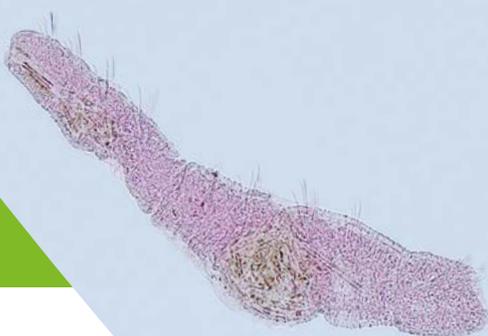




centre ecotox news

13. édition novembre 2016

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée | Eawag-EPFL



Les oligochètes indicateurs de la qualité des sédiments _____	3
Des bioessais pour évaluer l'ozonation et le post-traitement des eaux usées ____	6
Évaluation écotoxicologique des produits de transformation des médicaments ____	8
Néonicotinoïdes : un danger pour la faune édaphique ? _____	9
Les brèves du Centre Ecotox _____	10
L'écotoxicologie dans le monde _____	12

Editorial

En route vers le futur



Dr. Inge Werner,
directrice du Centre Ecotox

C'était il y a 30 ans, presque jour pour jour: le 1^{er} novembre 1986, un incendie se déclarait dans l'usine Sandoz de Schweizerhalle près de Bâle, entraînant une catastrophe écologique sans précédent. En effet, avec l'eau d'extinction, de 10 à 40 tonnes de disulfoton, un insecticide organophosphoré, se déversaient dans le Rhin. Toutes les anguilles périrent sur 400 kilomètres et les invertébrés furent fortement perturbés sur 480 kilomètres en aval de Bâle. Trois mois après l'incendie, ce fut au tour des canards de succomber suite à l'absorption des polluants à travers l'ingestion de coquillages.

Vous vous demandez certainement ce que cet événement a à voir avec notre présent. Eh bien, il a eu pour effet de sensibiliser la population à la pollution de l'environnement par les produits chimiques. L'écotoxicologie s'est imposée en tant que science à part entière et, 10 ans à peine après la catastrophe, les premières filières d'enseignement apparaissaient dans cette discipline. Personnellement, j'ai moi-même été fortement influencée par cet événement. À l'époque, j'étais étudiante en biologie à l'université de Fribourg

en Brisgau et j'avais donc le Rhin à deux pas. Il ne nous serait jamais venu à l'idée d'aller nager dans le Rhin, nous tenions trop à notre santé! De nos jours, la qualité de l'eau du Rhin s'est beaucoup améliorée et beaucoup de Bâlois ne pourraient imaginer un été sans baignade dans ce fleuve. Vous voyez donc que tout ne change pas en mal!

L'écotoxicologie a, elle aussi, beaucoup évolué. À ses débuts, elle se concentrait sur la mise au point de tests de toxicité sur des espèces isolées comme les vers de terre, les algues vertes, les daphnies ou les poissons. Elle s'est ensuite tournée vers les effets des produits chimiques sur les communautés d'espèces qui étaient étudiées dans des mésocosmes. Aujourd'hui, nous travaillons sur les effets sublétaux et l'action toxique des mélanges de composés et des stress multiples. Nous nous rapprochons donc de plus en plus des conditions qui règnent dans les environnements complexes. Mais pour pouvoir évaluer l'impact des produits chimiques sur les écosystèmes avant même leur mise sur le marché ou pour être capables d'identifier les substances responsables d'une perturbation dans le cadre d'un monitoring, nous nous devons en premier lieu de bien connaître le système en soi. Ceci implique de connaître la sensibilité aux polluants des espèces les plus sensibles mais aussi l'impact des polluants sur les interactions inter et intraspécifiques. Pour cela, écotoxicologues, chimistes et écologues doivent travailler main dans la main.

Aujourd'hui, les tests écotoxicologiques ont des applications très pratiques et ils accompagnent par exemple l'installation de traite-

ments avancés dans les stations d'épuration (page 6). Dans ce numéro du Centre Ecotox News, nous allons un peu plus loin et nous vous montrons comment de nouvelles technologies (barcoding génétique) peuvent être utilisées pour caractériser les communautés biotiques afin d'évaluer la qualité de l'eau (page 3). Ces méthodes vont faciliter le travail de détermination dans les groupes taxonomiques qui, comme les oligochètes, comprennent des espèces non identifiables ou, lorsqu'elles le sont, uniquement au microscope et par des spécialistes. Mais il reste encore du chemin à parcourir jusqu'au jour où les ordinateurs cracheront en un rien de temps la liste des espèces présentes dans un échantillon de sédiment à analyser.

Au Centre Ecotox, nous travaillons d'arrachepied au développement de méthodes qui permettent d'améliorer l'évaluation de l'impact des polluants sur l'environnement. Bien que beaucoup de méthodes mises au point à la suite de la catastrophe de Sandoz soient encore utilisées aujourd'hui, de nouvelles technologies offrent des perspectives que nous n'aurions pu imaginer à l'époque. Qui sait? Peut-être pourrions-nous, dans trente ans, déterminer le potentiel écotoxicologique des produits chimiques en appuyant sur un bouton ou identifier les toxiques présents dans un cours d'eau à partir de quelques cellules d'organismes aquatiques prélevés dans le milieu.

Bien cordialement,



Les oligochètes indicateurs de la qualité des sédiments

Les oligochètes aquatiques se prêtent bien à l'évaluation biologique de la qualité des sédiments mais les difficultés de détermination des espèces font obstacle à leur utilisation en routine en tant qu'indicateurs. Une approche basée sur les codes-barres génétiques pourrait faciliter cette détermination et promouvoir l'essor de la méthode.

