume Kristin Schirmer. Des essais de validation ont montré que les données de toxicité déterminées avec la lignée RTgill-W1 concordaient très bien avec celles obtenues avec des poissons vivants.

En plus des cellules branchiales, les scientifiques ont également utilisé une lignée de cellules de l'épithélium intestinal appelée RTgutGC. « Cette lignée cellulaire nous montre comment les substances sont absorbées par l'épithélium intestinal, explique William Dufefoi. Car nous nous intéressons aussi à ce que deviennent les particules de pneu une fois ingérées par les poissons. Est-ce que les substances adsorbées se détachent ? Est-ce que les particules sont absorbées par les cellules intestinales ? » À la place de véritables résidus d'abrasion des pneus, les essais ont été réalisés avec des



William Dufefoi étudie l'effet des particules produites par l'abrasion des pneus sur les lignées cellulaires de poissons provenant des branchies et de l'intestin.

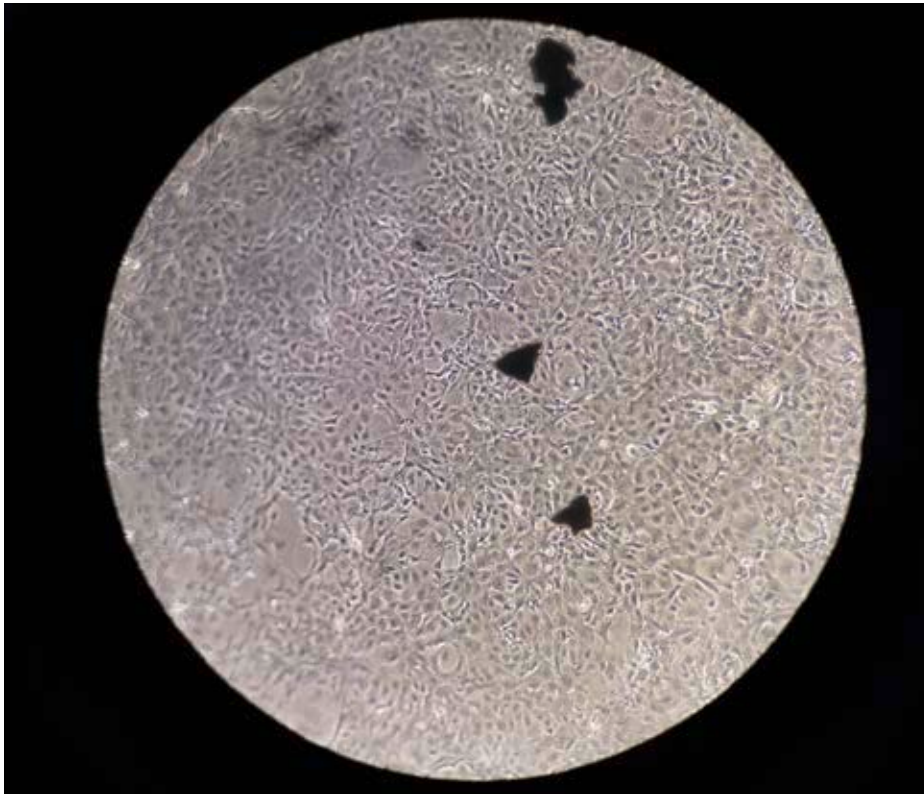


Image microscopique de cellules de l'intestin de poisson après exposition aux particules de pneus.

particules extraites de la couche superficielle de pneus Pirelli®, Michelin® et Bridgestone® sous refroidissement à l'azote liquide. Les minuscules particules mesuraient entre 15 et 300 µm.

La digestion et le vieillissement des particules modifient la toxicité

Les chercheurs ont mis les cellules de poisson en contact avec les particules de différentes façons pour pouvoir évaluer l'influence de différents facteurs. En plus de l'effet des particules de pneu non traitées, ils ont également étudié l'impact de l'extrait aqueux pour savoir si, au contact de l'eau, les particules libèrent des substances toxiques dans l'environnement. Dans un autre type d'essais, les particules ont été traitées avec une solution simulant le suc gastrique et intestinal des poissons puis les cellules ont été incubées avec le liquide de digestion résultant. Le résultat montre si des substances toxiques se libèrent des particules au cours de la digestion des poissons. En complément, les particules ont été prétraitées par de fortes températures. Il est ainsi possible de déterminer l'influence d'un vieillissement des particules, car un traitement thermique accélère le processus de vieillissement.

