

centre ecotox news

22. édition mai 2021

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



Les microplastiques dans
l'environnement p. 3

Biosurveillance en ligne
des effluents de STEP p. 6

Les produits phytosanitaires
affectent-ils les poissons ? p. 8

Créativité et Prévention

... les meilleurs amis pour un environnement sain et durable



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

Les préoccupations sociétales, environnementales et désormais sanitaires nous obligent à nous questionner sur le futur que nous voulons laisser à nos enfants. Souhaitons-nous continuer à consommer notre capital vie et consumer notre habitat, ou bien nous réinventer pour agir autrement et durablement? Restons optimiste! Souvent, de la contrainte imposée par les problèmes et les contextes difficiles, naît la créativité pour y faire face.

Autour de nous les initiatives se multiplient pour faire mieux avec moins, créer du lien et de la solidarité en revenant à des choses simples, produire et consommer de manière plus responsables en respectant les hommes et la nature. En écotoxicologie, cette créativité se manifeste par l'innovation dans le développement d'approches utilisées pour mieux évaluer le risque environnemental des substances chimiques (par ex. comme les pesticides, les PFAS) ou des matériaux (par ex. comme les plastiques) ainsi que dans la conception de nouveaux outils (par ex. le biomonitoring on-line, les biomaqueurs) pour mieux prévenir ces risques ou mieux évaluer les pressions environnementales déjà existantes.

Si nous parlons de risque environnemental, il faut parler de la prévention. Et aujourd'hui, la prévention reste le moyen le plus efficace et le moins coûteux de garantir des écosystèmes sains à long terme. Parce que souvent il est plus efficace de s'attaquer aux problèmes à la source plutôt que de prendre des mesures coûteuses «en bout de chaîne». Dans cette crise sanitaire, nous portons des masques de manière préventive pour protéger les autres en limitant la propagation du virus si nous sommes atteints sans le savoir.

Mais ces mêmes masques, pour la majorité en matière plastique, génèrent des déchets pouvant contribuer sensiblement à la pollution plastique dans l'environnement s'ils ne sont pas jetés proprement. La question des déchets plastiques représente d'ailleurs un nouveau défi pour l'écotoxicologie. D'une manière générale, toute initiative visant à prévenir, à réduire la pollution des plastiques et à aider les autorités à mettre en place des mesures efficaces contribuera très certainement à atténuer les pressions exercées sur les écosystèmes. Ces initiatives peuvent être mises en œuvre à différents niveaux, c'est-à-dire lors de la conception des produits, de l'amélioration du recyclage des matières, de la gestion des déchets, de la réduction de l'utilisation de substances chimiques dangereuses

ou de l'assainissement des transports et de l'industrie. Les grands plans d'action pour engager l'ensemble des acteurs de la société et de l'économie vers un modèle durable représentent d'ailleurs des leviers incontournables pour concrétiser cela.

Avant de vous laisser plonger dans ce nouveau numéro qui mettra en relief les différents aspects soulevés dans cet édito, nous tenons à vous informer que le Centre Ecotox a été évalué pour son travail réalisé sur ces 5 dernières années passées. Nous sommes heureux que l'évaluation conclut que le Centre continue à s'établir comme un centre d'excellence en écotoxicologie appliquée et qu'il continue à bénéficier d'une reconnaissance nationale et internationale pour ses services de haute qualité. Nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé à ce succès.

Bonne lecture et surtout rester en bonne santé!

Photo de couverture: Danina Schmidt suit l'activité des puces d'eau pour contrôler la qualité des eaux usées traitées dans une station d'épuration.

Photo: Anke Schäfer, Centre Ecotox.

Les microplastiques dans l'environnement

Le plastique est partout. On le trouve dans le milieu aquatique, dans les sols et même dans les aliments. Or on en sait encore trop peu sur les effets des particules de plastique sur les écosystèmes et les êtres humains. Il est donc difficile d'évaluer le risque qui en émane. Le Centre Ecotox a informé sur l'état d'avancement des connaissances dans ce domaine dans un cours dispensé en ligne en janvier.

Le plastique est un matériau très intéressant qui a connu un succès fulgurant depuis son invention il y a plus de cent ans : à l'heure actuelle, plus de 350 millions de tonnes de plastique sont produites chaque année dans le monde et la production de plastique a été multipliée par dix au cours des 50 dernières années. Une partie de ce plastique est rejeté involontairement ou par négligence dans le milieu aquatique et dans les sols où il se dégrade très lentement en petits fragments et particules. Suite à ce phénomène, tous les compartiments environnementaux, les êtres vivants et les aliments sont aujourd'hui contaminés par des quantités croissantes de petites particules de plastique appelées microplastiques.

Les particules de plastique peuvent renfermer des additifs toxiques et transporter des polluants organiques adsorbés à leur surface. Lorsqu'elles sont absorbées par les êtres vivants, elles peuvent représenter un danger. Mais comment ces particules agissent-elles exactement sur les écosystèmes et la santé humaine ? Comment peut-on évaluer le risque qu'elles représentent ? Et comment peut-on éviter leurs émissions ? C'est à de telles questions que le Centre Ecotox a consacré un cours de formation continue de deux jours en janvier – le premier du Centre Ecotox à avoir lieu exclusivement en ligne. Ce cours a été organisé avec le Centre suisse de toxicologie humaine appliquée (SCAHT) pour aborder tous les aspects liés à l'Homme et à l'environnement dans une approche holistique.

Qu'appelle-t-on exactement microplastique ?

On entend par microplastiques les particules de plastique de moins de 5 mm. On parle de nanoplastiques lorsque leur taille est inférieure à 100 nm. Les microparticules de plastique peuvent avoir la forme de billes, de fragments ou de fibres. Elles peuvent se former suite à la lente dégradation d'objets et fragments plus grands ou être directement produites et émises sous cette forme. Dans l'environnement, elles proviennent principalement des routes, des emballages, des terrains de sport et des chantiers. Des quantités plus modérées de microplastiques venant des vêtements en synthétique, des produits d'entretien et des cosmétiques sont rejetées dans le milieu aquatique en transitant par les stations d'épuration. De son côté, le plastique émis par l'agriculture se retrouve directement dans les sols. Or le plastique se dégrade très lentement dans la nature.

