

centre ecotox news

23. édition novembre 2021

Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



Benôit Ferrari nouveau directeur, Etienne Vermeirssen directeur adjoint p. 3

Inge Werner prend congé du Centre Ecotox p. 3

L'usure des pneus, source de pollution p. 4

Comment déterminer des valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols ? p. 6

Le Centre Ecotox, partenaire des instances européennes p. 9



Dr. Benoît Ferrari,
directeur du Centre Ecotox

Après presque deux années passées en tant que directeur à l'intérim, je suis heureux que l'on m'ait confié définitivement la direction du Centre Ecotox. J'assurerai donc cette direction avec l'aide de mon collègue Etienne Vermeirssen qui a été nommé directeur adjoint. Nous nous réjouissons d'accomplir notre tâche dans un avenir qui apporte de nouveaux défis et de nouvelles opportunités. Tout cela n'est possible que grâce à l'immense travail que Inge Werner a mis en place au Centre Ecotox. Nous tâcherons d'être à la hauteur pour continuer cette belle histoire.

Depuis la création du Centre Ecotox, notre structuration est très liée aux trois compartiments environnementaux sur lesquels nous travaillons, à savoir: l'eau, le sédiment et le sol. Aujourd'hui, ces trois compartiments sont de plus en plus considérés comme un continuum, car les polluants peuvent circuler entre les compartiments, et les questions et problèmes touchent souvent plusieurs compartiments à la fois. Le Centre Ecotox offre les compétences pour évaluer les dangers et les risques des contaminants, éprouver des outils de biosurveillance, et développer des méthodologies d'évaluation intégrée pour ces trois compartiments. Cet assemblage d'expertises complémentaires reliée à un important réseau externe de collaboration représente un véritable atout pour aborder des questions relatives à chacun des com-

partiments, mais également au continuum sol-eau-sédiment.

Cet atout, nous l'avons apprivoisé en créant en interne des groupes de travail transversaux afin de pouvoir bénéficier de l'expérience de chacun au-delà des frontières imaginaires entre les compartiments. Par exemple, les approches utilisées pour le développement de critères de qualités pour l'eau ont permis de paver la voie pour le développement de critères pour les sédiments. Actuellement, les discussions entre experts pour l'eau, le sédiment et le sol nous permettent d'avancer sur le développement de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols (voir p. 6). Ces valeurs de référence sont utilisées comme outil pour évaluer la qualité des sols et ainsi faciliter la réduction des risques liés aux produits phytosanitaires. L'élaboration des dossiers de substances est également harmonisée grâce à cette coopération transversale. En mutualisant l'expérience de chacun, tout le monde en profite!

Ces groupes transversaux permettent également de pouvoir répondre à des demandes de plus en plus complexes intégrant les différents compartiments. Un exemple est un nouveau projet dans lequel nous étudions l'écotoxicité de l'abrasion des pneus. Il y a quelques années, on a appris que les pneus étaient l'une des principales sources de microplastiques dans l'environnement. L'abrasion des pneus sur la route génère des particules qui peuvent se retrouver dans tous les compartiments environnementaux. Ces

particules contiennent également les débris et poussières présents sur la route elle-même et représentent donc une source de contaminants de différentes origines.

Lors d'un orage, les particules peuvent être entraînées vers les sols avoisinant les routes et transférées dans les rivières. Ces particules subiront en même temps une lixiviation, ce qui provoquera un relargage de contaminants dans les différents compartiments environnementaux. Nous étudions actuellement l'impact de ces particules sur le continuum sol-eau-sédiment en utilisant différents systèmes de test (*in vitro*, *in vivo*) et des approches innovantes dans de multiples compartiments. Grâce à ces multiples diverses de preuve, nous devrions bientôt avoir une meilleure idée de la toxicité de l'abrasion des pneus. Vous pourrez d'ailleurs découvrir les premiers résultats dans ce numéro (p. 4).

Bonne lecture et surtout rester en bonne santé!

Photo de couverture: Le Centre Ecotox étudie la qualité de l'eau sur de nombreux sites afin d'améliorer son évaluation à l'aide de bioessais. Sur la photo, Cornelia Kienle mesure la conductivité électrique dans l'Eschelisbach à Güttingen (TG).

Benoît Ferrari est nouveau directeur, avec Etienne Vermeirssen comme directeur adjoint

Le 1^{er} juillet 2021, Benoît Ferrari a pris définitivement la direction du Centre Ecotox, qu'il a déjà dirigé par intérim depuis deux ans. Il est assisté par Etienne Vermeirssen, responsable de l'équipe d'écotoxicologie aquatique, en tant que directeur adjoint.