Les cellules de poisson ont été exposées pendant 24 heures aux différents milieux puis leur viabilité a été déterminée en mesurant leur activité métabolique et en examinant l'état de la membrane cellulaire et des lysosomes. En complément, les toxicologues ont analysé le milieu d'exposition : « Cela nous permet de savoir quels polluants peuvent être responsables des effets observés », explique William Duféoi.

La toxicité chronique doit être étudiée plus en détail

La concentration de particules qui provoque des dommages dans 50 % des cellules de poisson était de 2,02 g/l pour la lignée RTgill-W1 et de 4,65 g/l pour la lignée RTgutGC. Ces valeurs sont en concordance avec les rares mesures de toxicité effectuées sur poissons vivants et sont environ mille fois supérieures à la concentration de 4 mg/l mesurée dans les cours d'eau. Cela semble indiquer que les concentrations de particules de pneu mesurées dans les rivières ne présentent pas de toxicité aiguë pour les poissons. La teneur en dessous de laquelle aucun dommage n'est susceptible d'apparaître dans les cellules de poisson se situe entre 40 et 130 mg/l. « Elle est du même

ordre de grandeur que les teneurs mesurées dans les eaux de ruissellement des routes, indique William Duféoi. Nous recommandons donc d'étudier plus en détail les effets à long terme d'une telle exposition. »

Les particules elles-mêmes étaient en grande partie responsables de la toxicité observée. Leur toxicité était en effet nettement supérieure à celle de l'extrait aqueux. Leur vieillissement artificiel dû au traitement par la chaleur réduisait cette toxicité car elles libéraient alors moins de substances dans le milieu. La digestion artificielle faisait, quant à elle, augmenter la toxicité de l'extrait par rapport au simple extrait aqueux. Cela était dû à une plus forte concentration d'éléments métalliques et de composés organiques entraînés par lessivage hors des particules avec le suc digestif. Les scientifiques ont notamment détecté du zinc, du 2-mercaptobenzotriazole (MBT), de la 1,3-diphénylguanidine (DPG) et de l'antioxydant N-(1,3-diméthylbutyl)-N'-phényl-p-phénylenediamine (6PPD).

Mode d'action du tueur de saumons ?

Des études menées aux États-Unis avaient montré que la 6PPD-quinone, un produit d'oxydation du très commun 6PPD, était très toxique pour certaines espèces de saumons et qu'elle pouvait causer des mortalités massives chez le saumon coho. Des traces de 6PPD-quinone ont également été détectées dans les présents essais. Les tests supplémentaires effectués ont cependant montré que ce composé n'était pas toxique pour les lignées RTgill-W1 et RTgutGC jusqu'à une concentration de 3 mg/l alors que d'autres études avaient fait état d'une toxicité pour les saumons à des concentrations bien inférieures. « Il se pourrait que les truites arc-en-ciel soient nettement moins sensibles à la 6PPD que les saumons coho, commente William Duféoi. Ou que les substances aient un mode d'action qui ne puisse pas être mis en évidence avec des cellules branchiales ou intestinales, comme par exemple une action neurotoxique. Nous avons l'intention de creuser la question avec une lignée de cellules cérébrales de truite arc-en-ciel. »

Contact: Benoît Ferrari,
benoit.ferrari@centreecotox.ch;
William Duféoi,
william.duféoi@eawag.ch

Nouvelles directives européennes pour la gestion des sédiments



La directive-cadre sur l'eau est maintenant assortie de directives sur la gestion des sédiments. Par leur quantité et leur qualité, les sédiments peuvent en effet avoir une influence décisive sur l'état des eaux. Les spécialistes proposent une approche de gestion intégrée des sédiments qui prend en compte les besoins de tous les usagers.

