



centre ecotox news

6. édition mai 2013

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL



| | |
|---|----|
| A la poursuite du seuil optimal _____ | 3 |
| Contamination des sédiments _____ | 6 |
| Le glyphosate et l'activité biologique du sol _____ | 7 |
| Des biotests pour contrôler l'élimination des micropolluants _____ | 8 |
| Les accidents nucléaires et les écosystèmes _____ | 9 |
| Les brèves du Centre Ecotox _____ | 10 |
| L'écotoxicologie dans le monde _____ | 12 |

Editorial

Catastrophes, risques et incertitudes



Dr. Inge Werner,
directrice du Centre Ecotox

Deux ans déjà – le 11 mars 2011 – que s'est produite la catastrophe nucléaire de Fukushima. Cet accident majeur s'est amorcé par le tremblement de terre de Tōhoku qui, par un funeste enchaînement de circonstances, a conduit à la fusion du cœur de plusieurs réacteurs de la centrale nucléaire. De grandes quantités de matières radioactives ont été libérées dans la nature et sont venues contaminer l'eau, l'air, les sols et les denrées alimentaires de toute la région. Aujourd'hui, pour aggraver le tout, des fuites se produisent dans les réservoirs contenant l'eau radioactive stockée depuis l'accident (Wall Street Journal, 9.4.2013). Les conséquences de telles catastrophes sur la nature et la santé humaine sont gravissimes (cf. p.9). Nous savons bien que nos sociétés acceptent le risque d'un accident majeur lorsqu'elles misent sur le nucléaire civil. Mais face à la réalité du danger, une question s'impose: le jeu en vaut-il vraiment la chandelle ?

Nous avons l'habitude de tolérer certains risques dans notre vie quotidienne: nous circulons en voiture, en avion, travaillons sur des chantiers, ... – c'est inévitable. Mais quel degré de risque sommes-nous prêts à accepter quand il s'agit de questions environnemen-

tales, quelle probabilité que se produise par exemple une catastrophe nucléaire ou un accident chimique majeur? Il ne m'appartient pas de répondre à cette question. Mais une chose est sûre: l'évaluation d'un risque est souvent subjective, elle se base souvent moins sur les faits et la logique que sur notre personnalité, notre expérience, nos croyances, nos espoirs et nos craintes. La peur de l'avion, par exemple, est loin d'être rationnelle.

Lorsqu'il s'agit d'évaluer le risque lié aux polluants chimiques, nous avons cependant un grand souci d'objectivité: nous essayons de prédire la probabilité et la gravité des effets toxiques des nouvelles substances pour décider ou non de leur mise sur le marché. Dans le cas des polluants déjà présents dans le milieu naturel, l'analyse rétrospective du risque nous permet d'évaluer le danger qu'ils représentent dans l'environnement afin de prendre des mesures préventives et correctrices là où elles s'imposent. Pour réaliser ce travail prédictif avec toute la rigueur nécessaire, nous nous appuyons sur des valeurs déterminées dans des études toxicologiques reconnues et publiées dans la littérature scientifique. L'évaluation des risques dans notre environnement complexe nécessite cependant un savoir immense. Un certain niveau d'incertitude perdure donc toujours dans l'étude des composés chimiques et d'autres facteurs de risque. Nous essayons de nous en prémunir en appliquant des facteurs de sécurité et en nous assurant de la fiabilité des données dont nous nous servons. Mais cet arbitrage-là est lui aussi entaché de subjectivité (p. 3).

Dans la plupart des pays, les données utilisées pour l'évaluation du risque écotoxicologique et

la détermination des normes de qualité environnementale sont sélectionnées selon les critères de Klimisch qui laissent une grande liberté de décision aux évaluateurs. De même, le choix des facteurs de sécurité dépend de la quantité de données disponibles pour définir les seuils. Dans un projet commun avec l'Eawag et les autorités suédoises et néerlandaises, le Centre Ecotox travaille à une amélioration des critères de Klimisch pour accroître la précision et l'homogénéité des décisions à ce niveau. Les résultats viennent d'être présentés à Glasgow lors d'un workshop de la conférence annuelle de la Société de toxicologie et de chimie de l'environnement.

Mais, quoi que nous fassions, nous ne pourrions jamais nous défaire d'un certain « flou », certaines évaluations resteront dépendantes de l'avis des experts. Leur jugement restera influencé par leur expérience et leurs motivations et pourra être source de conflits. La science se veut objective mais l'incertitude et le facteur « humain, trop humain » sont inévitables. En cas de doute, la législation européenne en matière d'environnement préconise donc d'appliquer le principe de précaution selon lequel « en cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives... ». – Sage précepte qui doit continuer de nous inspirer pour faire face à nos responsabilités vis-à-vis des générations futures.

Sur ce, je vous souhaite une excellente lecture !



A la poursuite du seuil optimal

Les seuils d'écotoxicité, également appelés critères ou normes de qualité environnementale, sont utilisés dans toute l'Europe pour évaluer la qualité de l'eau. De fortes disparités quant à leurs valeurs peuvent toutefois apparaître entre différents pays pour un même composé chimique. Le Centre Ecotox a analysé les raisons de ces variations et propose des solutions d'harmonisation.

Les lacs et cours d'eau suisses renferment de façon récurrente des composés chimiques susceptibles de nuire aux organismes aquatiques et, par voie de fait, à l'équilibre des écosystèmes. Pour évaluer la qualité de l'eau, les autorités se réfèrent pour ces substances à des seuils définis sur des bases écotoxicologiques en dessous desquels aucun dommage écologique n'est susceptible de se produire. Dans l'Union européenne, chaque Etat membre est tenu, en vertu de la directive cadre sur l'eau, de définir de tels seuils – appelés critères ou normes de qualité environnementale (NQE) – pour les polluants jouant un rôle important sur son territoire. La Suisse est elle aussi associée à l'UE dans le cadre de cette même directive et souhaite utiliser des données et méthodes compatibles avec les prescriptions européennes. Il arrive fréquemment que plusieurs pays définissent des valeurs limites pour un même polluant. Etant donné qu'ils se réfèrent en général aux mêmes études écotoxicologiques et qu'ils sont tenus d'utiliser la même méthode de détermination [1], il semblerait logique que ces différents pays aboutissent aux mêmes valeurs. Or il n'en est rien. Il arrive au contraire assez souvent que les normes de qualité utilisées pour un même composé diffèrent fortement d'un pays à l'autre. Dans les situations transfrontalières, il se peut donc que les exigences de qualité appliquées dans un même cours d'eau changent en passant d'un territoire à l'autre.