Benoît Ferrari a commencé au Centre Ecotox en 2013 en tant que responsable de l'équipe d'écotoxicologie des sédiments et des sols. Plus tôt dans sa carrière de chercheur, il a travaillé à l'Université de Genève et à l'Irstea

(aujourd'hui: INRAE) à Lyon, en France. Au cours de son séjour au Centre Ecotox, cet écotoxicologue a été particulièrement impliqué dans le développement de méthodes innovantes pour l'évaluation de la qualité des sédiments. Benoît Ferrari a repris la direction du Centre Ecotox *ad interim* en 2019, à la place de l'ancienne directrice Inge Werner, qui a pris sa retraite en août 2021. Etienne Vermeirssen continue à soutenir Benoît Ferrari en tant que directeur adjoint du Centre Ecotox. Il est responsable de l'équipe d'écotoxicologie aquatique et s'intéresse notamment aux bioessais pour la détection des substances toxiques,

aux systèmes d'évaluation de la qualité de l'eau et à l'échantillonnage innovant avec des échantillonneurs passifs. Alors que Benoît travaille principalement sur le site de Lausanne, Etienne est basé à Dübendorf.

Où les deux scientifiques voient-ils les plus grands défis pour le travail du Centre Ecotox et de l'écotoxicologie appliquée en Suisse? « Il est particulièrement important de continuer à travailler sur des essais biologiques qui couvrent différentes échelles d'organisation biologique (moléculaire, cellulaire, individuelle et populationnelle). Il est également urgent d'élaborer des stratégies d'évaluation de la qualité de l'environnement qui soient pratiques et techniquement fiables », déclare Benoît Ferrari. Etienne Vermeirssen ajoute: « La mise en œuvre des effets de mélange dans les cadres réglementaires reste également un défi futur pour nous ». Il en va de même pour la normalisation de tests biologiques *in vitro* supplémentaires et l'évaluation normalisée des données comparées à des seuils basés sur les effets.



Inge Werner prend congé du Centre Ecotox

Inge Werner a dirigé le Centre Ecotox pendant neuf ans et a fortement contribué à en faire un centre de recherche à la renommée incontestée. Elle a pris maintenant définitivement congé du Centre Ecotox fin août 2021 et a regagné, pour sa retraite, son pays d'adoption, la Californie.

Quel souvenir gardes-tu tout particulièrement de tes années au Centre Ecotox?

Ce qui m'a le plus marqué, c'est l'engagement et l'esprit d'équipe des membres du Centre qui travaillent de tout leur cœur, avec beaucoup de conviction et de compétence scientifique à la protection de l'environnement contre les polluants. J'ai beaucoup aimé faire partie de ce groupe motivé: en unissant nos forces, nous avons soulevé des montagnes.

Mais au fait, comment en es-tu venue à l'écotoxicologie? Qu'est-ce qui t'intéresse particulièrement dans cette discipline?

Quand j'ai commencé mes études de biologie, les milieux aquatiques étaient très pollués en

Allemagne – il ne serait venu à l'idée de personne d'aller se baigner dans le Rhin et les nitrates posaient déjà beaucoup de problèmes dans les nappes phréatiques. Ces années ont aussi été marquées par l'accident de l'usine Sandoz à Bâle et la catastrophe nucléaire de Tchernobyl. La protection de l'environnement – et en particulier des eaux, si nécessaires à la vie – était pour moi une priorité.

Comment as-tu vécu ton retour en Europe après vingt ans passés aux USA?

Pas si simple que ça. J'avais l'impression de ne plus pouvoir m'exprimer correctement en allemand et j'ai dû apprendre du tout au tout certaines règles de la vie en Suisse (par exemple, le règlement très spécifique des buanderies ☺). Mes collègues et voisins m'ont beaucoup aidée. Je me suis très vite acclimatée en Suisse. C'est probablement parce que je viens du Pays de Bade où j'ai grandi dans une culture proche, avec un dialecte similaire.

Et maintenant? Que vas-tu faire? Qu'envisages-tu avec le plus de plaisir?

Je voudrais tout d'abord me laisser un peu

aller quelques temps, vaguer çà et là, profiter de ma famille et de mes amis. Heureusement, je suis en bonne santé et j'ai l'intention d'en profiter le plus longtemps possible pour me promener dans la nature, faire de la randonnée, voyager. Mais j'aimerais aussi faire profiter les autres de mon expérience professionnelle; ce que je préférerais, ce serait enseigner – plutôt dans les pays moins développés, qui ont besoin de ce savoir et qui voudraient l'appliquer.

Vers la version plus détaillée de l'interview: www.centreecotox.ch/news-publications/actualites/inge-werner-prend-conge-du-centre-ecotox



L'usure des pneus, source de pollution

Bien que l'usure des pneus libère de grandes quantités de particules dans l'environnement, on en sait encore très peu sur leur toxicité. A côté des gommes, elles renferment en effet aussi de nombreux métaux et composés organiques. Des scientifiques du Centre Ecotox, de l'EPFL et de l'Eawag étudient en ce moment la biodisponibilité de ces substances et leurs effets toxiques potentiels.

