



# centre ecotox news

20. édition mai 2020

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



Entrée en vigueur de valeurs  
limites écotoxicologiques p. 3

Détection des polluants dans  
les emballages alimentaires p. 4

Communautés de micro-  
organismes et d'invertébrés  
en sédiments p. 6

Évaluation de la qualité  
des sédiments p. 8

Azoles antifongiques :  
un sujet d'inquiétude p. 9

# La crise COVID-19 et l'environnement



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

Comme la plupart d'entre vous, jamais je n'aurais pu imaginer vivre une telle situation de crise mondiale liée à une pandémie virale. Pourtant, c'est bien le cas ! Au-delà des conséquences désastreuses sur la santé des populations dans le monde, sur notre santé ou celle de nos proches, nous avons tous été touchés dans l'organisation de notre vie quotidienne et dans notre travail. Afin d'assurer au mieux notre mission, dès l'annonce des mesures prises par le Conseil Fédéral pour nous protéger et enrayer la propagation du virus, tout le Centre Ecotox s'est immédiatement adapté en mettant en place le télétravail. Je tiens d'ailleurs ici à remercier tous les collaborateurs du centre pour leur réactivité face à cette crise, leur engagement et leur professionnalisme.

S'adapter à cette nouvelle situation et se poser des questions sur notre avenir, c'est certainement ce qui occupe l'esprit de chacun de nous aujourd'hui. Pour ma part, je pense que cette crise souligne l'existence d'une contradiction entre une société qui se veut de plus en plus innovante pour le bien-être de tous et un environnement dans lequel nous vivons qui se dégrade de plus en plus. Depuis quelques années maintenant, les signes ne trompent plus : l'empreinte de l'Homme se fait ressentir, et la Terre se rebelle. Mais, je veux croire aujourd'hui qu'il est encore temps de changer cela par encore plus d'actions communes en terme d'engagements scientifiques, socio-économiques et politiques afin de limiter nos impacts négatifs sur l'environnement.

A notre humble échelle, le Centre Ecotox participe au développement durable en prévenant les impacts sur l'environnement, par son expertise dans différents domaines de l'écotoxicologie appliquée qui est largement sollicitée par les autorités fédérales et cantonales ainsi que par les industries ou le monde académique. C'est d'ailleurs dans ce contexte particulier de crise que nous sommes très fiers de l'entrée en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> Avril dans l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) révisée, de nouvelles valeurs limites de concentration plus strictes pour plusieurs substances émises dans les milieux aquatiques. Cet événement fait suite à l'aboutissement d'un travail acharné pendant plus de 10 ans au sein de notre équipe « Evaluation du Risque ». Ce travail réalisé pour le compte de l'Office Fédérale de l'Environnement a permis de développer des critères de qualité basés sur des études écotoxicologiques pour une liste de substances que l'on retrouve dans le milieu aquatique.

Agir par une nouvelle réglementation ou de nouvelles normes ne suffit pas, il faut aussi continuer à développer des outils pour mieux appréhender le mode d'action des substances ainsi que leurs effets cocktails dans les différents écosystèmes. Ces effets doivent être observés à différents niveaux d'organisation biologique, c'est-à-dire de l'échelle moléculaire aux communautés d'organismes dans les différents compartiments environnementaux. Nous continuons donc notre travail de développement et de validation de méthodes. Il faut savoir aussi orchestrer l'ensemble des outils en développant ou validant des concepts d'évaluation pour la surveillance de l'état de l'environnement. Ce numéro illustre ces

différents aspects en vous présentant des études dans lesquelles le Centre Ecotox est impliqué.

En attendant des jours meilleurs, je vous souhaite une excellente lecture de nos différents articles, tout en prenant soin de vous et de vos proches.

Ne relâchez pas vos efforts pour lutter contre le virus ! Portez-vous bien.

Photo de couverture: La qualité biologique des sédiments du canal Stockalper est fortement affectée.

Photo: Rébecca Beauvais, Centre Ecotox

# Entrée en vigueur de valeurs limites basées sur la toxicité : une avancée historique dans un projet de longue haleine

**Un pas décisif a été franchi avec la révision de l'ordonnance sur la protection des eaux en vigueur à compter du 1<sup>er</sup> avril 2020 : les critères de qualité déterminés par le Centre Ecotox sont maintenant imposés comme valeurs limites pour 19 pesticides et trois médicaments.**

L'an dernier, le Centre Ecotox fêtait ses dix ans. Et c'est aussi depuis dix ans que notre équipe Évaluation des risques travaille à la détermination de valeurs limites écotoxicologiques, appelées critères de qualité environnementale, pour les eaux de surface. L'actualisation de l'ordonnance sur la protection des eaux en date du 1<sup>er</sup> avril 2020 constitue une avancée historique : ce texte de loi adopte maintenant les critères de qualité déterminés par le Centre Ecotox pour trois médicaments et 19 pesticides.

## **La nécessité de valeurs limites spécifiques à chaque substance**

Les pesticides et autres micropolluants peuvent porter atteinte aux organismes aquatiques, tels que les poissons et les écrevisses, de même qu'ils peuvent menacer la qualité de l'eau potable obtenue à partir des lacs et grands cours d'eau. Pour que les écosystèmes et les ressources d'eau potable soient préservés, ces substances doivent donc être réglementées et leurs concentrations abaissées si nécessaire. Jusqu'à présent, l'ordonnance sur la protection des eaux fixait une valeur limite unique de 0,1 µg/l pour les concentrations de pesticides organiques dans les eaux de surface et n'en imposait aucune pour les autres micropolluants. Cette valeur, uniformément appliquée pour tous les pesticides, ne tient cependant pas compte des différences de toxicité, certaines substances étant beaucoup plus dangereuses que d'autres pour les organismes aquatiques.

