



centre ecotox news

8. édition mai 2014

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL



Bases scientifiques de la réglementation des nanomatériaux _____	3
Dépassement des seuils d'écotoxicité pour de nombreux pesticides _____	6
Les effluents d'épuration coupent l'appétit des gammare _____	7
Micropolluants : les biotests sur la sellette _____	8
Un nouveau guide d'appréciation de la qualité des sédiments _____	9
Les brèves du Centre Ecotox _____	10
L'écotoxicologie dans le monde _____	12

Editorial

Risques familiers et risques émergents



Dr. Inge Werner,
directrice du Centre Ecotox

La pollution des cours d'eau suisses par les pesticides est une réalité tragique dont les médias ont beaucoup parlé ces derniers temps. Il apparaît donc clairement que les mesures prises pour limiter leur rejet sont insuffisantes. Il est ainsi particulièrement préoccupant de constater que, comme l'a notamment montré une étude de l'Eawag, nombre de ces composés sont présents à des concentrations dépassant les seuils d'écotoxicité (p. 6). Et la Suisse n'est pas un cas isolé. Dans le monde, des quantités astronomiques de pesticides sont employées chaque année: d'après un rapport de l'Agence environnementale américaine EPA, près de 2 359 000 tonnes de substance active ont été utilisées en 2007; la valeur marchande des pesticides vendus s'élevait à près de 35 milliards de francs. Pour aggraver la situation, les pesticides commercialisés sont de plus en plus efficaces, autrement dit, de plus en plus toxiques.

Dans mon premier pays d'adoption, la Californie, dont le principal secteur d'activité est l'agriculture, la pollution des eaux de surface par les pesticides est un sujet de préoccupation majeur depuis des décennies. Mais l'agriculture n'est pas seule fautive et les re-

jets diffus d'origine urbaine contribuent beaucoup à la pollution. Les produits les plus dangereux pour la faune aquatique sont les insecticides. Dans les années 1990, les organophosphorés et les carbamates ont particulièrement attiré l'attention car ils étaient présents à des concentrations souvent toxiques pour les organismes aquatiques. Le chlorpyrifos, le diazinon et le carbofurane inquiétaient tout spécialement les autorités californiennes. Le diazinon et le carbofurane ont maintenant été détectés en Suisse à des concentrations préoccupantes pour l'environnement; le chlorpyrifos n'a pas été recherché.

Depuis le début du nouveau millénaire, l'utilisation du diazinon et du chlorpyrifos, tous deux appartenant à la famille des pesticides organophosphorés, est sujette à restrictions aux USA pour des raisons, principalement, de santé publique. Suite à cette mesure – et au développement d'une certaine résistance chez les organismes cibles –, la consommation totale d'organophosphorés a baissé de 44 % entre 2002 et 2007. A l'inverse, celle de néonicotinoïdes et de pyrèthroïdes a augmenté et ces deux groupes d'insecticides sont à leur tour devenus fréquents dans les cours d'eau. Ils sont également utilisés en Suisse. L'outil de veille environnementale le plus précieux dont dispose la Californie est un système en ligne dans lequel les utilisateurs de pesticides doivent indiquer le lieu, la date des applications et les quantités employées. Cette base de données (www.cdpr.ca.gov) donne une vision assez complète de l'emploi des pesticides dans la région. Les données sont accessibles sous forme anonyme et peuvent être

utilisées par les organismes publics et les scientifiques. Un tel système serait également d'une grande utilité pour la Suisse.

Malgré les risques qu'ils représentent, les pesticides nous facilitent la vie, ils évitent les pertes agricoles dues aux ravageurs et limitent la propagation des maladies. Le Centre Ecotox s'implique dans la recherche de solutions constructives pour tous: il a ainsi participé à la table ronde sur les pesticides organisée en avril par l'Office fédéral de l'agriculture. Le même type de problèmes se pose dans le domaine des nanotechnologies. Les nanomatériaux sont déjà largement présents dans notre vie quotidienne alors que les risques sont encore très difficiles à évaluer. A l'occasion d'un séminaire organisé par le Centre Ecotox et le SCAHT, chercheurs, industriels et professionnels de la normalisation et de la réglementation des produits chimiques se sont réunis pour faire le point des connaissances et des lacunes en matière d'évaluation et de réglementation des nanomatériaux (p. 3). Nous restons par ailleurs très actifs dans l'élaboration de tests et stratégies adaptés à l'évaluation de la qualité de l'eau et des sédiments (p. 7, 8 et 9) pour aider à préserver l'intégrité de nos écosystèmes.

J'espère que vous trouverez ce nouveau numéro de Centre Ecotox News aussi instructif que les précédents et vous souhaite une excellente lecture.



Bases scientifiques de la réglementation des nanomatériaux

Face à l'essor des nanotechnologies, l'adaptation de la législation aux nanomatériaux est une tâche aussi indispensable que délicate. Dans le cadre d'un séminaire organisé en janvier 2014 par le Centre Ecotox et le SCAHT, de nombreux spécialistes ont fait le point sur les connaissances actuelles en matière de caractérisation de l'exposition et des effets et d'évaluation du risque et proposé des pistes d'action.

Les nanotechnologies sont sources d'innovations majeures dans de nombreux domaines. On retrouve ainsi les nanomatériaux dans les cosmétiques, les vêtements de sport, les matériaux composites hyper-résistants, les peintures pour façades et bien d'autres produits de la vie courante. L'évaluation des risques pour la santé et l'environnement nécessaire à l'établissement d'une réglementation adaptée est cependant difficile. Les tests recommandés par l'OCDE pour l'évaluation des risques liés aux produits chimiques peuvent en principe être utilisés pour les nanoparticules mais certains d'entre eux doivent être adaptés à la spécificité des nouveaux matériaux. Scientifiques et spécialistes de la réglementation des produits chimiques travaillent actuellement sur le sujet au niveau international et le Centre Ecotox participe à ces efforts: avec la complicité du Centre suisse de toxicologie humaine appliquée (SCAHT), il a ainsi organisé un workshop pour discuter des problèmes liés à l'établissement d'une réglementation adaptée aux nanomatériaux. Programmé à l'initiative des autorités suisses, le séminaire s'est tenu sur deux jours en janvier 2014 et s'adressait aux professionnels de l'industrie, de la recherche et de l'administration. Son objectif était d'établir un état des lieux pour la Suisse, de faire le point sur les possibilités et les limites actuelles en matière d'évaluation des risques et de mettre en évidence les lacunes existantes.