Les sédiments représentent une composante essentielle des milieux aquatiques de surface. Toutefois, s'ils jouent un rôle écologique majeur, ils peuvent également stocker les polluants. C'est la raison pour laquelle de nombreux cantons surveillent leur qualité, le plus souvent par le biais d'analyses chimiques. Jusqu'à présent, les approches biologiques n'interviennent que de façon accessoire alors qu'elles sont particulièrement bien adaptées à l'évaluation de la qualité des sédiments et des effets des polluants qu'ils renferment sur les organismes aquatiques. Le canton de Genève utilise ainsi depuis plusieurs années l'indice oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS) qui se base sur la composition en espèces de la communauté d'oligochètes et sur le nombre de leurs représentants. Cette communauté comprend des espèces allant de très sensibles à très résistantes à la pollution de type chimique et sa composition varie en fonction du degré de cette pollution dans les sé-

diments. La diversité spécifique et le nombre d'individus de chaque espèce permettent ainsi d'évaluer la qualité du sédiment, de la même manière que les autres indices biotiques connus (voir encadré). Grâce à l'IOBS, le Service de l'écologie de l'eau du canton de Genève a pu déterminer des seuils de toxicité pour les métaux lourds dans les sédiments.

Difficultés de détermination des espèces

La détermination des espèces d'oligochètes au microscope requiert un haut niveau d'expertise. De plus, un grand nombre d'espèces ne peuvent être identifiées qu'à l'état mature et les individus juvéniles peuvent représenter jusqu'à 80 % des spécimens d'un échantillon. Par ailleurs, l'identification de nombreuses espèces exige une dissection des vers qui, pour des raisons de temps, s'avère incompatible avec les analyses de routine. Il existe d'autre part des espèces cryptiques indéterminables sur la base des

critères morphologiques. Toutes ces raisons font que, jusqu'à présent, les oligochètes n'ont pas été utilisés à grande échelle pour la bioindication de la qualité des sédiments. Ils y seraient pourtant prédestinés puisqu'ils sont largement répandus et qu'ils présentent aussi bien des espèces sensibles que des espèces résistantes aux polluants.

Codes-barres génétiques: une nouvelle façon de déterminer les espèces

Pour faciliter l'étape des déterminations, une solution consiste à utiliser de courtes séquences d'ADN, les codes-barres génétiques, pour identifier les espèces. Certains gènes ou régions de l'ADN sont spécifiques et différent d'une espèce à l'autre. Les spécimens sont alors identifiés en comparant ces séquences d'ADN avec les séquences d'une base de données de référence. L'identification au moyen de codes-barres génétiques permet ainsi d'identifier toutes les espèces présentes dans un échantillon donné.

Indices biologiques

Les indices biologiques sont basés sur le principe que la composition des communautés biologiques varie en fonction du degré de pollution du milieu aquatique. Alors que certaines espèces sont résistantes aux polluants, d'autres ne peuvent se développer que dans les eaux peu ou non polluées, même si leur domaine de tolérance est très variable. L'examen de la présence et de l'abondance des espèces permet de déterminer la qualité de l'eau

ou des sédiments. Des indices tenant compte de la présence et de l'abondance des espèces sont calculés pour déterminer le degré de pollution du site étudié. Les principaux indices biologiques utilisés sont l'indice macro-invertébrés (IBCH), l'indice SPEAR, l'indice macrophytes (IBMR), l'indice diatomées (IBD) et l'indice oligochètes (IOBS).

Les oligochètes

Les oligochètes sont des vers annélides. Ils sont fréquents et abondants dans les sédiments des lacs et des cours d'eau. Ils comptent de nombreuses espèces présentant une sensibilité très variable aux polluants et sont, de ce fait, utilisés dans de nombreux pays en tant que bioindicateurs de la qualité écologique des lacs et cours d'eau.

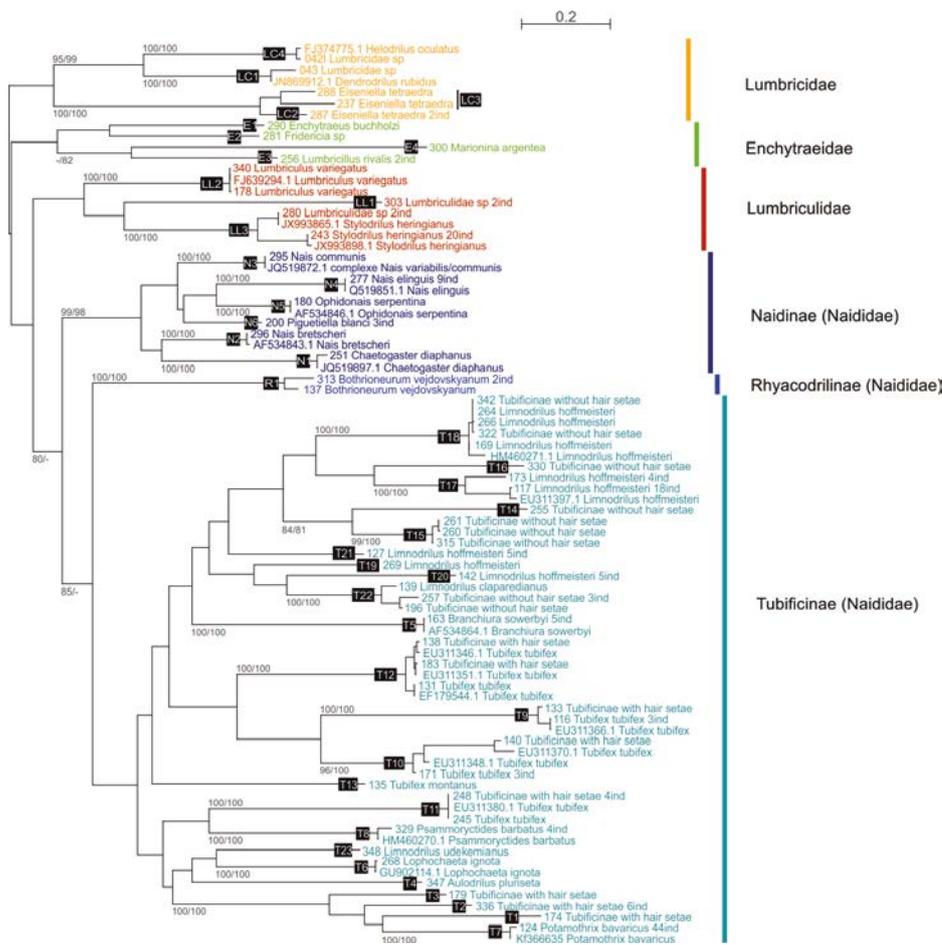


Fig. 1: Arbre phylogénétique des séquences COI des oligochètes aquatiques réalisé sur la base de l'analyse de spécimens récoltés en Suisse.

