



centre ecotox news

4. édition mai 2012

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée Eawag-EPFL



La modélisation des flux de substances _____	3
Emissions d'œstrogènes en provenance de l'élevage bovin _____	4
Détection des œstrogènes dans les eaux usées et les cours d'eau _____	6
Le test algues combiné: un test de routine prometteur _____	8
Les vers de terre au service de l'écotoxicologie _____	9
Les brèves du Centre Ecotox _____	10
L'écotoxicologie dans le monde _____	12

Editorial

Biotests et biodiversité



Dr. Inge Werner,
directrice du Centre Ecotox

L'utilisation des essais biologiques standardisés pour la surveillance de la qualité des eaux et des effluents de station d'épuration ne date pas d'hier puisque les premiers d'entre eux ont été développés dans les années 1980 suite aux premières lois sur les rejets d'eaux usées dans le milieu naturel (Clean Water Act, USA 1977, par ex.). Pourtant, le temps écoulé entre la mise au point d'un test et sa standardisation peut être très long et les méthodes d'évaluation arrivent souvent trop tard pour permettre la détection précoce de la toxicité potentielle des polluants qui n'est souvent reconnue qu'une fois leur impact devenu visible dans le milieu naturel. Les perturbateurs endocriniens en sont un bel exemple: Le phénomène de féminisation des poissons mâles a été observé en aval des stations d'épuration dès le début des années 1990. De nombreuses études ont été lancées et l'on sait aujourd'hui que les eaux résiduaires urbaines ne sont pas la seule source de substances à activité œstrogénique mais qu'elles peuvent également provenir des activités agricoles (p. 4). Malgré des besoins évidents, il n'existe pourtant toujours pas de tests standardisés pour l'évaluation du pouvoir œstrogénique des effluents ou des eaux de rivière. Nous tra-

vaillons d'arrache-pied à pallier ce déficit (p. 6) et participons activement aux efforts de normalisation menés au niveau national et international. Une approche prometteuse pourrait être l'usage combiné des méthodes écotoxicologiques et de la modélisation des flux de substances permettant de mieux cibler les mesures de dépollution par l'identification préalable des secteurs à risque (p. 3).

La nécessité de connaissances spécifiques pour l'interprétation des biotests a été démontrée par les travaux menés par Roger Gauch au Centre Ecotox dans le cadre de son master. Ses recherches portaient sur le test algues combiné et ses capacités de détection des effets de différents types d'herbicides (p. 8). La multiplicité des polluants et de leurs modes d'action est l'une des grandes difficultés de la recherche environnementale. Les effets toxiques sont toujours spécifiques des substances et espèces en présence et de nombreuses zones d'ombre persistent dans notre capacité à reconnaître et à quantifier les effets délétères des produits chimiques sur les êtres vivants. Ainsi, un herbicide qui agit en inhibant la photosynthèse des végétaux cibles ne devrait pas avoir d'effets notables sur le monde animal si aucun autre mécanisme d'action n'intervient. En revanche, les principaux perturbateurs endocriniens connus sont tout particulièrement nuisibles aux poissons car ces derniers, en tant que vertébrés, présentent des voies de signalisation et récepteurs hormonaux similaires à ceux des mammifères. Les organismes du sol ont encore une autre sensibilité. C'est pourquoi nous avons complété notre panoplie de tests d'un essai biologique sur lombrics (p. 9).

La diversité des espèces vivantes, la spécificité de leur sensibilité aux polluants et leurs multiples interactions rendent la tâche des écotoxicologues particulièrement ardue. Dans les milieux aux communautés biotiques déjà bien caractérisées comme les milieux d'eau courante de la Suisse, la qualité de l'eau peut être évaluée à partir de la composition et de la structure des assemblages d'espèces de macro-invertébrés ou de diatomées. Une nouvelle approche de bio-indication basée sur l'indice SPEAR («species at risk») offre une perspective prometteuse en permettant une discrimination très sensible des effets toxiques liés aux pesticides et en particulier aux insecticides. La méthode exige cependant un programme de biomonitoring élaboré et peut être biaisée par les conditions météorologiques. Pour la surveillance de l'environnement, nous sommes donc encore et toujours à la recherche de bio-indicateurs ou de biomarqueurs efficaces livrant une information fiable sur la pression toxique et les impacts sur les espèces peuplant les milieux naturels. La biologie moléculaire et la biochimie semblent pouvoir livrer des outils de valeur mais de nombreuses recherches seront encore nécessaires avant que leur utilisation sur le terrain devienne une réalité. D'un autre côté, les avancées dans ce domaine sont fulgurantes et, qui sait?, tout ira peut-être plus vite que prévu !

En attendant, je vous souhaite une excellente lecture!



La modélisation des flux de substances peut faciliter le contrôle de la qualité des eaux

Fidèle à son rôle de charnière entre recherche et pratique, le Centre Ecotox assure la coordination de nouveaux projets de modélisation des flux de substances et ainsi contribue à la popularisation de cette méthode. Les résultats seront très utiles aux autorités chargées du contrôle de la qualité des eaux.

En agglomération, les cours d'eau reçoivent souvent des flux non négligeables de micropolluants organiques qui peuvent agir sur les organismes aquatiques à des concentrations extrêmement faibles et risquent de menacer la qualité de la ressource en eau potable. Ces composés, résidus de médicaments, de pesticides, de produits d'entretien ou autres produits chimiques industriels, sont souvent rejetés dans le milieu aquatique avec les eaux usées épurées. Comme l'a montré le projet «Stratégie MicroPoll» de l'Office fédéral de l'environnement, la contamination des eaux suisses par ce type de micropolluants peut être considérablement réduite en installant une étape supplémentaire de traitement dans un certain nombre de stations d'épuration (STEP).

Mieux cibler les efforts humains et financiers

Pour assurer la protection des eaux exigée par la loi, les autorités publiques contrôlent l'état de pollution des milieux aquatiques de façon systématique et régulière. Cette surveillance s'effectue généralement par le biais de prélèvements suivis d'analyses chimiques et demande donc la mise en œuvre de moyens importants pour livrer des résultats dont la validité est limitée au lieu et à l'instant des prélèvements. L'utilisation des modèles de flux de substances peut aider à mieux cibler les investissements humains et financiers grâce à un screening préalable. Ils permettent en effet à la fois d'identifier les cours d'eau ou tronçons potentiellement menacés et d'indiquer les stratégies d'extension des chaînes de traitement des STEP les plus à même de réduire la pollution des eaux par les micropolluants organiques. Le Centre Ecotox coordonne les travaux sur la mise en œuvre de la modélisation des flux de substances en complément des analyses chimiques dans trois projets internationaux.