De nouvelles applications et de nouveaux risques

A long terme, la société espère que les nanotechnologies permettront de fabriquer des produits plus durables qui seront moins consommateurs de ressources et moins producteurs de déchets aussi bien au moment de leur fabrication que de leur utilisation ou de leur élimination. L'utilité des nouveaux nanomatériaux est indiscutable (cf. encadré). Pour tirer tout le profit de leurs avantages, il est cependant indispensable de connaître leur impact sur la santé et sur l'environnement. C'est particulièrement vrai pour ceux qui ne sont pas intégrés dans un matériau mais se présentent sous forme libre. Pour évaluer les risques, il faut alors savoir que les nanomatériaux ont une taille comparable à celle des organites cellulaires ou des macromolécules protéiques, ce qui leur permet de pénétrer dans des organes et des cellules inaccessibles aux plus grandes particules. Ainsi, certains types de nanotubes de carbone se comportent un peu comme l'amiante et peuvent, sous forme libre, pénétrer dans les poumons et s'y avérer toxiques. Mais même les nanomatériaux

intégrés peuvent présenter un risque s'ils sont libérés dans l'environnement sous l'effet de l'usure ou de la rupture des matières. Une modélisation des concentrations dans l'environnement peut permettre, par comparaison avec des valeurs suivies d'effets, d'identifier les compartiments environnementaux les plus menacés et les matériaux les plus dangereux. Pour certaines nanoparticules comme celles d'or et d'argent, une accumulation dans l'organisme et donc dans la chaîne alimentaire semble avérée.

Règlements concernant les nanomatériaux en Suisse et dans l'UE

Il convient donc de réglementer les nanomatériaux de façon à protéger la population humaine et l'environnement. En Suisse et dans l'UE, ils sont déjà concernés par plusieurs lois comme celles relatives aux denrées alimentaires, aux produits chimiques ou à l'environnement. Cela signifie que les dispositions relatives aux procédures d'autorisation, d'enregistrement ou de notification qui sont déjà en vigueur s'appliquent automatiquement aux nanomatériaux contenus dans les denrées alimentaires, les cosmétiques, les produits de consommation courante, les produits chimiques, les biocides et autres objets. Les fabricants sont tenus de s'assurer de l'innocuité de leurs produits et, le cas échéant, de faire le nécessaire pour la garantir. La Suisse et l'UE doivent donc vérifier la pertinence des prescriptions relatives aux procédures d'autorisation, d'enregistrement et de notification, à la classification des substances et à l'étiquetage des produits et, au besoin, les modifier de façon à ce que les nanomatériaux soient correctement pris en compte. Pour ce faire, il faut tout d'abord savoir si, du fait de leurs propriétés physiques particulières, ces nouveaux matériaux présentent des mécanismes d'action fondamentalement différents des particules de plus grande taille et si, donc, d'autres principes doivent être appliqués pour l'évaluation du risque qu'ils représentent.

Connaissances scientifiques et questions en suspens

La mise en place d'une réglementation adaptée est d'autant plus difficile que certains points n'ont pas encore été précisés:

- On ne sait pas encore quel **système de mesure** utiliser pour définir les normes à employer pour l'évaluation du risque. Dans le domaine toxicologique, les concentrations maximales de produit chimique sans danger pour la santé sont déterminées en effectuant des essais avec des teneurs croissantes jusqu'à ce qu'une réaction soit



observée. Dans le cas des nanomatériaux, de telles courbes dose-réponse ne peuvent cependant pas être interprétées sur la base de la seule masse de composé présent. Il faut faire appel à d'autres paramètres tels que le nombre de particules présentes, la distribution de taille des particules, la morphologie ou la réactivité de surface. Par ailleurs, la **limite entre les nanomatériaux et les autres matériaux** en termes de taille et de comportement n'est pas encore clairement définie. Enfin, on ignore encore si les nanomatériaux présentent des **mécanismes d'action** qui leurs sont propres.

- Pour améliorer l'efficacité de l'évaluation des risques liés à la multitude de produits chimiques existants, ceux-ci peuvent être regroupés en catégorie de composés ayant des propriétés similaires. Sur la base de relations connues entre structure et activité (QSAR), il est possible de cerner la toxicité de produits non testés par analogie avec des composés testés dont les propriétés sont connues. On ne dispose pas encore de tels **modèles QSAR** pour les nanomatériaux. Les études déjà réalisées sur les rapports entre certaines propriétés des nanoparticules et leur toxicité ne permettent pas pour le moment de définir de règles générales. On ignore donc encore dans quelle mesure la forme, les propriétés de surface ou l'état d'agglomération ou d'agrégation des nanomatériaux peuvent servir de paramètres indicateurs pour une évaluation du risque par analogie.
- En plus d'une modélisation des effets toxiques, l'utilisation de tests *in vitro* simplifierait l'évaluation de la toxicité tout en limitant le recours à l'expérimentation animale. Il n'existe cependant **pas encore de tests *in vitro* validés pour les nanomatériaux**.
- Etant donné leur multitude, l'évaluation du risque lié aux produits chimiques se fait par étapes en effectuant des tests prédéfinis et en se basant sur des indicateurs qui, à la manière d'une clé dichotomique, conduisent d'un niveau d'analyse à un autre en fonction des problèmes diagnostiqués. On ne dispose **pas** encore d'un tel **système d'évaluation par étapes pour les nanomatériaux**.
- Dans le cas des nanomatériaux, une **exposition chronique** est particulièrement susceptible de comporter des risques. Lorsqu'ils s'accumulent dans l'organisme ou dans l'environnement, leur présence, même en quantités infimes, peut induire des effets toxiques si elle se maintient à long terme. Pour l'heure, on ignore largement si les nanomatériaux présentent une toxicocinétique différente de leurs matériaux de base et il n'existe encore **aucune approche scientifique permettant une extrapolation**. Cela signifie qu'une étude des effets chroniques doit impérativement être effectuée pour les nanomatériaux persistants et bioaccumulables.

- Pour évaluer le risque pour la santé et l'environnement, il faut disposer de méthodes validées permettant de mesurer l'exposition réelle aux formes de nanomatériaux susceptibles d'être présents et de provoquer des dommages. Bien que diverses techniques d'analyse permettent un bon dosage des nanomatériaux isolés en laboratoire, leur **dosage dans les matrices environnementales** est encore impossible ou extrêmement coûteux. Nous savons par ailleurs que, dans la nature, les nanomatériaux peuvent s'agglomérer ou s'agréger en structures dont les dimensions dépassent l'échelle nanométrique et qui peuvent présenter des propriétés différentes de leurs composants. Il est donc hasardeux de procéder à une évaluation des risques sur la base des propriétés observées au laboratoire.