Toutes les régions de l'ADN ne se prêtent pas pareillement à cet exercice taxonomique. Pour les animaux, la séquence la plus utilisée est un segment d'environ 650 paires de bases du gène mitochondrial de la cytochrome c oxydase (COI). L'ADN mitochondrial présente un fort taux de mutations, de sorte que des différences apparaissent entre les populations et en leur sein en l'espace de très peu de temps, c'est-à-dire de « seulement » quelques milliers de générations. Étant donné, d'autre part, que l'ADN mitochondrial ne se transmet que par les gamètes femelles, les nouveaux mutants forment plus rapidement des espèces et la variation entre les séquences d'ADN d'une même espèce est relativement faible.

Vers le développement d'indices oligochètes génétiques

Le Centre Ecotox travaille actuellement sur le développement de nouveaux indices oligochètes basés sur une détermination des espèces à l'aide de codes-barres génétiques. « Notre objectif est d'obtenir un outil qui permette une évaluation de routine de la qualité biologique des écosystèmes aquatiques » explique Régis Vivien du Centre Ecotox. Le projet est réalisé en partenariat avec le département de Génétique et Évolution de l'université de Genève. Dans un premier temps, Régis Vivien et ses partenaires ont séquencé le segment COI de nombreux oligochètes aquatiques collectés en Suisse et initié une base de données de référence (Fig. 1). Cette dernière a par la suite été complétée. Jusqu'à présent, 68 lignées ont pu être identifiées avec, parmi elles, de nombreuses nouvelles espèces non déter-



minables sur la base de critères morphologiques.

La méthode de séquençage des code-barres génétiques par individu ne pourrait être applicable en routine que si le nombre de spécimens identifiés par site est restreint (25 – 50 individus au lieu de 100). Les nouvelles méthodes de séquençage à haut débit permettent de séquencer simultanément les spécimens d'un grand nombre d'échantillons et ont donc été proposés pour l'évaluation de la qualité biologique des sédiments en routine. Le séquençage à haut débit peut être appliqué soit à partir d'échantillons composés d'un mélange de spécimens, soit directement à partir d'échantillons de sédiment.

Essai d'application du séquençage à haut débit sur des communautés d'oligochètes

Régis Vivien a séquencé le segment COI de l'ADN extrait de six échantillons composés de spécimens d'oligochètes par séquençage à haut débit. En parallèle, il a séquencé individuellement le segment COI des spécimens composant ces échantillons. La comparaison des séquences obtenues à celles de la base de données de référence a permis d'attribuer un nom d'espèce aux séquences. La quasi-totalité des espèces d'oligochètes présentes dans les échantillons ont été retrouvées par séquençage à haut débit. Il s'est cependant avéré difficile d'exploiter les résultats sur le plan quantitatif, autrement dit de savoir combien d'individus d'une même espèce étaient présents. Régis Vivien a toutefois pu améliorer l'estimation des abondances des espèces en appliquant des facteurs de

correction à certaines espèces dont l'abondance était fortement sur ou sous-estimée dans tous les échantillons dans lesquels elles étaient présentes. Une étude sur la comparaison entre l'approche morphologique et celle du séquençage à haut débit a également été menée. Les sédiments de 10 sites ont été tamisés et 100 spécimens par site ont été triés pour chaque approche. Le séquençage à haut débit a été effectué sur ces 10 mélanges de spécimens. L'indice IOBS a été appliqué sur les données des deux approches. Les diagnostics écologiques établis sur la base de ces deux types de données se sont avérés globalement proches.

Les résultats obtenus laissent entrevoir des possibilités d'utilisation d'outils génétiques pour l'analyse de routine basés sur le séquençage par individu et sur le séquençage à haut débit. « Notre objectif est de proposer, avec les indices oligochètes génétiques, une alternative aux indices classiques pour les programmes de biosurveillance des lacs et cours d'eau en Suisse », indiquent Régis Vivien et Benoît Ferrari.

Contact :

Régis Vivien, regis.vivien@centreecotox.ch ;

Benoît Ferrari, benoit.ferrari@centreecotox.ch

Références bibliographiques

Vivien, R., Lejzerowicz, F., Pawlowski, J. (2016) Next-Generation Sequencing of Aquatic Oligochaetes: Comparison of Experimental Communities. *PLoS ONE* 11(2): e0148644

Vivien, R., Lafont, M., Ferrari, B.J.D. (2015) Utilisation des communautés d'oligochètes pour l'évaluation de la qualité biologique et du fonctionnement des cours d'eau: un bilan à partir de données genevoises (Suisse). *Archives des sciences* 68: 105–116

Vivien, R., Wyler, S., Lafont, M., Pawlowski, J. (2015) Molecular Barcoding of Aquatic Oligochaetes. Implications for Biomonitoring. *PLoS ONE* 10 (4) e0125485



Des bioessais pour évaluer l'ozonation et le post-traitement des eaux usées

L'ozonation est un procédé reconnu pour l'élimination des micropolluants contenus dans les eaux usées. Cependant, étant donné qu'elle s'accompagne de la formation de sous-produits d'oxydation labiles et toxiques, elle doit être suivie d'un traitement biologique. Le Centre Ecotox a comparé avec l'aide de bioessais la capacité de réduire les effets écotoxicologiques de l'effluent après différents post-traitements couplés à l'ozonation.

De nombreux micropolluants, issus notamment des cosmétiques et médicaments, se déversent dans les lacs et rivières avec les eaux usées. La nouvelle loi sur la protection des eaux entrée en vigueur début 2016 prévoit donc d'équiper certaines stations d'épuration suisses (STEP) cibles d'une étape de traitement supplémentaire. Au terme d'essais pilotes, deux procédés se sont avérés particulièrement performants dans l'élimination des micropolluants : l'ozonation et le traitement au charbon actif. Mais même avec les effluents se prêtant à une ozonation, ce procédé peut donner lieu à des sous-produits d'oxydation labiles potentiellement toxiques. Pour les éliminer, un traitement biologique doit être effectué avant tout rejet dans le milieu naturel. Différentes techniques sont envisageables. Pour évaluer leurs efficacités, le Centre Ecotox et l'Eawag ont comparé différents traitements post ozonation à la STEP de Neugut. Le projet a été financé par l'Office fédéral de l'environnement.