Caractérisation et détection dans l'environnement

La détection du microplastique dans l'environnement est laborieuse. Pour mettre en évidence les particules d'une matière spécifique, on utilise généralement la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) ou la spectroscopie Raman qui permettent de les détecter à partir de leurs émissions de lumière. Le dénombrement des particules réparties en différentes classes de taille demande une purification préalable complexe des échantillons. Toutes les matières organiques doivent tout d'abord être éliminées et les échantillons doivent être filtrés. Ce peut être une étape difficile avec les matrices complexes telles que la terre, les boues d'épuration ou les sédiments. Pour déterminer le nombre de microparticules de plastique présentes, différentes méthodes de microscopie peuvent être utilisées comme par exemple l'imagerie infrarouge directe au laser (LDIR), la cytométrie en flux ou la spectrométrie de masse à plasma par couplage inductif (ICP-MS). Ces méthodes ne fournissent cependant pas de renseignement précis sur la nature du matériau plastique en présence. Et, bien que plusieurs méthodes soient disponibles, aucune méthodologie standard n'a encore été définie pour le dosage des microplastiques.



Les microplastiques sont désormais présents partout dans notre environnement.

De plus, la technique choisie varie souvent en fonction de l'objectif des recherches. Ainsi, étant donné que les résultats dépendent fortement de la méthode d'échantillonnage et de la technique d'analyse, il peut être hasardeux de comparer les données obtenues dans différentes études.

Effets écotoxicologiques

Des microplastiques ont aujourd'hui été détectés dans tous les compartiments environnementaux (rivières et lacs, mers et océans, sols et sédiments, air) et ce, même dans les endroits les plus reculés. Dans l'eau, les particules les plus grandes sont absorbées par les larves de poissons et les petits crustacés tandis que le zooplancton se charge des plus petites. Les interactions avec l'organisme, et donc les effets sur celui-ci, dépendent de nombreux facteurs tels que la taille, la forme et la concentration des particules et le matériau qui les constitue mais aussi du type d'organisme concerné, de son mode d'alimentation et de son stade de développement. Il est d'autre part difficile d'extrapoler les résultats obtenus en laboratoire sur la toxicité des particules à la situation réelle sur le terrain. En effet, les essais de laboratoire sont souvent menés avec des concentrations beaucoup plus élevées que celles rencontrées dans la nature. De plus, les tests sont généralement effectués avec des billes standard alors que les formes prédominantes dans la nature sont les fibres et les fragments. Enfin, dans l'environnement, le microplastique continue de se modifier, en se couvrant de biofilms par exemple.

Les microparticules de plastique peuvent avoir divers effets sur les organismes : ainsi, des perturbations fonctionnelles (instabilité du fourreau chez les larves de trichoptères, par exemple), des carences, des inflammations et des perturbations du développement ont déjà été observées. Les particules modèles peuvent également perturber la structure des communautés des biofilms aquatiques ainsi que les capacités de reproduction des escargots d'eau douce qui vivent à leur surface. Dans le milieu édaphique, les microplastiques peuvent modifier les propriétés du sol et affecter les plantes et la pédofaune. En plus de la structure du

sol, l'activité de certaines enzymes et les communautés bactériennes peuvent s'en trouver modifiées de même que le pouvoir de germination, la croissance et la biomasse des végétaux, la biomasse des vers de terre et le microbiome intestinal des collemboles.

Effets sur l'Homme

La détection de microplastiques dans des denrées alimentaires telles que l'eau minérale, le miel, la bière, les fruits de mer et le sel a suscité de vives inquiétudes. Les polluants ont maintenant été détectés dans l'intestin. En principe, les microplastiques peuvent nuire à l'organisme par voie physique, chimique ou biologique. On ignore cependant encore si les microparticules de plastique peuvent être absorbées par l'organisme car elles devraient pour cela franchir plusieurs barrières tissulaires. D'après l'Agence européenne de sécurité des aliments (EFSA), les particules de moins d' $1,5\mu\text{m}$ peuvent en principe traverser la barrière intestinale et se retrouver dans le sang. D'autres études ont toutefois montré que ces petites particules restaient bloquées dans la paroi intestinale et étaient ensuite excrétées. On ne dispose pas actuellement de données sur la toxicité des microparticules de plastique pour l'Homme mais uniquement de résultats d'essais sur animaux et sur cultures cellulaires. Ces derniers attestent d'une possible cytotoxicité, de réactions inflammatoires et d'effets sur la croissance. Ceci, toutefois, à des concentrations bien supérieures à celles rencontrées dans l'environnement. Le système digestif humain n'est pas en mesure de dégrader les microplastiques une fois qu'ils ont été avalés. Il semble donc que les microparticules de plastique aient peu de chances d'être absorbées dans les cellules et qu'elles ne devraient donc pas être particulièrement toxiques. Toutefois, les données dont on dispose actuellement sont encore insuffisantes pour porter un avis définitif.

Évaluation du risque

Le risque que représentent les nano et microparticules de plastique pour la santé des organismes vivants est évalué en comparant les concentrations environnementales avec les concentrations maximales n'ayant encore aucun effet sur les organismes. Les scientifiques ont donc comparé les concentrations mesurées avec les concentrations ayant eu un effet écotoxicologique avéré. Cette comparaison a montré que les domaines de concentration ne se chevauchent presque pas. Un risque pour l'environnement semble donc, pour le moment, peu vraisemblable. De même, le risque pour la santé humaine est aujourd'hui jugé non critique. Ces résultats doivent cependant être considérés avec prudence car les particules présentes dans l'environnement diffèrent de celles utilisées pour les tests.