La directive-cadre sur l'eau (DCE) est entrée en vigueur en l'an 2000. Mais bien qu'elle évoque les sédiments, elle n'aborde pas la question de leur gestion. Or les objectifs de la DCE – un bon état des eaux de surface et souterraines – ne peuvent être atteints que si les sédiments sont également pris en compte. Pour avancer sur cette voie, le réseau européen SedNet a été créé en 2002. Les spécialistes de SedNet ont maintenant apporté une contribution décisive à l'élaboration de directives pour la gestion des sédiments dans le cadre de la DCE. Ces directives ont été développées par le groupe de travail ECOSTAT de la stratégie commune de mise en œuvre de la DCE chargé des questions relevant de l'état écologique des eaux de surface. Carmen Casado-Martinez, du Centre Ecotox, est membre du comité de pilotage de SedNet et l'une des co-auteurs du rapport d'experts qui vient d'être publié.

Importance des sédiments pour la DCE

Les sédiments se composent de particules de différentes tailles qui constituent le lit et les berges des cours d'eau, des lacs, des embouchures et des littoraux. Ils sont importants pour toutes les espèces du monde aquatique – les plantes s'en servent de substrat, les poissons de lieux de ponte et de nombreux organismes de lieu de vie – et jouent ainsi un rôle essentiel pour les écosystèmes aquatiques. Ils fournissent par ailleurs d'importants services écosystémiques. Ils équilibrent la morphologie des rivières et des côtes, font le lien entre les eaux de surface et les eaux souterraines et accroissent la fertilité des sols. Les activités anthropiques dans les bassins versants peuvent modifier leur qualité et leur quantité et, de ce fait, affecter ces fonctions essentielles. La gestion des sédiments est donc une condition indispensable pour l'atteinte d'un bon état des masses d'eau au sens de la DCE.

Le caractère décisif de l'aspect quantitatif

Pour qu'un bon état écologique puisse être atteint, il est primordial que la bonne quantité de sédiments adéquats se trouve au bon endroit au bon moment. Les interventions humaines dans les systèmes fluviaux ont fortement modifié la structure des cours d'eau, si bien que les alluvions ne peuvent souvent plus être transportées naturellement. Or si le transport de la charge sédimentaire est modifié en tête de bassin versant, les effets se font ressentir dans tout le réseau, jusqu'à l'embouchure et jusqu'aux côtes. Étant donné que beaucoup d'habitats aquatiques dépendent des sédiments, un excès ou un manque d'alluvions peut empêcher l'atteinte d'un bon état écologique.

L'établissement d'un budget sédimentaire permet de mieux comprendre les fluctuations et l'équilibre des quantités de sédiment. Si des problèmes sont alors constatés sur le plan quantitatif, des interventions peuvent être nécessaires pour y remédier. L'enjeu peut être, par exemple, d'empêcher une trop forte érosion ou un ruissellement excessif, d'éliminer des obstacles au transport solide ou d'évacuer des alluvions en excès.

Pollution des sédiments

Mais ce n'est pas le seul problème. Par des rejets diffus ou ponctuels, par le biais de l'air et des eaux souterraines, des polluants atteignent les eaux de surface. Une partie d'entre eux s'accumulent sur les particules de sédiment. Les alluvions ainsi contaminées peuvent affecter l'état chimique et écologique des eaux et avoir un effet délétère sur les organismes aquatiques. La (bio)disponibilité des substances joue alors un rôle décisif.

Suivant les conditions hydrologiques et chimiques, les sédiments font fonction de source ou de puits de polluants. Les polluants persistants, qui sont fortement liés au sédiment, restent longtemps dans le bassin versant après leur rejet actif dans le milieu aquatique. Les sédiments remis en suspension peuvent être transportés, ce qui induit un transfert incontrôlé des polluants vers l'aval.

Évaluation de la pollution des sédiments

Bon nombre de polluants stockés dans les sédiments figurent sur la liste des substances prioritaires de la DCE. Selon cette directive, les États membres sont tenus d'établir un registre de ces polluants et d'analyser l'évolution à long terme de ceux qui sont susceptibles de s'accumuler dans les sédiments et/ou dans le biote. Les États membres doivent d'autre part prendre des mesures pour garantir que leurs concentrations n'augmentent pas significativement. La DCE exige par ailleurs que les substances prioritaires et les autres polluants présents dans les bassins fluviaux soient évalués à l'aide de normes de qualité environnementale (NQE). Le dépassement d'une NQE signale un risque et donc des effets possibles sur la santé et l'environnement.