Travail de groupe et pistes d'action

Répartis en plusieurs groupes de travail, les participants ont établi une liste d'actions souhaitables, de lacunes à combler et de recommandations pour chacun des domaines Exposition, Toxicologie humaine et Toxicologie environnementale. Dans le domaine de la **toxicologie de l'environnement**, ils recommandent une collaboration entre régulateurs et autorités normatives, scientifiques et industriels afin d'élaborer une stratégie d'évaluation basée sur des tests adaptés aux nanomatériaux. Les principales lacunes constatées concernaient le cycle de vie des matériaux, les mécanismes de transformation et la bioaccumulation des nanomatériaux.

Dans le domaine de **l'exposition**, les participants déplorent une mauvaise connaissance de l'exposition sur le lieu de travail alors qu'elle serait facilement mesurable avec les méthodes existantes. Ils estiment qu'il conviendrait de mieux tirer les enseignements du passé et de mettre en place une protection efficace des travailleurs. Ils observent d'autre part des lacunes dans la distinction entre nanomatériaux naturels et manufacturés. Dans ce domaine, ils conseillent d'évaluer des concentrations de fond à partir des données disponibles sur les nanoparticules naturelles. Ils soulignent par ailleurs que le dosage global des nanomatériaux naturels et synthétiques permet d'identifier les tendances à l'augmentation des concentrations.

Dans le domaine de la **toxicologie humaine**, les participants plaident pour une meilleure collaboration entre les personnes impliquées dans l'évaluation du risque, la gestion du risque et la communication du risque. Ils demandent aux scientifiques de définir les ordres



de grandeur à partir desquels les propriétés typiques des nanomatériaux se manifestent réellement et de mieux identifier les caractéristiques de ces composés pour pouvoir regrouper les nanomatériaux en fonction de leur dangerosité potentielle. Les techniques d'analyse doivent être améliorées pour déterminer l'exposition aux nanomatériaux dans les contrôles de routine.

Des progrès doivent être réalisés dans tous ces domaines d'action pour réduire les incertitudes dans l'évaluation des risques. C'est à cette condition que des instruments juridiques et normatifs efficaces et ciblés pourront être mis en place pour minimiser les risques pour l'homme et l'environnement. Il convient d'éviter que la prudence actuelle vis-à-vis des nanomatériaux ne se transforme en une « nanophobie » injustifiée sur le plan scientifique.

Si l'on récapitule, il semble donc que les conditions définies pour la réglementation des produits chimiques soient également applicables aux nanomatériaux. Toutefois, la forme et la taille de ces structures déterminent leur surface spécifique qui définit à son tour leur réactivité et donc leur toxicité pour l'organe cible. Etant donné

leurs faibles dimensions, les nanomatériaux peuvent d'autre part emprunter des voies d'exposition très différentes des particules de grande taille et il est fort probable qu'ils puissent franchir des barrières biologiques pour atteindre des organes habituellement protégés. Les tests et méthodes officiellement recommandées pour l'évaluation des produits chimiques doivent être modifiés de façon à tenir compte des spécificités des nanomatériaux. En particulier, les matériaux testés doivent être caractérisés avec précision de façon à connaître la taille et la forme des particules, la distribution des tailles, la surface spécifique, la réactivité de surface, l'état cristallin ou amorphe et la tendance à l'agrégation ou à l'agglomération.

Contact:

Etienne Vermeirssen, etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch

Robert Kase, robert.kase@oekotoxzentrum.ch

Lothar Aicher, lothar.aicher@unibas.ch

Les nanomatériaux : multiplicité des formes et des applications

Il existe plusieurs définitions des nanomatériaux qui, si elles diffèrent légèrement, s'accordent toutes à les considérer comme des matériaux comportant dans leur structure de très petites unités dont la taille varie entre 1 et 100 nanomètres. Les nanofibres sont ainsi 100 000 fois plus fines que les cheveux humains. Suivant le caractère uni, bi ou tridimensionnel de leur structure, on en distingue trois grands groupes : les nanofeuillets, les nanofibres et les nanoparticules. Les nanomatériaux présentent souvent des propriétés très différentes de celles du même matériau à l'échelle macroscopique. Dans le domaine nanométrique, les matériaux peuvent développer de nouvelles propriétés optiques et électriques ou une nouvelle résistance aux contraintes. Selon leur taille, les particules d'or peuvent apparaître rouges, bleues ou dorées et le passage à l'échelle nanométrique confère à la silicose des propriétés de conduction électrique et au carbone une très grande stabilité. Tous les nano-objets ont une surface spécifique beaucoup plus élevée que les structures plus importantes ayant la

même composition. Etant donné que les réactions chimiques se déroulent principalement à la surface des matériaux, ils sont donc chimiquement beaucoup plus réactifs.

Grâce à leurs nouvelles propriétés, les nanomatériaux ont de multiples applications et ont permis de nombreuses innovations. Les nanofeuillets sont ainsi utilisés dans le revêtement des textiles sportifs et hospitaliers, dans la production de fenêtres autonettoyantes ou encore dans la fabrication d'outils ultra-résistants. Les nanotubes de carbone seront bientôt présents dans les transistors, les disques durs, les écrans plats et affichages numériques et les plastiques. Les nanoparticules, quant à elles, entrent déjà dans la composition de nombreuses crèmes solaires, produits cosmétiques et peintures et servent de catalyseurs à de nombreuses réactions chimiques. Dans le domaine médical, les nanotechnologies suscitent de grands espoirs en offrant de nouvelles possibilités de diagnostic et d'administration des médicaments.



Dépassement des seuils d'écotoxicité pour de nombreux pesticides

Une nouvelle étude fait état de la présence de plus d'une centaine de pesticides dans les cours d'eau du Plateau suisse. Dans chaque zone étudiée, les seuils d'écotoxicité étaient dépassés pour 7 à 8 substances – un signe évident de l'insuffisance d'une étude des composés individuels pour évaluer le potentiel écotoxique du milieu.