Pour que la vie aquatique soit mieux protégée et la qualité des eaux mieux préservée, il est donc nécessaire d'avoir des valeurs limites plus spécifiques. Et c'est à la détermination de tels seuils que s'attache le Centre Ecotox depuis 2010 sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Il a ainsi déjà proposé des critères de qualité environnementale pour 95 substances dans le milieu aquatique ([www.centreecotox.ch/prestations-](http://www.centreecotox.ch/prestations-)



Le lac Léman est l'une des ressources en eau utilisées pour la production d'eau potable.

expert/criteres-de-qualite-environnementale). Il s'agit, pour chaque substance, de la concentration en dessous de laquelle aucun dommage sur les organismes aquatiques n'est susceptible de se produire. « Nous utilisons la méthode décrite dans le guide technique de l'UE pour déterminer les critères de qualité environnementale, explique Marion Junghans, qui dirige le groupe Évaluation des risques au Centre Ecotox. Nous nous basons alors sur les données de toxicité qui ont été obtenues pour chaque composé avec différents groupes d'organismes. »

## **Priorité à la protection des ressources en eau potable**

L'ordonnance sur la protection des eaux a maintenant adopté des valeurs limites individuelles pour certains pesticides et médicaments : pour 12 pesticides particulièrement problématiques, dont la cyperméthrine (insecticide), ces valeurs limites sont plus strictes car inférieures au seuil antérieur de 0,1 µg/l. Par ailleurs, l'ordonnance fixe également pour la première fois des valeurs limites pour trois médicaments, dont le diclofénac, un antalgique et anti-inflammatoire très courant.

Autre nouveauté, l'ordonnance fait maintenant une distinction entre les eaux de surface servant à l'approvisionnement en eau potable et les autres. Pour les premières, le seuil général de 0,1 µg/l reste valable pour les pesticides, aucune concentration supérieure n'étant tolérable. Cette disposition permet de garantir que la protection

de l'eau potable reste assurée puisqu'elle évite que l'eau servant à la produire ne présente une charge en pesticides supérieure au seuil de 0,1 µg/l, qui est également celui fixé par l'ordonnance sur l'eau potable pour cette denrée. Dans les eaux de surface ne servant pas à l'approvisionnement en eau potable, les nouvelles dispositions tiennent également compte du fait que certains composés présentent un moindre risque pour les organismes aquatiques. Les valeurs limites sont ainsi relevées pour quelques pesticides, dont le cyprodinil, un fongicide. « Les valeurs limites spécifiques à chaque substance ont également l'intérêt de permettre de calculer l'impact des mélanges de produits chimiques sur les organismes aquatiques », ajoute Marion Junghans.

Les travaux sur les critères de qualité environnementale se poursuivent : cette année comme la suivante, le Centre Ecotox déterminera des critères de qualité pour de nouvelles substances et les proposera sur son site. Si vous souhaitez recevoir des informations sur des modifications ou de nouvelles valeurs, veuillez demander un mail d'information chez [anke.schaefer@oekotoxzentrum.ch](mailto:anke.schaefer@oekotoxzentrum.ch)

**Des valeurs limites écotoxicologiques dans l'ordonnance sur la protection des eaux :**  
<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19983281/index.html>

**Contact :**  
Marion Junghans,  
[marion.junghans@oekotoxzentrum.ch](mailto:marion.junghans@oekotoxzentrum.ch)

# Détection des polluants dans les emballages alimentaires

**Les emballages alimentaires renferment tout un cocktail de produits chimiques. Grâce à une nouvelle méthode, il est aujourd'hui possible de mesurer leur toxicité avec une très grande sensibilité et de mieux cerner les composés responsables de cette toxicité.**

Les emballages alimentaires renferment de nombreuses substances dont de petites quantités sont susceptibles de diffuser dans les denrées qu'ils protègent. Selon de nouvelles estimations, pas moins de 12000 composés chimiques entrent dans la fabrication des films plastiques, des barquettes, des cartons et des boîtes de conserve dans lesquels nous transportons chaque jour nos aliments. Une partie d'entre eux sont des sous-produits de réaction ou des produits de transformation des substances mères qui sont synthétisés involontairement et dont la structure et les propriétés sont inconnues. Mais quelles substances se retrouvent réellement dans la nourriture ? Et lesquelles sont toxiques pour l'Homme ?

Il n'est pas raisonnablement envisageable de quantifier tous les composés individuellement. Une nouvelle approche, particulièrement prometteuse, est donc actuellement à l'étude : une combinaison de chromatographie sur couche mince à haute performance (HPTLC), de biotests et de spectrométrie

de masse. « Le principe de cette méthode est de séparer les substances toxiques des autres puis d'essayer de les identifier », explique Alan Bergmann, post-doctorant au Centre Ecotox, qui y a introduit et optimisé la méthode pour les perturbateurs endocriniens et les substances génotoxiques. « Elle permet, non seulement de mesurer la toxicité d'échantillons complexes de composition inconnue, mais aussi d'extraire et de caractériser les composés responsables de cette toxicité. » La méthode ne s'applique pas uniquement aux emballages alimentaires mais peut également être utilisée pour les eaux de surface, l'eau potable et les eaux usées. Mandaté par l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires, le projet se déroule en partenariat avec l'Eawag et la Haute école zurichoise des sciences appliquées (ZHAW).

## **Les analyses se limitent aux substances toxiques**

Certains des produits chimiques potentiellement présents dans les emballages alimentaires sont déjà connus pour leur nocivité. C'est par exemple le cas des composés œstrogéniques, qui imitent les hormones naturelles et perturbent ainsi le système hormonal. Pour beaucoup d'autres, en revanche, les données de toxicité sont encore rares, lorsqu'ils ne sont pas totalement inconnus. La nouvelle méthode permet dans une première étape de séparer les

mélanges complexes de substances en leurs composés ou groupes chimiques individuels. Pour ce faire, les échantillons sont appliqués sur une plaque de chromatographie sur couche mince : leurs composants migrent alors plus ou moins loin en fonction de leur masse et de leur polarité et constituent des bandes distinctes. Dans un deuxième temps, la toxicité de ces bandes est mesurée à l'aide d'un bioessai. Le test est réalisé directement sur la plaque de chromatographie et les bandes toxiques sont révélées par détection de la fluorescence qu'elles ont alors acquise. Ces bandes peuvent ensuite être extraites de la plaque puis analysées par spectrométrie de masse (LC-HRMS/MS) pour déterminer la structure des substances toxiques qu'elles contiennent.

Alan Bergmann a tout d'abord mis au point la méthode pour les substances œstrogéniques au Centre Ecotox. Il a alors dû adapter le test d'œstrogénicité sur levure (test YES), conçu pour les plaques de microtitration, à une utilisation sur les plaques de chromatographie sur couche mince. Le test YES met en évidence les composés qui se lient au récepteur humain des œstrogènes après que celui-ci ait été introduit dans des cellules de levure génétiquement modifiées et couplé à un gène rapporteur. Si une substance œstrogénique se lie au récepteur, le gène rapporteur est lu, ce qui entraîne la synthèse d'une enzyme qui transforme un composé indicateur qui devient alors coloré ou fluorescent. Après séparation des composants de l'échantillon, les plaques de chromatographie sont recouvertes de cellules de levure ; l'indicateur est alors pulvérisé puis la fluorescence mesurée.