Une batterie de tests complexe

Il a déjà été démontré dans d'autres projets que les bioessais complétaient adéquatement les analyses chimiques pour mesurer la toxicité des effluents d'épuration grâce à leur capacité à appréhender l'effet global des mélanges complexes. Les spécialistes du Centre Ecotox ont donc décidé d'utiliser des bioessais pour savoir si l'ozonation élimine les toxiques et si les post-traitements ont tous la même efficacité pour neutraliser les sous-produits labiles. D'une part, des tests de laboratoire avec des cultures de cellules ou des organismes simples comme les bactéries, les algues ou les daphnies ont été effectués. D'autre part, des truites arc-en-ciel et des vers oligochètes ont été directement étudiés à la STEP dans les bacs à circulation d'eau (cf. tableau). « Dans les tests FELST avec les truites, nous avons examiné, en plus de la survie, de nombreux paramètres d'ordre sublétalement particulièrement sensibles : des paramètres généraux relatifs au développement comme l'éclosion, l'émergence ou la longueur mais aussi l'état des tissus et organes ainsi que l'expression de gènes sensibles aux polluants », explique Cornelia Kienle du Centre Ecotox.

Les essais ont été menés à la STEP de Neugut à Dübendorf qui, en 2014, a été la première de Suisse à être équipée d'un système

d'ozonation à grande échelle. En plus du post-traitement déjà en place dans la STEP, la filtration sur sable, les chercheurs ont étudié un réacteur à lit fluidisé et un réacteur à lit fixe, des systèmes dans lesquels, comme dans le filtre à sable, les polluants sont dégradés par des bactéries vivant dans un biofilm. Ils ont par ailleurs testé des filtres à charbon actif granulaire (GAC) remplis soit avec du GAC non chargé soit avec du GAC déjà utilisé depuis un certain temps et donc déjà chargé en polluants organiques. Dans les filtres à GAC, les micropolluants organiques sont à la fois adsorbés sur le charbon actif et dégradés par le biofilm formé à sa surface. Les scientifiques ont comparé l'action toxique des effluents sur les organismes exposés dans les bioessais à trois stades de l'épuration : à la sortie du traitement biologique (secondaire), en sortie d'ozonation et après le post-traitement.

Confirmation de l'action positive de l'ozonation

Les tests de laboratoire ont montré que l'ozonation réduisait efficacement la toxicité des eaux usées. L'effet toxique sur les bactéries bioluminescentes était réduit de 66 % par rapport au traitement biologique. L'inhibition de la photosynthèse des algues vertes était amoindrie de 80 % et celle de leur croissance de 73 %. À la STEP, la reproduction des oligochètes n'était pas significativement affectée par aucun des échantillons d'eaux usées testés. De même, le développement des truites arc-en-ciel aux stades les plus précoces de leur vie ne variait pas significativement d'un échantillon à l'autre.

La toxicité résiduelle de l'effluent après ozonation était extrêmement faible. Le traitement par l'ozone a donc significativement amélioré la qualité de l'eau. Seul un certain effet mutagène a pu être mesuré ponctuellement. Il a été efficacement amoindri voire éliminé par les différents post-traitements. La toxicité résiduelle faible encore présente après l'ozonation a rendu l'évaluation de l'efficacité des post-traitements particulièrement difficile. Les résultats relatifs au filtre à sable, au lit fluidisé et au lit fixe n'étaient pas cohérents et ne permettaient pas d'en tirer des conclusions. Après le passage dans le filtre à GAC non chargé, l'effet mesuré dans le tests de bioluminescence bactérienne était encore réduit de 31 % et l'inhibition de la photosynthèse de 66 %. Cette réduction de la toxicité est probablement due à une élimination supplémentaire de micropolluants.



Le filtre à GAC déjà partiellement chargé avait lui aussi un léger effet positif sur la qualité de l'eau.

De nouvelles méthodes très sensibles

Un examen histologique des truites arc-en-ciel effectué par Christina Thiemann à l'université de Tübingen montre qu'après l'ozonation, les tissus hépatiques des sujets exposés aux eaux usées restaient dégradés par rapport à ceux des sujets témoins. Cette différence était beaucoup plus faible qu'avec les effluents passés dans le filtre à GAC non chargé. En revanche, les autres post-traitements n'apportaient pas d'amélioration significative. Stephan Fischer, de l'Eawag, a étudié des biomarqueurs d'expression génique dans ces mêmes truites. Ces biomarqueurs indiquent si les organismes réagissent aux différents groupes de polluants et avec quelle intensité. Ceux étudiés ici étaient impliqués dans des réactions telles que la réponse générale au stress, le stress oxydatif, la transformation des composés allogènes, la régulation du système immunitaire, la régulation endocrinienne et la réaction aux métaux lourds. La plupart des biomarqueurs indiquaient une activité accrue après le traitement biologique secondaire. Une atténuation était observée après l'ozonation et la situation était encore meilleure après les différents post-traitements où les niveaux se rapprochaient des témoins contrôles. Toutefois, les résultats variaient peu d'un post-traitement à l'autre. L'effet le plus prononcé était observé avec le filtre à GAC peu usé et avec lit fixe.

Les bioessais utilisés ont confirmé l'efficacité de l'ozonation de la STEP de Neugut pour réduire la charge en polluants et donc les effets écotoxicologiques. Étant donné que les effluents n'étaient presque plus toxiques après l'ozonation, il a cependant été très difficile de mettre en évidence des différences d'efficacité entre les options de post-traitement. Si l'on résume les résultats des bioessais, il apparaît que seul le filtre à GAC non chargé a apporté une amélioration substantielle à l'élimination de l'ozonation, suite, probablement, à une rétention supplémentaire des micropolluants par adsorption. Avec les autres options, la plupart des méthodes employées n'ont pas permis de mettre en évidence d'amélioration constante. Tous les post-traitements étaient cependant en mesure d'atténuer les quelques effets mutagènes observés, ce qui indique leur capacité à éliminer les sous-produits d'oxydation labiles.