Un modèle national des flux de substances a été développé par l'Eawag dans le cadre du projet «Stratégie MicroPoll» qui permet de prédire les rejets de polluants à partir des stations d'épuration communales [1,2]. En collaboration avec les autorités locales, le Centre Ecotox travaille actuellement avec l'Eawag et la société ENVILAB AG à une application du modèle dans la région franco-suisse du bassin lémanique et dans les Länder allemands de Rhénanie du Nord-Westphalie et du Bade-Wurtemberg. Dans ces trois projets, le Centre Ecotox fait office de charnière entre administratifs, chercheurs et professionnels de terrain.

Choisir les stratégies de dépollution les mieux adaptées

L'un des objectifs de ces projets est de représenter l'état de pollution des eaux par les micropolluants provenant de l'assainissement sur l'ensemble du territoire des trois régions étudiées. En partant des données caractéristiques des STEP, le modèle est utilisé pour représenter les flux d'un certain nombre de substances connues pour leur non élimination par les traitements d'épuration classiques. Les données sont ensuite vérifiées par comparaison avec les valeurs mesurées. Partant d'une telle analyse de la situation, les services de surveillance peuvent ensuite concentrer leurs études sur les sites sensibles et éviter les efforts de mesures inutiles.

Les projets cherchent également à déterminer les stratégies de dépollution les mieux adaptées par une démarche d'analyse comparative et de hiérarchisation des possibles. En Rhénanie du Nord-Westphalie, par exemple, les chercheurs vont tenter de savoir si l'extension prioritaire des STEP en amont des usines de production d'eau potable permet réellement de préserver la qualité de cette ressource. Dans cette région, le problème de l'eau potable se pose avec une acuité particulière étant donné que cette ressource y provient en grande partie de la filtration sur berge des eaux du Rhin et de ses affluents. Les études doivent également montrer si l'ajout aux chaînes d'épuration d'une étape d'ozonation ou d'adsorption sur charbon actif permettrait d'éliminer les micropolluants de manière satisfaisante.

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

Références bibliographiques

- [1] Ort, C., Hollender, J., Schaerer, M., Siegrist, H. (2009). Model-based evaluation of reduction strategies for micropollutants from wastewater treatment plants in complex river networks. *Environ. Sci. Technol.*, 2009, 43, 9, 3214-3220
- [2] Götz, C.W., Kase, R., Hollender, J. (2011). Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf



Emissions d'œstrogènes en provenance de l'élevage bovin

Les hormones naturelles provenant de l'élevage d'animaux de rente contribuent à la pollution œstrogénique des milieux aquatiques. En sortie des systèmes de drainage des champs subissant des épandages de lisier, les pics de concentrations atteignent des niveaux pouvant nuire aux organismes aquatiques. Leur impact sur le développement des larves de poissons doit encore être étudié.

La présence de plus en plus perceptible de substances de type hormonal dans l'environnement aquatique est un grand sujet de préoccupation en Suisse comme dans le reste de l'Europe. En effet, ces hormones sont susceptibles de perturber le métabolisme des organismes aquatiques et semblent incriminées dans le déclin généralisé des populations de poissons observé ces dernières années. Une grande partie des «hormones environnementales» sont des substances synthétiques provenant de produits de consommation courante ou d'activités industrielles présentant un effet endocrinien involontaire. Elles peuvent être libérées par des produits très divers comme les détergents ou les produits ignifugeants, les matières plastiques ou les cosmétiques. C'est généralement en transitant par les stations d'épuration que ces contaminants gagnent les cours d'eau où ils produisent des effets perturbateurs visibles sous la forme de phénomènes inquiétants comme l'intersexualité des poissons qui a été observée pour la première fois en Angleterre à la fin des années 1990.

En sortie des stations d'épuration, les teneurs en œstrogènes des effluents se situent généralement entre 1 et 3 ng/l d'équivalents œstradiol (EEQ), c'est-à-dire qu'ils présentent la même activité biologique que les mêmes concentrations de l'hormone naturelle féminine 17 β -œstradiol. Or une exposition permanente à une concentration de 17 β -œstradiol supérieure à 0,4 ng/l – le critère de qualité environnementale proposé pour cette substance par l'Union européenne et le Centre Ecotox – peut déjà provoquer une féminisation des poissons mâles. Ces dix dernières années, de nombreuses recherches ont été

menées sur les émissions d'œstrogènes en provenance des eaux usées. Elles ont abouti à la mise au point d'une étape supplémentaire de traitement capable de les éliminer et dont une sélection de stations d'épuration vont être prochainement équipées.

Les vaches laitières émettrices d'œstrogènes?

L'agriculture est, elle aussi, responsable d'émissions significatives d'hormones dans le milieu aquatique. Cette voie a toutefois été très peu étudiée jusqu'à présent. L'implication de l'élevage, surtout bovin, est particulièrement importante. En effet, les vaches sont, tout comme l'homme, des mammifères qui produisent des œstrogènes au cours de leur cycle hormonal. Mais à la différence des êtres humains, les vaches laitières sont maintenues en gestation quasi permanente pour obtenir une production maximale de lait. Les vaches en gestation présentent des teneurs particulièrement élevées d'œstrogènes dans le sang et en libèrent donc des quantités autrement plus élevées que l'homme dans leurs urines. Ainsi, les 1,6 millions de bovins que compte la Suisse émettent chaque année plus de 10 fois plus d'œstrogènes que ses quelque 8 millions d'habitants, soit environ 500 kg EEQ/an.

Presque tous les excréments des bovins d'élevage sont répartis directement dans les pâturages ou sont épandus sous forme de purin ou de lisier dans les champs et les prés pour les fertiliser et boucler le cycle des éléments nutritifs. Jusqu'à présent, l'effet de ces pratiques sur les lacs et cours d'eau suisses n'avait pas encore été étudié. Un projet impliquant l'Institut de gestion de l'environnement

et des ressources naturelles (IUNR) de la Haute école zurichoise des sciences appliquées (ZHAW), le Centre Ecotox et le canton de Thurgovie a été lancé pour tenter de savoir si les épandages de lisiers provenant de l'élevage laitier contribuaient significativement à l'œstrogénicité des milieux aquatiques. Le projet était financé par l'Office fédéral de l'environnement.

La filtration par le sol contournée par le drainage des champs

Le sol constitue normalement un frein efficace à la diffusion des substances de type hormonal vers le milieu aquatique: les œstrogènes sont en effet des composés hydrophobes qui se lient facilement aux particules du sol. Il existe cependant une voie par laquelle ces hormones peuvent se déverser directement dans les cours d'eau: les systèmes de drainage qui évacuent les eaux de pluie en empruntant les voies d'écoulement préférentiel et contournent ainsi la filtration par le sol. La Suisse présente sur le Plateau et dans les Préalpes des sols majoritairement limoneux ayant tendance à s'engorger. Pour pouvoir les cultiver, plus de 20 % des sols du pays sont ainsi pourvus de systèmes de drainage, la proportion étant nettement plus élevée dans certaines régions. Lorsque des pluies fortes se déversent sur des terrains drainés, les eaux sont évacuées en quelques minutes à travers les drains, entraînant avec elles les substances solubles présentes en surface. Si un tel événement pluvieux se produit après un épandage de lisier, les œstrogènes peuvent ainsi être entraînés à la fois par les drains et le ruissellement de surface.