## **Les effets œstrogéniques masqués deviennent visibles**

Alan Bergmann a tout d'abord testé son test YES sur plaque de chromatographie (« planar YES » = P-YES) avec 13 œstrogènes connus, appliqués dans différentes concentrations, et a comparé les résultats avec ceux du test YES sur plaque de microtitration standard (L-YES). Il s'est avéré que la nouvelle méthode livrait une détection précise et se montrait plus sensible. De même, les deux tests concordaient sur l'évaluation de la force de l'action œstrogénique des substances. Alan Bergmann a ensuite appliqué le test à l'étude des emballages alimentaires. Il en a tout d'abord extrait les



Alan Bergmann positionne une plaque à couche mince pour découper une bande – rendue visible par des biotests – et examiner sa structure chimique.



composés avec des solvants, simulant en cela un possible passage des substances dans la nourriture.

« Le P-YES nous a permis de détecter, dans les extraits de certaines boîtes de conserve avec un revêtement intérieur en plastique, des substances œstrogéniques qui n'apparaissent pas avec le L-YES classique », rapporte Alan Bergmann. « Aux concentrations les plus élevées, ces échantillons inhibaient également la croissance des cellules de levure. » Il est donc possible que les extraits aient contenu d'autres composés toxiques pour les cellules qui ont pu masquer l'activité œstrogénique. Dans le P-YES, les composés cytotoxiques sont séparés des œstrogènes, ce qui évite qu'un effet en recouvre un autre. « Nous avons également observé un tel masquage de l'effet œstrogénique avec plusieurs échantillons d'eau de surface fortement polluée », ajoute Alan Bergmann.

#### **La complexité des échantillons peut être atténuée**

La décomposition du mélange de substances par chromatographie permet d'autre part d'identifier les composés importants. Alors que l'extrait de boîte de conserve contenait plus de 700 substances chimiques différentes, la chromatographie sur couche mince a permis de n'en retenir que neuf dans la bande des œstrogènes. Le bisphénol A est un œstrogène bien connu qui est utilisé pour la fabrication des plastiques et se retrouve donc fréquemment dans les emballages alimentaires. Avec une limite de détection du bisphénol A de 2 ng, le nouveau P-YES s'avérait 20 fois plus sensible que le

L-YES. La nouvelle méthode permet ainsi de détecter le bisphénol A à des concentrations bien inférieures au seuil de migration fixé par la loi pour les emballages alimentaires. Ce seuil correspond à la quantité maximale admissible de substance passant dans la nourriture.

#### **Détection de la génotoxicité**

Une autre famille de substances mérite d'être surveillée dans les emballages alimentaires : les composés génotoxiques. Ces composés qui affectent l'ADN sont toxiques à très faible concentration et peuvent être générés involontairement lors de la fabrication des emballages. Ils peuvent être détectés grâce à un biotest qui met en œuvre des cellules de salmonelles génétiquement modifiées. Dans ce test, l'activation du système cellulaire de réparation de l'ADN est révélée par l'induction du gène umuC qui est couplé à un gène rapporteur. Ce gène rapporteur code pour une enzyme dont l'activité produit une réaction colorée.

Jusqu'à présent, ce bioessai standard était, lui aussi, uniquement réalisé sur plaque de microtitration. Dans le nouveau projet, il a été adapté à une utilisation sur plaque de chromatographie : les salmonelles ont été pulvérisées sur la plaque après séparation des groupes de substances puis les bandes positives ont été rendues visibles par fluorescence. Alan Bergmann a testé le nouveau système avec des extraits d'emballages en carton préalablement traités avec du N-oxyde de la 4-nitroquinoléine (4-NQO), un composé génotoxique connu. Avec certains matériaux, le test livrait des résultats positifs même sans ajout de

4-NQO, ce qui indique qu'ils renfermaient déjà des composés génotoxiques qui pouvaient en être extraits. Ces extraits provoquaient, eux aussi, une inhibition des cellules dans le test sur plaque de microtitration aux concentrations les plus fortes. Le nouveau test s'avérait également adapté à l'étude de l'eau potable et des eaux usées. Avec les emballages alimentaires, la limite de détection des substances génotoxiques était inférieure au seuil de préoccupation toxicologique (TTC = threshold of toxicological concern). Autrement dit, elle était suffisamment basse pour détecter les teneurs critiques au regard de la loi.

« Nous souhaitons maintenant utiliser le test umuC avec un nombre plus important de composés génotoxiques et comparer les résultats de l'approche de chromatographie sur couche mince et de microtitration », révèle Alan Bergmann. Il est également prévu d'étudier d'autres emballages alimentaires de même que des échantillons d'eau potable. Par ailleurs, les chercheurs poursuivront leurs travaux sur l'identification des composés responsables de toxicité par spectrométrie de masse. « La nouvelle méthode est intéressante pour les laboratoires cantonaux qui réalisent des contrôles de routine sur les emballages alimentaires », indique Alan Bergmann. Un partenariat a déjà été mis en place avec les laboratoires cantonaux de Zurich et Saint-Gall, qui ont déjà fourni plusieurs échantillons pour les analyses.

Contact :

Alan Bergmann,  
alanjames.bergmann@oekotoxzentrum.ch

# Communautés de microorganismes et d'invertébrés et contamination du sédiment dans les rivières

**Les sédiments de deux cours d'eau, l'Ardières et le Tillet, renferment de multiples contaminants. Les PCB, notamment, affectent clairement les communautés d'oligochètes. En revanche, l'effet de la pollution sur les communautés microbiennes est plus difficilement identifiable car ces dernières sont influencées par une multitude de facteurs environnementaux.**

Pour comprendre les effets de la pollution sur les milieux aquatiques, il est particulièrement intéressant d'étudier les communautés d'organismes vivants : elles sont en effet intégratrices d'une multitude de facteurs écologiques et attestent de l'impact des perturbations sur l'ensemble de l'écosystème. Nous ne pouvons cependant décrypter ces effets à l'échelle de l'écosystème que si nous connaissons la relation entre la pollution chimique et l'état des communautés. Les communautés vivant dans le sédiment sont alors particulièrement intéressantes : ce compartiment écologique est en effet habité par une multitude d'organismes essentiels au bon fonctionnement écologique des lacs et des cours d'eau. Or, bien qu'il soit établi que de nombreux contaminants organiques et métalliques s'accumulent dans les sédiments, ce compartiment reste encore insuffisamment pris en compte dans l'appréciation de la qualité des milieux aquatiques.