Les rapports sur ce projet seront bientôt disponibles sur www.centreecotox.ch/news-publications/rapports/

Vidéo sur les essais avec les truites : www.centreecotox.ch/media/25546/neugut_fr.mp4

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

Bioessais utilisés

Test	Organisme	Effets démontrables
Tests de laboratoire		
Gentox (p53) CALUX®	Lignée de cellules humaines	Altérations du patrimoine génétique (génétoxicité)
Test de Ames	Bactéries (<i>Salmonella typhimurium</i>)	Modifications héréditaires du patrimoine génétique (mutagenité)
Test d'inhibition de la bioluminescence bactérienne	Bactéries (<i>Aliivibrio fischeri</i>)	Inhibition de la bioluminescence
Test algues combiné	Algue verte (<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>)	Inhibition de la photosynthèse, inhibition de la croissance
Test de toxicité chronique sur la reproduction des daphnies	Daphnie (<i>Ceriodaphnia dubia</i>)	Inhibition de la reproduction, accroissement de la mortalité
Bioessais en STEP		
Test de toxicité sur la reproduction des oligochètes	Ver oligochète (<i>Lumbriculus variegatus</i>)	Inhibition de la reproduction, réduction de la biomasse
Test FELST (Fish early life stage toxicity)	Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Réduction du taux d'éclosion et du taux de survie, malformations, anomalies comportementales, inhibition de la croissance
FELST, histopathologie	Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Anomalies dans les tissus et les organes
FELST, biomarqueurs	Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Expression des gènes impliqués dans les réactions aux polluants



Évaluation écotoxicologique des produits de transformation des médicaments

Si les résidus de médicaments peuvent porter atteinte à la qualité des eaux, leurs métabolites sont tout aussi préoccupants. Toutefois, leur évaluation écotoxicologique est rendue difficile par un manque de données de toxicité. Au Centre Ecotox, une étude de cas a été lancée pour comparer différentes méthodes d'évaluation.

Plus de 8000 médicaments totalisant plus de 3000 substances actives sont aujourd'hui autorisés à la vente en Suisse. Au cours du traitement médical, les patients ne retiennent pas toutes les substances mais en excrètent une partie. N'étant pas totalement éliminées dans les stations d'épuration, un certain nombre finissent par atteindre les lacs et cours d'eau. Cette pollution est préoccupante dans la mesure où les médicaments sont biologiquement actifs et peuvent donc perturber la reproduction et le comportement des organismes aquatiques – avec des conséquences difficilement prévisibles. Mais les médicaments ne sont pas seuls en cause : les produits de transformation ou métabolites des substances actives qui se forment dans l'organisme, dans l'environnement ou dans les stations d'épuration sont souvent eux-mêmes dotés d'une activité biologique. Mais, alors que l'écotoxicité de beaucoup de médicaments a été déterminée ces dernières années, l'évaluation de ces métabolites s'avère difficile en raison d'un manque de données adéquates.

Comment évaluer les produits de transformation ?

Dans un nouveau projet, le Centre Ecotox et l'Eawag comparent différentes méthodes d'évaluation écotoxicologique à partir de trois médicaments fréquemment décelés dans l'environnement et de leurs cinq métabolites : la carbamazépine (antidépresseur et antiépileptique), la clarithromycine (antibiotique) et la metformine (antidiabétique). Dans la mesure du possible, les spécialistes utilisent des données de toxicité obtenues avec les poissons, les invertébrés et les algues pour déterminer les critères de qualité écotoxicologiques ap-

plicables aux écosystèmes aquatiques. « En dessous de ces valeurs, nous estimons, en l'état actuel des connaissances, qu'aucun effet négatif ne devrait apparaître chez les organismes aquatiques suite à une exposition individuelle », explique Robert Kase du Centre Ecotox. Lorsque les données de toxicité ne sont pas disponibles pour un métabolite, il peut être envisagé, à défaut de mieux, d'appliquer le critère de qualité déterminé pour la substance mère au produit de transformation. Une autre solution consiste à estimer le potentiel écotoxicologique du métabolite à l'aide de modèles mathématiques basés sur la structure chimique des composés, comme par exemple le modèle QSAR de Escher et al. [1].

Ces méthodes ont été employées pour déterminer des critères de qualité pour les métabolites visés par l'étude. Les résultats obtenus étaient parfois très divergents. Les deux approches présentent des avantages et des inconvénients. La détermination écotoxicologique des critères de qualité à partir des données relatives à l'effet des substances sur les organismes ne livre de résultats fiables que pour un nombre suffisant de données de toxicité. Si le critère de qualité relatif à la substance mère est utilisé pour le métabolite, il est possible que certaines différences de toxicité ne soient pas prises en compte. De son côté, le modèle QSAR ne nécessite pas de données expérimentales pour le métabolite mais livre des résultats moins fiables dans certains cas, notamment lorsque le produit de transformation est plus toxique que le composé d'origine.

Priorité à l'acquisition de données

Il demeure difficile d'émettre des recomman-

dations concrètes pour la détermination des critères de qualité environnementale relatifs aux produits de transformation dans la mesure où le manque de données rend une comparaison des méthodes relativement hasardeuse. L'étude de cas montre que, pour pouvoir envisager une amélioration de l'évaluation des risques liés aux métabolites, il convient tout d'abord d'acquérir suffisamment de données. Des données de toxicité doivent ainsi être obtenues en priorité pour les produits de transformation les plus probables dans l'environnement. Ces données permettront non seulement d'améliorer l'évaluation écotoxicologique mais formeront également une base de travail qui permettra, par comparaison, d'évaluer la qualité d'autres méthodes utilisables lorsque les données expérimentales sont insuffisantes, comme par exemple l'extrapolation ou la méthode QSAR.

L'étude sera prochainement présentée plus en détail dans Aqua & Gas.