Marion Junghans et Sarah von Arb du Centre Ecotox ont cherché à savoir quelle était l'importance des écarts entre les pays et à déterminer l'origine des disparités. Pour ce faire, elles ont tout d'abord sélectionné 12 substances pour lesquelles au moins six pays de l'UE avaient défini des normes de qualité environnementale. Elles ont ensuite effectué un sondage auprès des personnes impliquées dans la détermination de ces normes pour savoir sur quelles données elles s'étaient basées et quelle méthode elles avaient employée. Elles se sont également renseignées sur les modalités du contrôle de qualité – en effet, les données toxicologiques utilisées pour déterminer les seuils doivent elles aussi remplir des critères particuliers. Pour le projet, les chercheuses se sont assurées le concours de partenaires britanniques : Environment Agency UK, WCA Environment Ltd. et WRc plc.

Des critères de qualité différents selon les pays

En comparant les normes de qualité environnementale définies dans les différents pays, les chercheuses ont observé une bonne concor-

dance pour cinq substances : le chrome II, le chrome VI, le toluène et deux herbicides, le MCPA (acide 2-méthyle-4-chlorophénoxy acétique) et le mécoprop-p; les écarts ne dépassaient pas un facteur 5. Pour d'autres seuils, les disparités étaient beaucoup plus fortes : d'un facteur supérieur à 10 pour cinq autres substances et même à 100 pour une dernière. Quelles pouvaient être les raisons d'une telle variabilité ?

En affinant leur analyse, Marion Junghans et Sarah von Arb ont constaté que pour trois des substances, le bisphénol A, le glyphosate et le 2,4-D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique), la valeur des critères de qualité avait été estimée avec des méthodes différentes (cf. encadré). Certains pays avaient utilisé la méthode du facteur de sécurité tandis que les autres avaient opté pour la courbe de distribution de la sensibilité des espèces (SSD). « Dans le cas du glyphosate, le seuil d'écotoxicité variait ainsi d'un facteur 18 selon la méthode employée », explique Marion Junghans. L'utilisation de la méthode du facteur de sécurité était généralement motivée par un nombre de données de toxicité jugé trop faible pour pouvoir utiliser la méthode SSD pourtant reconnue plus robuste. Ce manque de données venait du fait que les experts ne voulaient utiliser que des valeurs exactes et écartaient les concentrations relatives comme celles qui peuvent émerger des études toxicologiques lorsque toutes les doses testées ne produisent des effets que sur une partie des organismes exposés. Selon que les experts prennent en compte ces données relatives ou non, les seuils fixés peuvent donc varier.

Variations en fonction des organismes exposés

Marion Junghans et Sarah von Arb ont identifié une deuxième cause de variation des valeurs limites. Elles ont en effet constaté que les critères de qualité déterminés pour un même polluant reposaient parfois sur des tests de toxicité effectués sur des groupes d'organismes différents. « Le cas du 2,4-D en est un bon exemple », commente Marion Junghans. Les normes de qualité définies pour cet herbicide varient de 0,2 µg/l à 26 µg/l selon les pays, soit un facteur 130. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues au vu de tests de toxicité effectués sur la lentille d'eau, une monocotylédone, alors que ceux réalisés avec le myriophylle, une dicotylédone, livraient des résultats beaucoup plus faibles. Ces différences sont le reflet de la moindre



sensibilité de la lentille d'eau au 2,4-D par rapport au myriophylle. Celle-ci pourrait s'expliquer par le mode d'action spécifique de l'acide phénoxyacétique qui ralentit la croissance des plantules et des racines et agit principalement sur les dicotylédones. Le myriophylle n'est pas (encore) un organisme standard pour les tests de toxicité, ce qui explique pourquoi les données obtenues avec cette plante n'ont été utilisées que par une partie des pays concernés.

Le cas du diméthoate illustre lui aussi l'influence des organismes utilisés dans les études de référence. Les critères de qualité définis pour cet insecticide variaient d'un facteur 22 entre les pays, ce qui, une fois de plus, s'expliquait par l'existence d'un test non standardisé. Les valeurs les plus faibles avaient en effet été obtenues en se référant à des tests effectués sur une espèce d'éphémère qui n'avait pas été élevée en laboratoire mais capturée sur le terrain. Selon leur jugement personnel, les experts pouvaient décider ou non d'utiliser ces données.

Comment déterminer les critères de qualité environnementale ?

Dans les Etats membres de l'UE, les normes de qualité environnementale sont presque toujours déterminées selon la méthode prescrite dans le document technique édité en application de la directive cadre sur l'eau et que le Centre Ecotox recommande également d'utiliser pour déterminer les critères de qualité environnementale en vigueur en Suisse [1]. Dans un premier temps, les spécialistes recherchent dans les dossiers d'autorisation de mise sur le marché et dans la littérature scientifique les données écotoxicologiques disponibles sur la substance qui les occupe. Ils évaluent ensuite la pertinence et la fiabilité de ces données, sachant que seules les valeurs remplissant certains critères peuvent être prises en compte (catégories (a) et (b) du système de Klimisch). Selon l'abondance et la nature des données retenues au terme de ce procédé, le seuil d'écotoxicité est alors déterminé à l'aide d'une des trois méthodes suivantes.

La **méthode des facteurs de sécurité** ou d'extrapolation est la plus employée puisque c'est celle qui nécessite la plus faible quantité de données. Pour qu'elle puisse fonctionner, des valeurs doivent être disponibles pour au moins trois espèces représentant trois maillons de la chaîne alimentaire : des algues, des invertébrés et des poissons par exemple. Cette méthode part du principe qu'un écosystème peut être protégé si son réseau trophique est préservé.

La méthode d'extrapolation statistique à partir de la courbe de distribution de la sensibilité des espèces – en bref **méthode SSD** – part du principe que la sensibilité des différentes espèces d'un écosys-

tème est distribuée selon une fonction log-normale. Si on dispose de données de toxicité pour un nombre suffisant d'espèces, on peut en déduire la concentration de polluant pour laquelle seules 5% des espèces sont affectées, une proportion jugée acceptable. Cette méthode exige de disposer de données pour au moins dix espèces, au mieux quinze, appartenant à au moins huit groupes taxonomiques végétaux et animaux prédéfinis.