Des scientifiques de l'institut français de recherche INRAE, de l'Université Savoie Mont blanc et du Centre Ecotox ont comparé plusieurs méthodes pour mettre en évidence l'influence des contaminants sur les communautés du sédiment. Ils ont choisi pour cela d'étudier l'Ardières et le Tillet, deux rivières françaises qui sont respectivement situées dans une zone viticole et une zone urbaine et qui présentent un gradient de pollution.

## **De nombreux paramètres relevés pour caractériser les communautés**

La présence de polluants dans un milieu peut entraîner la disparition d'espèces sensibles, ce qui modifie la composition de la communauté et augmente sa tolérance à la pollution. Mais les polluants peuvent également agir sur la fonctionnalité ou les activités de la communauté, dont certaines,

telles que les activités métaboliques ou la dégradation de la matière organique, sont mesurables.

Dans ce projet, les scientifiques ont étudié les communautés de bactéries (et archées) et d'invertébrés des sédiments de l'Ardières et du Tillet à l'aide de plusieurs méthodes. L'abondance, la sensibilité et la composition des espèces d'oligochètes ont ainsi été décrites à travers l'indice oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS). Ensuite, différentes méthodes ont été employées pour caractériser les communautés microbiennes : la structure et la diversité des communautés ont été déterminées par la méthode d'empreinte moléculaire et le séquençage de fragments d'ADN ; leur tolérance vis-à-vis des métaux a été évaluée par l'approche PICT (Pollution Induced Community Tolerance) – cette méthode permet d'estimer si un polluant donné cause la disparition d'espèces sensibles et accroît donc la tolérance de la communauté ; l'activité biologique des bactéries a été évaluée par la mesure d'activités enzymatiques impliquées dans l'utilisation de différentes sources énergétiques, de la respiration, de la dénitrification et de la méthanogenèse. Enfin, la dégradation de la matière organique a été mesurée directement dans les sédiments en utilisant des substrats nutritifs artificiels présentés sous forme de bâtonnets (bait lamina) et ou de pastilles. Parallèlement à ces approches biologiques, les scientifiques ont analysé des échantillons de sédiment, de matières en suspension et d'eau de surface : ils ont recherché au total 79 polluants différents dont 7 polychlorobiphényles (PCB), 15 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), 10 métaux, 24 pesticides et 23 substances pharmaceutiques.

## **Des profils de contamination complexes dans les sédiments**

« Les analyses ont révélé la présence de nombreux polluants dans les deux rivières. Même les stations de prélèvement situées les plus en amont affichaient une certaine contamination, alors que nous n'en attendions pas sur ces sites », indique Benoît Ferrari.

Dans l'Ardières, les scientifiques ont observé des teneurs accrues en cuivre et en HAP dans les sédiments. Cette rivière traverse

une région viticole dans laquelle le cuivre est souvent utilisé en traitement phytosanitaire. En parallèle, les échantillons d'eau présentaient des teneurs élevées en pesticides organiques. En aval de la bourgade de Beaujeu, la rivière présentait par ailleurs des concentrations notables de composés pharmaceutiques. Dans le Tillet, les sédiments étaient contaminés par des HAP, des PCB et des métaux, en particulier au niveau du port situé à l'embouchure de la rivière. Les PCB proviennent d'une activité industrielle historique dans le bassin versant dont les effets sont encore nettement visibles malgré la décontamination partielle du site et du cours



Les bandes d'appâts sont utilisées pour mesurer la dégradation de la matière organique sur le terrain.

d'eau. En aval de la ville d'Aix-les-Bains, l'eau du Tillet présentait des teneurs importantes en médicaments. Dans les deux rivières, les matières en suspension affichaient des concentrations élevées de métaux, d'HAP et, dans une moindre mesure, de PCB. Il apparaît donc que les matières en suspension sont en mesure de participer au transport de la charge polluante.

### **L'indice oligochètes et la tolérance bactérienne, indicateurs de l'action des polluants**

Certaines méthodes indiquaient clairement un impact des polluants, mais, bien souvent, la relation entre charge polluante et composition des communautés s'avérait complexe. Ainsi, l'IOBS reflétait fidèlement le degré de contamination des sédiments par les PCB, les HAP et les métaux. De même, la méthode PICT a attesté d'une progression de la tolérance au cuivre en relation avec la pollution de l'Ardières par ce métal dans la communauté microbienne vivant à la surface sur des cailloux ou rochers (périphyton).

### **Forte influence d'autres facteurs environnementaux**

Avec les autres méthodes, il s'est avéré plus difficile d'établir une corrélation entre la pollution et les effets écotoxicologiques. « Il est évident que les communautés du sédiment ne sont pas uniquement influencées par la présence de polluants », commente Benoît Ferrari. Les conditions physicochimiques varient d'un cours d'eau à l'autre et cela a un effet sur la biocénose. Certains de ces paramètres comme la finesse du sédiment, sa teneur en matière organique et en nutriments (et en particulier en phosphore) et la température de l'eau, vont influencer par exemple les activités enzymatiques et la dégradation de la matière organique et la densité des oligochètes. Ainsi, le poids relatif de la contamination sur certains indicateurs fonctionnels utilisés dans cette étude semblait faible, voir nulle, au regard de l'ensemble des variables environnementales étudiées. « Cela montre à quel point il est difficile d'établir, sur le terrain, une relation spécifique entre une exposition à des polluants et des effets sur les communautés d'être vivants », commente Stéphane Pesce.

### **Besoin de seuils de référence**

Mais même si la pollution n'a pas clairement perturbé l'activité bactérienne et la



Les scientifiques collectent les bandes d'appâts mangées dans l'Ardières.

dégradation de la matière organique, cela ne signifie pas qu'elle n'a aucun effet sur la fonctionnalité des communautés du sédiment. « Nous devons absolument déterminer des seuils de référence pour une série de sédiments non contaminés présentant des propriétés physicochimiques différentes. Cela faciliterait grandement l'interprétation des données en situation de pollution. » précise Stéphane Pesce. De tels seuils permettraient en effet de prédire dans les sédiments superficiels des plages fonctionnelles « normales » pour un contexte physico-chimique donné et, ainsi, de mieux identifier les effets écotoxicologiques éventuels des polluants. Une telle approche exige des études de terrain d'envergure comme celles ayant permis de mettre en place l'indice Macroinvertébrés.