Contacts :

Robert Kase, robert.kase@oekotoxzentrum.ch ;
Kathrin Fenner, kathrin.fenner@eawag.ch

Référence bibliographique

[1] Escher, B. I., Baumgartner, R., Lienert, J., & Fenner, K. (2008). Predicting the ecotoxicological effects of transformation products. In Transformation Products of Synthetic Chemicals in the Environment (pp. 205–244). Springer Berlin Heidelberg.



Néonicotinoïdes : un danger pour la faune édaphique ?

La présence de deux néonicotinoïdes, l'imidaclopride et la clothianidine, a été détectée dans le sol de champs de betteraves sucrières, de blé et de maïs ainsi que dans celui de surfaces de compensation écologique. La toxicité de ces composés pour les collemboles a été évaluée et il s'est avéré qu'aux concentrations mesurées, ils présentaient un risque potentiel pour ces arthropodes non-cibles.

Les néonicotinoïdes sont les insecticides les plus souvent employés dans le monde. Les agriculteurs les apprécient particulièrement pour leur action systémique : ils sont absorbés par les racines et transportés dans les feuilles, de sorte qu'ils protègent l'ensemble de la plante cultivée des insectes piqueurs-suceurs et des insectes broyeurs. Toutefois, les substances actives ne font pas la distinction entre les auxiliaires et les ravageurs. Les néonicotinoïdes ont ainsi défrayé la chronique en raison de leur toxicité pour les abeilles dont ils sont soupçonnés d'être en partie responsable de l'effondrement des colonies. Ils sont principalement employés en enrobage des semences et plus de 80 % des néonicotinoïdes utilisés de cette façon pénètrent dans le sol. Ces substances sont donc potentiellement dangereuses pour les organismes édaphiques non cibles, comme les collemboles, qui jouent un rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques et la fertilité des sols. Gilda Dell'Ambrogio, une étudiante en master de « Biogéosciences » des universités de Lausanne et de Neuchâtel, a recherché au Centre Ecotox quels étaient les effets des néonicotinoïdes sur les collemboles de l'espèce *Folsomia fimetaria*.

Un mélange de néonicotinoïdes testé sur les collemboles

Dans un premier temps, Gilda Dell'Ambrogio a étudié les effets des néonicotinoïdes sur la mortalité et la reproduction des collemboles. Pour ce faire, elle a ajouté à un sol agricole de référence des concentrations connues de deux des néonicotinoïdes les plus employés et potentiellement les plus dangereux de Suisse, l'imidaclopride et la clothianidine, en

les appliquant séparément ou en mélange. Les deux composés présentaient des toxicités équivalentes : la CE10, c'est-à-dire la concentration provoquant 10 % de l'effet maximal sur la reproduction des collemboles, était de 0,109 mg/kg de sol pour l'imidaclopride et de 0,115 mg/kg de sol pour la clothianidine ; de son côté, la CL10, c'est-à-dire la concentration provoquant la mort de 10 % des organismes exposés était de 0,134 mg/kg pour l'imidaclopride et de 0,139 mg/kg pour la clothianidine. En mélange, les substances ont montrés un mode d'action similaire, de sorte que l'effet du cocktail était assez bien décrit par le modèle d'additivité des concentrations.

Gilda Dell'Ambrogio a ensuite testé la toxicité d'échantillons de sol prélevés dans différents types de cultures agricoles de Romandie et de Suisse alémanique, pour un total de 11 champs, à savoir de betterave sucrière, de blé et de maïs. Les prélèvements ont été effectués en juin juste après les semis aussi bien dans les champs et leurs bordures que dans les surfaces de compensation écologique. Tous les échantillons ont également été analysés pour déterminer les concentrations de néonicotinoïdes dans le sol.

Un risque potentiel pour les organismes non-cibles du sol

La présence de clothianidine et d'imidaclopride a été mise en évidence aussi bien dans les échantillons de sol prélevés en plein champs que dans ceux provenant des bordures ou des surfaces de compensation écologique. C'est d'autant plus troublant que, depuis le moratoire sur les néonicotinoïdes

de 2013, l'utilisation de la clothianidine et d'imidaclopride est interdite dans les champs de maïs et que l'emploi de clothianidine est limité à la période de juillet à décembre pour les champs de blé (traitement des semences). De plus, les surfaces de compensation écologique existaient depuis au moins deux ans. Il est donc probable que ces composés soient persistants dans le sol et/ou qu'ils se dispersent en dehors des champs lors de leur application. Les échantillons prélevés sur le terrain ne présentaient aucune toxicité pour la reproduction ou la survie des collemboles. Les concentrations de néonicotinoïdes mesurées dans ces échantillons n'étaient cependant que 5 à 8 fois plus faibles que les concentrations d'effet déterminées au laboratoire pour les substances appliquées individuellement. Selon une première évaluation du risque, les teneurs de néonicotinoïdes mesurées sur le terrain présentent un danger potentiel pour la reproduction et la survie des collemboles. C'est particulièrement le cas lors de la présence concomitante de plusieurs d'entre eux.

Contact :

Sophie Campiche,
sophie.campiche@centreecotox.ch

Les brèves du Centre Ecotox



Cours de formation continue 2017

Les 29 et 30 mars 2017, le Centre Ecotox proposera à nouveau son cours **d'Introduction à l'écotoxicologie**, cette fois-ci en français à Lausanne. L'impact des polluants sur les écosystèmes aquatiques et terrestres sera abordé et illustré grâce à la présentation de systèmes de tests permettant de le mesurer. D'autre part, le cours donnera un aperçu sur l'origine, le comportement et le devenir des polluants. Il se penchera aussi sur l'évaluation du risque et les aspects législatifs correspondants. D'un point de vue pratique, une visite du laboratoire d'écotoxicologie sera organisée et comprendra la présentation de quelques tests et organismes spécifiques au sol et au sédiment.

Les 24 et 25 octobre 2017, le Centre proposera le cours **Multiple Stressoren – Wirkung von Chemikalien und Umweltfaktoren auf Organismen und Ökosysteme** en allemand à Dübendorf. Dans l'environnement, les organismes sont exposés non seulement aux produits chimiques mais aussi, simultanément, à plusieurs autres stress liés à des facteurs qui peuvent être biotiques, comme la disponibilité en nourriture, la concurrence ou la prédation, ou abiotiques, comme la température, la teneur en oxygène ou le pH. Ce cours de deux jours donnera un aperçu des effets des facteurs de stress multiples sur les organismes et les écosystèmes. En plus des bases et des dernières découvertes scientifiques en termes d'expériences de laboratoire et d'études de monitoring, les approches pour l'évaluation écotoxicologique des facteurs de stress multiples pour une application réglementaire seront présentées.