Au niveau global de l'Union européenne, ces NQE ne se rapportent cependant qu'à des concentrations dans l'eau. Les États membres peuvent définir des NQE pour les sédiments au niveau national et les appliquer à la place de celles définies pour l'eau lorsqu'ils évaluent la qualité du sédiment à condition qu'elles offrent un niveau de protection au moins équivalent. Les États membres ne sont pas tenus de déterminer des NQE pour les sédiments mais s'ils l'ont fait et qu'elles sont entrées en vigueur dans le pays, ils sont tenus de les respecter. Pour pouvoir évaluer l'impact réel des sédiments contaminés, des méthodes basées sur les effets des polluants, telles que les biotests et les indices biotiques, peuvent être employées.

Priorisation des mesures

Il est souvent nécessaire de prendre des mesures pour réduire la pollution des sédiments. La priorité doit être donnée à celles qui limitent les émissions à la source. Il est en effet aisé de contaminer les sédiments mais souvent très difficile d'améliorer la situation par la suite. Il est donc raisonnable de ne pas permettre d'aggraver la contamination et de viser un « zéro pollution » là où les sédiments sont encore (relativement) intacts. Pour atténuer la contamination, des mesures de réduction de la mobilité et donc de la biodisponibilité du sédiment contaminé peuvent être mises en œuvre. Un assainissement est parfois nécessaire, ce qui peut entraîner des coûts considérables. Une partie des interventions peut se faire sur place (assainissement *in situ*) mais le sédiment peut également être dragué pour être traité ailleurs (assainissement *ex situ*).



La rivière Meuse à la frontière entre les Pays-Bas et la Belgique. Dans ce tronçon de rivière, de nombreuses mesures de renaturation et d'atterrissement ont été prises afin de donner plus d'espace à la rivière (protection contre les crues) et de favoriser la biodiversité (Photo : Jos Brils).

Gestion intégrée des sédiments

Les sédiments constituent un système dynamique en interaction avec de nombreux usages des bassins fluviaux. Les spécialistes recommandent donc d'adopter une approche intégrée pour leur gestion. Ils entendent par là un processus qui permette de concilier les objectifs de la DCE avec les besoins liés aux divers usages (navigation, réduction des risques liés aux crues, production d'électricité, irrigation, etc.), le but étant d'atteindre ou de préserver le bon état écologique au sens de la DCE tout en assurant une utilisation durable des masses d'eau. Cela signifie concrètement que des objectifs de gestion sont fixés pour les sédiments dans un bassin versant et que des mesures sont définies pour que ces objectifs puissent être atteints. La gestion intégrée des sédiments doit être planifiée en même temps que la gestion du bassin versant et faire partie intégrante des plans. Il est alors primordial que toutes les parties prenantes soient intégrées le plus tôt possible dans ce processus.

Élaboration et mise en œuvre d'un plan de gestion intégrée des sédiments

Les responsables doivent tout d'abord définir les objectifs généraux en termes de quantité et de qualité des sédiments à l'échelle du bassin versant. Pour connaître les objectifs au niveau des différents secteurs de cours d'eau, un système d'ajustage est utilisé qui décrit

comment la petite échelle dépend de la grande. Pour l'élaborer, une caractérisation très exacte du système est nécessaire. Les objectifs et mesures doivent être basés sur une bonne compréhension des processus dans le bassin versant et sur une analyse des problèmes et rapports de cause à effet. Les mesures définies pour la gestion des sédiments doivent être en accord avec les objectifs fixés pour le bassin versant et pour chaque masse d'eau. Les mesures doivent être planifiées et sélectionnées dans le souci de résoudre les problèmes à la source pour éviter les assainissements coûteux. La planification de la gestion intégrée des sédiments ne peut être réussie que si cette politique est correctement mise en œuvre, surveillée et évaluée. Il est donc important de prévoir des ressources humaines et financières suffisantes à cet effet.

Plus d'informations : Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Integrated sediment management: Guidelines and good practices in the context of the Water Framework Directive. https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/facts_figures/guidance_docs_en.htm (rubrique « List of other CIS thematic documents available on CIRCABC »)

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

Les brèves du Centre Ecotox

Adaptation de la gouvernance du Centre Ecotox

Le Centre Ecotox a été fondé en 2008 en tant que centre de recherche et d'expertise scientifique au sein du domaine des EPF où il remplit des missions nationales avec d'autres centres de services. Alors que le Centre Ecotox dispose d'un budget propre, l'Eawag et l'EPFL font office d'instituts d'accueil et mettent leur infrastructure à la disposition du Centre. Pour optimiser l'inclusion dans le domaine des EPF et simplifier la direction et la gestion du Centre, certaines modifications ont été apportées au système de gouvernance.