Cette étude a montré qu'il était important de combiner plusieurs méthodes d'évaluation de la contamination des sédiments pour

comprendre la relation entre l'exposition des communautés et leurs caractéristiques structurales et fonctionnelles. Car c'est à cette seule condition qu'il sera possible de comprendre les effets écotoxicologiques sur les communautés et leurs conséquences sur la qualité de l'écosystème.

#### **Plus d'infos :**

Pesce, S., Lyautey, E., Naffrechoux, E., Ferrari, B., Dabrin, A., Margoum, C., Miège, C., Masson, M., Vivien, R., Bonnineau, C. (2019) *Pression chimique et impacts écologiques : Distribution des contaminants et réponse des communautés de microorganismes et d'invertébrés dans les sédiments de l'Ardières et du Tillet (CommuSED)*, [www.centrecotox.ch/news-publications/rapports/](http://www.centrecotox.ch/news-publications/rapports/)

#### **Contacts :**

Benoît Ferrari, [benoit.ferrari@centrecotox.ch](mailto:benoit.ferrari@centrecotox.ch) ;  
Stéphane Pesce, [stephane.pesce@inrae.fr](mailto:stephane.pesce@inrae.fr)

# Évaluation de la qualité des sédiments dans des canaux artificiels du Valais

**Pour l'évaluation de la qualité des sédiments, les analyses chimiques classiques sont complétées par des tests écotoxicologiques et des études des communautés d'invertébrés. Cette approche a révélé une forte dégradation de la qualité des sédiments dans trois canaux artificiels du Valais.**

L'ordonnance suisse sur la protection des eaux formule des objectifs clairs afin de garantir la qualité des eaux. Elle exige ainsi notamment qu'aucun polluant ne s'accumule dans les sédiments. En revanche, aucune méthode officielle n'a encore été recommandée aux cantons pour évaluer la qualité des sédiments dans le cadre des programmes de surveillance de la qualité des eaux de surface. Le Centre Ecotox travaille depuis 2015, avec l'Office fédéral de l'environnement et l'Eawag, à l'élaboration d'un module Sédiment pour l'appréciation des cours d'eau. Dans une première étape, le Centre Ecotox a déjà mis au point une méthode uniformisée pour l'échantillonnage des sédiments et l'évaluation du risque lié aux contaminants qui y sont mesurés.



Le canal Bras-Neuf est contaminé par des métaux, des HAP et des PCB.

## **Une approche de type triade associant chimie, écologie et écotoxicologie**

Pour évaluer la qualité des sédiments de manière approfondie, il est pertinent d'effectuer des analyses chimiques et biologiques à différents niveaux. Une approche de type triade associant des méthodes physicochimiques, écotoxicologiques et biologiques a été adoptée dans cette optique par le Centre Ecotox – mandaté

par le service de l'environnement du Valais – pour étudier la qualité des sédiments de dix sites le long de trois canaux artificiels du Bas-Valais: le canal Stockalper, le canal du Bras-Neuf et le canal des îles. C'était la première fois qu'une approche de type triade était utilisée dans un grand projet cantonal. Plusieurs échantillons de sédiment ont été prélevés sur chaque site afin de déterminer (i) la composition chimique (métaux, PCB et HAP), (ii) la toxicité pour le nématode *C. elegans* (reproduction et croissance) et l'ostracode *H. incongruens* (mortalité et croissance) et (iii) la composition des communautés de nématodes et d'oligochètes. Les oligochètes et nématodes comprennent un grand nombre d'espèces présentant divers degrés de sensibilité aux pollutions. Le calcul d'indices basés sur l'abondance de chaque espèce (ou taxon) présent dans un échantillon permet de déterminer le degré de pollution d'un site donné. Dans cette étude, les indices nématodes NemaSPEAR et oligochètes IOBS ont été utilisés pour évaluer la qualité biologique des sédiments.

## **Les macroinvertébrés du sédiment fortement affectés**

Les analyses chimiques ont montré que les sédiments des dix sites étaient contaminés, en particulier ceux du canal du Bras-Neuf qui traverse plusieurs sites industriels (fortement contaminés par les métaux, les PCB et les HAP). Des effets sur la faune du sédiment étaient donc à craindre et cela a été confirmé par notre étude. Une inhibition de la croissance de l'ostracode *H. incongruens* a ainsi été observée avec les sédiments prélevés sur sept des dix sites, dans les canaux du Bras-Neuf et Stockalper. De plus, les indices basés sur les communautés de nématodes et d'oligochètes ont indiqué une qualité biologique non satisfaisante du sédiment sur tous les sites. La diversité des oligochètes était particulièrement faible et seuls des taxons d'oligochètes tolérants à la pollution étaient présents.

« Le meilleur moyen d'obtenir une évaluation robuste de la qualité des sédiments est de combiner analyses chimiques, biotests écotoxicologiques et indices biologiques. Cette approche a été mise à l'épreuve et a prouvé sa valeur », commente Rébecca Beauvais. Les effets mis en évidence in situ par les indices biologiques peuvent s'expliquer par les concentrations des polluants mesurés. En revanche, les effets écotoxicologiques les plus marqués ont été mesurés dans les quatre échantillons présentant les charges polluantes les moins fortes. « Cela pourrait indiquer que d'autres polluants, qui n'ont pas été mesurés ici, sont impliqués dans la toxicité observée, explique Rébecca Beauvais. Grâce aux essais écotoxicologiques, nous pouvons appréhender la part de la toxicité due à des composés non mesurés. » Les essais écotoxicologiques et les indices biologiques livrent ainsi des informations complémentaires sur les effets des contaminants présents dans les sédiments.