Combien de fois l'usure de nos propres pneus nous a-t-elle fait rager ! Mais ce désagrément qui se manifeste pour nous par des pneus lisses a aussi un impact environnemental : la couche abrasée se retrouve en effet dans les sols et les milieux aquatiques. Chaque année, ne serait-ce qu'en Suisse, plus de 10'000 tonnes de particules sont ainsi émises – c'est beaucoup plus que les rejets de microplastiques. Le produit de l'usure des pneus est un mélange complexe de gommes, de charges renforçantes, d'agents de vulcanisation et d'autres additifs. Au contact des routes, les matériaux se chargent en outre en polluants provenant du revêtement des chaussées tels que des métaux divers, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et d'autres substances organiques.

Des particules dans le sol, le sédiment, l'eau et l'air

« Nous devons absolument en savoir plus sur les particules émises par l'usure des pneus, souligne Benoît Ferrari du Centre Ecotox. Parce que les quantités sont présentes dans l'air, dans l'eau, dans le sol et dans le sédiment. » Lorsque les routes sont directement raccordées à un réseau d'égouts unitaire ou à des systèmes d'évacuation et de traitement des eaux de chaussée, une grande partie de ces particules est retenue. Dans le cas contraire, elles sont entraînées dans le milieu aquatique avec les eaux de ruissellement ou s'accumulent sur les talus. Les particules les plus petites peuvent également être transportées assez loin par le vent.

Bien que ces particules aient été observées dans tous les compartiments environnementaux, on en sait encore assez peu sur leur toxicité. Or celle-ci dépend directement de la biodisponibilité des polluants liés aux particules. Le Centre Ecotox s'emploie donc dans un nouveau projet à mieux comprendre cette biodisponibilité et la toxicité du produit de l'usure des pneus. « Nous nous intéressons tout particulièrement à ce qu'il advient des particules une fois qu'elles ont été ingérées par un organisme : c'est-à-dire à la résorption intestinale, à la désorption des polluants pendant la digestion, à l'absorption dans l'appareil digestif et à la bioaccumulation dans les tissus », explique Benoît Ferrari qui dirige le projet mené en partenariat avec le département de Toxicologie de l'environnement de l'Eawag et le Central Environmental Laboratory de l'EPFL et financé par le World Business Council for Sustainable Development.

Charge en zinc et autres métaux

Dans une première étape, les scientifiques ont fabriqué d'un côté des particules de pneu pures à partir de la surface roulante de différents pneus et de l'autre des particules d'usure des pneus à l'aide d'un simulateur de route. Pour en savoir plus sur la charge en métaux des particules, ils les ont ensuite analysées par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif. Les résultats ont montré que les particules de pneu pures renfermaient de grandes quantités de zinc et de moindres quantités de fer. « L'oxyde de zinc est généralement utilisé comme catalyseur dans la fabrication des pneus pour activer la vulcanisation du soufre, explique Thibault Masset de l'EPFL. Cet élément peut ainsi constituer jusqu'à 2,5 % de la masse des pneus. » En revanche, les particules produites par abrasion sur la route contenaient moins de zinc et davantage de fer ainsi que de petites quantités de titane, de chrome, de manganèse, de cobalt, de nickel, de cuivre, de baryum et de plomb qui provenaient probablement du revêtement de la chaussée. Les moindres quantités de zinc s'expliquent par un effet de dilution dû aux apports du revêtement pauvre en zinc.



Thibault Masset étudie les substances potentiellement toxiques issues de l'usure des pneus en utilisant la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS / MS).

Les métaux rendus biodisponibles dans l'appareil digestif

Tant que les métaux restent liés aux particules, ils ne sont pas toxiques. Mais que se passe-t-il lors de leur absorption par l'organisme? Se détachent-ils dans le système gastro-intestinal, devenant ainsi biodisponibles? Pour répondre à cette question, les chercheurs ont observé si les métaux se désorbaient dans un suc digestif de poisson artificiellement reconstitué. Le liquide utilisé était constitué d'une solution tampon imitant la composition dans l'intestin des poissons additionnée de pepsine (pour simuler l'estomac) ou d'extrait de bile de porc et de pancréatine (pour simuler l'intestin). Lorsque les particules de pneu intact et de pneu abrasé étaient mises à incuber avec ce suc digestif, celui-ci s'enrichissait en zinc. Cette incubation conduisait également à une désorption, toutefois moins importante, du fer, du plomb, du manganèse et du cobalt à partir du produit d'usure des pneus. Or, bien que le zinc soit un oligoélément essentiel à la vie, il peut être nocif pour les poissons s'il est présent en excès.

Dans l'ensemble, tous les métaux se dissolvaient beaucoup mieux dans le suc digestif reconstitué que dans l'eau. Dans la solution stomacale, cela était dû au pH particulièrement bas qui favorisait la solubilisation des métaux. Dans la solution intestinale, les agents facilitateurs étaient probablement des protéines, phospholipides et acides biliaires qui forment des micelles et favorisent la dissolution du zinc ou le complexent.