Nous serions très heureux de vous accueillir à l'un de ces cours !

Plus d'information sur notre site web :
www.centreecotox.ch/prestations-expert/formation-continue



Les œstrogènes d'origine agricole

La détection récurrente de perturbateurs endocriniens dans le milieu aquatique est un sujet de préoccupation planétaire. Cette pollution de type hormonal a plusieurs sources dont l'une a été peu étudiée jusqu'à présent alors qu'elle pourrait jouer un rôle important : l'agriculture et en particulier l'élevage. Les animaux de rente sont des mammifères qui, comme les êtres humains, produisent naturellement des œstrogènes dans leur métabolisme hormonal. Mais contrairement aux humains, les vaches laitières sont maintenues quasiment constamment en gestation pour obtenir des rendements élevés constants. Or les vaches en gestation ont un taux d'œstrogènes particulièrement élevé dans le sang et en émettent donc beaucoup plus que les humains dans leurs urines et leurs déjections. Les quelque 1,6 millions de bovins que compte la Suisse émettent ainsi chaque année près de 20 fois plus d'œstrogènes que ses 8 millions d'habitants, soit environ 500 kg/an. Presque toutes les urines et déjections des animaux se retrouvent dans l'environnement, qu'elles soient épandues sous forme de purin ou de fumier pour amender les champs et boucler les cycles de nutriments ou qu'elles soient directement déposées dans les prés par le bétail. Dans un projet commun de l'Agroscope et du Centre Ecotox, des chercheurs étudient l'émission et la distribution des œstrogènes naturels d'origine agricole. Financé par l'Office fédéral de l'environnement, son objectif est de quantifier les charges, les flux et l'importance environnementale de ces hormones.

Contact :

Daniela Rechsteiner, daniela.rechsteiner@agroscope.admin.ch ;

Etienne Vermeirssen, etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch



Les résultats des tests d'écotoxicité influencés par le stockage des sédiments

Dès l'instant où du sédiment est prélevé pour être étudié, une série de modifications s'amorce sans possibilité de retour. Il est généralement recommandé de conserver les échantillons à 4 °C dans l'obscurité du réfrigérateur et de réduire à un minimum la durée de stockage. Ce dernier impératif est cependant difficile à respecter si le nombre d'échantillons à soumettre aux tests de toxicité est important. La solution adoptée est alors souvent la congélation dans l'espoir de stopper ou du moins de ralentir la réaction en chaîne.

Une nouvelle étude du Centre Ecotox montre cependant que cet acte de congélation a une forte influence sur la toxicité du sédiment. Lorsque les tests étaient effectués sur du sédiment frais, 40 % des échantillons provoquaient une mortalité de plus de 20 % chez les ostracodes. Avec du sédiment congelé puis décongelé avant les tests, une telle toxicité n'était plus atteinte qu'avec 5 % des échantillons. La différence était encore plus forte en considérant les effets sur la croissance: alors que 60 % des échantillons non congelés au préalable provoquaient une inhibition de croissance d'au moins 20 % chez les ostracodes, plus aucun n'avait cet effet après congélation. Les causes du phénomène n'ont pas encore été élucidées mais le message est clair: attention aux conditions de stockage des sédiments pour les bioessais!

Contact:

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

Benoît Ferrari, benoit.ferrari@centreecotox.ch



Les métaux dans les sédiments suisses

Le Centre Ecotox vient de publier un nouveau rapport sur les concentrations d'éléments métalliques dans les sédiments suisses. En plus de la distribution statistique et géographique des charges mesurées, il présente une évaluation du potentiel écotoxicologique des métaux sur la base de critères de qualité des sédiments. Le rapport permet une priorisation des métaux en fonction de la fréquence et de l'ampleur du dépassement des valeurs fixées pour les critères de qualité des sédiments et des concentrations naturelles.

Contact:

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

www.centreecotox.ch/news-publications/rapports/



Nouvelle plateforme « Qualité de l'eau » du VSA

L'évaluation de la qualité des eaux de surface est un véritable défi surtout en ce qui concerne les cocktails de micropolluants qui causent des difficultés dans leur appréhension. Pour faciliter les échanges de connaissances et d'expériences, l'Eawag, l'Office fédéral de l'environnement et le VSA (l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux) ont mis en place une plateforme consacrée à la qualité de l'eau. Ses activités se concentrent sur la détection de la pollution des eaux par les micropolluants, l'identification des sources d'émission et des causes de pollution chimique ainsi que l'évaluation de l'efficacité de la mise en œuvre de mesure de réduction des émissions. La nouvelle plateforme travaille en relation étroite avec le Centre Ecotox qui est représenté dans son équipe de direction par la personne d'Inge Werner.

Contact:

Irene Wittmer, irene.wittmer@vsa.ch;

Tobias Doppler, tobias.doppler@vsa.ch;

Silwan Daouk, silwan.daouk@vsa.ch

[www.vsa.ch/fachbereiche-cc/gewaesser/
plattform-wasserqualitaet/](http://www.vsa.ch/fachbereiche-cc/gewaesser/plattform-wasserqualitaet/)

Des critères de qualité écotoxicologiques juridiquement contraignants pour la Suisse

La plupart des pays européens utilisent des normes ou critères de qualité environnementale basés sur des valeurs écotoxicologiques pour évaluer la contamination des eaux par les micropolluants. Au-dessous de ces valeurs de concentration, aucun effet néfaste n'est attendu chez les organismes aquatiques. La dernière version de l'Ordonnance sur la protection des eaux, adoptée au début 2016, formule des exigences générales permettant désormais à la Suisse d'inscrire dans la loi des exigences chiffrées pour tous les composés traces organiques. Ces critères sont déterminés selon un procédé uniformisé comprenant des données d'effets sur les organismes aquatiques.