## **Plus d'infos dans le rapport:**

Évaluation de la qualité des sédiments des canaux Stockalper, du Bras-Neuf et des îles (Valais, Suisse) basée sur une approche de type triade, prochainement sur [www.centrecotox.ch/news-publications/rapports/](http://www.centrecotox.ch/news-publications/rapports/)

## **Contact:**

Rébecca Beauvais, [rebecca.beauvais@centrecotox.ch](mailto:rebecca.beauvais@centrecotox.ch)



# Azoles antifongiques : un sujet d'inquiétude

**En Suisse, des azoles antifongiques sont détectables dans la plupart des échantillons d'eau, de sol, de sédiment et d'organismes vivants. Toutefois, le manque de données de toxicité rend l'évaluation du risque de ces composés particulièrement difficile.**

Les azoles antifongiques sont les fongicides les plus fréquemment utilisés. Ils sont régulièrement employés dans le domaine agricole pour empêcher le développement des champignons et moisissures dans et sur les denrées. Ils permettent ainsi de lutter contre le mildiou et la tavelure dans la culture des céréales, des fruits et de la vigne. Ces composés sont également administrés en médecine humaine en traitement des mycoses. Malheureusement, ils ne se contentent pas d'inhiber la constitution de la membrane cellulaire des champignons mais peuvent également perturber d'autres organismes, en agissant, par exemple, sur leur système hormonal.

## **Présence des azoles antifongiques dans l'eau, le sol, le sédiment et les être vivants**

On connaît encore mal la distribution des azoles dans l'environnement. Pour pallier ce manque d'information, des scientifiques ont quantifié 61 de ces composés dans de nombreux échantillons prélevés dans les différents compartiments environnementaux de Suisse : l'eau, le sédiment, le sol et les organismes vivants. La particularité de cette étude réside dans le fait que les chercheurs ont non seulement analysé leurs propres extraits mais qu'ils ont également examiné des données de spectrométrie de masse haute résolution issues de projets antérieurs. Grâce à ces archives, ils ont pu s'appuyer sur une quantité très importante d'échantillons : au total 430 échantillons d'eau de surface, d'eau usée, de sédiment, de sol, d'eau souterraine, de biofilms, de gammarès et de poissons provenant de 95 sites d'étude du Plateau suisse. L'analyse a été effectuée par des scientifiques de l'Eawag en partenariat avec le Centre Ecotox et l'université de Berne.

Des azoles antifongiques ont été détectés dans la plupart des échantillons d'eau usée, d'eau de surface et de sédiment et, dans une moindre mesure, dans l'eau souterraine, le sol et les organismes aquatiques. Ainsi, le tébuconazole, employé comme pesticide, a été mis en évidence dans 60 % des échantillons de sédiment et 89 % des échantillons d'eau de surface. Le climbazole, un médicament, était observé dans 57 % des extraits de sédiment et 75 % des extraits d'eau de surface. Les concentrations plus élevées dans le sédiment et le sol que dans l'eau de surface, pourraient s'expliquer en partie par le caractère hydrophobe des composés. Les résultats montrent également que l'analyse rétrospective des données de spectrométrie de masse haute résolution permet d'améliorer l'évaluation de l'exposition aux polluants émergents.

## **Un besoin de données d'écotoxicité**

Étant donné l'écotoxicité de certains de ces composés et notamment leur caractère perturbateur endocrinien, les scientifiques ont jugé leur ubiquité alarmante et ils ont donc tenté d'évaluer leur risque écotoxicologique. En regard de la grande diversité de substances présentes, ils ont calculé le risque global dû à cette famille chimique. Les organismes aquatiques semblaient peu menacés : un risque n'était identifié que pour 1 % des échantillons. Les toxi-



Carmen Casado-Martinez et Anke Schneeweiss prélèvent des échantillons de sédiments dans le Bainoz.

cologues ont en revanche détecté un risque pour l'Homme via l'approvisionnement en eau potable dans 14 % des échantillons. « L'évaluation du risque était cependant incomplète car les données d'écotoxicité manquent encore pour beaucoup de substances », admet Carmen Casado-Martinez. Ainsi, les azoles utilisés comme médicaments n'ont pas du tout pu être pris en compte.

« Il est urgent d'acquérir davantage de données de toxicité sur les azoles antifongiques », souligne Carmen Casado-Martinez, qui a elle-même collecté de telles données avec les larves de chironomes et les amphipodes. Elle insiste notamment sur le besoin de données concernant les amphibiens, jugés particulièrement sensibles. « Nous avons déterminé des critères de qualité environnementale pour le tébuconazole dans l'eau et le sédiment, indique Carmen Casado-Martinez. Nous conseillons également d'inclure sa quantification dans les analyses de routine du sédiment. » Ce fongicide figure dans la stratégie de surveillance de la qualité des sédiments élaborée par le Centre Ecotox pour les cantons suisses. L'importance des azoles antifongiques est maintenant reconnue à l'échelon européen. L'éventualité de les inclure dans la liste des substances critiques à surveiller dans le cadre de la directive cadre sur l'eau est actuellement à l'étude.

## **Plus d'infos :**

Creusot, N. et al. (2020). Retrospective screening of high-resolution mass spectrometry archived digital samples can improve environmental risk assessment of emerging contaminants: a case study on antifungal azoles. *Environment International*, 139, 105708 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105708>

## **Contacts :**

Nicolas Creusot, [nicolas.creusot@inrae.fr](mailto:nicolas.creusot@inrae.fr);

Carmen Casado-Martinez, [carmen.casado@centreecotox.ch](mailto:carmen.casado@centreecotox.ch)



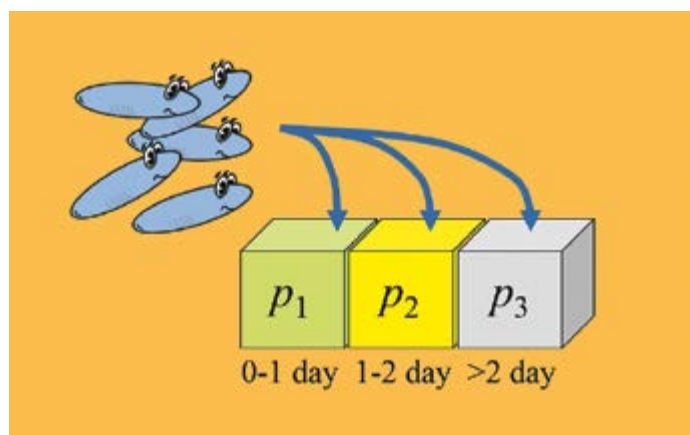
## Écotoxicité des résidus d'abrasion des pneus

Chaque année, plusieurs milliers de tonnes de résidus d'abrasion des pneus se déversent dans l'environnement. Or ces résidus sont composés d'un mélange complexe de particules de gommes et de matériaux de revêtement des chaussées et renferment de nombreux polluants. La quantité de micro-particules de pneu ainsi émise dépasse même celle de microplastiques comptabilisée par ailleurs. Le Centre Ecotox s'est donc proposé d'étudier la biodisponibilité et la toxicité des résidus d'abrasion des pneus dans un nouveau projet. Mené en partenariat avec le département de Toxicologie de l'environnement de l'Eawag et Le Laboratoire central de l'environnement de l'EPFL, il est financé par le World Business Council for Sustainable Development.