Complexation lors de la prise de nourriture

« Dans un deuxième temps, nous avons cherché à savoir si la biodisponibilité du zinc se modifiait lorsque les particules résultant de l'usure des pneus étaient absorbées en même temps que des aliments d'origine organique », indique Thibault Masset. Pour tirer cette question au clair, les scientifiques ont complété les essais de digestion d'un apport de gammare (*Gammarus pulex*) ou de lentilles d'eau (*Lemna minor*) réduits en poudre pour simuler une alimentation soit d'origine animale soit d'origine végétale. Lorsque des lentilles d'eau étaient assimilées en même temps que les particules, la concentration de zinc augmentait dans le suc stomacal et dans le suc intestinal car une certaine quantité de zinc était solubilisée à partir des lentilles. En revanche, l'absorption concomitante de gammare induisait une baisse de la solubilisation du zinc. Cela pourrait être dû à une certaine réadsorption ou complexation du zinc libre par la matière organique des gammare qui ne s'effectuerait pas avec les substances d'origine végétale. En effet, les gammare sont plus riches en protéines, qui sont susceptibles de complexer le zinc, que les lentilles d'eau (40% contre 25%). Qui plus est, l'exosquelette des gammare est composé de chitine, une substance capable de fixer les ions métalliques. « Nous pensons que la nourriture d'origine organique peut former des complexes avec le zinc, indique Thibault Masset. Ce phénomène réduit sa biodisponibilité lorsqu'il est libéré à partir des particules de pneu. »

Des substances organiques préoccupantes

La fabrication des pneus met en jeu divers composés organiques utilisés en tant qu'additifs. Certains d'entre eux sont suspectés d'avoir un effet toxique sur les organismes aquatiques. De récentes données venues des États-Unis montrent ainsi que certaines substances chimiques contenues dans les pneus ont causé des mortali-

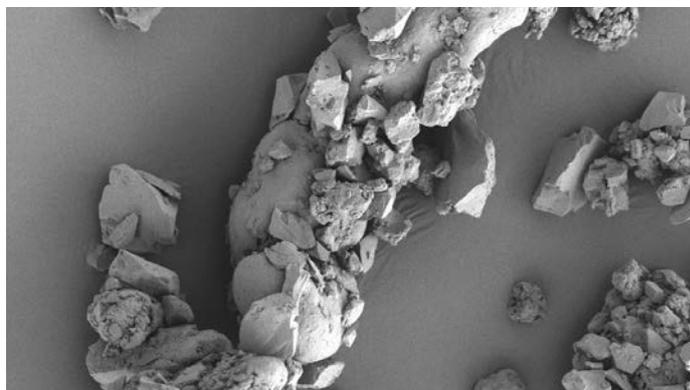


Image au microscope électronique de l'abrasion d'un pneu

tés massives aiguës de saumon coho. Il s'est avéré que la principale responsable était la 6PPD-quinone, un produit très toxique pour cet espèce de saumon résultant de l'oxydation du 6PPD (N-(1,3-diméthylbutyl)-N'-phényl-p-phénylènediamine), un antiozonant couramment utilisé dans la fabrication des pneus. Dans le projet suisse, les scientifiques ont mis en évidence la présence de 6PPD-quinone dans les particules de pneu étudiées, de même que divers HAP tels que du pyrène et du fluoranthène et que plusieurs benzothiazoles. Ces substances étaient, elles aussi, davantage solubilisées par le suc digestif reconstitué.

Une batterie de biotests pour déterminer la toxicité

La prochaine étape du projet consiste à évaluer la toxicité des particules. Dans un premier volet, des essais seront menés pour savoir si les particules digérées provenant de l'usure des pneus contiennent des substances présentant une activité œstrogénique ou génotoxique. Leur détection s'effectuera par une combinaison de chromatographie sur couche mince haute performance (HPTLC), de bioessais et de spectrométrie de masse. Grâce à cette méthode, les scientifiques peuvent non seulement mesurer la toxicité de solutions inconnues mais aussi extraire et caractériser les composés qui en sont responsables.

Dans un deuxième volet, la toxicité des particules digérées provenant de l'usure des pneus sera étudiée dans des lignées cellulaires d'intestin de truite arc-en-ciel – un test développé par Kristin Schirmer à l'Eawag qui simule la barrière intestinale des poissons. Plusieurs études ont montré que la toxicité aiguë des substances chimiques pour les poissons pouvait être prédite avec une grande fiabilité à partir de lignées cellulaires. Une autre lignée, de cellules branchiales cette fois-ci, sera utilisée pour mettre en évidence la toxicité directe des particules pour les poissons.

Enfin, les effets potentiels des particules provenant de l'usure des pneus sur les sols et les sédiments seront étudiés à l'aide de différents vers vivant dans ces milieux. En effet, la toxicité potentielle peut être évaluée à partir des effets sur la croissance et la survie des vers. « Avec ces différentes lignes de preuve, nous en saurons bientôt plus sur la toxicité du produit de l'usure des pneus », assure Benoît Ferrari.