Mesures d'évitement des émissions à la source et d'élimination des particules dans l'environnement

Les stations d'épuration (STEP) peuvent retenir une grande partie du microplastique émis dans les eaux usées (environ 90 %). Mais malgré cette efficacité, les stations du canton de Zurich, par exemple, rejettent chaque jour 30 milliards de particules, soit 600 g de microplastique, dans le milieu aquatique. Les rejets sont mesurables dans tout le bassin versant du Greifensee. Le microplastique est stocké dans les sédiments du lac où il ne constitue cependant



Le cours de formation continue de janvier 2021 sur les microplastiques dans l'environnement était le premier cours en ligne du Centre Ecotox.

encore qu'une infime partie du total des particules sédimentaires. L'installation de systèmes de filtration membranaire dans les STEP permettrait d'augmenter encore la part de particules retenues mais cela représenterait un coût disproportionné. Les mesures à la source sont donc à privilégier face à de telles mesures « end-of-pipe ».

Dans certains domaines, les polymères biodégradables offrent une alternative intéressante aux plastiques habituels. Ainsi, le PBAT (polybutylène adipate téréphtalate) peut être employé comme film de paillage dans l'agriculture. Les possibilités d'utilisation des plastiques biodégradables doivent cependant être évaluées au cas par cas en considérant l'ensemble du cycle de vie. Leur emploi est pertinent lorsqu'ils apportent un plus (en tant que sacs à compost, par exemple), qu'il est difficile de séparer le plastique du reste des déchets organiques (comme pour les étiquettes collées sur les bananes, par exemple) ou que le plastique est amené à demeurer dans l'environnement (films agricoles ou filets de pêche, par exemple). Les polymères biodégradables ne constituent donc pas une solution universelle pour remplacer les plastiques non dégradables mais sont plutôt amenés à intervenir en complément de la stratégie des 3R (réduire, réutiliser, recycler).

Divers produits cosmétiques contiennent aussi des microplastiques. On distingue les produits rincés, comme les shampoings, qui sont entraînés avec l'eau juste après leur application, des produits non rincés, comme les crèmes pour le visage, qui sont principalement éliminés en tant que déchet solide lors du démaquillage. Suite à l'initiative des producteurs européens de cosmétiques, près de 97 % des microplastiques ont déjà pu être retirés des produits rincés. Dans les produits non rincés, qui représentent une part plus faible du marché, leur remplacement est plus difficile.

Communication sur le risque et mesures politiques

Pour la communication sur les risques, il est important de garder à l'esprit que la façon dont les experts et non-experts les perçoivent peut fortement diverger. Dans l'ensemble, la recherche en sciences sociales sur les microplastiques s'est fortement développée et près de 90 % des Européens se disent préoccupés par les effets du plastique sur l'environnement.

L'Union européenne a réagi à ces inquiétudes et déjà initié des mesures de lutte contre les émissions de microplastiques à la source dans le cadre d'une Stratégie plastique (2018) et d'un nouveau plan d'action (2020). Ainsi, des restrictions relatives aux microplastiques ajoutés intentionnellement devraient être arrêtées en 2021 ou 2022 dans le cadre du règlement REACH pour les utilisations entraînant des émissions significatives dans l'environnement. Ces restrictions devraient entrer en vigueur progressivement sur une période de six ans. Elles concernent notamment les granulats utilisés dans les pelouses artificielles, certains produits agricoles tels que les engrais à libération contrôlée ou les antiagglomérants, divers additifs des cosmétiques, les lessives et détergents où ils servent à encapsuler les fragrances et bien d'autres utilisations. On estime que cette restriction des



Les particules microplastiques sont présentes dans l'environnement sous une grande variété de formes et de matériaux.

microplastiques devrait permettre une réduction de 500 000 tonnes ou de 90 % des émissions dans l'environnement dans les vingt prochaines années. Si cette réglementation entre en vigueur, la Suisse l'étudiera et préparera une adaptation en conséquence de l'Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques.

En parallèle, l'UE interdit à partir du 4 juillet 2021 la mise sur le marché des plastiques oxodégradables. Ces matériaux, surtout utilisés pour les emballages et les films agricoles, sont dotés d'additifs organométalliques qui favorisent leur fragmentation en petites particules mais qui provoquent aussi une augmentation des rejets de microplastiques. La Suisse a mis en consultation un projet de réglementation visant une interdiction de la mise en circulation des plastiques oxodégradables. Cette réglementation doit être adoptée par le Conseil fédéral à l'automne 2021.

Beaucoup de questions se posent encore sur la dangerosité des microplastiques et le risque qu'ils représentent dans l'environnement. Mais il est déjà certain qu'elles nous occuperont encore longtemps. En vertu du principe de précaution, les mesures politiques prévues doivent non seulement restreindre les utilisations mais également réduire fortement les émissions. C'est à cette condition que les effets négatifs sur les organismes vivants et sur l'Homme pourront être limités.

Contact : Alexandra Kroll, alexandra.kroll@oekotoxzentrum.ch,
Lothar Aicher, lothar.aicher@scaht.org

Biosurveillance en ligne des effluents de STEP

Les eaux usées traitées peuvent être contrôlées en continu grâce à une méthode de surveillance en ligne mettant en œuvre des organismes biologiques. Cette innovation donne aux responsables des STEP et aux industriels raccordés la possibilité de réagir plus rapidement à des pollutions aiguës.

L'ordonnance suisse sur la protection des eaux stipule que les substances qui aboutissent dans les eaux suite aux activités humaines ne doivent pas avoir d'effets négatifs sur les plantes, les animaux et les micro-organismes qui y vivent ou sur l'utilisation des eaux. Les stations d'épuration (STEP) contribuent au déversement de micropolluants d'origine domestique ou industrielle dans les eaux de surface. La qualité de leurs effluents est donc contrôlée avant leur rejet afin d'y détecter des composés problématiques. En général, ces contrôles s'effectuent à partir de prélèvements limités dans le temps qui font l'objet, au laboratoire, d'analyses chimiques (et parfois de biotests) et d'une analyse des données qui demande un certain temps.