Le but du projet est de mieux comprendre la biodisponibilité et la toxicité des polluants contenus dans les résidus d'abrasion des pneus de même que les effets directs des particules sur les organismes. La méthode choisie consiste, d'une part, à suivre le cheminement des polluants – de l'absorption des particules dans l'intestin jusqu'à la bioaccumulation dans les tissus en passant par la désorption pendant la digestion et l'assimilation dans le système digestif – et, d'autre part, à étudier les effets au niveau moléculaire, de la cellule et de l'organisme. Les polluants présentant des modes d'action particuliers parmi ceux qui sont relargués des particules sont alors mis en évidence par la détection des mécanismes d'action spécifiques via une combinaison de chromatographie sur couche mince, de bioessais et de spectrométrie de masse. L'utilisation de cultures de cellules intestinales et branchiales de poissons permet de mesurer aussi bien les effets des substances désorbées que les effets directs des particules. L'action sur les invertébrés est étudiée à travers les oligochètes vivant dans le sol et les sédiments. Le projet est coordonné par le Centre Ecotox et programmé pour une durée de deux ans.

Contact:

Benoît Ferrari, [benoit.ferrari@centreecotox.ch](mailto:benoit.ferrari@centreecotox.ch)



## La modélisation TKTD pour les nubs

La gravité de l'atteinte d'un organisme par un produit chimique ne dépend pas uniquement de la quantité présente dans l'environnement mais aussi de l'évolution de cette dernière dans le temps. Dans les biotests écotoxicologiques classiques, la concentration de polluant est maintenue constante et l'essai est arrêté au bout d'une durée prédéterminée. Une telle simplification de la réalité a été nécessaire pour pouvoir réaliser de nombreuses évaluations au cours des dernières décennies et donc pour pouvoir gérer le risque. Mais, bien entendu, la réalité est toute autre: dans le cas des pesticides utilisés dans l'agriculture, en particulier, nous savons que les émissions dans le milieu aquatique – et donc les concentrations auxquelles sont exposés les poissons, les larves d'insectes, les crustacés et les végétaux – peuvent énormément varier dans le temps. La recherche tente donc depuis des années de trouver le moyen d'intégrer ces fluctuations dans l'évaluation du risque. Les modèles qui ont fait leurs preuves dans un tel contexte sont ceux qui décrivent l'absorption et le devenir des substances chimiques dans l'organisme (toxicocinétique, TK) et leur action sur ce dernier (toxicodynamique, TD). Jusqu'à présent, ces modèles dits TKTD étaient très complexes et réservés aux spécialistes. Or une avancée décisive vient d'être réalisée: l'un des modèles a maintenant été adapté aux professionnels sans expérience de la modélisation. Le modèle GUTs permet de prédire la mortalité pour une évolution donnée de la concentration d'un composé donné. Il est disponible en version complète pour Windows ou en une version pour Matlab.

<https://openguts.info>



### Formation continue au Centre Ecotox

Le cours de formation continue sur **les microplastiques dans l'environnement** qui devait avoir lieu les 16 et 17 juin 2020 est reporté aux 25 et 26 janvier 2021 en raison de la pandémie de Covid-19. Bien que des microparticules de plastique soient régulièrement détectées dans l'environnement, nous en savons peu sur leur impact sur les écosystèmes et la santé humaine. Ce cours propose un tour d'horizon sur les sources de microplastique, les méthodes de détection et les effets des particules. Il insistera tout particulièrement sur les concentrations mesurées en Suisse dans l'environnement et les risques potentiels pour l'Homme et la nature.

Le Centre Ecotox proposera un cours de formation continue sur **l'utilisation des biomarqueurs pour la mesure de l'influence des polluants sur les organismes aquatiques** le 27 octobre 2020, en allemand, à Dübendorf. 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.



### Rencontre virtuelle pour les 30 ans de la SETAC Europe

Le 30<sup>ème</sup> congrès annuel de la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Europe a eu lieu du 3 au 7 mai 2020. Mais, coronavirus oblige, il ne s'est pas tenu comme prévu à Dublin mais exclusivement en ligne. Les participants ont suivi sur leur ordinateur les conférences préenregistrées et classées dans huit domaines thématiques. Le Centre Ecotox était responsable de l'organisation de quatre sessions : Cornelia Kienle était ainsi co-présidente de la session « Novel Tools and Bioassays for the 21<sup>st</sup> Century Environmental Toxicology » qui abordait des biotests innovants, les approches Omics, la modélisation 3D, les tests « on a chip », la surveillance en ligne et les screenings à haut-débit. Eszter Simon était co-présidente de la session « Occurrence, Fate, Transport and Reactivity of Emerging Micropollutants in Aquatic Systems ». La session a rassemblé des études sur les micropolluants dans l'eau et a discuté des défis analytiques pour leur détermination. La session « Real Risks in Real Soils: Linking Exposure and Effects in a Multifaceted World », dont Janine Wong était coresponsable, était consacrée à l'évaluation du risque dans les sols et à la prise en compte des incertitudes lors de l'extrapolation des résultats de laboratoire à la réalité complexe du terrain. Marion Junghans, enfin, était co-présidente de la session « Dealing with and Communicating Uncertainties in Environmental Risk Assessment While Ensuring Trust Among Stakeholders: Mission Impossible? » qui posait la question de la gestion des incertitudes dans l'évaluation du risque environnemental et de la façon de mieux les exposer et expliquer aux intéressés. Lors du colloque, plusieurs réunions à distance ont été organisées dans des plages horaires prédéfinies pour permettre au public et aux intervenants de communiquer et de discuter par écran interposé. De même, des espaces virtuels spécifiques avaient été mis en place pour la session de posters et le networking.



### Un chercheur japonais au Centre Ecotox

Le Dr Kazushi Noro du Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries d'Osaka est venu passer cinq semaines au Centre Ecotox en février et mars 2020. Il y a effectué des essais en conditions contrôlées dans des canaux expérimentaux pour tenter de savoir si les échantillonneurs passifs pouvaient être employés pour évaluer le risque chimique dans le cas de catastrophes naturelles ou d'accidents donnant lieu à des rejets involontaires de produits chimiques dans l'environnement. Kazushi Noro a testé différents capteurs passifs de type POCIS et évalué leur capacité à détecter des pollutions brèves et subites par les néonicotinoïdes (pesticides), les sulfonates d'alkylbenzène linéaires (tensio-actifs) et le bisphénol A. Kazushi Noro travaille actuellement à l'exploitation de ses données et prépare déjà sa prochaine visite.