Contact: Benoît Ferrari benoit.ferrari@centreecotox.ch

Comment déterminer des valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols ?

La Suisse souhaite réduire de moitié les risques liés aux produits phytosanitaires sur son territoire d'ici une dizaine d'années. Dans cette optique, il est nécessaire de déterminer des valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols pour le screening des produits phytosanitaires. Mais de quelles méthodes dispose-t-on pour les déterminer ? Quels sont les aspects à prendre en compte ? Le Centre Ecotox dresse un premier bilan.

En 2017, le Conseil fédéral a défini des objectifs clairs pour améliorer la protection de l'environnement dans le contexte agricole : le plan d'action sur les produits phytosanitaires (PPH) qu'il a voté vise à réduire de moitié les risques liés à ces produits en l'espace d'une décennie. Pour ce faire, il convient tout d'abord de mettre en place un monitoring des résidus de PPH dans les sols agricoles, préalable indispensable à la détection des pollutions éventuelles et à l'appréciation de la qualité des sols.

Or, pour l'heure, on dispose de très peu de normes ou de valeurs auxquelles se référer pour une telle surveillance. Il en va tout autrement dans le domaine aquatique : l'observation de la qualité des eaux est bien établie en Europe où elle se base généralement sur des valeurs seuils écotoxicologiques appelées normes de qualité environnementale (NQE) ou critères de qualité. Il s'agit de concentrations en dessous desquelles aucun effet néfaste sur les organismes biologiques n'est censé se produire. La comparaison des concentrations mesurées avec ces normes de qualité permet ainsi d'évaluer la qualité de l'eau.

Un manque de méthodes pour l'évaluation de la qualité des sols

La Suisse ne dispose pas, jusqu'à présent, de telles valeurs de référence pour les PPH dans les sols. « Nous avons un besoin urgent de valeurs de référence basées sur les risques écotoxicologiques pour aider au monitoring des résidus de PPH dans les sols », explique Mireia Marti du Centre Ecotox. De telles valeurs limites écotoxicologiques se basent sur des études d'écotoxicité réalisées avec des organismes typiques du sol et indiquent les concentrations en dessous desquelles aucun effet néfaste n'est susceptible de se produire. Dans la suite du texte, le terme « valeurs de référence écotoxicologiques » sera employé. Actuellement, la loi suisse ne définit de valeurs indicatives pour les sols que pour certains métaux lourds et polluants organiques persistants et n'en précise pas pour les PPH actuellement utilisés. Dans les autres pays, de telles valeurs de référence sont tout aussi rares.

Alors que pour les eaux, la méthode de détermination des critères de qualité est bien établie, le terrain doit encore être défriché pour les sols puisqu'il n'existe pas encore de méthode reconnue internationalement. « Les sols sont beaucoup plus complexes que les milieux aquatiques ; ils peuvent avoir des propriétés très diverses, explique Mireia Marti. Qui plus est, une partie des PPH s'adsorbent sur les particules de sol. » Or cela influe sur la biodisponibilité des PPH et donc sur leur toxicité. D'autre part, on dispose de beaucoup moins de données de toxicité pour les organismes édaphiques que pour leurs homologues aquatiques.

Pour se faire une idée de la manière dont des valeurs de référence écotoxicologiques pourraient être déterminées pour les sols, les chercheuses ont tout d'abord examiné les méthodes disponibles dans le monde. Celles-ci entrent en jeu dans différents types de réglementations et présentent toutes des points forts et des points faibles (voir encart p. 8).

Comment déterminer des valeurs de référence écotoxicologiques ?

La démarche générale est sensiblement la même dans la plupart des méthodes. La première étape consiste à compiler les **données sur les propriétés physicochimiques** des substances (solubilité, coefficient de partage octanol-eau = K_{ow} , etc.) pour pouvoir prédire leur comportement dans l'environnement. Dans un deuxième temps, les **données d'écotoxicité** sont recherchées dans les dossiers d'autorisation et les publications scientifiques. Ces données portent sur différents invertébrés édaphiques, végétaux et micro-organismes et, typiquement, sur les effets qui affectent leur survie, leur croissance ou leur reproduction.

Les spécialistes vérifient ensuite **la pertinence et la fiabilité des données** car seules les valeurs qui remplissent certains critères peuvent être utilisées pour déterminer les valeurs de référence. Si possible, ces données doivent en effet provenir de bioessais effectués selon une méthode standardisée. Il faut par ailleurs que suffisamment d'informations soient disponibles sur les tests et les méthodes statistiques auxquelles ils font appel. Les données de toxicité privilégiées sont celles qui portent sur des effets chroniques sur les êtres vivants. Suivant la nature du sol utilisé pour les tests de toxicité, la biodisponibilité des substances peut varier. Pour les composés hydrophobes, la teneur en carbone organique est ainsi décisive. Certaines méthodes normalisent donc les données de toxicité pour un sol standardisé ou excluent les biotests réalisés avec un sol de teneur en carbone différente de celui considéré.