La **méthode des microcosmes ou des mésocosmes** repose sur une reproduction de l'environnement en miniature. Les écosystèmes aquatiques sont représentés par ce que l'on appelle des microcosmes ou des mésocosmes qui sont des systèmes artificiels de taille réduite abritant des espèces représentatives des principaux groupes végétaux et animaux qui les caractérisent. Après ajout de la substance à tester dans le milieu, les effets directs et indirects sur les populations et les biocénoses peuvent être observés en temps réel. L'essai aboutit à la détermination de la concentration pour laquelle aucun effet significatif n'a été observé pendant toute la durée de l'exposition.

Les trois méthodes font appel à des facteurs de sécurité ou d'extrapolation pour tenir compte du fait que les communautés biotiques peuvent être plus sensibles aux polluants dans la nature qu'en conditions de laboratoire. Le facteur d'extrapolation a pour but de réduire l'incertitude liée à cette différence entre modèle et réalité. Sa valeur est fixée en fonction de l'abondance et de la nature des données utilisables. En règle générale, il est d'autant plus élevé que le jeu de données est lacunaire.



Variations en fonction du jugement personnel des experts

Les spécialistes chargés de déterminer les normes de qualité environnementale sélectionnent donc en fonction de leur expérience les données de toxicité qu'ils jugent suffisamment fiables et pertinentes pour être prises en compte. Leur avis a, de fait, une grande influence sur la valeur des seuils. Pour obtenir un consensus international, il importe donc de réduire les écarts lors de l'appréciation de la qualité des données. Dans cette optique, Robert Kase du Centre Ecotox s'est associé à l'Eawag et à un groupe d'experts international pour évaluer les possibilités d'amélioration de la fiabilité, de la robustesse et de la transparence de cette appréciation. En général, les spécialistes se réfèrent aux critères définis par Klimisch [2] pour évaluer la qualité des données de toxicité disponibles. Celles-ci peuvent alors être classées en quatre catégories : (a) utilisables sans restrictions, (b) utilisables à certaines conditions, (c) inutilisables ou (d) non évaluables suite à un manque d'informations. Seules les données des catégories (a) et (b) peuvent servir à la détermination des normes de qualité.

Pour se faire une idée de la subjectivité et de la reproductibilité de l'attribution de ces catégories, Robert Kase a prié 80 spécialistes européens, nord-américains et asiatiques actifs dans divers domaines – législation, industrie, groupes d'intérêts, consulting et recherche – d'évaluer huit études écotoxicologiques en fonction des critères de Klimisch. L'objectif était de mettre en évidence les failles éventuelles du système pour proposer une démarche plus fiable d'appréciation des données. L'enquête a révélé une forte disparité des conclusions des experts pourtant très compétents : 50% des données ont ainsi été classées dans deux catégories cependant que les 50% restantes se retrouvaient dans trois ou quatre catégories différentes. Ainsi, beaucoup de données n'ont été jugées utilisables que par une partie des experts interrogés. Les résultats de l'étude

montrent donc que, comme on l'avait craint, le système d'évaluation de Klimisch est un facteur important de disparité dans le processus de détermination des normes de qualité environnementale. Face à ce constat, le Centre Ecotox, l'Eawag et les autorités suédoises et hollandaises ont fédéré leurs compétences pour définir une marche à suivre comprenant une check-list qui pourrait compléter les critères de Klimisch de façon à affiner l'appréciation et réduire les incertitudes. Une étude est actuellement en cours pour tenter de savoir si ces améliorations permettent effectivement d'obtenir des résultats plus homogènes. Les conclusions de cette étude viennent d'être exposées dans le cadre d'un workshop organisé à Glasgow à l'occasion de la conférence annuelle de la Société de toxicologie et de chimie de l'environnement (SETAC).

Toutes ces enquêtes montrent qu'il existe une grande disparité dans les critères de qualité environnementale déterminés à partir des données écotoxicologiques et que cette disparité provient de différences dans les jeux de données pris en compte, dans l'appréciation de la qualité des données disponibles – celles provenant de tests non standardisés étant souvent écartées – ou dans l'acceptation de données « relatives ». Pour atténuer les différences d'appréciation avec le système proposé par Klimisch, des ajustements sont actuellement à l'étude. Le Centre Ecotox encourage le débat sur cette variabilité au niveau international, plaide pour une utilisation des bases de données favorisant la diffusion des études toxicologiques et œuvre à une extension des critères de Klimisch. Il souhaite ainsi contribuer à atténuer les différences entre les évaluations et à une homogénéisation des normes de qualité.

Contacts : Marion Junghans, marion.junghans@oekotoxzentrum.ch
Robert Kase, robert.kase@oekotoxzentrum.ch

Références bibliographiques

[1] Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards (TGD-EQS - EC 2011). Guidance Document No. 28, European Commission.

[2] H. J. Klimisch, M. Andreae and U. Tillmann (1997) A Systematic Approach for Evaluating the Quality of Experimental Toxicological and Ecotoxicological Data Regulatory Toxicology and Pharmacology Vol 25 pp 1–5



Comparaison des différentes concentrations métalliques des sédiments suisses avec les critères de qualité correspondants proposés pour ce compartiment (TEC = Threshold Effect Concentration : concentration maximale sans effets supposés ; PEC = Probable Effect Concentration : concentration d'effets probables du polluant)

Contamination des sédiments : la part de l'homme et de la nature

Dans certains cas, les teneurs naturelles des sédiments en éléments métalliques peuvent dépasser les valeurs définies pour les critères de qualité. Comment, alors, évaluer le degré de pollution de ce compartiment ? Un nouveau défi à relever pour les autorités de contrôle.

Par leur capacité de stockage des polluants, les sédiments contaminés peuvent porter atteinte à la qualité de l'eau dans les lacs et rivières où ils se trouvent. Il est donc primordial d'évaluer et de contrôler le degré de contamination de ce compartiment. Pour ce faire, les spécialistes se réfèrent le plus souvent à des critères de qualité spécifiquement définis pour les sédiments : il s'agit de seuils d'écotoxicité en dessous desquels les organismes biologiques ne sont pas susceptibles de subir d'effets dommageables dans leur environnement. Les métaux lourds constituent l'une des principales sources de contamination des sédiments. Mais, s'ils sont libérés dans l'environnement suite à certaines activités humaines, ils sont également présents de façon naturelle dans l'écorce terrestre. Si donc, les chercheurs définissent pour les métaux des critères de qualité des sédiments en se basant sur les résultats de tests de toxicité réalisés en laboratoire, il se peut que les seuils obtenus soient inférieurs aux teneurs naturelles atteintes à certains endroits. Le Centre Ecotox a cherché à savoir si cet état de fait pouvait nuire à la détermination et à l'utilisation des critères de qualité des sédiments en Suisse.