Désormais, les deux représentants de l'Eawag et l'EPFL ne font plus partie de la direction du Centre mais forment un conseil à part entière, le conseil des instituts d'accueil, qui surveille le bon respect du business plan et la stratégie de développement, approuve les grands projets et soutient et conseille le Centre Ecotox. La direction du Centre Ecotox se compose du directeur et du directeur adjoint. Pour les affaires courantes, elle est complétée des cheffes et chefs de groupe pour former le groupe de gestion. La supervision stratégique par le Conseil des EPF se trouve renforcée: c'est lui qui approuve désormais la stratégie de développement du Centre Ecotox pour chaque période de quatre ans. Le Conseil des EPF mandate et adopte en outre l'évaluation périodique, dont la responsabilité incombait jusqu'à présent au groupe consultatif. Pour plus d'informations sur l'organigramme du Centre et le rôle des différents acteurs, rendez-vous sur notre site.

www.centreecotox.ch/portrait/organisation/



Danina Schmidt remporte le prix destiné aux jeunes scientifiques de la SETAC GLB

L'ancienne collaboratrice du Centre Ecotox Danina Schmidt a reçu le prix destiné aux jeunes scientifiques de la SETAC GLB pour son travail de master sur la surveillance en temps réel des eaux usées dans les stations d'épuration à l'aide de biomoniteurs. Félicitations !

Les stations d'épuration (STEP) sont une source importante de micropolluants dans les eaux de surface. C'est pourquoi les eaux usées épurées sont contrôlées avant leur rejet dans l'eau pour détecter les composés problématiques, à l'aide d'échantillons limités dans le temps. Cependant, la composition des eaux usées peut être très variable, en particulier lorsqu'elles reçoivent des effluents industriels. Un concept prometteur est donc la surveillance par des systèmes automatisés de biosurveillance en ligne: dans ces systèmes, des organismes vivants sont utilisés pour contrôler en permanence la qualité de l'eau. Si la réaction des organismes dépasse un seuil critique, une alarme est déclenchée. Jusqu'à présent, on disposait toutefois de peu d'expérience pour savoir si cette méthode était adaptée au contrôle de la qualité des eaux usées. Dans son travail de master réalisé au Centre Ecotox sous la supervision de Cornelia Kienle et Ali Kizgin, Danina a donc appliqué deux systèmes de ce type aux eaux usées, l'un concernant les daphnies, l'autre les gammares. En utilisant les systèmes dans une STEP à grande échelle, Danina a pu démontrer que les systèmes de biosurveillance en ligne sont un outil précieux pour surveiller les composés toxiques dans les effluents d'épuration.



Une nouvelle responsable de laboratoire à Lausanne

Le 1^{er} mai 2022, Emmanuelle Rohrbach a pris les rênes du laboratoire du Centre Ecotox à Lausanne. Elle est responsable de l'organisation du laboratoire sol et sédiments où elle s'occupe de l'élevage des vers de terre, des collemboles et des larves de chironomes. Ces « animaux de culture » sont utilisés comme organismes de test pour analyser la qualité des échantillons de sédiments et de sol. Emmanuelle réalise les tests écotoxicologiques correspondants, aide à l'échantillonnage sur le terrain et contribue au développement de biomarqueurs moléculaires. L'EPFL est un terrain connu pour Emmanuelle, puisqu'elle y travaille depuis plus de vingt ans en tant que laborantine en biologie.

Qualité du pronostic dans les procédures d'homologation des produits phytosanitaires

Dans le cadre des procédures d'homologation des produits phytosanitaires (PPh), il faut s'assurer que les substances n'ont pas d'effets indésirables sur les milieux aquatiques. En Suisse et dans l'UE, la concentration d'une substance susceptible de se rencontrer dans le milieu est calculée à l'aide de modèles mathématiques et comparée avec un seuil, la concentration réglementaire acceptable (RAC). Les valeurs de la RAC sont également déterminées dans le cadre de la procédure d'homologation à partir de données écotoxicologiques auxquelles sont appliqués des facteurs de sécurité. Mais les concentrations prédites dans l'environnement sont-elles réellement correctes ? Et la combinaison de la concentration prédite et du seuil réglementaire offre-t-elle une protection suffisante aux milieux aquatiques ?