L'étude a été menée sur les terres d'une ferme thurgovienne pour tenter de savoir si les œstrogènes contenus dans le lisier se retrouvent effectivement dans les eaux de drainage d'un pâturage exploité de manière intensive. Les eaux d'infiltration de cette surface importante sont recueillies par les drains et acheminées en un point unique se prêtant à la prise d'échantillons représentatifs. Les scientifiques ont choisi de placer l'étude dans un laps de temps s'étendant de la fin de l'hiver au début de l'été, période à laquelle les pâturages, débarrassés de leur neige hivernale, sont occupés par le bétail et à nouveau disponibles pour les épandages. En général, la majeure partie du lisier est appliquée avant la première phase de croissance et après la première fauche.

Sur un total de cinq campagnes de terrain, les scientifiques ont effectué des prélèvements dans un drain et au point de rejet des eaux de drainage dans le ruisseau voisin. Ils ont ensuite déterminé l'activité œstrogénique des échantillons à l'aide de deux essais biologiques *in vitro* faisant intervenir des lignées de cellules génétiquement modifiées porteuses du récepteur humain aux œstrogènes: des cellules de levure dans le test YES et des cellules humaines dans l'essai ER-Calux®. Ces bioessais sont en mesure de détecter les œstrogènes à des concentrations nettement inférieures aux analyses chimiques et rendent compte de l'effet conjugué et cumulé des différentes substances œstrogéniques en présence.

Des œstrogènes plus stables qu'on ne l'imaginait

Le lessivage des œstrogènes attendu par les scientifiques a effectivement été observé: Lors de pluies importantes suivant l'épandage du lisier, des pics de concentration de courte durée de 10 ng EEQ/l ou plus ont été mesurés dans le drain. Ces concentrations sont nettement plus élevées que celles mesurées en sortie des stations d'épuration mais ne se maintiennent que quelques heures. La prise manuelle d'échantillons ponctuels n'est donc pas une stratégie adaptée à l'évaluation de l'impact des œstrogènes des lisiers sur les milieux aquatiques de surface puisqu'elle risque de se produire en dehors des pics de pollution. Fait intéressant, les chercheurs ont observé dans l'une des campagnes une activité œstrogénique fortement accrue près de deux semaines après le dernier épandage de lisier. Cette observation corrobore celle d'autres scientifiques faisant état d'une plus grande stabilité des œstrogènes dans les sols naturels que ne le laissent présager les essais réalisés en laboratoire. Suivant le moment de l'épandage et les caractéristiques du sol et conditions météorologiques, les hormones peuvent apparemment être libérées par les sols plus ou moins longtemps après leur déversement sur les champs.

Le risque d'exposition des organismes aquatiques d'un cours d'eau donné à des œstrogènes provenant des lisiers dépend donc de la proportion de sols drainés artificiellement dans le bassin versant, des méthodes d'exploitation utilisées par l'agriculteur et des propriétés des sols. Suivant la topographie, les ruissellements de surface peuvent éga-

lement être à l'origine de rejets. Les pics de concentration ne sont que de courte durée et les teneurs finales dans le cours d'eau sont certainement beaucoup plus faibles que celles enregistrées dans le système de drainage. Il serait toutefois prématuré de lever l'alerte. Les cours d'eau les plus exposés sont certainement les rus traversant les pâturages intensifs. Etant donné que les paysans n'épandent pas tous au même moment, ces ruisseaux subissent des apports répétés d'œstrogènes au cours de l'année. Par ailleurs, les poissons sont particulièrement vulnérables à l'action des œstrogènes à leurs stades les plus précoces de développement et les effets des pics de concentration sont encore mal connus. Des situations critiques pourraient apparaître au début du printemps ou en fin d'automne lorsque les températures sont trop faibles pour permettre une bonne dégradation dans le sol et que les éleveurs doivent d'urgence vider leurs réservoirs à purin. Ainsi, la truite de rivière fraie en novembre/décembre et l'incubation des œufs s'étend jusqu'au début du mois de mars – il est donc quasiment certain qu'ils se trouvent exposés à des œstrogènes issus des lisiers. Il importe désormais d'étudier l'impact de ces substances sur le développement des alevins et, le cas échéant, de définir des mesures de protection adaptées.

Contacts:

Andreas Schönborn,
andreas.schoenborn@zhaw.ch,
Petra Kunz,
petra.kunz@oekotoxzentrum.ch



Détection des œstrogènes dans les eaux usées et les cours d'eau – un système d'évaluation écotoxicologique global en perspective

Il n'existe pas encore de méthodes pratiques pour l'évaluation de la qualité de l'eau selon des critères écotoxicologiques. Le Centre Ecotox a exploré le champ des possibles dans le cas particulier de la contamination des eaux par des substances à activité œstrogénique – un premier pas en direction d'un système d'évaluation global.

Les cours d'eau suisses sont exposés à une grande diversité de pollutions et nuisances. D'après l'ordonnance suisse sur la protection des eaux, les animaux, végétaux et microorganismes vivant dans ces milieux doivent être protégés de ces contraintes. Or une protection aussi étendue exige au préalable une caractérisation détaillée de l'état des fleuves et rivières. Pour les besoins de cet état des lieux, des méthodes standardisées ont été et sont encore étudiées et mises au point sous la responsabilité de l'Office fédéral de l'environnement par le groupe d'accompagnement stratégique Eaux de surface (dans la droite ligne du système modulaire gradué maintenant achevé) afin d'évaluer les différents aspects de la qualité de l'eau. De nombreuses méthodes sont ainsi aujourd'hui disponibles mais aucune d'entre elles ne repose encore sur des critères écotoxicologiques.