Teneurs naturelles et contribution anthropique

Certains composés peuvent être dangereux pour la santé des organismes vivants même s'ils sont présents de façon naturelle dans l'environnement. Il est tout de même important de déterminer les teneurs naturelles en métaux lourds dans les sédiments pour pouvoir évaluer la contribution des activités humaines à la contamination et déterminer les

risques que ces dernières peuvent faire encourir aux écosystèmes autochtones. Carmen Casado-Martinez du Centre Ecotox a collecté et dépouillé les données existantes sur les teneurs naturelles en éléments métalliques dans les sédiments suisses. Son étude a porté sur le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc, les métaux dosés régulièrement dans le cadre de la surveillance de la qualité des sédiments en Suisse.

Une partie des données provient de mesures de concentrations naturelles dans des carottes sédimentaires reflétant principalement la contamination des fonds lacustres. D'autres indiquent les concentrations métalliques ambiantes dans les sédiments de surface de régions données ; elles proviennent notamment de l'atlas géochimique du FOREG (Forum of the European Geological Survey). Pour compléter ces données, des informations sur la répartition géologique des métaux ont été recueillies sous la forme de dosages effectués dans les couches superficielles de la croûte terrestre continentale et les schistes.

Les trois types de données présentaient une bonne concordance. En Suisse, les concentrations naturelles de cadmium, de cuivre, de mercure, de plomb et de zinc sont systématiquement inférieures au seuil de concentration en dessous duquel aucun effet dommageable n'est susceptible d'apparaître chez les organismes en contact avec le sédiment. Pour le nickel, en revanche, le « fond » géochimique est souvent supérieur à la TEC voire même à la concentration au dessus de laquelle des effets nocifs sont susceptibles de se produire

fréquemment. Pour le chrome, les valeurs mesurées dans la croûte terrestre continentale sont supérieures à la TEC mais il se peut que cette observation soit peu significative pour les sédiments puisque ce métal est fixé de façon particulièrement stable dans les minéraux.

Implications pour l'évaluation de la qualité des sédiments

La quantité de données disponibles était malheureusement insuffisante pour pouvoir déterminer des concentrations de fond caractéristiques pour tous les secteurs géographiques étudiés. « Pour l'étude d'un métal donné, il est cependant pertinent d'utiliser les valeurs de fond disponibles dans les zones voisines d'un même bassin versant », estime Carmen Casado-Martinez. En l'absence de telles données, les valeurs indiquées dans l'atlas géochimique du FOREG peuvent servir de référence approximative. Quelles sont donc les précautions à prendre lors de la détermination et de l'utilisation de critères de qualité pour l'étude des sédiments en Suisse ? Une solution serait de recalculer les critères de qualité existants en tenant compte des concentrations naturelles et des données de toxicité les plus récentes. Une autre option, plus pragmatique, serait de ne tenir compte des teneurs de fond que lorsque les concentrations mesurées dépassent les valeurs fixées pour les critères de qualité.

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



Le glyphosate et l'activité biologique du sol

Le glyphosate est un herbicide notamment utilisé dans certaines méthodes culturales visant à préserver l'intégrité du sol. Une étude a montré que la substance active et son produit de dégradation, l'AMPA, perduraient très longtemps dans le sol mais qu'ils ne semblaient pas avoir d'effets significatifs sur la faune édaphique.

Le glyphosate est l'un des herbicides les plus employés au monde : grâce à son spectre d'action particulièrement étendu, il est très largement utilisé dans la lutte contre les adventices. Les formulations des différentes spécialités contenant du glyphosate renferment une grande variété d'additifs non déclarés servant par exemple à faciliter l'adhésion de la substance active à la surface des feuilles ou sa pénétration dans la plante. S'ils augmentent l'efficacité du produit, ces composés peuvent toutefois en augmenter la toxicité. Même en Suisse le glyphosate occupe une place importante dans l'agriculture où il est notamment utilisé pour les techniques ménageant les sols. Mais comment ce dés herbant se comporte-t-il dans le milieu édaphique et quel est son impact sur la pédofaune ? Dans un projet mené en collaboration avec l'Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne, le Centre Ecotox a cherché à répondre à ces questions.

De nouvelles possibilités d'analyse

Pour ce faire, Nadzeya Homazava et Sophie Campiche du Centre Ecotox ont observé sur le terrain comment l'application d'une préparation de glyphosate, le Toxer® total, agissait sur les concentrations en glyphosate et l'activité de la faune dans le sol lors de rotations fève/orge d'hiver et betterave sucrière/maïs d'ensilage. La technique culturale choisie était le semis direct qui se caractérise par une absence de travail du sol en profondeur qui permet de préserver l'activité biologique du sol. Chaque champ a été divisé en plusieurs parties dans lesquelles différentes doses d'herbicide ont été appliqués : deux on reçu 1,8kg de glyphosate par hectare, une 9kg/ha et deux autres, non traitées, ont servi de témoin. Pour pouvoir doser le glyphosate et son produit de décomposition l'AMPA dans le sol, Nadzeya Homazava a tout d'abord dû mettre au point une nouvelle méthode d'analyse chimique. Etant donné leur forte polarité, les deux substances ne pouvaient pas être séparées avec les colonnes hydrophobes classiquement utilisées en chromatographie liquide. La solution imaginée par la scientifique a été de faire subir une dérivatisation chimique aux deux composés en les liant à des groupements fluorényl méthoxy carbonyl très hydrophobes pour qu'ils puissent être retenus dans les colonnes classiques. Grâce à cette astuce, le glyphosate et l'AMPA ont pu être dosés par la méthode très sensible de chromatographie en phase liquide à haute performance couplée à la spectrométrie de masse.