La composition des effluents peut cependant varier très brusquement, notamment lorsque la STEP reçoit des rejets industriels. En effet, certaines entreprises modifient régulièrement leurs produits et leurs processus de fabrication, de sorte qu'elles émettent sans cesse de nouveaux résidus et sous-produits. Les systèmes de biosurveillance en ligne, qui utilisent des organismes vivants, peuvent contrôler la qualité des eaux épurées en continu et en temps réel. Et ce, même lorsque les substances présentes sont inconnues. « Les modifications comportementales sur lesquelles nous nous basons interviennent en réaction très rapide et très sensible à une pollution chimique, explique Miriam Langer, de la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse (FHNW) et de l'Eawag, qui dirige la projet avec Cornelia Kienle du Centre Ecotox. C'est pourquoi nous aimerions nous en servir de système d'alerte précoce. » De tels systèmes permettent aux responsables de STEP et aux industriels raccordés de réagir rapidement à d'éventuelles pollutions aiguës et d'intervenir à la source pour les juguler.

Une idée venue de la catastrophe de Sandoz

Il y a longtemps que la valeur potentielle des systèmes de biosurveillance en ligne pour la détection précoce des dysfonctionnements est reconnue. En cas de pollution inhabituelle, il est primordial de pouvoir réagir vite pour garantir le maintien de la qualité de l'eau et éviter des accidents. C'est ainsi qu'après la catastrophe de Sandoz qui, en 1986, avait causé le rejet, entre autres, de 30 tonnes de pesticides dans le Rhin suite à un incendie, le développement de systèmes biologiques d'alerte précoce a été fortement encouragé. À l'heure actuelle, la biosurveillance en ligne est surtout utilisée pour le contrôle de la qualité de l'eau potable et des eaux de surface. On dispose encore de peu d'expérience dans le domaine de l'épuration. Pour pallier ce manque, le Centre Ecotox s'est associé à la FHNW et à l'Eawag pour initier un projet afin d'établir des systèmes adaptés à la surveillance des effluents d'épuration.

Sélection des tests

Les systèmes de biosurveillance en ligne se composent de trois éléments: i) un organisme avec lequel s'effectue le test, qui réagit au



Danina Schmidt et Ali Kizgin utilisent des algues, des puces d'eau et des gammares comme biomoniteurs pour surveiller la qualité des eaux usées traitées dans une station d'épuration.

milieu étudié par des modifications de son activité de photosynthèse ou de son comportement, par exemple, ii) un système de détection automatique, qui surveille les réactions de l'organisme exposé, et iii) un système d'alarme, qui déclenche un signal dès qu'un seuil de réaction est dépassé. Divers organismes peuvent être choisis pour servir de « détecteurs »: bactéries, algues, micro-crustacés, poissons, etc. Leur rôle est de rendre compte des modifications de la qualité de l'eau au nom des organismes de l'écosystème. Les paramètres mesurés peuvent être, par exemple, la photoluminescence, la fluorescence, le comportement natatoire ou encore la respiration. Tous ces paramètres peuvent être influencés par la pollution de l'eau.

Pour convenir au système de biosurveillance en ligne des effluents d'épuration, un organisme détecteur doit remplir plusieurs conditions: il doit réagir de manière sensible aux polluants à mettre en évidence, être relativement tolérant aux autres composants des eaux usées – celles-ci renferment des composés autrement plus

complexes que l'eau potable ou l'eau des rivières, ce qui exige des méthodes de détection particulièrement performantes. Étant donné que tous les organismes ne réagissent pas de la même manière aux micropolluants potentiellement présents, il n'existe pas de biomonitor unique qui convienne à tous les composés. L'idéal est donc de mettre en œuvre une batterie de tests permettant des détections complémentaires. Les scientifiques ont sélectionné pour cela trois tests couvrant différents niveaux trophiques: un test avec l'algue verte unicellulaire *Chlorella vulgaris* basé sur la mesure de la photosynthèse et deux tests sur des crustacés d'eau douce, à savoir la puce d'eau *Daphnia magna* et le gammare *Gammarus pulex*, dans lesquels différents paramètres comportementaux sont considérés (voir l'encart pour une description détaillée des tests).

Essais en station d'épuration pilote

« Nous avons tout d'abord effectué des essais pour nous assurer que les organismes survivaient bien dans l'effluent et que les tests étaient assez sensibles pour réagir à la présence des polluants », indique Ali Kizgin, du Centre Ecotox, qui prépare une thèse sur le sujet. Pour ce faire, des biomoniteurs ont été installés dans la station pilote de l'Eawag. « L'une des difficultés a été que les effluents ne devaient pas contenir de particules grossières qui auraient éventuellement interféré dans les mesures », précise Ali Kizgin. Il a donc tout d'abord fallu intégrer un filtre membranaire au système pour limiter la charge en matières en suspension et en microorganismes. Pour évaluer le potentiel des systèmes pour la biosurveillance en ligne, les scientifiques ont ajouté différents composés à l'effluent, à savoir notamment du chlorure de sodium, du diuron, du chlorpyrifos, du chlorure de zinc et de la sertraline. Ils ont choisi des concentrations



Les effluents traités dans les stations d'épuration des eaux usées doivent être d'une qualité parfaite.

susceptibles d'influencer les paramètres mesurés sans toutefois mettre en cause la survie des organismes détecteurs. Les résultats ont été prometteurs: les organismes ont réagi aux composés par des modifications mesurables et n'ont pas été incommodés par le mélange d'eaux usées et de polluants.

Une application réussie à l'échelle industrielle

Les scientifiques ont ensuite utilisé la méthode de surveillance dans une STEP de taille moyenne de la région. « Il y a d'abord eu un petit problème, se rappelle Ali Kizgin. Nous avons dû faire construire un filtre membranaire mobile pour pouvoir l'emporter sur la station. » Mais ensuite, tout s'est bien déroulé pendant les six semaines qu'ont duré les essais. La collaboration avec l'Eawag, qui a participé à l'entreprise avec sa nouvelle plateforme MS²field, a été une véritable aubaine. MS²field est l'une des premières stations de mesure mobiles à permettre le dosage en continu des micropolluants sur le terrain et ce, à haute résolution temporelle. L'analyse détaillée des données n'a pas encore été effectuée. Mais selon les premières observations, plusieurs substances pharmaceutiques étaient présentes à des concentrations plus élevées que la normale au moment où des modifications du comportement ont été constatées chez les organismes détecteurs.