Les œstrogènes: une famille à problèmes

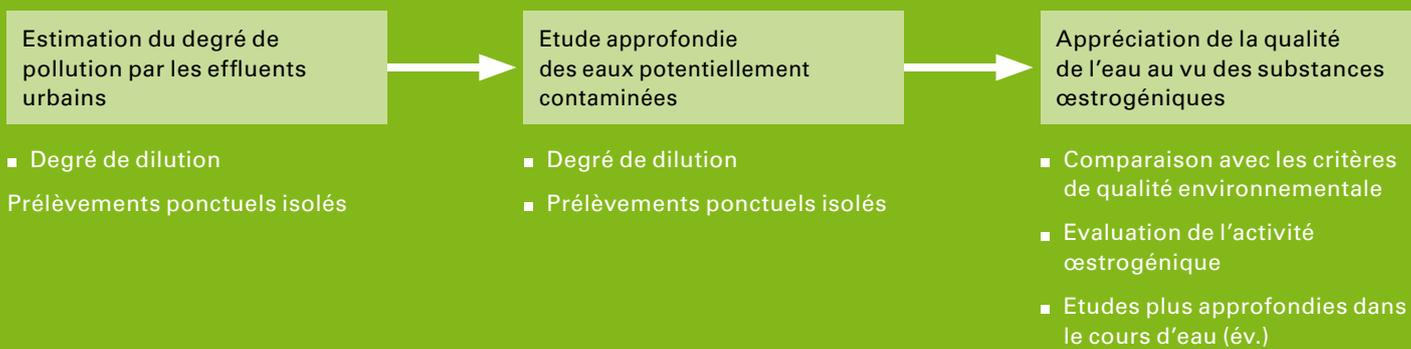
Pour remédier à ce manque, le Centre Ecotox travaille actuellement avec les autorités fédérales, les services cantonaux de protection des eaux, des équipes de recherche et des bureaux d'étude à l'élaboration d'un système d'analyse de routine de l'écotoxicité des eaux de rivière reposant sur l'utilisation d'essais biologiques. Pour pouvoir être mis en œuvre dans une telle optique, ces essais doivent remplir de nombreuses conditions: ils doivent être à la fois sensibles et pratiques, spécifiques de certains modes d'action et peu coûteux. La première famille de composés choisie pour ces recherches a été celle des œstrogènes et pseudo-œstrogènes étant donné la menace qu'ils représentent pour les milieux fragiles. Imitant les hormones naturelles, les pseudo-œstrogènes ont en effet la particularité de se fixer sur les récepteurs des œstrogènes des organismes exposés et peuvent ainsi perturber leurs fonctions reproductrices. Ceux présents dans les cours d'eau proviennent de produits très divers comme les matières plastiques, les filtres solaires, les produits ignifuges ou les pesticides. Certains peuvent agir sur les organismes touchés à des concentrations inférieures à leur seuil de détection chimique. D'autre part, ces polluants peuvent cumuler leurs effets: la toxicité du milieu est alors difficilement mesurable par analyse chimique étant donné l'impossibilité de doser la totalité des composés présents.

Les biotests au banc d'essai

Dans un premier temps, Cornelia Kienle et ses collègues du Centre Ecotox ont mis en place une campagne de mesures pour tester les qualités de différents types de bioessais pour la détection des substances œstrogéniques dans le cadre d'analyses de routine. La campagne de mesures visait tout spécialement les cours d'eau fragilisés par des apports importants d'effluents d'épuration. Les chercheurs ont ainsi étudié 38 échantillons prélevés dans les rejets et le cours d'eau récepteur de 14 stations d'épuration suisses (STEP) réparties sur cinq régions biogéographiques. Les tests évalués étaient deux biotests utilisant des lignées de cellules génétiquement modifiées pour détecter les effets œstrogéniques. Tout d'abord, le test YES utilisant des cellules de levure porteuses du récepteur des œstrogènes humain qui met en évidence la fixation au récepteur par une réaction colorimétrique passant du jaune au rouge. «Ce test est très simple, bon marché, libre d'accès et très largement utilisé», explique Cornelia Kienle. Le deuxième test choisi par les chercheurs était l'essai ER-Calux® disponible dans le commerce qui utilise des cellules humaines porteuses d'un récepteur des œstrogènes. «Suite au travail qu'il demande avec les lignées cellulaires, l'ER-Calux® est plus compliqué à mettre en œuvre et plus cher que le test YES mais il est aussi beaucoup plus sensible», commente Cornelia Kienle.

Les deux bioessais testés sont des essais *in vitro* qui permettent de détecter les effets de substances ayant un mécanisme d'action biochimique ou cellulaire donné, ici, l'activation du récepteur des œstrogènes humain. Mais la présence des œstrogènes peut également être détectée à travers leurs effets à l'échelle de l'organisme entier en utilisant des tests *in vivo* standardisés. L'un d'eux, le test FELST (Fish early life stage test) sur truite arc-en-ciel, donne ainsi une indication de la pollution œstrogénique par la mesure de la concentration de vitellogénine, protéine de réserve de l'oeuf, dans les organismes exposés. «Ce test est cependant trop complexe pour les analyses de routine», estime Cornelia Kienle. «D'autre part, nous devons essayer autant que possible d'éviter le recours à l'expérimentation animale.» Pour compléter les biotests, les principaux œstrogènes et pseudo-œstrogènes transportés par les eaux usées ont été dosés: le 17 β -œstradiol, le 17 α -éthynylestradiol, l'estrone, le bisphénol A et le nonylphénol.

Structure possible d'un système d'évaluation de la qualité de l'eau au vu des teneurs en substances à effets œstrogéniques



Un système d'évaluation de la qualité de l'eau pour les œstrogènes

Comme les chercheurs s'y attendaient, les résultats de la campagne de mesure ont montré que le test YES avait une sensibilité à peu près dix fois plus faible que l'ER-Calux®: le seuil de détection était respectivement de 0,1 et de 0,01 ng d'équivalent œstradiol (EEQ) par litre d'eau testée. La teneur en EEQ correspond à la concentration de l'hormone naturelle 17β-œstradiol qui produirait le même effet biologique. Les deux types de test ont révélé dans les cours d'eau une présence plus élevée d'œstrogènes en aval du point de rejet des effluents de STEP qu'en amont. Au vu des résultats des biotests, les chercheurs ont réparti les échantillons en trois classes de qualité de l'eau (cf. Tableau) en se référant à l'écart des valeurs mesurées par rapport au critère de qualité environnementale défini sur des bases écotoxicologiques pour le 17β-œstradiol (0,4 ng/l selon la proposition de norme de qualité environnementale européenne). Les conclusions livrées par les deux tests n'étaient pas systématiquement identiques. Même si cette différence s'explique probablement par la différence de sensibilité des tests, cet aspect devra être approfondi en vue d'une meilleure applicabilité pratique.

Dans le cas des cours d'eau recevant des flux importants d'eaux usées, Cornelia Kienle et ses collègues recommandent une solution pragmatique consistant à déterminer la teneur en œstrogènes de l'effluent d'épuration avec le test YES. « Cette valeur permet d'estimer la concentration finale dans le cours d'eau par extrapolation à partir du degré de dilution dans le milieu récepteur », explique la chercheuse. La qualité de l'eau est ensuite évaluée en comparant cette concentration au critère de qualité environnementale. Le test YES est moins sensible que l'ER Calux® mais il est parfaitement adapté à l'étude d'échantillons fortement pollués. Son principal avantage réside dans sa simplicité et son faible coût qui le rendent

particulièrement attrayant pour les analyses de routine. « Je pense qu'il pourrait être très facilement adopté par les services cantonaux et les laboratoires privés. Mais avant d'en arriver là, nous devons encore procéder à certains ajustements », estime Cornelia Kienle. Les analyses chimiques n'ont pas permis aux chercheurs d'appréhender la totalité de la charge œstrogénique des échantillons étant donné, d'une part, que certaines substances étaient déjà actives à des concentrations inférieures à leur seuil de détection et, d'autre part, qu'il est impossible de doser la totalité des substances potentiellement actives.