Pour mesurer les effets du glyphosate sur l'activité biologique du sol dans les champs traités, Sophie Campiche a choisi d'utiliser le test Bait Lamina. La méthode consiste à installer des bandes de PVC perforées contenant un appât dans le sol et à suivre sur plusieurs semaines l'activité trophique des principaux représentants de la faune du sol comme les collemboles, les acariens et les microorganismes. En parallèle, le taux de reproduction des collemboles a été mesuré en laboratoire dans des échantillons de sol traité.

Lente dégradation du glyphosate et longue durée de vie de l'AMPA

Juste après l'application de la préparation herbicide, les analyses ont révélé des concentrations de glyphosate de 0,4 mg/kg dans les deux zones faiblement traitées et de 1 mg/kg dans la partie du champ ayant reçu le traitement le plus concentré. Ces teneurs ont diminué de 8 à 82% au bout des 77 jours qu'a duré l'essai, révélant un taux de dégradation plus faible que prévu. Dans toutes les parties du champ, y compris les zones témoin, des teneurs d'AMPA étonnamment élevées ont été mesurées. Ces concentrations de l'ordre de 0,5mg/kg ou plus n'avaient pas diminué à la fin de l'essai. La présence de ce produit de décomposition dans les parcelles témoin pourrait éventuellement s'expliquer par des applications antérieures de glyphosate ou par des apports provenant d'autres sources.

Les chercheuses n'ont par ailleurs observé aucun impact significatif de l'application de glyphosate sur l'activité de la faune du sol. Ni le taux d'alimentation des organismes sur le terrain ni le taux de reproduction des collemboles en laboratoire ne semblaient affectés. L'intensité de l'activité trophique in situ présentait toutefois de très fortes variations en fonction de l'humidité du sol, ce qui a limité la sensibilité du test utilisé. Une analyse statistique plus détaillée est en cours. Même si aucun effet significatif sur la faune édaphique n'a pu être observé, il semble important de continuer à surveiller le glyphosate et l'AMPA étant donné, notamment, que ce dernier peut perdurer pendant très longtemps dans le sol après une application de dés herbant.

Contact : Sophie Campiche, sophie.campiche@centreecotox.ch
Nadzeya Homazava, nadzeya.homazava@oekotoxzentrum.ch



Les biotests permettent de vérifier l'efficacité des traitements avancés d'épuration

Les tests de toxicité permettent de comparer les performances des traitements mis en œuvre dans les stations d'épuration pour éliminer les micropolluants encore présents dans les eaux usées après les traitements classiques. Les tests utilisés à la STEP de Bâle montrent que le traitement au charbon actif en poudre et l'ozonation suivie d'un passage sur lit fluidisé réduisent l'un et l'autre la toxicité des effluents du traitement biologique.

Les procédés biologiques éliminent très imparfaitement les micropolluants organiques contenus dans les eaux usées qui, de ce fait, sont souvent présents en quantités encore préoccupantes dans les effluents rejetés par les stations d'épuration (STEP). Face à ce constat, la nouvelle loi sur la protection des eaux prévoit d'équiper les 100 principales stations suisses de traitements complémentaires. Les deux techniques actuellement envisageables sont le traitement au charbon actif en poudre et l'ozonation suivie d'une filtration biologique éliminant les produits de réaction indésirables. Mais comment les exploitants des STEP peuvent-ils choisir entre ces deux options? Les biotests ont déjà prouvé leur efficacité pour évaluer la toxicité des effluents d'épuration – ce fut l'une des contributions du Centre Ecotox au projet Micropoll. Ils ont maintenant été utilisés à la demande de la société ProReno pour identifier la méthode qui serait la plus efficace à la STEP de Bâle.

Les traitements avancés livrent une eau plus propre

L'équipe du Centre Ecotox rassemblée autour de Cornelia Kienle a utilisé cinq bioessais faisant intervenir des cellules individuelles ou des organismes entiers pour estimer si, après les traitements complémentaires, les effluents étaient suffisamment épurés et ne représentaient plus de danger pour la vie aquatique. Le test sur algues vertes unicellulaires a montré que, suite à l'extension des chaînes d'épuration, plus de 90% des substances possédant une action herbicide étaient éliminées alors que cette proportion n'était que de 61% après le traitement biologique seul. Une amélioration sensible était également

enregistrée avec le test sur levures au niveau de l'élimination des œstrogènes et pseudo-œstrogènes. Malgré l'élimination de 92% déjà réalisée par le traitement biologique, les concentrations résiduelles dépassaient encore nettement le seuil de 0,4 ng/l fixé pour le 17 β -œstradiol. Grâce à l'ajout d'une étape de traitement au charbon actif en poudre ou d'ozonation, les concentrations ont pu être ramenées en dessous de ce critère de qualité et atteindre un niveau jugé inoffensif pour les organismes aquatiques. Ce résultat a été confirmé par un essai d'exposition des truites arc-en-ciel aux stades précoces de développement: après les traitements avancés, les teneurs en vitellogénine dans les alevins étaient redescendues au niveau des témoins alors qu'elles étaient encore accrues suite au traitement biologique. La vitellogénine est un précurseur de la vitelline, protéine du vitellus de l'œuf, et n'est normalement produite que par les femelles à maturité sexuelle. Les chercheurs ont d'autre part observé que les truites arc-en-ciel évoluant dans les effluents mieux épurés vivaient plus longtemps et atteignaient une masse corporelle plus élevée que celles maintenues dans les effluents du traitement biologique.

Cornelia Kienle a également étudié les effets des différents types d'effluents sur les gammarés et les daphnies. L'activité trophique des gammarés n'était affectée par aucun d'entre eux. De même, les daphnies semblaient peu influencées par les effluents et présentaient des taux de reproduction normaux. La seule différence était observée avec les eaux usées traitées par ozonation et lit fluidisé: elles présentaient en effet une

certaine toxicité dans deux des campagnes de mesure effectuées. Les raisons de ces effets seront étudiées plus en détail dans un second projet du Centre Ecotox.

Utilisation des biotests pour les contrôles de qualité

Les bioessais utilisés ont prouvé leur efficacité pour l'évaluation des performances des traitements avancés d'épuration. Qu'il s'agisse des tests sur organismes unicellulaires – test algal ou test d'œstrogénicité sur levures – ou des tests sur animaux aquatiques complexes – test sur les stades précoces de développement des truites ou test de reproduction des daphnies –, ils ont tous livré des informations précieuses sur la qualité de l'eau. Dans l'ensemble, les deux traitements complémentaires testés se sont avérés capables de réduire la toxicité résiduelle des effluents des traitements biologiques d'épuration. Toutefois, la toxicité de l'eau traitée par ozonation sur les daphnies doit encore faire l'objet d'études plus poussées.