Différentes méthodes d'extrapolation des données

La plupart des données d'écotoxicité proviennent d'essais de laboratoire menés avec des organismes standard et sont donc sources d'incertitudes dans la mesure où elles ne peuvent tenir compte de toutes les espèces et de leurs interactions dans la nature. De ce fait, les valeurs de référence sont déduites de ces données de toxicité par un travail d'extrapolation. L'approche choisie peut alors varier en fonction du nombre de données de toxicité disponibles. Pour répondre à l'incertitude résultant de l'extrapolation, toutes les méthodes se servent de facteurs de sécurité. La valeur du facteur de sécurité dépend de la taille du pool de données disponibles. Moins celles-ci sont nombreuses, plus le facteur est élevé.

Si suffisamment de données sont disponibles, une **méthode d'extrapolation statistique** peut être employée. Les concentrations de substance critiques pour différentes espèces sont tout d'abord classées en fonction de leur valeur pour obtenir un aperçu de la distribution des données. La distribution statistique est ensuite généralement ajustée grâce à un modèle mathématique censé refléter les différences de sensibilité dans l'environnement. Cette méthode est appelée la **distribution de sensibilité des espèces**

(SSD). Elle suit le guide technique de l'UE et se trouve également employée par d'autres agences étatiques, aux Pays-Bas et en Australie, par exemple. Si suffisamment de données sont disponibles pour suffisamment d'espèces, il est possible de déterminer la concentration pour laquelle, par exemple, 5% des espèces sont affectées. Pour cette méthode, le facteur de sécurité est de 1 à 5 car elle est considérée comme relativement fiable et particulièrement robuste.

La méthode déterministe ou **méthode des facteurs de sécurité** est employée lorsque la quantité de données disponibles est insuffisante pour déterminer leur distribution. Dans ce cas, la valeur de toxicité retenue est celle de l'espèce la plus sensible. Elle est ensuite divisée par un facteur de sécurité qui correspond à l'incertitude rémanente. Ce facteur peut être très élevé et atteindre trois ordres de grandeur.

Si, pour une substance, on ne dispose d'aucune donnée de toxicité pour les organismes édaphiques, il est possible de recourir à la **méthode du coefficient de partage**. Cette méthode part du principe que les polluants ne sont accessibles aux organismes que par la phase aqueuse, que leur toxicité pour les organismes dépend donc de leur concentration dans cette phase et que les organismes du sol présentent la même sensibilité aux polluants que leurs homologues aquatiques. Étant donné que la méthode ne tient compte que de l'absorption par la phase aqueuse et non par

l'ingestion de particules de sol, un facteur de sécurité supplémentaire de 10 lui est appliqué.

Empoisonnement secondaire et utilisation du sol

D'autres facteurs que les données d'écotoxicité jouent également un rôle dans l'évaluation du risque. Certaines substances telles que les polluants organiques lipophiles ou les métaux ont la capacité de s'accumuler le long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent alors constituer un risque pour les vertébrés, subissant ce que l'on appelle un **empoisonnement secondaire**. Certaines méthodes prennent en compte ce risque d'intoxication secondaire. Elles évaluent tout d'abord le caractère lipophile de la substance considérée à travers son K_{OW} . A partir d'une certaine valeur du K_{OW} , une valeur de référence supplémentaire est déterminée pour le mécanisme d'intoxication secondaire.

Dans certains pays, **l'utilisation du sol** est en partie prise en compte. On part alors du principe que certains sites comme les réserves naturelles ou les parcs ont une valeur écologique particulière et doivent donc bénéficier de mesures de protection plus strictes. D'autres sites comme les zones industrielles sont déjà fortement impactées par les activités humaines et nécessitent donc une protection moins importante. De même les **concentrations de fond** des substances peuvent être prises en compte localement ainsi que de possibles **conséquences pour la santé humaine**.



Les résidus de produits phytopharmaceutiques peuvent affecter les organismes du sol.



Le plan d'action produits phytosanitaires vise à garantir que la fertilité des sols soit préservée à long terme

La dernière étape de la détermination de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols consiste à évaluer leur applicabilité. Cette évaluation est généralement assurée par des pairs et comporte un volet **d'appréciation politique**. Les réglementateurs doivent s'assurer que les valeurs de référence sont suffisamment protectrices mais en même temps qu'elles sont applicables dans le contexte politique du moment.

Les chercheuses du Centre Ecotox travaillent actuellement à l'évaluation des avantages et inconvénients des différentes méthodes (voir encart) et en déduisent une série de recommandations. Cette liste servira plus tard à la détermination de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols. « Nous pourrons ainsi, espérons-le, bientôt mieux évaluer la pollution des sols afin de réduire les risques liés aux produits phytosanitaires pour les plantes et les organismes du sol », conclut Mireia Marti.