Les méthodes et concepts exposés sont prometteurs et montrent que les biotests peuvent être utilisés pour évaluer l'œstrogénicité dans les cours d'eau. Mais pour que cette approche puisse se développer, il faut avant tout élaborer un système d'échantillonnage et d'évaluation solide qui devra faire la preuve de son applicabilité pratique avant d'être généralisé. Sur cette voie, les chercheurs vont tout d'abord poursuivre la validation des biotests à l'étude. Une procédure de normalisation ISO a été engagée pour chacun des deux (voir l'article sur les normalisations dans le précédent numéro de Centre Ecotox News). Ils vont également poursuivre la recherche de tests convenant à l'étude des milieux peu ou moyennement pollués: un nouveau test YES plus sensible est à l'étude. Enfin, les recherches doivent être étendues à l'étude de méthodes permettant la détection d'autres types d'effets toxiques. En suivant cette stratégie, un système global d'évaluation de la qualité des cours d'eau sur des critères écotoxicologiques pourra peu à peu se construire.

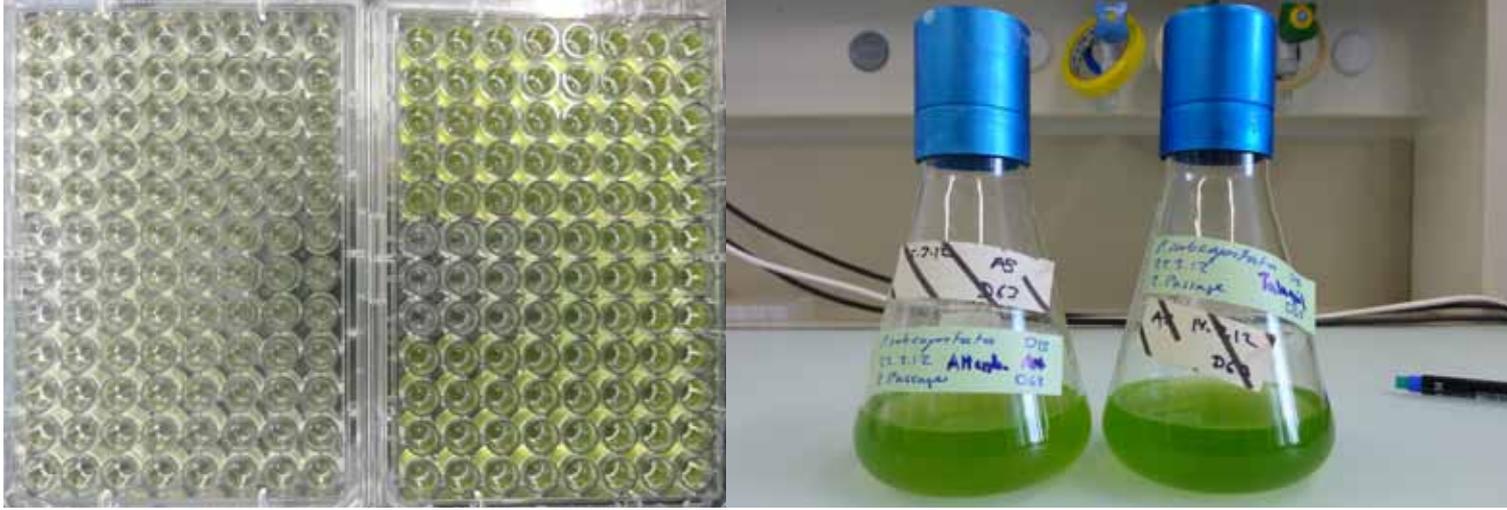
Le rapport du projet peut être obtenu en s'adressant à Cornelia Kienle.

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

Système de classification proposé pour l'évaluation de la qualité des eaux au vu des teneurs en substances œstrogéniques issues de l'assainissement communal

Appréciation ¹	Condition/Description		Respect du critère de qualité
Bonne qualité	La concentration en équivalents œstradiol (EEQ) est inférieure à 0,5 fois l'objectif de qualité (CQC) défini pour le 17β-œstradiol en exposition chronique	EEQ < 0,5 x CQC	Critère respecté
Qualité passable correspondant tout juste à l'objectif de qualité	La teneur en EEQ est inférieure à 2,5 fois le CQC défini pour le 17β-œstradiol	0,5 x CQC ≤ EEQ < 2,5 x CQC	Situation limite
Qualité médiocre à mauvaise	La teneur en EEQ est supérieure ou égale à 2,5 fois le CQC défini pour le 17β-œstradiol	EEQ ≥ 2,5 x CQC	Critère non respecté

¹ L'appréciation de la qualité de l'eau se base uniquement sur des critères de qualité définis sur des bases écotoxicologiques.



Le test algues combiné: un test de routine prometteur mais non sans limites

Les essais biologiques miniaturisés comme le test algues combiné sont des systèmes prometteurs pour l'évaluation de routine de la qualité des eaux. Leur sensibilité aux herbicides inhibiteurs de la division cellulaire est cependant limitée mais peut être augmentée par un comptage automatique des cellules.

Les lacs et cours d'eau suisses reçoivent de façon régulière des apports d'herbicides provenant le plus souvent des ruissellements à la surface des terrains traités. Initialement employés pour lutter contre les végétaux indésirables dans les champs et espaces verts, ces substances peuvent également nuire aux organismes aquatiques lorsqu'elles se retrouvent dans leur milieu. Pour mettre en évidence l'action toxique des herbicides, les autorités de contrôle utilisent généralement des biotests mettant en œuvre des algues vertes unicellulaires, groupe fortement représenté dans le plancton des eaux naturelles. Les tests doivent permettre l'analyse rapide d'une grande quantité d'échantillons et livrer des résultats fiables et reproductibles. Pour ce genre d'études, l'Eawag a mis au point un test prometteur, le test algues combiné sur *Pseudokirchneriella subcapitata* qui, effectué sur une plaque de microtitration, permet d'évaluer un grand nombre d'échantillons en seulement 24 heures. Tandis que les tests sur algues classiques n'appréhendent que l'inhibition de la croissance, le test algues combiné évalue également l'inhibition de la photosynthèse, l'un des mécanismes d'action les plus fréquents des herbicides.

Les inhibiteurs de la division cellulaire: un problème pour les tests?