Dans une prochaine étape, les essais devront préciser, parmi les substances identifiées, celles qui sont détectées par le système de biosurveillance et la sensibilité avec laquelle elles le sont. Il est d'autre part prévu d'utiliser les tests dans d'autres STEP. « Nous voulons ainsi créer une base solide pour faire de la biosurveillance en ligne une étape complémentaire de contrôle de la qualité des effluents d'épuration », explique Miriam Langer.

Vidéo sur le système de biosurveillance: www.centreecotox.ch/news-publications/actualites/systemes-d-alerte-precoce-avec-potentiel-video/

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

Les biomoniteurs utilisés pour la biosurveillance en ligne

L'algue verte unicellulaire *Chlorella vulgaris* réagit aux polluants en modifiant son activité de photosynthèse. Cette dernière est suivie par un appareil qui la mesure à travers la fluorescence. Les algues sont cultivées dans un fermenteur intégré puis en sont extraites automatiquement pour la mesure. L'appareil compare l'effet de l'échantillon d'eau sur les algues à l'effet d'une eau de référence.

Dans le cas du biomoniteur basé sur les **daphnies**, l'effluent transite en continu à travers des chambres de mesure dans lesquelles se trouvent les micro-crustacés. Ces chambres sont équipées de caméras qui filment les mouvements natatoires des daphnies. Leurs trajectoires sont enregistrées et servent ensuite à calculer divers paramètres comme la hauteur ou la vitesse de nage.

Dans la biosurveillance avec les **gammare**s, les crustacés sont placés dans des chambres de détection traversées en continu par l'effluent. Un couple d'électrodes génère une tension de courant alternatif tandis qu'une autre mesure les modifications du champ électrique provoquées par les mouvements des crustacés. L'activité normale des gammare peut alors brusquement augmenter (fuite) ou baisser (apathie, voire mort, causée par le polluant).

Les produits phytosanitaires affectent-ils les poissons ?

Des mélanges de produits phytosanitaires pouvant exister dans l'environnement affectent l'équilibre énergétique des poissons, ce qui, à long terme, peut avoir un effet sur leurs chances de survie. Cet impact est accentué par le réchauffement des eaux et le développement des maladies. Une approche basée sur des biomarqueurs spécifiques paraît très prometteuse pour mettre en évidence ces effets complexes.

La faune piscicole des ruisseaux et rivières suisses a fortement décliné: la plupart des poissons du pays figurent ainsi aujourd'hui sur la liste rouge des espèces menacées. En particulier, les effectifs de la truite de rivière – poisson emblématique s'il en est – ont chuté ces dernières années. La pollution par les produits phytosanitaires (PPS) pourrait en être en partie responsable. En effet, des analyses chimiques ont montré que les petits cours d'eau et ceux de taille moyenne drainant des zones très agricoles renfermaient des quantités préoccupantes de PPS. Les concentrations se situent à des niveaux présentant un risque pour les poissons et les composés sont généralement présents sous la forme de cocktails chimiques souvent plus toxiques que les substances isolées. Qui plus est, les poissons sont souvent exposés à d'autres facteurs de stress qui se surimposent, comme le réchauffement des eaux dû aux changements climatiques, les altérations du milieu physique et les maladies. Des scientifiques du Centre Ecotox et de l'université de Berne ont étudié ces relations complexes et mis au point des méthodes préliminaires permettant de mettre en évidence l'impact des PPS sur les truites de rivière.

Un triple stress pour les truites

Dans les essais de laboratoire, des truites juvéniles ont été exposées pendant 14 jours à un mélange tel qu'il pourrait se trouver dans l'environnement et composé de 5 PPS: deux fongicides (fluopyrame et époxiconazole), deux insecticides (chlorpyrifos et lambda-cyhalothrine) et un herbicide (diuron). Ces composés ont été choisis car ils ont fréquemment été détectés dans les eaux suisses et parce que divers éléments et analyses indiquent qu'ils représentent un risque pour les poissons – l'utilisation du diuron et du chlorpyrifos pour les usages phytophar-

maceutiques sera d'ailleurs interdite à partir de juin 2021. Deux niveaux de concentration de PPS ont été testés: d'une part, les concentrations réellement mesurées dans les ruisseaux suisses et d'autre part, ce niveau multiplié par cinq afin de simuler un pic de pollution éventuel. Pour évaluer l'effet du réchauffement des eaux, les essais ont été menés à deux niveaux de température, à savoir à 12 °C et à 15 °C, pour représenter la situation typique des cours d'eau du Plateau au printemps et en été. Juste après l'exposition aux PPS, la moitié des poissons ont été inoculés avec des parasites responsables d'une maladie fréquente (la maladie rénale proliférative MRP ou PKD) afin d'évaluer leur sensibilité à cette maladie. « Pour nos essais, nous avons volontairement choisi des conditions modérées par rapport au terrain pour ne pas provoquer de mortalité et pouvoir étudier les effets sublétaux », souligne Anne-Sophie Voisin du Centre Ecotox. Les réactions des poissons ont été analysées à partir de divers paramètres biologiques.

Effets immédiats et à long terme sur les réserves d'énergie des poissons

L'exposition des poissons aux PPS a eu des effets significatifs aussi bien directs et immédiats qu'à long terme sur les truites. La mortalité est, certes, restée aussi faible que chez les témoins, mais les sujets exposés ont présenté des effets plus discrets mais néanmoins susceptibles d'affecter leur vitalité sur le long terme. Ainsi, à 12 °C, l'indice hépatosomatique des poissons exposés aux

PPS était plus faible que celui des témoins au terme de l'exposition. Cet indice mesure le rapport entre la masse du foie et celle du corps. « Chez les poissons, le foie est l'organe de stockage des réserves d'énergie, explique Helmut Segner de l'université de Berne. La réduction de l'indice hépatosomatique chez les poissons exposés aux PPS semble donc indiquer qu'ils ont davantage puisé dans leurs réserves pour faire face à la pollution. » De plus, le facteur de condition (le rapport entre la longueur du corps et la masse) des truites exposées aux plus fortes concentrations de polluants à 15 °C était plus faible que chez les témoins. Ce facteur est, lui aussi, en relation avec le budget énergétique et cet effet était, lui aussi, visible directement après la fin de l'exposition.