Les pesticides sont employés de façon ciblée pour protéger les végétaux ou les bâtiments d'organismes nuisibles et peuvent donc être particulièrement dangereux dans le milieu aquatique. Car les substances capables d'empêcher le développement des insectes dans les cultures peuvent également nuire aux crustacés dans les rivières et celles qui limitent la croissance des algues et des mousses sur les façades peuvent en affecter la population algale. Pour déterminer les concentrations de pesticides dans les cours d'eau pollués du Plateau, l'Eawag a analysé cinq rivières de taille moyenne traversant des zones agricoles et urbaines importantes. Dans chacune d'elles, neuf échantillons composites ont été recueillis à raison d'un toutes les deux semaines entre les mois de mars et de juillet pour être soumis à un dosage systématique de la quasi-totalité des pesticides connus. L'étude a été réalisée sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement en collaboration avec cinq cantons et le centre Ecotox, chargé de l'interprétation écotoxicologique des données.

Comparaison avec les exigences de qualité fixées par la loi et les seuils d'écotoxicité

104 pesticides ont été identifiés dans les échantillons, dont 102 homologués en tant que produits phytosanitaires et 22 en tant que produits biocides. Cela correspond à peu près à la moitié des produits phytopharmaceutiques organiques de synthèse vendus en Suisse. Pour évaluer la qualité de l'eau, les concentrations mesurées ont été comparées au seuil général de 0,1 µg/l fixé pour les pesticides dans l'Ordonnance sur la protection des eaux et aux seuils d'écotoxicité ou critères de qualité environnemen-

tales en exposition chronique indiquant les valeurs en dessous desquelles aucun effet néfaste n'est attendu chez les organismes aquatiques. Les critères de qualité ont été établis par le centre Ecotox et, au besoin, complétés en fonction d'évaluations effectuées dans d'autres pays. Leur valeur est nettement inférieure au seuil officiel de 0,1 µg/l pour une partie des substances et plus élevée pour d'autres, ce qui montre bien tout l'intérêt de déterminer des seuils individuels pour l'écotoxicité des produits.

Le seuil de 0,1 µg/l était dépassé pour 31 pesticides et les concentrations de 19 composés étaient supérieures au critère de qualité dans au moins un échantillon. Le dépassement le plus fréquent – dans 13 échantillons sur 45 – était observé pour le diuron, un herbicide utilisé en traitement biocide sur les façades et en traitement phytosanitaire dans l'agriculture, notamment en arboriculture et en viticulture. Les scientifiques ont observé des dépassements presque aussi fréquents pour le métazachlore, suivi de deux herbicides, le S-métolachlore et le terbuthylazine, et de deux insecticides, le diazinon et le thiaclopride. Le diazinon, le thiaclopride, le carbofurane et le diuron méritent une attention particulière: ils étaient en effet présents à des concentrations supérieures aux critères de qualité mais inférieures au seuil officiel de 0,1 µg/l et ne constituent donc pas un danger au sens de l'ordonnance sur la protection des eaux.

Le problème de la toxicité des mélanges

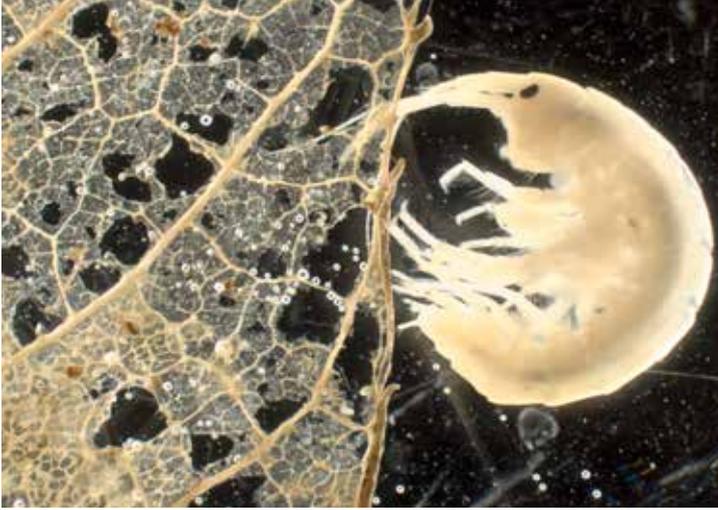
En moyenne, chaque échantillon renfermait une quarantaine de pesticides différents et dans chaque site, 7 à 8 composés étaient

présents à des concentrations dépassant au moins une fois la valeur correspondant au critère de qualité environnementale. La concentration cumulée de tous les pesticides dépassait le seuil de 0,1 µg/l dans 78 % des échantillons. Etant donné qu'il s'agissait d'échantillons composites sur deux semaines et que les rejets de pesticides se produisent plutôt de manière intermittente, on peut supposer que des concentrations beaucoup plus élevées ont pu être atteintes lors de pics de pollution. La multitude de composés identifiés dans chaque échantillon montre bien que le dosage de substances isolées est insuffisant pour évaluer la toxicité du milieu. A l'avenir, les effets de mélange devront également être pris en compte: le fait qu'un mélange de composés puisse être toxique pour les organismes aquatiques alors que les concentrations de chacun de ses composants sont inférieures aux critères de qualité individuels est particulièrement préoccupant. De par l'occupation des terres qui les entourent, les sites fluviaux choisis dans l'étude sont représentatifs des cours d'eau de taille moyenne modérément à fortement pollués du Plateau suisse. Il faut donc craindre que d'autres rivières de la région présentent des degrés de contamination similaires.

Pour en savoir plus: Wittmer, I. et al. (2014) *Über 100 Pestizide in Fliessgewässern*. Aqua & Gas 3, 32-43 (résumé français, traduction intégrale prévue)

Contact:

Marion Junghans,
marion.junghans@oekotoxzentrum.ch
Christoph Moschet,
christoph.moschet@eawag.ch



Les effluents d'épuration coupent l'appétit des gammares

Les micropolluants contenus dans les rejets des stations d'épuration dégradent la qualité de l'eau dans les milieux récepteurs, surtout s'il s'agit de petits ruisseaux n'assurant qu'une faible dilution des effluents. Un test de terrain basé sur l'encagement de gammares permet de mettre en évidence les polluants et leur impact sur le réseau trophique dans le milieu concerné.

Malgré les bonnes performances des stations d'épuration (STEP), leurs effluents renferment encore un mélange complexe de micropolluants organiques et inorganiques qui se déversent dans les milieux récepteurs. Leur impact sur la qualité de l'eau peut être notable, en particulier dans les ruisseaux ne pouvant assurer une dilution importante des rejets. Mais quel est l'effet de ces polluants sur la microfaune aquatique et comment perturbent-ils l'écosystème ? L'analyse chimique des eaux ne livrant pas d'éléments de réponse, une approche bio-analytique s'impose.