De concert avec de Marions Junghans, Roger Gauch, étudiant en master, a mené une étude au Centre Ecotox pour tenter de savoir si le test algues était bien aussi prometteur qu'il le semblait. Certaines observations, en effet, semblaient indiquer un manque de sensibilité aux herbicides agissant par inhibition de la division cellulaire: en présence de ces pesticides, les algues poursuivent leur croissance

mais ne peuvent plus se diviser et finissent par former des cellules gigantesques. «Dans notre test, la croissance algale est évaluée par la densité optique mesurée au photomètre», explique Roger Gauch. «Cette approche permet de mettre en évidence les effets sur la masse algale totale mais occulte le nombre de cellules.» Le jeune chercheur a alors évalué la sensibilité du test pour deux herbicides: le diuron qui inhibe la photosynthèse et le métazachlore qui bloque la division cellulaire. Pour déterminer les effets sur la division cellulaire, le test a été complété d'un dénombrement des cellules à l'aide d'un compteur automatique.

Pour détecter un effet toxique du diuron sur les algues, l'observation de l'inhibition de la photosynthèse s'est avérée être la méthode la plus sensible. Pour le métazachlore, au contraire, la meilleure sensibilité a été obtenue avec le comptage des cellules. La densité optique quant à elle, s'est avérée insuffisante à la détermination de la toxicité: en effet, la perturbation des algues n'était détectée qu'à des concentrations d'herbicide relativement élevées étant donné que les cellules poursuivaient leur croissance alors qu'elles avaient déjà perdu leur capacité de division. Les chercheurs ont ensuite étudié divers mélanges de diuron et de métazachlore pour évaluer l'importance de cet effet sur l'évaluation des cocktails chimiques tels qu'ils existent dans les milieux naturels. Ils ont effectivement constaté que lorsque la concentration de métazachlore ne dépassait pas 1,66 fois celle du diuron, la détermination la plus sensible de la toxicité du mélange était obtenue par l'étude de la photosynthèse. Lorsque la proportion de métazachlore augmentait, le rôle de l'effet

inhibiteur sur la division cellulaire devenait significatif et la toxicité du mélange était sous-estimée si l'évaluation se basait uniquement sur la photosynthèse et sur la densité optique à l'exclusion du nombre de cellules.

Efficacité au sein des matrices environnementales

Enfin, Roger Gauch et Marion Junghans ont appliqué leur approche expérimentale à l'étude d'échantillons réels prélevés dans deux cours d'eau, l'Aabach et la Töss. En se basant sur le dosage de 22 herbicides dans les échantillons, les chercheurs ont comparé les toxicités révélées par les différentes méthodes: en ne considérant que l'inhibition de la photosynthèse, la toxicité des échantillons risquait d'être sous-estimée dans 4 % des cas pour l'Aabach et dans 19 % des cas pour la Töss. «Avec le test algues combiné, nous pouvons donc déterminer la toxicité avec une grande sensibilité dans presque 90 % des échantillons environnementaux», résume Marion Junghans. Pour l'évaluation d'échantillons suspectés de contenir des inhibiteurs de la division cellulaire en forte concentration, les chercheurs recommandent de compléter le test d'un comptage automatique des cellules algales. Ce dénombrement est cependant lent et laborieux et ne doit donc être effectué qu'en cas de nécessité.

Contact:

Marion Junghans,
marion.junghans@oekotoxzentrum.ch



Les vers de terre au service de l'écotoxicologie

L'utilisation de tests d'écotoxicité mettant en œuvre des organismes édaphiques présente un grand intérêt pour la protection des sols. En complément d'autres méthodes, le Centre Ecotox étudie maintenant les possibilités d'utilisation des vers de terre pour effectuer le diagnostic de l'état de santé général des sols.

Les polluants toxiques portent atteinte à la santé des sols, garante de leur fertilité et du bon déroulement des processus pédologiques. Le degré de pollution des sols est généralement déterminé par l'analyse chimique d'échantillons ponctuels. Mais, pour aussi rationnelle qu'elle soit, cette démarche se heurte à l'impossibilité de rendre compte de la totalité des toxiques potentiellement présents et de leurs interactions et à la lourdeur des analyses. Qui plus est, elle livre peu d'informations sur la biodisponibilité des polluants.

Une forte pertinence écologique

Les tests d'écotoxicité sur organismes édaphiques offrent donc un complément idéal aux analyses chimiques. Ils font souvent appel aux vers de terre et le Centre Ecotox compte désormais en faire également usage pour évaluer le degré de contamination des sols. Les vers de terre sont des organismes idéaux pour la réalisation des tests écotoxicologiques: de par leurs modes d'alimentation, la grande perméabilité de leur épiderme et l'importance de leur rapport surface/volume, ils absorbent facilement les polluants et réagissent donc de manière très sensible aux contaminations du milieu. D'autre part, les vers de terre jouent un rôle écologique important dans le sol: par leur activité, ils contribuent fortement à la dégradation de la matière organique de même qu'au brassage, à l'ameublissement et à l'aération du sol dont ils améliorent ainsi fortement la qualité.

La Suisse compte environ une quarantaine d'espèces de vers de terre. Pour les tests d'écotoxicité, les deux espèces *Eisenia fetida* et *Eisenia andrei*, largement utilisées en lombricompostage, sont généralement privilégiées en raison de leur facilité d'élevage en laboratoire et des certifications ISO et OCDE dont elles bénéficient. Les tests sur vers de compost font également partie des méthodes reconnues pour les procédures d'autorisation de mise sur le marché des produits phytosanitaires. Au Centre Ecotox, les lombrics de l'espèce *Eisenia fetida* sont élevés dans des seaux de polypropylène dans un mélange de tourbe et de fumier. Leur culture ne présente pas de difficulté particulière si ce n'est le maintien de l'humidité du substrat à un niveau relativement constant de l'ordre de 75 %.

Différents types de tests

Deux types de tests sur vers de terre sont menés au Centre Ecotox. Le premier test repose sur le comptage des juvéniles après

une exposition à un sol naturellement ou volontairement pollué et une comparaison des résultats avec un sol témoin. La durée de ce test de reproduction est de 56 jours. Etant donné que les lombrics sont hermaphrodites, les chercheurs n'ont pas à séparer mâles et femelles avant l'essai, ce qui représente un gain de temps par rapport à d'autres tests du même genre, comme celui sur collemboles (*Folsomia fimetaria*). Le deuxième test, dit d'évitement, porte sur le comportement de fuite des lombrics face aux polluants dont ils détectent la présence grâce à des récepteurs particuliers. Une fois alertés, les vers évitent les sols pollués et se réfugient dans des zones plus hospitalières. Pour le test, ce comportement est étudié dans des bacs compartimentés, ce qui permet d'obtenir des résultats en seulement 48 heures. Le test d'évitement est donc beaucoup plus rapide que le test de reproduction et peut donc être utilisé comme méthode de screening.

À l'avenir, les deux tests sur vers de terre sont appelés à intervenir en complément des études de terrain réalisées avec le test bait-lamina (voir Centre Ecotox News n°2) ou dans des batteries de tests destinées à l'étude des sols. En parallèle, les scientifiques du Centre Ecotox continueront de pratiquer des tests de reproduction avec les collemboles étant donné que ces organismes sont sensibles à d'autres types de polluants que les lombrics. Il n'existe malheureusement pas d'essai biologique ou d'organisme qui présente la même sensibilité à toutes les substances. Il reste donc indispensable de choisir, en fonction des situations, le ou les tests qui conviennent le mieux à la problématique étudiée.