Pour le savoir, une grande campagne de monitoring a été lancée en Allemagne pour caractériser la contamination des petits cours d'eau des zones agricoles par les PPh. Dans un nouveau projet, le Centre Ecotox examine les premiers résultats par rapport aux exigences légales en matière de protection des eaux, tire des conclusions générales et émet des recommandations pour les politiciens et législateurs. L'objectif est d'identifier les besoins d'adaptation des procédures d'homologation et de la surveillance des petits cours d'eau. Le projet est financé par l'Office fédéral allemand de l'environnement.

Contact: Marion Junghans, marion.junghans@oekotoxzentrum.ch



Le Centre Ecotox étudie les filtres solaires dans le lac de Geschinen

Les filtres solaires nous évitent les coups de soleil mais lorsque nous nous baignons, ils entrent aussi directement en contact avec le milieu aquatique. Certaines des 30 substances homologuées en tant que filtres UV, peuvent être dangereuses pour les organismes aquatiques. Le Centre Ecotox a donc conseillé l'équipe Environnement du camp fédéral scout, qui a rassemblé plus de 30 000 personnes au bord du lac de Geschinen pendant l'été 2022, sur les mesures à prendre pour limiter les risques sur ce petit plan d'eau. Le camp a aussi offert l'occasion unique d'étudier les effets biologiques et les concentrations environnementales des filtres UV dans le cadre d'une baignade contrôlée. Avec l'aide de l'équipe Environnement, des échantillons d'eau ont été prélevés dans le lac avant et après le campement. Le Centre Ecotox évalue maintenant si une activité hormonale est détectable suite à l'introduction des filtres solaires, dont certains sont connus pour se comporter comme des hormones. Une analyse des filtres connus va également être réalisée.

Plus d'informations: Vidéo sur

www.centreecotox.ch/news-publications/actualites/filtres-UV

Contact: Alexandra Kroll, alexandra.kroll@oekotoxzentrum.ch



Bioindication et toxicité des mélanges de produits phytosanitaires

Le plan d'action Produits phytosanitaires (PPh) de la Confédération vise à réduire de moitié les risques environnementaux liés à ces substances d'ici à 2027. Pour que cela soit possible, il est nécessaire de mettre en place un monitoring des résidus de PPh dans les sols agricoles afin de détecter une éventuelle contamination et évaluer la qualité des sols. Le Centre Ecotox aide les offices fédéraux de l'environnement et de l'agriculture dans cette tâche en partenariat avec EnviBioSoil et l'Observatoire national des sols (NABO).

Dans la première phase du projet, les connaissances nécessaires à la détermination de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols ont été examinées, une méthode de dérivation a été proposée et les premières substances à dériver ont été sélectionnées. Dans la deuxième phase qui démarre maintenant, les scientifiques vont rassembler des bioindicateurs potentiels dans une boîte à outils. Lors de la sélection, le rôle des différents organismes du sol sur les fonctions écologiques et la fertilité du sol sera considérée. Les bioindicateurs sélectionnés seront ensuite évalués de plus près dans des études pilotes. Les scientifiques développeront également un système pour l'évaluation des mélanges de PPh dans les sols.

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

Mireia Marti, mireia.marti@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.

Le glyphosate perturbe la thermorégulation des bourdons

Une nouvelle étude montre que le glyphosate – l'herbicide le plus employé dans le monde – perturbe la thermorégulation collective des bourdons dès les plus faibles concentrations. Cela a un impact direct sur la survie des colonies car les œufs et les larves ne peuvent se développer qu'à une température élevée constante. Chez le bourdon, cette chaleur est générée par un travail actif de thermogénèse des ouvrières dans le nid. Les abeilles et autres insectes pollinisateurs sont essentiels aux écosystèmes et à l'agriculture partout dans le monde. L'étude montre à nouveau que, dans les procédures d'autorisation des produits phytosanitaires, une évaluation du risque axée sur la toxicité aiguë ne suffit pas pour détecter les effets critiques à des concentrations sublétales.