Les gammares, révélateurs de l'état de santé des cours d'eau

Les micropolluants peuvent affecter des fonctions importantes de l'écosystème rivulaire comme par exemple la dégradation des litières, élément fondamental de la chaîne alimentaire. Cette fonction est assurée par des macroinvertébrés et notamment par les gammares ; ces microcrustacés communs peuvent donc servir d'indicateurs de l'état de santé de l'écosystème puisque, si leur appétit se dégrade, il est fort probable que l'écosystème soit perturbé. Pour en savoir plus sur les effets des micropolluants en aval de la STEP de Seuzach, Barbara Ganser, étudiante en Master à l'université allemande de Landau, et Cornelia Kienle et Nadzeya Homazava, du centre Ecotox, ont mesuré à la fois l'activité trophique des gammares et la production de vitellogénine dans leur organisme. Cette protéine est un précurseur de la vitelline, protéine des ovocytes, et n'est normalement synthétisée que par les femelles à maturité sexuelle. Sa présence chez les mâles est révélatrice de la présence de perturbateurs endocriniens de type œstrogénique qui sont souvent véhiculés par les effluents de STEP et peuvent perturber la reproduction des poissons. De nouvelles études ont montré que la vitellogénine des gammares était aussi bien adaptée à leur détection que celle des poissons. Cette découverte a motivé la création d'un nouveau biotest qui a été utilisé pour la première fois sur le terrain dans la présente étude.

Dans ses essais, Barbara Ganser a placé des cages grillagées abritant chacune 20 mâles de taille similaire à différents endroits en amont et en aval du point de rejet des effluents de la STEP et les y a maintenues pendant trois semaines. La biologiste a alors suivi l'activité de nutrition des crustacés et étudié leur production de vitellogénine. Pour mieux évaluer les effets des polluants, l'eau du ruisseau

a été analysée par le département de Chimie de l'environnement en amont et en aval du point de rejet. D'autre part, la présence de substances œstrogéniques a été étudiée au laboratoire avec le test YES.

L'appétit coupé par les médicaments et les pesticides ?

Les gammares placés en amont du point de rejet de la STEP présentaient une activité de nutrition beaucoup plus élevée que ceux placés en aval, la différence ne disparaissant qu'à partir d'un éloignement de 400 m de l'arrivée des effluents. Les eaux traitées sortant de la STEP ont donc une influence certaine sur les microcrustacés. Les analyses de l'eau confirmeront la dégradation chimique du milieu, les concentrations de nombreux pesticides et composés pharmaceutiques étant plus élevées en aval qu'en amont. De même, le test d'œstrogénicité sur levure a révélé une présence accrue de perturbateurs endocriniens de type œstrogène. En revanche, la production de vitellogénine n'était pas stimulée chez les mâles exposés aux effluents. Alors que le taux d'alimentation des gammares alerte clairement sur une perturbation de la qualité de l'eau, l'interprétation des dosages de vitellogénine chez ce crustacé semble moins évidente et devra être affinée dans de nouvelles études. Dans le présent essai, les effluents d'épuration véhiculaient de nombreuses substances susceptibles de perturber des organismes aquatiques clés. L'amélioration de l'épuration par l'ajout d'étapes d'ozonation ou de traitement au charbon actif dans les STEP, telle qu'elle est prévue par la nouvelle loi sur la protection des eaux, devrait fortement contribuer à réduire les rejets de tels polluants dans le milieu naturel.

Contact:

Cornelia Kienle, cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch

Barbara Ganser, barbara.ganser@oekotoxzentrum.ch



Micropolluants : les biotests sur la sellette

20 laboratoires ont participé à des essais croisés pour déterminer les biotests les mieux adaptés à l'appréciation de la qualité de l'eau. 103 tests ont été utilisés sur différents types d'eau : des eaux usées, des eaux recyclées, des eaux de pluie, des eaux de rivière et de l'eau potable. Les scientifiques recommandent d'utiliser des batteries de biotests composées sur mesure pour les études de routine des programmes de surveillance.

Bien que la toxicité des produits chimiques soit encore évaluée à l'aide de tests classiques dans le cadre des procédures d'autorisation de mise sur le marché, un changement de paradigme est en train de s'opérer dans les milieux de l'évaluation. Les grands programmes de recherche américains et européens font de plus en plus souvent appel à des tests *in vitro* de niveau cellulaire et infra-cellulaire pour déterminer la dangerosité des substances chimiques et étudier leurs mécanismes d'action toxique. Plus rapides et moins coûteuses, ces nouvelles approches offrent une alternative à l'expérimentation animale tout en permettant d'examiner un plus grand nombre d'échantillons. Même si l'objectif des programmes reste l'évaluation individuelle des composés, les tests peuvent être utilisés pour caractériser la toxicité d'échantillons de composition inconnue et complexe. En raison de leur capacité à appréhender la totalité des polluants présents à travers leurs effets toxiques globaux, les essais biologiques sont de plus en plus souvent sollicités pour évaluer la qualité de l'eau dans les milieux naturels ou réels.

Une grande diversité de modes d'action

Les études déjà réalisées avec des biotests sur l'évaluation de la qualité de l'eau sont difficilement comparables les unes aux autres. Les échantillons y sont généralement préparés de différentes manières et examinés avec un nombre restreint de bioessais. Parmi les nouveaux tests, beaucoup n'ont jamais été employés sur des échantillons issus du milieu naturel ou réel. Face à cette situation, Beate Escher de l'Université du Queensland et plusieurs scientifiques venant de différents pays ont décidé

de lancer un programme d'essais interlaboratoires dans lesquels un grand nombre de biotests seraient appliqués à des échantillons préparés selon un protocole unique. Au total, 20 laboratoires, dont le centre Ecotox, ont employé 103 bioessais avec différents types d'eaux, notamment des eaux usées, des eaux recyclées, des eaux de pluie, des eaux de rivière et de l'eau potable.