Chez les poissons maintenus à 15 °C, l'exposition aux PPS a eu des effets à plus long terme. Ainsi, deux mois après la fin de l'exposition, la consommation basale de l'oxygène pour la nage était significativement plus faible chez ces truites que chez les témoins ayant évolué à la même température. Cette différence s'explique probablement par le fait que les truites exposées ont dû utiliser une partie de leurs réserves d'énergie pour faire face à la pollution et disposaient donc ensuite de moins d'énergie pour la nage. « Cela aussi montre que la pollution par les PPS peut avoir un impact à long terme sur l'équilibre énergétique des poissons même si une phase de récupération fait suite à une exposition »,



La truite est le poisson le plus populaire de Suisse.



Les juvéniles, en particulier, réagissent de manière sensible à l'exposition aux pesticides.

analyse Helmut Segner. Les scientifiques ont d'autre part observé des interactions entre les trois types de stress en considérant divers autres paramètres biologiques.

L'effet des PPS révélé par l'activation de certains gènes

Mais comment mettre en évidence l'action particulièrement complexe des PPS sur les poissons dans les situations de terrain? Le recours aux biomarqueurs offre une solution prometteuse. Les biomarqueurs peuvent être, par exemple, des gènes responsables de réactions de défense par rapport au stress environnemental dans les cellules. L'activation de tels gènes marque le début d'une longue chaîne de réponse au stress. Elle peut être mesurée par l'ARN messager (ARNm) qui se forme lors de la première étape de la synthèse de la protéine à partir du gène. Des études ont déjà montré que l'analyse de l'expression de gènes biomarqueurs judicieusement choisis pouvait être utilisée avec efficacité pour apprécier la qualité de l'eau.

Vingt-deux gènes intervenant soit dans des réponses spécifiques aux pesticides soit dans la réaction au stress thermique ont été sélectionnés pour servir de biomarqueurs. Leur expression a été mesurée dans le foie et/ou dans le cerveau. Six biomarqueurs ont réagi de manière significative à l'exposition aux PPS dans le cerveau. Dans le foie, aucun des biomarqueurs n'a donné de réponse significative aux PPS mais 12 d'entre eux ont réagi à une hausse de la température de l'eau. Curieusement, la plupart des effets significatifs détectés

sur les biomarqueurs étaient causés par les concentrations les plus faibles et non par le cocktail concentré de PPS. Il se peut que, aux concentrations plus élevées, d'autres mécanismes de défense aient été activés ou que des dommages cellulaires aient déjà été occasionnés, empêchant les réactions de défense de se mettre en place. Cette observation est particulièrement intéressante dans la mesure où le niveau de concentration le plus faible des essais correspond aux valeurs réellement mesurées dans les cours d'eau et reflète donc la situation environnementale la plus typique.

Il n'est pas aisé de trouver des biomarqueurs adéquats étant donné que l'expression de beaucoup de gènes de réponse au stress n'augmente que passagèrement juste après la contrainte pour être ensuite relayée par d'autres mécanismes de défense. L'expression des gènes biomarqueurs ayant réagi dans les essais était augmentée plus durablement, si bien qu'ils semblent pouvoir être utilisés pour les études de terrain. « Nous cherchons en ce moment à identifier d'autres biomarqueurs et à mettre au point un jeu robuste de marqueurs pour le monitoring, indique Anne-Sophie Voisin du Centre Ecotox. Nous voulons ensuite l'utiliser sur le terrain. »

Importance de la condition physique des truites

Les PPS ont des effets immédiats et à long terme sur l'équilibre énergétique de la truite de rivière. L'exposition des poissons à ces composés a provoqué des effets sublétaux qui, associés à d'autres stress comme le

réchauffement des eaux ou les attaques parasitaires, sont susceptibles d'affecter leur condition physique générale. Il semble que l'exposition aux PPS leur impose une forte dépense d'énergie. Cela pourrait notamment limiter leurs chances de survie étant donné que, dans la nature, les réserves stockées à la belle saison conditionnent fortement la survie des juvéniles en hiver. Selon diverses études de terrain, il semblerait en effet que le taux de survie en hiver soit un facteur décisif pour la pérennité de la population de truites d'un cours d'eau. Concernant les essais avec les biomarqueurs, deux aspects importants sont à relever. Tout d'abord, les effets ont été observés dans des conditions de laboratoire modérées du point de vue de la température et de la densité de parasites. « Dans le milieu naturel, les températures peuvent être beaucoup plus élevées et les parasites présents beaucoup plus longtemps, souligne Anne-Sophie Voisin. Sur le Plateau, en particulier, les cours d'eau peuvent largement dépasser les 15°C en été. Nous comptons donc, à l'avenir, étudier les effets de la température de manière encore plus détaillée. » D'un autre côté, certains effets ne se sont manifestés que longtemps après l'exposition aux PPS. Ceci semble indiquer que, même si les expositions surviennent souvent par vagues, la pollution par les PPS peut avoir des effets à long terme sur les poissons.

Contact:

Anne-Sophie Voisin,
anne-sophie.voisin@oekotoxzentrum.ch;
Helmut Segner,
helmut.segner@vetsuisse.unibe.ch

Les brèves du Centre Ecotox



Qualité des matières en suspension et bioessais avec les chironomes

En 2019, la plateforme expérimentale interdisciplinaire LÉXPLORE a été installée sur le lac Léman. Le Centre Ecotox l'utilise pour installer des pièges à matières en suspension qui resteront pendant plusieurs mois, puis étudier les effets de leur qualité sur les larves de chironomes en laboratoire. Pour ce faire, la charge des matières en suspension en métaux lourds et en polluants organiques est déterminée sur plusieurs saisons tandis qu'au niveau des organismes, la bioaccumulation des composés dans les larves est mesurée et le niveau d'expression de gènes biomarqueurs caractérisé. Ces études s'effectuent en lien avec un projet interne visant à développer l'utilisation de biomarqueurs sur le terrain avec les larves de chironomes.