Contact: Cornelia Kienle
cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch



Les accidents nucléaires peuvent perturber durablement les écosystèmes

Suite aux catastrophes nucléaires de Fukushima et de Tchernobyl, des quantités considérables de radionucléides ont été libérés dans l'environnement. Nos connaissances sur les effets chroniques des rayonnements ionisants sur la faune, la flore et les microorganismes sont encore très limitées. Les données aujourd'hui disponibles laissent craindre un effet délétère sur la biodiversité animale et végétale.

Il y a tout juste deux ans que s'est produit l'accident à la centrale de Fukushima qui a causé la libération dans l'écosystème terrestre de quantités colossales de substances radioactives. Mais malgré l'abondance des données recueillies depuis l'accident de Tchernobyl, nous sommes encore dans l'incapacité de prévoir quels seront les effets à long terme de la catastrophe de Fukushima sur la faune et la flore environnantes. La radioactivité est en soi un phénomène naturel : les atomes instables – appelés radioisotopes ou radionucléides – cherchent à retrouver une certaine stabilité en émettant spontanément de l'énergie sous la forme de rayonnements ionisants. Dans ce processus, les substances hautement radioactives comme le césium 137 se décomposent très rapidement en libérant de grandes quantités d'énergie tandis que d'autres isotopes, comme l'uranium 235 et l'uranium 238, se désintègrent lentement en libérant peu de rayonnements ionisants. La radioactivité est naturellement présente, à faible dose, dans tous les écosystèmes.

Effets sur les organismes et les populations

Tous les êtres vivants réagissent de manière similaire à une irradiation : les rayonnements ionisants se propagent dans les tissus où ils provoquent une augmentation de température, une excitation et une ionisation des atomes, une rupture des liaisons chimiques et finalement un endommagement des structures et fonctions biologiques. En général, ces dommages impliquent des radicaux libres qui provoquent différents types de lésions au niveau de l'ADN. Ces radicaux se forment toutefois dans l'organisme sous l'effet de différents stress, qui peuvent être d'origine radioactive mais aussi photooxydative (rayonnements UV) ou chimique. Les attaques de radicaux libres sont si courantes que tous les organismes – de la plus petite cellule de levure au plus complexe des mammifères – disposent de mécanismes de réparation des dommages occasionnés. Malheureusement, ces systèmes peuvent commettre des erreurs et il arrive que les agressions subies conduisent à des mutations et à la mort des cellules.

Bien qu'ils présentent tous les mêmes mécanismes de défense, les êtres vivants sont plus ou moins sensibles aux radiations : la dose mortelle d'une exposition aiguë peut varier d'un facteur 10^4 , la sensibilité la plus élevée étant observée chez les mammifères, les oiseaux et les conifères et la plus faible chez les virus et les mollusques. En dehors de cet aspect, l'influence que peut avoir une mutation à l'échelle de la

population dépend de l'endroit où elle apparaît : si elle touche des cellules somatiques normales, elle peut entraîner le développement d'un cancer ou la mort cellulaire. Si elle intervient au niveau du germe, elle peut provoquer un accroissement de la mortalité embryonnaire et se transmettre aux générations suivantes. Les mutations particulièrement handicapantes sont généralement éliminées de la population du fait des faibles chances de survie des individus touchés. Lorsqu'elles n'affectent pas directement cette capacité de survie, les mutations peuvent toutefois se transmettre sur plusieurs générations.

Que savons-nous de Fukushima ?

Les principaux radionucléides émis lors de la catastrophe de Fukushima ont été l'iode 131, le césium 134 et le césium 137. Une partie de la radioactivité s'est évacuée dans l'atmosphère tandis que le reste a gagné le milieu marin par le biais des eaux de refroidissement contaminées et des retombées atmosphériques indirectes. Une équipe de chercheurs a déjà observé des effets sur la faune locale : en étudiant des papillons, ils ont constaté que les dommages génétiques déjà présents deux mois après l'accident nucléaire s'étaient amplifiés au bout de six mois. Par ailleurs, le nombre de papillons et d'oiseaux était considérablement réduit dans les lieux présentant une forte radioactivité. Les suites de Tchernobyl ont montré que, 25 ans après la catastrophe, l'abondance des individus et des espèces d'oiseaux, de bourdons et d'autres animaux reste encore plus faible qu'ailleurs sur les lieux présentant de forts niveaux de radioactivité résiduelle. Alors que jusqu'à présent, la radiotoxicité est encore la principale responsable du déclin de la faune à Fukushima, les effets des mutations accumulées et transmises de génération en génération jouent un rôle majeur à Tchernobyl : les taux de mutation et de malformations y sont plus élevés qu'ailleurs chez les oiseaux, les mammifères, les poissons et les végétaux supérieurs tandis que leur taux de survie et leur fertilité ont fortement baissé. Pour l'heure, peu de données ont filtré sur Fukushima. L'avenir montrera à quel degré et pour combien de temps la faune et la flore seront affectés par la catastrophe.

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

Fiche d'information « Les radionucléides dans l'environnement » : www.centreecotox.ch/dokumentation/info

Les brèves du Centre Ecotox



Modélisation des flux de substances : une nouvelle aide à la décision pour les autorités allemandes

En partenariat avec l'Eawag et la société Envilab, le Centre Ecotox a utilisé la modélisation des flux de substances dans le Land allemand de Rhénanie du Nord – Westphalie où elle s'est révélée être une aide précieuse à la décision pour les autorités en charges de l'environnement. Le rapport final du projet montre comment la méthode mise au point par l'Eawag a été utilisée pour évaluer le degré de pollution des eaux du land par les micropolluants et mettre en évidence les priorités d'action sur le territoire géré par les autorités. Cette étude était mandatée par le Ministère de la protection du climat, de l'environnement, de l'agriculture et de la protection de la nature et des consommateurs de Rhénanie du Nord – Westphalie.