Entre le moment où un organisme est exposé à une substance chimique et la manifestation des effets toxiques, plusieurs réactions se produisent qui peuvent être mises en évidence par des bioessais. Une des premières étapes de cette chaîne de réactions est ainsi la métabolisation du composé qui, si elle est détectée, indique sa présence dans le milieu. D'autres tests mesurent les interactions avec des cibles biologiques comme certains récepteurs ou l'ADN. D'autres encore sont basés sur la détection de réponses à un stress dans les cellules exposées. Même si une telle réaction n'est pas en soi un effet toxique, sa manifestation peut servir à détecter la présence de polluants. « *Les bioessais in vitro indiquent souvent le potentiel d'action toxique, explique Beate Escher. En vertu du principe de précaution, c'est à ce potentiel qu'il faut se référer même si les mécanismes de défense et de réparation des organismes sont parfois encore capables d'empêcher les dommages.* »

Les biotests les plus prometteurs

Les toxicologues ont comparé les bioessais et, au vu de leurs résultats et de leur sensibilité, ont établi une liste des paramètres biologiques à mesurer ou à observer dans

les échantillons d'eau pour appréhender les différents types de micropolluants. A partir de ces observations, ils proposent de composer une batterie de tests indicateurs pour l'évaluation de routine de la qualité de l'eau dans le cadre des programmes de surveillance. La batterie de tests doit mettre en évidence les effets au niveau cellulaire tout en détectant différentes étapes spécifiques du mécanisme d'action toxique des composés dont, au minimum, l'induction de la métabolisation de la substance dans l'organisme, la réponse adaptative au stress et la fixation aux récepteurs impliqués dans les perturbations endocriniennes. Les détecteurs de métabolisation les plus prometteurs sont le récepteur Ah (*aryl hydrocarbon receptor*) et le PXR (*pregnane X receptor*). Pour la détection des effets endocriniens, la batterie doit comporter au moins un test d'oestrogénicité. Par ailleurs, un test de toxicité cellulaire générale doit impérativement être inclus à titre de contrôle. « *Nous conseillons d'autre part de mieux tenir compte du métabolisme de base des lignées de cellules utilisées, indique Beate Escher. La toxicité des polluants peut en effet se trouver renforcée ou atténuée en fonction de l'activité métabolique des cellules.* »

Escher; B. I. et al. (2014) Benchmarking Organic Micropollutants in Wastewater, Recycled Water and Drinking Water with *In Vitro* Bioassays. *Environ. Sci. Technol.*, 48, 1940–1956



Un nouveau guide d'appréciation de la qualité des sédiments

Un nouveau guide d'évaluation de la qualité des sédiments vient d'être publié aux Pays-Bas. Il permet d'estimer à partir de quel moment la contamination des sédiments devient une menace pour la bonne qualité de l'eau et peut donc avoir un grand intérêt pour la Suisse.

Les sédiments constituent le principal réservoir de matières nutritives, d'éléments métalliques et de composés traces organiques des milieux aquatiques. A des teneurs trop élevées, ces substances peuvent non seulement nuire à la faune qui évolue dans et sur le fond des lacs et rivières mais aussi influencer sur la qualité des écosystèmes aquatiques du fait des échanges importants qui existent entre les sédiments et la colonne d'eau. Dans le cadre de la directive cadre sur l'eau (DCE), les experts estiment que la contamination des sédiments pourrait compromettre l'atteinte du bon état écologique des eaux exigée à l'horizon 2015. Or, malgré cette conscience réelle du problème, il n'existe pas encore d'instrument législatif relatif à la surveillance de la qualité des sédiments naturels. Pour pallier ce manque, le Ministère néerlandais de l'environnement a émis un guide d'évaluation qui a été présenté aux membres du réseau européen de spécialistes des sédiments SedNet lors de leur colloque de novembre 2013.

Aux Pays-Bas, comme en Suisse, les lois relatives aux eaux considèrent les sédiments comme faisant partie intégrante des systèmes aquatiques mais n'exigent pas de mesures préventives ou correctrices les concernant directement. Elles visent simplement la bonne atteinte des objectifs de qualité fixés par la DCE. La qualité des systèmes aquatiques y est évaluée à l'aide de normes de qualité environnementale (concentrations limites), d'indicateurs écologiques (phytoplancton, invertébrés etc.) et d'une estimation du risque potentiel pour la santé humaine. Le nouveau guide doit maintenant permettre aux évaluateurs d'estimer à partir de quel moment le degré de contamination des sédiments est tel que le bon état écologique exigé par la DCE risque de ne pas pouvoir être atteint.

Un livre de cuisine à plusieurs niveaux de difficulté

Pour rendre l'évaluation des sédiments plus accessible malgré sa complexité, le guide a été conçu comme un livre de cuisine comportant des recettes de base, c'est-à-dire des méthodes standard facilement applicables par les services de contrôle et les bureaux d'études, et des recettes élaborées, c'est-à-dire des méthodes spéciales pouvant être mises en œuvre par des laboratoires de recherche ou autres spécialistes. Ces dernières sont recommandées dans les situations particulières, en présence, par exemple, des substances au comportement environnemental complexe ou

inconnu comme le mercure ou les dioxines. Dans un souci de flexibilité et de maîtrise des coûts, le guide propose une méthode progressive de type dichotomique dans laquelle le niveau d'information demandé augmente d'étape en étape pour prendre des décisions de plus en plus complexes. L'évaluation débute systématiquement par une détermination des concentrations de substances nutritives et de composés à fort coefficient de partage octanol/eau ($\log k_{ow} > 3$) présentant une forte affinité pour les particules de sédiment. Lorsqu'un seuil est dépassé, le guide propose diverses méthodes d'évaluation adaptées à la situation et au composé concerné.

En Suisse, la qualité des cours d'eau est appréciée à l'aide du système modulaire gradué qui propose notamment des normes ou critères de qualité pour les concentrations de composés chimiques dans l'eau et des valeurs de référence écologiques pour les macroinvertébrés et le phytoplancton. La surveillance de la qualité des sédiments est effectuée en parallèle mais il n'existe pas de méthode officielle permettant de relier les deux compartiments dans l'évaluation de l'environnement aquatique. « *Le guide hollandais est un bon instrument pour les décideurs et les évaluateurs, estime Carmen Casado-Martinez du centre Ecotox. Il permet d'estimer la contribution des sédiments à la dégradation de la qualité de l'eau dans un lieu donné et donc, à terme, de définir des mesures plus ciblées pour améliorer la qualité physico-chimique du milieu.* » Les méthodes indiquées sont toutes reconnues internationalement. Le centre Ecotox a entamé une étude de faisabilité pour évaluer les possibilités d'intégration du nouveau document dans les recommandations formulées pour la Suisse.

Le guide peut être téléchargé sur www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/serviceblok/english/sediment/@37346/guidance-document/.