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



Rôle des œstrogènes provenant des animaux de rente

La présence de perturbateurs endocriniens dans le milieu aquatique est un sujet de préoccupation partout dans le monde. Par l'élevage d'animaux de rente, l'agriculture peut, elle aussi, contribuer à l'émission d'œstrogènes dans l'environnement. Une étude commune à l'Agroscope et au Centre Ecotox indique que, pour le moment, il n'y a pas lieu de s'inquiéter outre mesure sur ce point : l'équipe de recherche a pu montrer que les substances étaient bien épandues sur les champs avec les lisiers mais que l'action filtrante du sol suffisait à les y retenir. Seule une infime partie des œstrogènes épandus dans le bassin versant du lac de Baldegg se retrouvaient effectivement dans le milieu aquatique. Lorsque des concentrations potentiellement critiques y étaient atteintes, elles ne se maintenaient jamais plus d'un jour. Dans les cours d'eau également influencés par les rejets de stations d'épuration, les œstrogènes détectés provenaient principalement des émissions humaines même lorsque la densité de bétail était élevée. Les scientifiques en concluent que la pollution d'origine agricole par les œstrogènes joue un rôle plutôt mineur pour les milieux aquatiques.

Plus d'informations: Rechsteiner, D., Wettstein, F.E., Vermeirssen, E.L.M., Hollender, J., Bucheli, T.D. (2021) Estrogene von Nutztieren: Matchentscheidend oder kaum relevant für die Gewässerbelastung? *Aqua & Gas* 4, 40-46



Présence de PFAS dans les sédiments suisses

Les substances perfluororalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) sont très stables dans l'environnement et elles ont aujourd'hui été détectées quasiment partout. Une nouvelle étude a été menée sur leur occurrence dans les sédiments en Suisse. Ses résultats montrent que l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) peut servir d'indicateur pour les PFAS. En conséquence, des critères de qualité ont été déterminés pour le PFOS dans les sédiments. Il ne s'agit cependant que de valeurs provisoires car les données de toxicité disponibles sont encore peu nombreuses.

Casado-Martinez, C., Pascariello, S., Polesello, S., Valsecchi, S., Babut, M., Ferrari, B.J.D. (2021) Sediment quality assessment framework for per- and polyfluoroalkyl substances: results from a preparatory study and regulatory implication. *Integrated Environmental Assessment and Management*
<https://doi.org/10.1002/ieam.4412>

La conférence de la SETAC GLB se tiendra en ligne en 2021!

Marion Junghans, cheffe de groupe au Centre Ecotox, est présidente de la branche germanophone de la Société de toxicologie et de chimie environnementales (SETAC GLB) depuis 2020. En 2021, la conférence annuelle de la SETAC GLB aura lieu les 7 et 8 septembre et ce, exclusivement en ligne. L'un des principaux buts de la conférence est de faire le point sur les recherches actuelles dans le domaine de l'écotoxicologie et de la chimie de l'environnement dans l'espace germanophone et de faciliter les échanges entre chercheuses et chercheurs. Les jeunes scientifiques sont vivement invités à venir y présenter leurs résultats de recherche !

www.setac-glb.de/tagung-2021.html



Directives pour l'utilisation de l'ADN environnemental pour l'évaluation de la qualité biologique des milieux aquatiques

Les approches basées sur l'analyse de l'ADN environnemental (ADNe) ou sur d'autres méthodes génétiques jouent un rôle croissant dans la surveillance de la qualité biologique des milieux aquatiques. Une nouvelle publication de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) formule des directives pour l'utilisation de l'ADNe pour évaluer la qualité biologique des écosystèmes aquatiques. Le Centre Ecotox travaille, lui aussi, à l'établissement de méthodes génétiques pour le suivi de la qualité biologique des milieux aquatiques. Il développe des indices biologiques basés sur l'identification génétique des oligochètes et chironomidés pour l'évaluation de la qualité des sédiments de cours d'eau et de lacs. Les indices oligochètes génétiques mis au point par le Centre Ecotox figurent dans le rapport de l'OFEV.

Pawlowski J., Apothéloz-Perret-Gentil L., Mächler E. & Altermatt F. 2020. Utilisation de l'ADN environnemental pour la surveillance et l'évaluation biologiques des écosystèmes aquatiques. Directives. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° UW-2010-F.



Formation continue

Le Centre Ecotox organise un cours sur l'utilisation de **biomarqueurs pour la mesure de l'influence des polluants sur les organismes aquatiques** qui se tiendra en allemand à Dübendorf le 29 octobre 2021 (et sera proposé parallèlement en ligne). Les biomarqueurs permettent de mesurer l'influence des polluants et d'autres facteurs de stress sur les organismes. Dans les programmes de surveillance, ils peuvent fournir des informations importantes pour émettre un diagnostic sur l'état de l'environnement. Le cours présentera les biomarqueurs actuellement disponibles et leurs possibilités d'utilisation et donnera un aperçu des évolutions futures possibles dans ce domaine. Ce cours sera enregistré pour être reconnu comme formation continue pour les professionnels pratiquant des expériences sur les animaux.

Les 15 et 16 novembre 2021, le Centre Ecotox proposera à nouveau un cours **d'Introduction à l'écotoxicologie** – cette fois-ci en français à Lausanne. Ce cours abordera l'influence des polluants sur les écosystèmes aquatiques et terrestres et présentera une variété de tests permettant de la mesurer. Il permettra également aux participants de se familiariser avec le comportement des polluants dans l'environnement, l'évaluation du risque lié aux produits chimiques présents dans l'environnement et la législation sur le sujet. Une partie pratique leur permettra de découvrir le laboratoire d'écotoxicologie et d'approcher une sélection de tests sur le sol et sur le sédiment.