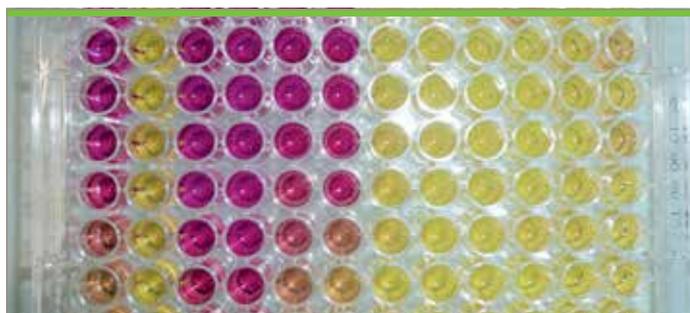
Dans cette région, la plus peuplée d'Allemagne, la gestion des eaux est particulièrement épineuse étant donné que de nombreux cours d'eau reçoivent plus de 10% d'eaux usées à l'étiage et qu'une grande partie de l'eau potable est obtenue par filtration sur berge. L'étude a révélé que les seuils fixés pour les critères de qualité de l'eau étaient souvent dépassés pour plusieurs produits pharmaceutiques. Dans le cas du diclofénac, la valeur limite est même dépassée dans 90% des tronçons situés en aval de stations d'épuration. Le projet a également montré qu'une extension des stations d'épuration les plus grandes permettrait de réduire la charge en micropolluants organiques de plus de 40%.

Le Centre Ecotox coordonne également d'autres projets d'application de la modélisation des flux de substances. Les rapports détaillés et de nombreuses informations sur le sujet sont disponibles sur notre site à la page www.centreecotox.ch/projekte/stofffluss/index_FR

Contact : Robert Kase, robert.kase@oekotoxzentrum.ch

Inge Werner nommée présidente de la SETAC GLB

Depuis janvier 2013, Inge Werner, la directrice du Centre Ecotox, est la nouvelle présidente de la German Language Branch de la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC GLB), la branche de la SETAC qui s'occupe de l'espace germanophone et organise chaque année un colloque scientifique de grande renommée. L'un des principaux objectifs de ces rencontres annuelles qui se tiennent majoritairement en langue allemande est de livrer un panorama de l'actualité de la recherche et du développement dans les domaines de l'écotoxicologie et de la chimie de l'environnement et de favoriser les échanges entre spécialistes au sein de la SETAC et vers l'extérieur. Elles servent d'autre part à encourager la relève scientifique : les jeunes chercheurs doivent y voir une occasion privilégiée de présenter leurs travaux à un public averti. La SETAC GLB s'engage aussi pour améliorer la formation dans le domaine de l'écotoxicologie : depuis 2005, une nouvelle filière post-grade permettant d'obtenir le diplôme de « Fachökotoxikologin/e » (écotoxicologue spécialisé/e) certifié est encadrée par la SETAC GLB et la société allemande de chimie (Gesellschaft Deutscher Chemiker).



Transfert de technologie concernant le test d'œstrogénicité sur levures

Le Centre Ecotox a assuré la transmission de la technologie des tests d'œstrogénicité et d'androgénicité sur levures (respectivement tests YES et YAS) à une société privée suisse et se trouve étroitement associé au développement de kits d'analyse. Les tests YES et YAS permettent de déterminer l'activité œstrogénique et androgénique des substances présentes dans les échantillons d'eau et n'ont jusqu'à présent été utilisés qu'en laboratoire de recherche. Le transfert de technologie permet maintenant à d'autres laboratoires de les appliquer. Le Centre Ecotox se chargera bientôt d'introduire le test YES dans un laboratoire cantonal.

www.xenometrix.ch



Nouvelle base de données pour les NQE

De nombreux pays se réfèrent à des seuils d'écotoxicité appelés critères ou normes de qualité environnementale (NQE) pour évaluer la qualité des eaux. Ces valeurs de référence peuvent cependant fortement varier d'un pays à l'autre pour un même polluant (voir également p. 3). Le Centre Ecotox a compilé les NQE disponibles au niveau international pour un grand nombre de produits phytopharmaceutiques et biocides, de médicaments et de produits chimiques industriels et les a regroupées dans une base de données. Les normes de qualité qui y figurent répondent à divers niveaux d'exigences juridiques: elles vont de la simple estimation basée sur un nombre limité de données écotoxicologiques aux NQE reconnues par l'ensemble des Etats de l'Union européenne en passant par les propositions émises par les administrations en charge de l'environnement dans les divers pays. Une liste de résultats de recherche peut être obtenue auprès de Marion Junghans pour les substances souhaitées : marion.junghans@oekotoxzentrum.ch.



Prochains cours proposés par le Centre Ecotox

Nous souhaitons attirer votre attention sur les prochains cours de notre programme de formation continue. Le prochain **cours d'introduction à l'écotoxicologie** se tiendra les 11 et 12 juin 2013 à Dübendorf, cette fois-ci en allemand.

Un **cours d'évaluation des risques des polluants dans l'environnement** sera proposé les 13 et 14 novembre 2013 en français à Lausanne. Ce cours présentera une introduction à la démarche d'évaluation du risque qui s'articule autour de l'évaluation de l'exposition aux produits chimiques dans différentes matrices environnementales et de l'évaluation du danger. La caractérisation des risques et les aspects légaux seront également abordés. Des études de cas et des exercices pratiques viendront compléter le cours.

Le Centre Ecotox organisera un workshop sur **les bases scientifiques de la réglementation des nanomatériaux** les 20 et 21 janvier 2014. Vous trouverez prochainement de plus amples informations sur notre site.

www.centreecotox.ch/weiterbildung/2013/index_FR



Le Centre Ecotox intégré au réseau SedNet

Le Centre Ecotox fait maintenant partie du réseau SedNet dont il a notamment intégré le comité de pilotage. SedNet est un réseau thématique européen qui vise à intégrer les problématiques et connaissances liées aux sédiments dans les stratégies européennes, afin de soutenir l'atteinte d'un bon état écologique et de développer de nouveaux outils pour la gestion des sédiments. SedNet fédère les énergies et le savoir des scientifiques, agences publiques et industriels et travaille en liaison avec de nombreux autres réseaux européens. Il est l'interlocuteur principal de la Commission européenne en matière de sédiments.