Contact : Mireia Marti mireia.marti@oekotoxzentrum.ch,
Gilda Dell'Ambrogio gilda.dellambrogio@centreecotox.ch

Méthodes potentielles de détermination de valeurs de référence écotoxicologiques pour les PPh dans les sols

Actuellement, six grandes méthodes sont employées dans différents cadres réglementaires. Deux d'entre elles obéissent à une logique prospective, donc anticipatoire : il s'agit de la méthode de l'Agence européenne de sécurité des aliments (EFSA), employée pour l'autorisation des PPh dans l'Union européenne, et de celle de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA), employée pour l'autorisation des produits biocides. Les autres méthodes viennent des Pays-Bas, du Canada, des États-Unis et d'Australie et sont déjà employées pour évaluer, de manière rétrospective, la qualité des sols.

La méthode de l'**EFSA** correspond largement à celle employée par l'Office fédéral de l'agriculture pour l'autorisation des PPh. Le risque pour les organismes du sol y est évalué à l'aide du rapport toxicité/exposition (TER). Il s'agit du rapport entre le seuil d'effets pour la plus sensible des espèces étudiées et la concentration prédite dans l'environnement pour la substance considérée. Ces données permettent de déterminer des concentrations réglementaires acceptables (RAC) qui pourraient servir de valeurs de référence écotoxicologiques pour les sols s'il existait pour cela une méthode standardisée. La méthode de l'EFSA n'utilise que des données relatives à des organismes bien définis. Elle est bien adaptée aux PPh mais se révèle très rigide.

La méthode de l'**ECHA**, utilisée pour l'autorisation des biocides, correspond sur bien des points à celle employée pour déterminer les critères de qualité ou les NQE dans le contexte aquatique car elle se base sur le même guide technique de l'UE.

Elle a initialement été développée pour l'évaluation des risques dans le milieu aquatique et a ensuite été adaptée à l'évaluation du risque dans les sols. Sa grande force est sa flexibilité. Elle tient ainsi compte de la disponibilité des données de toxicité par un système d'extrapolation et s'adapte à différents types de sols. De même, elle tient compte du risque d'empoisonnement secondaire.

La méthode des **Pays-Bas** se base sur le même guide technique de l'UE que celle de l'ECHA précédemment décrite. Elle présente donc les mêmes avantages.

Dans la méthode du **Canada**, la quantité de données disponibles est prise en compte, comme dans la méthode néerlandaise, par un système d'extrapolation. Elle fait par ailleurs une distinction entre les différentes formes d'utilisation du sol. Elle ne permet cependant pas de considérer différents types de sols. Par ailleurs, la méthode de prise en compte du risque d'empoisonnement secondaire se révèle très complexe.

La méthode de l'**Agence américaine de l'environnement (US EPA)** est facile à utiliser et permet de prendre en compte tous les types de tests de toxicité sur les plantes et organismes édaphiques. En revanche elle ne tient pas compte du nombre de données disponibles, des propriétés du sol et des micro-organismes.

La méthode utilisée en **Australie** tient compte de l'utilisation du sol, de la quantité de données disponibles et du risque d'empoisonnement secondaire. Toutefois, elle accorde moins d'importance à la protection des organismes du sol qu'à celle des végétaux.

Le Centre Ecotox, partenaire des instances européennes

Le Centre Ecotox met à profit son expertise en matière de protection des eaux en Europe en travaillant au sein de diverses instances importantes de l'UE. Il contribue ainsi à la coopération technique de la Suisse avec l'Union européenne dans le domaine de l'écotoxicologie.

La directive cadre sur l'eau de l'Union européenne définit le cadre réglementaire de la protection des eaux en Europe. L'un de ses principaux objectifs est l'atteinte d'un « bon état chimique » des eaux superficielles des 27 États membres. Ce bon état chimique est défini par le respect de normes de qualité environnementale (NQE), des valeurs limites contraignantes assurant la protection des écosystèmes aquatiques et de la santé humaine. Ces normes sont déterminées pour toutes les substances prioritaires, c'est-à-dire pour toutes les substances jugées particulièrement dangereuses pour l'être humain et l'environnement. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le Centre Ecotox est représenté dans divers groupes de travail chargés de déterminer, d'évaluer et d'actualiser ces NQE.

23 nouveaux seuils européens en préparation

La liste des substances prioritaires comporte actuellement 45 entrées. Le Working Group Chemicals évalue tous les deux ou trois ans si cette liste doit être étendue, si les normes fixées pour les substances déjà classées doivent être corrigées et si certaines substances peuvent être rayées de la liste – aux côtés de l'OFEV, le Centre Ecotox participe activement à ce travail. Sous la houlette du Joint Research Centre de l'UE, d'autres groupes de travail déterminent actuellement des NQE pour 23 substances devant être incluses dans la liste – et là encore, le Centre Ecotox est fortement impliqué.