Contacts:

Sophie Campiche, sophie.campiche@centreecotox.ch

Emilie Grand, emilie.grand@centreecotox.ch

Les brèves du Centre Ecotox



Participation du Centre Ecotox à la définition de valeurs seuils européennes pour de nouvelles substances prioritaires

La Commission européenne propose d'ajouter 15 composés à la liste des 33 substances prioritaires devant déjà faire l'objet d'une surveillance dans les eaux de surface de l'Union européenne conformément aux dispositions de la directive cadre européenne sur l'eau. Pour la première fois, la présence de résidus médicamenteux dans l'environnement – le 17- α -éthinyloestradiol et le 17- β -œstradiol utilisés dans la pilule contraceptive et le diclofénac, principe actif du Voltarène – sera réglementée. Les autres substances concernées sont des produits phytosanitaires (l'aclonifène, le bifénox, la cyperméthrine, le dicofol, l'heptachlore et le quinoxifène), des biocides (la cybutryne = Irgarol, le dichlorvos et la terbutryne), des produits chimiques à usage industriel (l'acide perfluorooctanoïque (APFO) et l'hexabromocyclododécane (HBCDD)) et des sous-produits de combustion (dioxines et PCB «dioxin-like»).

Les rejets de ces substances devront désormais être contrôlés de façon à ce que leurs teneurs dans le milieu naturel ne dépassent une valeur limite, appelée norme de qualité environnementale dans l'UE, définie selon des critères écotoxicologiques. Le Centre Ecotox a participé à la détermination de tels seuils pour quatre des nouvelles substances prioritaires de l'Union européenne dans le cadre de son implication scientifique au sein du Working Group E, le groupe de travail chargé des aspects chimiques dans la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau. Le Centre Ecotox a maintenant déjà émis des propositions de critères de qualité environnementale pour un grand nombre de substances: la liste complète est actualisée en permanence et peut être consultée sur notre site.

http://ec.europa.eu/environment/water/water-dangersub/pdf/com_2011_876.pdf

www.centreecotox.ch/qualitaetskriterien/index_FR



Une nouvelle spécialiste en écotoxicologie des sédiments au Centre Ecotox

Le 1^{er} janvier 2012, Carmen Casado-Martinez est venue rejoindre les rangs du Centre Ecotox à Lausanne en tant que responsable de l'équipe d'écotoxicologie des sédiments. Quasi simultanément, Rebecca Flück a de son côté mis un terme à ses activités au sein de cette même équipe pour commencer une thèse de doctorat en écotoxicogénomique à l'Institut F.-A. Forel de Genève. Nous lui souhaitons beaucoup de succès! Carmen Casado-Martinez a déjà travaillé à l'élaboration d'un système d'évaluation de la qualité des sédiments dans le cadre de sa thèse à l'université de Cadix en Espagne. Après plusieurs années passées dans la recherche au Natural History Museum de Londres et à l'université de Tromsø, en Norvège, elle se réjouit de mettre son expérience au service du Centre Ecotox.

C'est l'interdisciplinarité qui attiré la biologiste marine dans l'écotoxicologie, la combinaison de la biologie, de la chimie, de la toxicologie et de l'écologie et l'alliance du terrain et du laboratoire. «J'apprécie beaucoup le côté très appliqué de mon nouveau travail», explique Carmen Casado-Martinez. Spécialiste confirmée en écotoxicologie des sédiments, elle s'intéresse tout particulièrement à la mise au point et à la standardisation de méthodes d'évaluation adaptées à ce compartiment. Elle s'est ainsi déjà attelée à l'évaluation des tests d'écotoxicité, à la définition de normes pour la prévision de la toxicité des sédiments et à l'initiation d'études de la biodisponibilité des polluants dans ce compartiment.



Collaboration avec le Centre de toxicologie humaine appliquée SCAHT

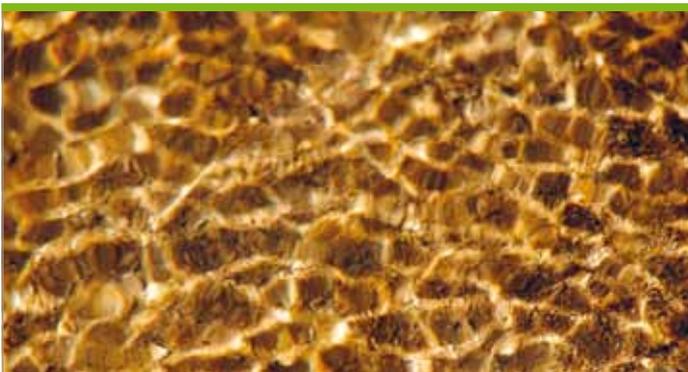
L'homme et l'environnement sont indissociables, cela ne fait aucun doute. Pour obtenir une vision globale de l'impact des polluants sur l'homme et le milieu naturel, le Centre Ecotox et son équivalent en toxicologie humaine, le SCAHT, ont décidé de travailler la main dans la main. Pour la conférence Eurotox qui se tiendra en 2013 à Interlaken, les deux centres organisent ensemble une session intitulée «Integration of human and environmental risk assessment – is it the future?». D'autre part, le Centre Ecotox intervient régulièrement dans le «Master of Advanced Studies in Toxicology» dispensé par le SCAHT avec l'Ecole de pharmacie Genève-Lausanne et l'université de Genève tandis que le centre de toxicologie humaine s'implique dans les cours de formation continue que propose le Centre Ecotox. En siégeant chacun dans l'équipe de direction de l'institution partenaire et en entretenant de nombreux échanges scientifiques, les deux centres veillent à une approche globale des questions de toxicité humaine et environnementale.



Une bonne note pour l'intervention du Centre Ecotox dans le MAS en toxicologie

En janvier dernier, le Centre Ecotox a apporté sa première contribution à l'enseignement du nouveau Master of Advanced Studies en toxicologie proposé par l'Ecole de pharmacie Genève-Lausanne avec l'université de Genève et le Centre de toxicologie humaine (SCAHT) en se chargeant du module d'écotoxicologie en partenariat avec l'université de Lausanne. Le module a été très bien accueilli par les étudiants dont 92 % se sont déclarés très satisfaits de l'enseignement. Ils ont tout particulièrement apprécié l'amalgame réussi de la théorie et de la pratique et la démarche interactive entre enseignants et étudiants. La deuxième édition de ce cursus à temps partiel démarrera en septembre 2012.