Weidenmüller, A. et al. (2022) Glyphosate impairs collective thermoregulation in bumblebees, *Science* 376, 1122–1126

L'eau de pluie contaminée aux PFAS à l'échelle planétaire

Même dans les endroits les plus isolés de la planète, l'eau de pluie contient des substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) à des concentrations potentiellement dangereuses pour la santé. Ces substances chimiques sont utilisées dans divers produits de la vie courante tels que les vêtements techniques, les farts à ski, les emballages alimentaires et les mousses à incendie. Des chercheurs ont analysé les données disponibles dans le monde sur les teneurs de PFAS dans l'eau de pluie. Dans toutes les stations de mesure, les teneurs en sulfonate de perfluorooctane (PFOS) étaient très supérieures au seuil recommandé par l'US EPA pour l'eau potable. Étant donné l'extrême stabilité de ces composés et leur capacité à être transportés dans l'atmosphère sur de très grandes distances, la contamination de l'environnement et ses conséquences sont quasiment irréversibles. Il est donc de la plus haute importance de limiter dès que possible les utilisations et donc les émissions de PFAS.

Cousins, I.T. et al. (2022) Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environ. Sci. Technol.* 56, 11172–11179

Les filtres solaires mettent en péril la survie des coraux

On sait que les filtres solaires à base d'oxybenzone peuvent être toxiques pour les coraux. Mais jusqu'à présent, le mode d'action à

l'origine de cette toxicité n'était pas connu, ce qui rendait difficile le développement de crèmes solaires sans danger. Une équipe de recherche américaine vient maintenant de montrer que les produits de dégradation des composés pourraient être responsables de la toxicité par une forte action photo-oxydative. Les auteurs montrent également que la mortalité due à l'oxybenzone est beaucoup plus faible dans les colonies de coraux pigmentés vivant en symbiose avec des algues que dans les colonies blanchies dépourvus d'algues. Les coraux les plus menacés sont donc justement ceux qui, suite à d'autres stress, ont perdu leur symbiote !

Vuckovic, D. et al. (2022) Conversion of oxybenzone sunscreen to phototoxic glucoside conjugates by sea anemones and corals. *Science* 376, 644–648

L'impact environnemental des médicaments doit être réduit

Dans un article de revue, des scientifiques ont analysé les problèmes causés par la présence de médicaments dans l'environnement et proposé de nombreuses mesures pour réduire cet impact. Ces substances sont produites dans le but d'avoir une action biologique et peuvent donc provoquer des modifications dans les organismes non cibles à des concentrations très faibles et, de ce fait, constituer une menace pour leur survie. Pour réduire la contamination, les scientifiques proposent de combiner des mesures à la source (encouragement de thérapies alternatives, utilisation raisonnable des médicaments, etc.) et une meilleure élimination dans les stations d'épuration.

Orive, G. et al. (2022) Greening the pharmacy. New measures and research are needed to limit the ecological impact of pharmaceuticals. *Science* 377, 259–260

La présence de plomb dans l'environnement menace les aigles

Les États-Unis ont réussi à réintroduire le pygargue à tête blanche après que sa population avait été quasiment anéantie par l'utilisation du DDT. Des scientifiques ont maintenant montré que les décès dus à l'absorption de plomb réduisaient la survie des jeunes et la capacité des femelles à se reproduire, ce qui a un impact sur la dynamique de l'ensemble de la population. Par ailleurs, la résilience des jeunes femelles en couvain était réduite et les rapaces avaient des difficultés à s'adapter aux fluctuations environnementales. La principale source de plomb pour les animaux sauvages réside dans les munitions usagées et les journaux rapportent fréquemment des cas d'intoxication. L'utilisation de munitions au plomb pour la chasse devrait donc faire l'objet de restrictions.

Hanley, B.J. et al. (2022) Environmental lead reduces the resilience of bald eagle populations. *The Journal of Wildlife Management*, 86:e22177. <https://doi.org/10.1002/jwmg.22177>

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 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.

Copyright des photos: Centre Ecotox, Adobe Stock (p. 4), William Dufey, Eawag (p. 6,7), Jos Brils, SedNet (p. 9), Danina Schmidt (p. 10)

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

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