Ces dernières années, le Centre Ecotox a déjà proposé des critères de qualité environnementale pour 83 micropolluants pertinents pour le compartiment aquatique sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Toutes ces valeurs sont disponibles sur notre site internet. Actuellement, le centre réévalue les valeurs proposées pour 62 de ces composés afin de s'assurer qu'elles soient encore d'actualité et, dans le cas contraire, de les mettre à jour. Les valeurs actualisées et contrôlées en externe seront mises en consultation par le DETEC en 2017 et devraient entrer en vigueur vers le milieu de l'année 2018.

Contact:

Marion Junghans, marion.junghans@oekotoxzentrum.ch;

Robert Kase, robert.kase@oekotoxzentrum.ch

L'écotoxicologie dans le monde

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

Qualité biologique insuffisante des cours d'eau

Les résultats de la campagne 2011-2014 de l'Observation nationale de la qualité des eaux de surface ont été présentés en juillet 2016 par l'Office fédéral de l'environnement. Grâce aux stations d'épuration, la qualité chimique de l'eau s'est nettement améliorée au cours des 30 dernières années. Les teneurs en phosphates et en nitrates, notamment, ont fortement reculé. En revanche, la problématique issue des micropolluants assombrit le tableau. Effectivement, ils pourraient être en partie responsable d'une perte notable de la biodiversité. Selon les relevés, la composition et la densité des communautés d'invertébrés et de plantes aquatiques sont affectées sur au moins 30 % des sites étudiés. Le bilan est encore plus négatif au sujet des poissons car la qualité biologique des cours d'eau n'a été jugée de bonne à très bonne que dans un tiers des cas.

www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01860/index.html?lang=fr

Les poissons et les huîtres affectés par les microplastiques

Les microplastiques se répandent de plus en plus dans les eaux marines et continentales du monde entier, suscitant de grandes inquiétudes quant à leurs impacts sur les organismes aquatiques. Selon une nouvelle étude, les microparticules de polystyrène pourraient inhiber l'éclosion et limiter la croissance des perches à des concentrations pouvant être rencontrées dans l'environnement. Les biologistes ont observé que les poissons privilégiaient ces plastiques vis-à-vis de leurs sources habituelles de nourriture. Par ailleurs, ils ne réagissaient plus correctement aux signaux chimiques les alertant sur la présence de prédateurs dans le milieu et devenaient une proie facile pour les brochets. Dans une autre étude, les particules de polystyrène avaient un effet néfaste sur la reproduction des huîtres dont elles inhibaient la mobilité des spermatozoïdes, la production d'ovocytes et la croissance des juvéniles.

Lönnstadt, O., Eklöv, P. (2016) Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. *Science* 352, 1213-1216.

Sussarellu, R. et al. (2016) Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113: 2430-2435

L'impact des polluants amplifié par le stress environnemental

Dans l'environnement, les organismes ne sont pas uniquement exposés aux produits chimiques mais également à toutes sortes de facteurs pouvant être source de stress. C'est par exemple le cas de la température, du taux d'oxygène ou de la disponibilité en nourriture. En examinant les résultats publiés dans la littérature scientifique, des chercheurs ont constaté que l'effet des polluants sur les organismes aquatiques était fortement exacerbé par la présence

simultanée d'autres stress environnementaux. Ils ont alors développé un modèle mathématique décrivant leurs interdépendances. Les niveaux de stress correspondant aux différents facteurs environnementaux sont normalisés par leur effet en termes de mortalité, ce qui permet alors de les additionner. Grâce à cette approche, l'effet d'une combinaison de stress peut être prédit.

Liess, M., Foit, K., Knillmann, S., Schäfer, R.B., Liess, H.-D. (2016) Predicting the synergy of multiple stress effects. *Scientific Reports* 6: 32965, doi:10.1038/srep32965

Des critères européens sévères pour l'identification des perturbateurs endocriniens

La Commission européenne a publié cette année ses critères long-temps attendus pour l'identification des perturbateurs endocriniens dans les pesticides et les biocides. Ces critères concrétisent le lancement du premier système mondial de classification et de limitation de ces substances. La Commission s'est alignée sur la définition de l'Organisation mondiale de la santé selon laquelle « un perturbateur endocrinien est une substance ou un mélange exogène altérant les fonctions du système endocrinien et induisant de ce fait des effets indésirables sur la santé d'un organisme intact, de ses descendants ou au niveau des (sous-)populations ». Les défenseurs de l'environnement et les scientifiques reprochent au système d'appréciation basé sur la mise en évidence des effets d'exiger trop de preuves de nocivité pour pouvoir qualifier une substance de dangereuse. De leur côté, les représentants de l'industrie critiquent que la dose employée et l'existence d'une concentration jugée non-dangereuse ne puissent être prises en compte. Avant d'entrer en vigueur, les critères devront encore être approuvés par les 28 États membres.

http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-2152_fr.htm

Qu'indiquent les essais de laboratoire sur les effets dans l'environnement ?

Grâce aux tests in vitro et aux méthodes d'analyse génétique à haut débit, les données écotoxicologiques peuvent être obtenues avec une rapidité et une simplicité sans précédent. Mais que nous apprennent ces effets au niveau moléculaire sur les impacts à l'échelle de l'organisme voire de l'écosystème ? Les Adverse Outcome Pathways permettent de répondre à cette question. Un AOP est une construction conceptuelle qui fait le lien entre les événements au niveau cellulaire ou moléculaire et des effets pertinents au niveau environnemental. Cette approche peut également aider à évaluer le risque lié aux polluants non testés. Les revues *Environmental Science & Technology* et *Chemical Research in Toxicology* ont consacré un numéro accessible en ligne au principaux progrès réalisés dans ce domaine depuis 2014.

<http://pubs.acs.org/page/vi/adverse-outcome-pathways.html>

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, vitstudio/fotolia (couverture, p. 4),

grafikplusfoto/fotolia (p. 8), Eawag (p. 10), VSA Alessandro Della Bella (p. 11)

Parution : deux fois par an

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

Impression : Mattenbach AG, Winterthur

Imprimé sur : sur papier recyclé

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