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



Nouveau rapport sur l'évaluation de la qualité des sédiments

Avec la complicité des services cantonaux et de nombreux chercheurs et laboratoires privés, le Centre Ecotox a compilé et évalué les méthodes et connaissances actuellement disponibles en Suisse sur l'évaluation des sédiments. Cet état des lieux fait l'objet d'un nouveau rapport qui dévoile les lacunes existantes et propose une marche à suivre pour le proche avenir. Cette démarche constitue une première étape dans l'élaboration d'un système intégral d'évaluation appliqué aux sédiments. Ces derniers constituent en effet à la fois un habitat précieux pour de nombreuses espèces animales et un réservoir et source secondaire de contamination à long terme. Il est donc primordial de se doter de méthodes permettant d'en déterminer la toxicité avec fiabilité.

www.centreecotox.ch/dokumentation/berichte/index_FR

Contacts:

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

Sophie Campiche, sophie.campiche@centreecotox.ch



Nouveau cours de formation continue sur les biotests

En plus des tests écotoxicologiques standards, il existe une multitude de tests pouvant être utilisés pour l'étude des écosystèmes aquatiques et terrestres. Dans un cours de formation continue qui se tiendra les 3 et 4 octobre 2012 à Dübendorf, le Centre Ecotox proposera un tour d'horizon des méthodes disponibles, dont certaines seront présentées dans le détail par le biais d'expérimentations pratiques. Le cours exposera les domaines d'application et les performances des différents tests et indiquera les possibilités de combinaison envisageables en fonction des problématiques abordées.

www.centreecotox.ch/weiterbildung/2012/index_FR

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 abeilles victimes des pesticides même à faible dose?

Le déclin énigmatique des abeilles est un sujet croissant d'inquiétude. Deux nouvelles études suggèrent que les insecticides régulièrement employés dans le domaine agricole pourraient agir indirectement sur différentes espèces d'abeilles et ainsi contribuer à la disparition des colonies. Il semblerait ainsi qu'après avoir été en contact avec le néonicotinoïde imidaclopride, les abeilles mellifères aient des difficultés à retrouver la ruche et que les colonies de bourdons aient plus de difficultés à se développer et à produire des reines. L'Autorité européenne de sécurité alimentaire (EFSA) travaille actuellement à l'élaboration de nouvelles directives pour l'évaluation du danger des produits phytosanitaires pour les abeilles.

Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, A., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S., Decourtye, A. (2012) A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336, 348-350
Whitehorn, P.R., O'Connor, S., Wackers, F.L., Goulson, D. (2012) Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* 336, 351-352

Evaluation des risques liés aux produits phytosanitaires

Etant donné la régularité avec laquelle des produits phytosanitaires sont rejetés dans le milieu aquatique, il est impératif de mettre en place des dispositifs afin de protéger les organismes aquatiques d'expositions excessives. En Suisse et dans l'Union européenne, l'évaluation du risque écotoxicologique de ces substances s'inscrit dans le double cadre réglementaire des procédures d'autorisation de mise sur le marché d'un côté et, respectivement, de la loi sur la protection des eaux (CH) et de la directive cadre sur l'eau (UE) de l'autre. Ces différentes réglementations peuvent cependant différer dans leurs objectifs de protection et leurs choix méthodologiques et, de ce fait, varier dans les valeurs limites qu'elles préconisent. Une étude venue des Pays-Bas a cherché à concilier les deux approches d'évaluation du risque et propose d'appliquer de façon générale les seuils des procédures d'autorisation dans les canaux de drainage et ceux de la directive européenne dans les milieux de plus grande importance.

Brock, T.C.M., Arts, G.H.P., ten Hulscher, T.E.M., de Jong, F.M.W., Luttik, R., Roex, E.W.M., Smit, C.E., van Vliet, P.J.M. (2011) Aquatic effect assessment for plant protection products; Dutch proposal that addresses the requirements of the Plant Product Regulation and Water Framework Directive. Wageningen, Alterra, Alterra Report 2235.

Des anti-androgènes dans les effluents d'épuration

Les substances à activité œstrogénique sont tenues pour responsables de la féminisation des poissons observée dans les cours d'eau en aval des stations d'épuration. Mais les effluents d'épuration

peuvent également contenir des composés anti-androgéniques qui sont eux aussi capables de provoquer ce phénomène en bloquant la testostérone des organismes exposés. Une équipe de chercheurs a identifié 14 anti-androgènes dans les eaux épurées et montré que ces composés étaient effectivement absorbés par les poissons. Parmi eux, deux antiseptiques couramment utilisés dans les savons, le chlorophène et le triclosane.

Rostkowski, P., Horwood, J., Shears, J.A., Lange, A., Oladapo, F.O., Besselink, H.T., Tyler, C.R., Hill, E.M. (2011) Bioassay-directed identification of novel antiandrogenic compounds in bile of fish exposed to wastewater effluents. *Environ. Sci. Technol.* 45, 10660-10667.

Des effets inattendus à faible concentration

En temps normal, l'effet des substances présentes à faible concentration peut être déduit de leurs effets à forte dose – c'est l'un des grands principes de l'évaluation des risques. Dans un article de revue très documenté, une équipe de scientifiques montre que cette technique n'est pas applicable dans le cas de dizaines de perturbateurs endocriniens en raison, généralement, d'une non-linéarité de la courbe dose-réponse. D'après les conclusions de l'étude, les principes sur lesquels reposent l'évaluation des substances chimiques et la définition des seuils doivent être réexaminés pour garantir la protection de la santé humaine et animale.

Vandenberg, L.N., Colborn, T., Hayes, T.B., Heindel, J.J., Jacobs, D.R., Lee, D.-H., Shioda, T., Soto, A.M., vom Saal, F.S., Welshons, W.V., Zoeller, R.T., Myers, J.P. (2012) Hormones and Endocrine-Disrupting Chemicals: Low-Dose Effects and Nonmonotonic Dose Responses. *Endocrine Reviews*, June 2012, doi:10.1210/er.2011-1050

Nanoparticules d'oxyde de titane – Toxicité pour le phytoplancton sous l'effet du soleil

Crèmes solaires, peintures pour façades, vêtements de sport: de plus en plus de produits contiennent des nanoparticules de dioxyde de titane qui sont donc de plus en plus nombreuses à gagner le milieu naturel. Des chercheurs viennent maintenant de découvrir que ces nanoparticules développaient une action toxique pour le phytoplancton marin sous l'effet du rayonnement solaire. En présence de rayons UV, elles produisent en effet des composés oxygénés hautement réactifs qui s'attaquent à la paroi cellulaire des organismes planctoniques. Cette activation par le soleil concerne de nombreux nanomatériaux. La toxicité en conditions d'ensoleillement doit donc être prise en compte dans l'évaluation des risques.

Miller, R.J., Bennett, S., Keller, A.A., Pease, S., Lenihan, H.S. (2012) TiO₂ Nanoparticles are phytotoxic to marine phytoplankton. *PLoS ONE* (1): e30321. Doi:10.1371/journal.pone.0030321

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.centrecotox.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: Oekotoxzentrum, Andreas Schönborn (p.4,5), Bernhard Stettler (p. 6)

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@centrecotox.ch