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

De nouvelles fiches d'information sur les radionucléides et la fracturation hydraulique

Le Centre Ecotox a publié deux nouvelles fiches d'information sur « Les radionucléides dans l'environnement » et « La fracturation hydraulique » (avec l'Eawag). Présentant un condensé des principales connaissances actuelles sur leur sujet respectif, les fiches seront prochainement disponibles en français sur notre site :

www.centreecotox.ch/dokumentation/info/index_FR



Des critères d'identification des perturbateurs endocriniens pour la législation européenne

Le groupe consultatif d'experts sur les perturbateurs endocriniens de l'UE, dans lequel le Centre Ecotox est représenté, vient de publier son rapport tant attendu sur l'identification et la caractérisation des perturbateurs endocriniens. Ce document servira de base scientifique à la Commission européenne pour la définition de critères d'identification qui seront pris en compte dans différentes réglementations environnementales, dont le règlement sur les produits phytosanitaires, le règlement REACH et le nouveau règlement sur les produits biocides.

http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_activities/food-cons-prod/endocrine_disrupters/jrc-report-scientific-issues-identification-endocrine-disrupting-substances

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.

Comportement anormal des poissons sous tranquillisants

Les poissons peuvent modifier leur comportement lorsqu'ils sont exposés à des concentrations de médicaments comparables à celles rencontrées dans les milieux aquatiques pollués. Une équipe suédoise vient de montrer que les perches présentaient une perte de sociabilité et un gain d'activité et d'appétit lorsqu'elles évoluaient dans une eau contenant 1,8 µg/l d'oxazépam, un médicament utilisé pour combattre l'anxiété. Les chercheurs avaient auparavant relevé des concentrations similaires de ce même tranquillisant dans un cours d'eau suédois contaminé par les rejets d'une station d'épuration. Les résultats montrent que la présence de produits psycho-pharmaceutiques dans le milieu aquatique peut perturber les comportements animaux, ce qui peut avoir des conséquences au niveau écologique et évolutif.

Bodin, T., Fick, J., Jonsson, M., Klaminder, J. (2013)

Dilute concentrations of a psychiatric drug alter behavior of fish from natural populations. *Science* 339, 814–815.

Les tests de contact entre sédiments et organismes permettent une meilleure évaluation de la toxicité

Une batterie de cinq tests écotoxicologiques a été élaborée pour évaluer la toxicité des sédiments contaminés. Une équipe de chercheurs allemands vient de démontrer sa précision et sa robustesse après l'avoir testée sur 21 sédiments continentaux présentant différentes caractéristiques géochimiques. Les organismes exposés ont été choisis de façon à représenter différents niveaux trophiques : végétaux supérieurs, nématodes, annélides, embryons de poisson zèbre et bactéries. Les résultats ont montré que les patrons de toxicité observés dans les différents tests livrent une appréciation plus exacte de la nocivité des sédiments que l'utilisation des critères de qualité définis pour ce compartiment. Ces derniers avaient tendance à sous-estimer la toxicité dans les domaines de faible à moyenne intensité. Les scientifiques conseillent donc d'intégrer la batterie de tests aux systèmes d'évaluation de la qualité des sédiments.

Feiler, U., et al. (2013) Sediment contact tests as a tool for the assessment of sediment quality in German waters. *Environ. Toxicol Chem.* 32, 144–155

Les performances des colonies de bourdons affectées par les pesticides

Une étude récente a montré que la capacité des ouvrières de bourdon à récolter le pollen était affectée par une exposition chronique à deux pesticides dans des concentrations similaires à celles rencontrées dans le milieu naturel. Les insectes avaient également tendance à mourir précocement, ce qui compromettrait à terme le bon développement des larves et le succès de la colonie. Les essais visaient à caractériser les effets d'un mélange de deux produits phytosanitaires auxquels les bourdons

sont souvent exposés simultanément dans la nature : l'imidaclopride (néonicotinoïde) et la cyhalothrine (pyréthrianoïde). Lorsque les colonies étaient exposées aux deux pesticides à la fois, leurs chances de survie étaient réduites. L'étude montre à partir d'un exemple concret comment des effets à l'échelle de l'individu peuvent se répercuter sur l'ensemble d'une colonie. La Commission européenne a décidé, le 30 avril, d'interdire l'utilisation de trois néonicotinoïdes pendant 2 ans dans l'UE.

Gill, R. J., Ramos-Rodriguez, O., Raine, N. E. (2012) Combined pesticide exposure severely affects individual – and colony – level traits in bees. *Nature*, 491, 105–108

Impact avéré des nanoparticules sur les daphnies

Les nanoparticules d'oxyde de titane sont de plus en plus utilisées dans les crèmes solaires et les peintures pour façades et sont considérées comme inoffensives. Une nouvelle étude vient toutefois de montrer que ces particules pouvaient être nocives pour les daphnies à partir de concentrations de l'ordre de 0,02 à 2 mg/l. Curieusement, les dommages ne se manifestaient pas chez les puces d'eau directement exposées mais chez leurs descendantes dont la capacité natatoire était perturbée. La cause du phénomène n'a pas encore été identifiée mais il est à noter que les effets ne sont pas détectés dans les tests de toxicité classiques étant donné que ceux-ci n'étudient pas les impacts sur les générations futures.

Bundschuh, M., Seitz, F., Rosenfeldt, R. R., Schulz, R. (2012) Titanium dioxide nanoparticles increase sensitivity in the next generation of the water flea *Daphnia magna*. *PLOS ONE* dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0048956

Pollution du Rhin par les terres rares

Des quantités considérables de terres rares ont été détectées dans le Rhin. La concentration totale atteinte par ces métaux - utilisés dans les industries de haute technologie - au niveau d'une société produisant des catalyseurs était plusieurs fois supérieure aux seuils d'effets probables sur les organismes. A 400 km en aval du rejet des effluents dans le Rhin, les terres rares étaient encore clairement détectables. Les teneurs en samarium, en lanthane et en gadolinium, un produit de contraste radiologique utilisé dans le domaine médical, étaient les plus remarquables. Les terres rares sont utilisées dans la fabrication des appareils électroniques et dans les technologies haute performance ; leur consommation a fortement augmenté ces dernières années et cette tendance devrait se poursuivre.

Kulaksik, S., Bau, M. (2013) Anthropogenic dissolved and colloid/nanoparticle-bound samarium, lanthanum and gadolinium in the Rhine River and the impending destruction of the natural rare earth element distribution in rivers. *Earth Planet. Sci. Lett.* 362: 43–50

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 (p. 4), Fotolia (p. 9),

Jonas Margot (p. 10)

Parution : deux fois par an

Maquette, graphisme et mise en page : visu'1 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