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



De nouveaux projets sur l'évaluation de la qualité des eaux

Le Centre Ecotox a lancé plusieurs nouveaux projets pour améliorer l'appréciation de la qualité des eaux. D'un côté, des biomarqueurs moléculaires seront utilisés chez la truite de rivière pour évaluer la contrainte subie par les juvéniles dans les ruisseaux de régions très agricoles. En parallèle, la qualité de l'eau sera évaluée sur les mêmes sites (et sur d'autres sites soumis à des pollutions urbaines ou mixtes) avec une batterie de tests biologiques portant sur l'eau et le sédiment. À titre de contrôle, ces méthodes seront également mises en œuvre sur des sites de référence peu ou non pollués. Mis en commun, ces projets permettront d'obtenir une vision d'ensemble de la qualité de l'eau sur les sites sélectionnés. L'objectif est de pouvoir proposer des batteries de tests pour l'eau et le sédiment qui soient taillées sur mesure pour les sources de pollution jouant un rôle en Suisse.

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

L'écotoxicologie dans le monde

Dans cette rubrique, le Centre Ecotox souhaite vous informer des actualités internationales touchant à la recherche ou à la législation en matière d'écotoxicologie. La sélection proposée ne se prétend pas exhaustive et le contenu des communiqués ne reflète pas nécessairement les positions du Centre Ecotox.

Des pesticides de plus en plus toxiques menacent invertébrés aquatiques et pollinisateurs

Une nouvelle étude montre que les dommages écotoxicologiques potentiels causés par les pesticides sont souvent sous-estimés. Cela est dû au fait que, même si beaucoup de pesticides sont maintenant appliqués en moindre quantité, ceux qui le sont sont beaucoup plus toxiques qu'avant. Ainsi, ces dernières décennies, les applications de pesticides classiques comme les organophosphorés ou les carbamates ont diminué au détriment des néonicotinoïdes et des pyréthrinoides, extrêmement nocifs. Cette évolution menace en premier lieu les invertébrés aquatiques, les végétaux et les pollinisateurs, qui sont particulièrement sensibles à ces substances.

Schulz, R. et al. (2021) Applied pesticide toxicity shifts toward plants and invertebrates. *Science* 372, 81-84.

Des biomarqueurs révèlent la toxicité d'un fongicide pour les abeilles mellifères

De nouveaux résultats de recherche montrent que l'Amistar Xtra, un fongicide à base d'azoxystrobine et de cyproconazole régulièrement employé dans l'agriculture, est nuisible aux abeilles aux concentrations habituellement employées. Dans leur projet, les chercheurs ont utilisé des biomarqueurs pour détecter d'éventuelles perturbations sublétales chez les abeilles. Ils ont combiné différents biomarqueurs pour cibler les effets neurotoxiques, génotoxiques, métaboliques et immunologiques et ont calculé un indice correspondant à l'action conjuguée sur les biomarqueurs. Ils ont ainsi pu montrer que l'indice de toxicité sur les biomarqueurs augmentait avec la concentration d'Amistar Xtra et que ce produit inhibait l'expression de l'enzyme acétylcholinestérase, signe d'un effet neurotoxique sur les abeilles.

Caliani, I. et al. (2021) Multi-biomarker approach and IBR index to evaluate the effects of different contaminants on the ecotoxicological status of *Apis mellifera*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111486

Un composant toxique des pneus responsable de la mort de saumons

En Amérique du Nord, les saumons coho doivent remonter dans les fleuves et rivières à partir du Pacifique pour se reproduire. Mais beaucoup d'entre eux meurent avant d'avoir atteint leur objectif, notamment après les pluies dans les régions très urbanisées.

Une équipe de recherche de l'université de Washington vient d'identifier la substance responsable de ces mortalités : il s'agit de la 6PPD-quinone, un produit de réaction du 6PPD, qui est lui-même ajouté à la composition des pneus pour accroître leur durée de vie. La 6PPD-quinone se forme à partir du 6PPD lorsque celui-ci réagit avec des dérivés réactifs de l'oxygène comme l'ozone généré à partir des gaz d'échappement. Les scientifiques sont parvenus à extraire de la 6PPD-quinone des produits d'abrasion des pneus et à démontrer que cette substance pouvait tuer les jeunes saumons même à très faible concentration.

Tian, Z. et al (2020) A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon. *Science* 371, 185-189.

Les populations de poissons d'eau douce menacées à l'échelle planétaire

Les poissons d'eau douce sont en difficulté partout dans le monde et un tiers des populations de la planète sont même menacées de disparaître. C'est ce que montre un nouveau rapport compilé par 16 organisations de protection de la nature. Depuis 1970, les populations des poissons migrateurs d'eau douce ont chuté de 76 %. Les grands spécimens de plus de 30 kg ont été quasiment exterminés dans la plupart des fleuves et rivières. La population mondiale de très gros poissons a baissé de 94 % et 16 espèces de poissons d'eau douce ont été déclarées disparues l'an dernier. Les raisons de ce déclin sont multiples : parmi elle, la pollution, la surpêche et les pratiques destructrices de pêche, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes, les changements climatiques et la perturbation des écosystèmes fluviaux.

Rapport « The World's forgotten fishes » : https://wwf.panda.org/discover/our_focus/freshwater_practice/the_world_s_forgotten_fishes/

Fortes concentrations de microplastiques dans les abysses océaniques

Les concentrations de microplastiques mesurées dans les sédiments des fonds océaniques de l'Antarctique et de l'océan Austral sont plus élevées que dans les régions moins reculées de la planète. Cela semble indiquer que les microplastiques s'accumulent plus fortement dans les abysses de cette partie du monde qu'on ne l'avait pensé. Des microparticules de plastique ont été détectées dans 93 % des sédiments analysés. Des études antérieures avaient montré que 93 % des organismes vivant dans les sédiments de l'Antarctique renfermaient des microplastiques et que les fientes de pingouin en contenaient également. Il semble donc que le microplastique y ait intégré la chaîne alimentaire et qu'il y soit transmis d'un niveau trophique à l'autre.

Cunningham, E.M. et al. (2020) High Abundances of Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments: Evidence from Antarctica and the Southern Ocean. *Environmental Science & Technology* 54, 13661-13671

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, Carlos Miguel Forero (p. 3), Chesapeake Bay Program (p. 5), Andreas Hartl (p. 8), Université de Berne (p. 9), Thomas Bucheli, Agroscope (p. 10), Shutterstock (p.10), Fotolia (p. 11)

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

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