Contacts: Benoît Ferrari, benoit.ferrari@centrecotox.ch, Carmen Casado-Martinez, carmen.casado@centrecotox.ch

Les brèves du Centre Ecotox



Nouveau rapport sur les méthodes bio-analytiques de monitoring des milieux aquatiques

L'application de la directive cadre sur l'eau (DCE) exige une surveillance fiable et efficace de la qualité des eaux. Les méthodes basées sur la détection des effets du milieu sur les organismes aquatiques ont alors un rôle important à jouer. D'une part, en raison des limites imposées aux dosages classiques par l'impossibilité de connaître la totalité des substances présentes en un lieu donné et d'autre part parce qu'elles permettent d'appréhender l'action globale et parfois synergique de la somme des polluants en présence. Dans le cadre de la stratégie commune de mise en œuvre de la DCE, le groupe de travail « Chemical Monitoring and Emerging Pollutants » a donc rédigé un rapport sur l'état des connaissances sur les méthodes de détection des polluants de l'eau basées sur les effets et modes d'action et sur les possibilités d'utilisation de ces instruments dans les programmes de surveillance des Etats membres. Les méthodes traitées peuvent également aider à mieux comprendre les relations entre l'état chimique et l'état écologique des milieux aquatiques et à évaluer la pollution par des mélanges de substances de composition inconnue. Le rapport réalisé avec le concours du Centre Ecotox aborde aussi bien des bioessais (*in vitro* et *in vivo*) que des biomarqueurs et des indicateurs écologiques.

<https://circabc.europa.eu/w/browse/80c5932e-8e8b-4cf8-b34e-db18ba127e95>



Evaluation du risque et seuils de toxicité

Etant donné que les polluants n'ont pas tous la même toxicité pour les organismes biologiques, il est jugé pertinent de recourir à des critères basés sur les effets et modes d'action des substances pour évaluer la qualité des eaux. Le Centre Ecotox participe aux efforts actuellement entrepris pour optimiser les méthodes de détermination de ces critères de qualité et en assurer la reproductibilité. Il était ainsi représenté au workshop du Centre européen d'écotoxicologie et de toxicologie des produits chimiques (ECETOC) qui s'est tenu du 11 au 13 février à Amsterdam. Les toxicologues et écotoxicologues travaillant dans la recherche, l'industrie et les organismes de normalisation qui s'étaient réunis à cette occasion se sont interrogés sur la possible contribution des courbes de distribution de la sensibilité des espèces (SSD) à l'amélioration de l'évaluation des produits chimiques. La méthode SSD est considérée comme une méthode robuste de détermination des seuils d'écotoxicité étant donné qu'elle se base sur les réactions d'au moins dix, au mieux plus de quinze espèces appartenant à au moins huit groupes taxonomiques végétaux et animaux. L'analyse des courbes de distribution indique la concentration de polluant n'affectant que 5 % des espèces, un taux jugé acceptable. Cette méthode n'est cependant valable que si les données de toxicité proviennent d'un échantillon aléatoire issu d'une distribution statistique, ce qui est rarement le cas étant donné que les données de toxicité obtenues en laboratoire ne représentent que quelques espèces d'une population naturelle et que, en raison de la spécificité des mécanismes d'action, certaines espèces sont beaucoup plus sensibles que d'autres. Les toxicologues ont donc discuté de la pertinence écologique des courbes SSD et des possibilités d'amélioration de leur établissement.

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



Le Centre Ecotox à nouveau engagé dans le MAS en toxicologie

En février 2014, le Centre Ecotox a à nouveau participé à l'enseignement dispensé dans le cadre du module d'écotoxicologie du MAS en toxicologie proposé par l'Ecole de pharmacie de Genève/Lausanne, l'Université de Genève et le Centre de toxicologie humaine appliquée. Le cours de formation continue s'adresse aux spécialistes travaillant dans la recherche, l'industrie et l'administration et permet l'obtention d'un diplôme reconnu pour l'inscription au registre professionnel des toxicologues. C'est sa deuxième édition.

www.unige.ch/formcont/toxico/toxico.pdf



Protection des amphibiens et produits phytosanitaires

En 2013, l'Autorité européenne de sécurité des aliments a publié un nouveau document d'orientation pour encadrer l'évaluation, avant autorisation, des risques associés aux produits phytopharmaceutiques pour les organismes aquatiques. Le guide innove en traitant de l'évaluation du risque pour les amphibiens à partir de données existantes. Il semble ainsi que les tests de toxicité aiguë sur truite arc-en-ciel donnent une bonne indication de la toxicité pour les batraciens. Mais de nombreuses questions demeurent. Pour les aborder, le Centre Ecotox et l'Agroscope prévoient d'organiser un workshop de spécialistes sur l'évaluation du risque pour les amphibiens dans le cadre des procédures d'autorisation des produits phytosanitaires. Les principaux sujets en seront l'analyse spatio-temporelle de l'exposition des différentes espèces d'amphibiens en milieu agricole, les différentes voies d'absorption des produits phytosanitaires (aquatiques/terrestres) et la prise en compte des spécificités biologiques des amphibiens.

www.efsa.europa.eu/fr/press/news/130718.htm

Contact:

Marion Junghans, marion.junghans@oekotoxzentrum.ch



Les produits anticorrosion dans les usages hydrauliques de l'acier

L'utilisation de l'acier dans le domaine hydraulique ou dans le bâtiment nécessite souvent l'emploi de revêtements anticorrosion pour éviter sa dégradation au contact de l'eau et des intempéries. Avec le temps et l'action de l'eau, les composés organiques qui assurent cette fonction peuvent cependant être libérés des revêtements et se retrouver dans le milieu aquatique où ils sont peut-être nuisibles. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, le Centre Ecotox et l'Institut de technologie environnementale appliquée (UMTEC) de la Haute école technique de Rapperswil vont étudier le lessivage des produits anticorrosion et leur impact sur les organismes aquatiques.