# 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.**

## **Nouveau rapport de l'OCDE sur les résidus pharmaceutiques dans le milieu aquatique**

Les médicaments sont des alliés précieux de la santé humaine et animale mais ils peuvent aussi poser un problème environnemental s'ils se retrouvent dans le milieu aquatique. Un nouveau rapport de l'OCDE demande une meilleure coopération internationale de même que des mesures politiques pour améliorer la situation. Il propose également de reconsidérer les usages et la gestion des médicaments en tenant compte de tout leur cycle de vie.

[www.oecd-ilibrary.org/environment/pharmaceutical-residues-in-freshwater\\_45d8f439-en](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/pharmaceutical-residues-in-freshwater_45d8f439-en)

## **Les néonicotinoïdes perturbent les réseaux trophiques aquatiques et affectent les stocks de poissons**

Les insecticides du groupe des néonicotinoïdes ne menacent pas seulement les abeilles mais également les organismes aquatiques. Ils modifient en effet la structure et la dynamique des réseaux trophiques aquatiques, de sorte que leurs effets se ressentent jusque dans les niveaux trophiques les plus élevés. Une étude japonaise montre que l'utilisation de néonicotinoïdes depuis 1993 dans le bassin versant de certaines masses d'eau s'est accompagnée d'un recul de 83 % de la biomasse de zooplancton mesurée au printemps. Parallèlement, le rendement de la pêche au Stint dans le lac Shinji a considérablement baissé, passant de 240 à 22 tonnes de ce poisson dans le même période. Étant donné que les néonicotinoïdes sont les insecticides les plus employés au monde, il est probable que bien d'autres écosystèmes soient concernés par ce problème.

Yamamuro, M., Komuro, T., Kamiya, H., Kato, T., Hasegawa, H., Kameda, Y. (2019) Neonicotinoids disrupt aquatic food webs and decrease fishery yields. *Science* 366, 6465, 620 – 623

## **Amélioration de l'évaluation du risque dû aux pesticides dans les procédures d'homologation**

Il semble exister une relation entre l'usage des pesticides en agriculture, d'une part, et le recul des populations d'insectes et d'oiseaux et la perte de biodiversité, d'autre part. Même si les pesticides ne sont pas seuls responsables, il convient de vérifier le bien-fondé, en regard de cet aspect, des méthodes d'évaluation du risque environnemental utilisées dans le cadre des procédures d'autorisation de mise en circulation de ces composés. Ces méthodes ne tiennent pas compte des stress concomitants tels que le chan-

gement climatique ou la destruction des habitats. Des propositions ont ainsi été faites pour améliorer les procédures d'homologation des pesticides en Europe.

Topping, C.J., Aldrich, A., Berny, P. (2020) Overhaul environmental risk assessment for pesticides. *Science* 367, 6476, 360 – 363

## **Aux USA, des prélèvements quotidiens ont permis de détecter l'occurrence et la toxicité potentielle des pesticides dans les cours d'eau**

Plus les prélèvements effectués dans un cours d'eau sont fréquents, plus la quantité de pesticides qui y sont détectés est grande et plus leur toxicité est forte. C'est ce que montre une campagne de prélèvements de grande envergure effectuée aux États-Unis, dans laquelle plus de 200 pesticides et métabolites ont été recherchés dans 14 petits cours d'eau. Les échantillons prélevés quotidiennement contenaient presque deux fois plus de pesticides que les échantillons composites moyennés sur une semaine et trois fois plus que les prélèvements ponctuels hebdomadaires. La toxicité aiguë potentielle pour les invertébrés a pu être prédite sur la plupart des sites avec les échantillons composites quotidiens mais seulement sur trois sites avec les échantillons composites hebdomadaires et sur aucun avec les prélèvements ponctuels hebdomadaires. Les composés les plus déterminants pour la toxicité potentielle étaient des insecticides qui n'étaient souvent présents que de manière transitoire et qui passaient donc souvent inaperçus dans les échantillons hebdomadaires. Cette étude montre que les pics de concentration de pesticides, brefs mais potentiellement toxiques, peuvent être ignorés dans les prélèvements hebdomadaires alors qu'ils peuvent affecter les invertébrés dans les petits cours d'eau.

Norman, J.E. et al. (2020) Daily stream samples reveal highly complex pesticide occurrence and potential toxicity to aquatic life. *Science of the Total Environment* 715, 136795

## **Les substances odorantes contenues dans les plastiques perturbent le comportement des tortues marines**

Les déchets plastiques s'accumulent dans les océans où ils portent atteinte aux animaux marins qui peuvent les ingérer ou s'y entraver. Une nouvelle étude montre maintenant que les tortues marines ont la même réaction face aux substances odorantes émises par les débris de plastique recouverts d'organismes que face aux odeurs naturellement émises par leur nourriture habituelle: elles partent en quête de nourriture. Les tortues marines reconnaissent donc l'odeur du plastique, ce qui les incite à l'ingérer et renforce son action délétère.

Pfaller, J.B., Goforth, K.M., Gil, M.A., Savoca, M.S., Lohmann, K.J. (2020) Odors from marine plastic debris elicit foraging behavior in sea turtles. *Current Biology*, 30, 5, R213 – R214

### **Impressum**

**Editeur:** Centre Ecotox

Eawag

Überlandstrasse 133

8600 Dübendorf

Suisse

Tel. +41 58 765 5562

Fax +41 58 765 5863

[www.oekotoxzentrum.ch](http://www.oekotoxzentrum.ch)

EPFL-ENAC-IIE-GE

Station 2

1015 Lausanne

Suisse


Tel. +41 21 693 6258

Fax +41 21 693 8035

[www.centreecotox.ch](http://www.centreecotox.ch)

**Rédaction:** Anke Schäfer, Centre Ecotox

**Traductions:** Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

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

**Copyright des photos:** Centre Ecotox, Stéphane Pesce, INRAE (p. 6,7); Kazushi Noro (p. 11), unsplash/Imthaz Ahamed (p. 10), Tjalling Jager (p. 10), SETAC (p. 11)

**Parution:** deux fois par an

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

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