Contact:

Etienne Vermeirssen, etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch

Michael Burkhardt, michael.burkhardt@hsr.ch



Cours de formation continue sur les pesticides

Les 10 et 11 novembre 2014, le Centre Ecotox et le Centre suisse de toxicologie humaine appliquée (SCAHT) proposeront un cours sur les effets des pesticides sur la santé et l'environnement et les risques qui leur sont liés. Ce cours s'adresse aux professionnels de la recherche, de l'industrie et des administrations publiques et présentera un tour d'horizon des connaissances actuelles sur les mécanismes d'action, la toxicité et les risques sanitaires et environnementaux avant d'aborder les méthodes de biosurveillance et de réduction des risques envisageables. Il traitera par ailleurs des procédures d'autorisation des produits biocides et phytosanitaires en Suisse et dans l'Union européenne. Des exercices pratiques seront proposés pour illustrer certains aspects particuliers comme la détermination des critères de qualité environnementale ou l'évaluation prospective des effets sur l'homme et l'environnement demandée pour les procédures d'autorisation.

www.centreecotox.ch/weiterbildung/2014

L'écotoxicologie dans le monde

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

Les néonicotinoïdes affectent le système immunitaire des abeilles et réduisent la récolte de pollen de moitié

Les pesticides de la famille des néonicotinoïdes peuvent faire perdre le sens de l'orientation aux abeilles et ainsi contribuer au déclin des colonies. Une nouvelle étude montre maintenant que ces substances peuvent également agir d'une autre manière: en affaiblissant les défenses immunitaires des abeilles, ils favorisent le développement de virus pathogènes. Les auteurs ont ainsi constaté que, chez les abeilles mellifères exposées à des néonicotinoïdes, les gènes codant pour une protéine inhibant le système immunitaire étaient exprimés 6 fois plus souvent que chez les abeilles témoins et que le développement d'un certain virus pathogène y était beaucoup plus rapide que chez leurs congénères. Les biologistes indiquent cependant que des études doivent encore être menées à l'échelle de la colonie pour évaluer les effets de ces impacts sur les populations.

Une autre étude a par ailleurs révélé que les bourdons exposés aux néonicotinoïdes récoltaient deux fois moins de pollen que leurs congénères non exposés. Le pollen est l'unique source de protéines de ces hyménoptères et est indispensable à l'alimentation des larves; le déficit de récolte pourrait donc réduire les chances de survie des colonies.

Di Prisco, G., Cavaliere, V Annoscia, D., Varricchio, P., Caprio, E., Nazzi, F., Gargiulo, G., Pennacchio, F. (2013) Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, doi: 10.1073/pnas.1314923110

Feltham, H., Park, K., Goulson, D. (2014) Field realistic doses of pesticide imidacloprid reduce bumblebee pollen foraging efficiency. *Ecotoxicology*, DOI 10.1007/s10646-014-1189-7

Les pesticides peuvent affecter les animaux aquatiques à tous les stades de développement

Les tests d'écotoxicité pour les organismes et les écosystèmes aquatiques pourraient être améliorés si tous les stades de développement des animaux étaient pris en compte. Une étude montre en effet que l'exposition des œufs de daphnies en dormance à un insecticide, le carbaryl, réduit les chances de survie des stades ultérieurs et affecte la reproduction des adultes même si aucune perturbation n'est observée au niveau du développement embryonnaire et de l'éclosion. Les tests certifiés sur daphnies ne peuvent rendre compte de ces effets puisqu'ils ne considèrent les animaux qu'après éclosion. Jusqu'à présent, les effets des pesticides sur les formes de résistance ont encore été très peu étudiés.

Navis, S., Waterkeyn, A., Voet, T., et al. (2013). Pesticide exposure impacts not only hatching of dormant eggs, but also hatching survival and performance of the water flea *Daphnia magna*. *Ecotoxicology*, 22, 803-814. DOI: 10.1007/s10646-013-1080-y

L'U.S. EPA publie les résultats de screening de 1800 produits chimiques

L'agence américaine de protection de l'environnement EPA a amélioré l'accès à ses données sur les produits chimiques et publié les résultats obtenus sur plus de 1800 composés dans le cadre du programme Tox21 à l'aide de méthodes de robotique et de criblage à haut débit. Les nouvelles données de toxicité de l'EPA sont accessibles via la plateforme interactive *Chemical Safety for Sustainability Dashboard*. En transmettant ces informations, l'EPA souhaite faciliter la priorisation des produits chimiques en fonction du risque potentiel qu'ils représentent et la prédiction des composés susceptibles de menacer la santé humaine et l'environnement.

<http://actor.epa.gov/dashboard>

Pollution des oiseaux de Méditerranée par les plastiques

La pollution des mers par les débris de plastique est un grave problème environnemental. Beaucoup d'animaux marins comme les tortues de mer, les mammifères marins et les oiseaux les ingèrent soit accidentellement soit en les confondant avec leurs proies. Ces fragments peuvent nuire à leur santé en bloquant le système digestif ou en libérant des substances toxiques. Une nouvelle étude montre l'étendue du problème pour les oiseaux de Méditerranée: sur 171 oiseaux étudiés, 66 % présentaient des fragments de plastique dans leur contenu stomacal. Les trois espèces les plus touchées figurent sur la liste des espèces menacées. Les scientifiques plaident instamment pour une meilleure surveillance de la pollution par les plastiques et pour un meilleur contrôle de l'élimination des déchets afin d'éviter les rejets illégaux.

Codina-García, M., Militão, T., Moreno, J. González-Solis, J. (2013). Plastic debris in Mediterranean seabirds. *Marine Pollution Bulletin*, 77: 220-226. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.002.

Pas de seuil pour les perturbateurs endocriniens ?

Les scientifiques réunis lors d'un colloque de l'UE ont conclu qu'il n'existait peut-être pas de concentrations sans effets attendus pour les perturbateurs endocriniens. La rencontre avait été organisée dans le but de réunir à une même table des scientifiques d'opinions différentes suite au débat lancé par un rapport de l'ONU faisant état d'une possible relation entre la présence de perturbateurs endocriniens dans l'environnement et le développement de maladies de société telles que le diabète et diverses formes de cancer. L'Union européenne souhaite renforcer la réglementation des perturbateurs endocriniens et travaille actuellement à la formulation d'une définition permettant leur identification.

Actes du colloque: http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/president/chief-scientific-adviser/documents/minutes_endocrine_disruptors_meeting_241013_final.pdf

Impressum

Editeur: Centre Ecotox

Eawag/EPFL

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 et textes non signés: Anke Schäfer, Centre Ecotox

Traductions: Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Copyright: Reproduction possible sous réserve de l'accord de la rédaction

Copyright des photos: Centre Ecotox, Eawag (S. 6, 7, 10, 11), Fotolia (S. 11)

Parution: deux fois par an

Maquette, graphisme et mise en page: visu'! AG, Zurich

Impression: Mattenbach AG, Winterthur, Imprimé sur: papier recyclé

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