Parmi les nouvelles substances figurent trois œstrogènes (l'estrone, le 17 β -œstradiol et l'éthinylestradiol), trois antibiotiques (l'azithromycine, la clarithromycine et l'érythromycine), deux antalgiques (le diclofénac et l'ibuprofène), un antiépileptique (la carbamazépine) et 12 pesticides, à savoir les insecticides néonicotinoïdes acétamipride, clothianidine, imidaclopride, thiaclopride et thiaméthoxame, les insecticides pyréthrinoides bifenthrine, deltaméthrine, esfenvalérate et perméthrine, les herbicides glyphosate et nicosulfuron et le biocide triclosan. À cela viennent s'ajouter le bisphénol A (un produit

chimique industriel) et l'argent ainsi que le groupe des substances perfluorées (PFAS) pour lesquelles un seuil global sera défini. Le Centre Ecotox contribue ainsi à ce que des valeurs limites harmonisées soient déterminées sur une assise très large dans l'Union européenne, valeurs qui sont également d'une grande utilité en Suisse. Ces dernières années, le Centre Ecotox a d'ailleurs déterminé lui-même des NQE pour beaucoup de ces substances.

Un travail encore plus efficace grâce aux réunions en ligne

« Les NQE sont déterminées pour chaque substance sur la base d'études écotoxicologiques spécifiques », explique Marion Junghans. Le groupe de travail responsable discute de ces études dans des réunions en ligne et estime tout d'abord si elles peuvent être prises en compte pour déterminer la norme, autrement dit, si elles sont fiables et pertinentes. Les membres du groupe de travail déterminent ensuite la NQE en fonction des résultats des études retenues. « Nous discutons entre nous des méthodes les mieux adaptées, des incertitudes existantes et des facteurs d'extrapolation à employer », raconte Marion Junghans. Les rapports finaux sur les NQE présentent également des données sur la présence de la substance en question dans l'environnement des différents États membres. « Suite à la pandémie de Covid-19, il est devenu beaucoup plus simple d'organiser des réunions en ligne, ce qui facilite énormément les échanges dans ces groupes de travail », analyse Alexandra Kroll qui s'implique également dans cette démarche. Les déplacements professionnels ont reculé et les réunions se sont multipliées.

Priorisation des substances dans le réseau Norman

Le Centre Ecotox est également membre du réseau Norman (Network of reference laboratories for monitoring of emerging environmental pollutants) qui priorise au niveau de l'UE les substances potentiellement problématiques pour l'environnement. Pour accomplir cette tâche, les résultats des détections dans les eaux de surface de l'Union européenne sont regroupés dans une base de données et comparés aux informations sur la toxicité des substances pour les différents types d'organismes. Les données de toxicité sont également enregistrées dans une base de données que Marion Junghans contribue à développer.

Contact: Marion Junghans marion.junghans@oekotoxzentrum.ch



Les brèves du Centre Ecotox



Le Centre Ecotox a emménagé dans le FLUX

Le 12 juillet 2021, le Centre Ecotox a déménagé pour s'installer à l'étage E du bâtiment appelé FLUX qui vient d'être construit sur le campus de l'Eawag. Nous sommes très heureux de ces nouveaux locaux particulièrement clairs et spacieux dans ce bâtiment basse consommation situé à quelques pas à peine de nos anciens labos.

Pour en savoir plus sur le bâtiment: www.eawag.ch/fr/portrait/durabilite/construction-durable/flux/



Cours de formation continue du Centre Ecotox en 2022

Le Centre Ecotox proposera les 22 et 23 mars 2022 un cours sur **l'évaluation des risques dans l'eau, les sédiments et le sol**. Il livrera une introduction à l'évaluation des risques pour l'environnement liés aux substances pertinentes pour ces compartiments. Les responsables du cours décriront les différents contextes réglementaires relatifs à l'évaluation prospective et rétrospective du risque et présenteront les objectifs de protection et la spécificité de la prise en compte du principe de précaution. Les scientifiques ouvriront également une perspective sur les efforts déployés par la Suisse et l'Union européenne pour améliorer l'évaluation du risque. Enfin, la question de la communication sur les risques sera abordée étant donné que le dialogue avec la société revêt une importance de plus en plus cruciale.

Le 25 octobre 2022, le Centre Ecotox proposera un cours en anglais intitulé **Online-Biomonitoring and In Situ-Bioassays** qui donnera un aperçu de l'utilisation de ces techniques pour la surveillance de la qualité des eaux, du sol et du sédiment. La biosurveillance connectée intervient pour suivre en continu la qualité de l'eau à partir d'organismes indicateurs et observer de la sorte la dynamique des pollutions de courte durée. Jusqu'à présent, cette approche a surtout été employée pour l'appréciation de la qualité des eaux de surface et de l'eau de boisson/potable mais une application à la surveillance des eaux usées est à l'étude. Dans les biotests in situ, les organismes d'étude sont placés dans leur environnement naturel, dans des cages par exemple, de manière à observer leurs réactions à la pollution. Cette approche se prête à l'étude de divers compartiments environnementaux comme l'eau, le sol ou le sédiment. Le cours présentera des études de cas et exposera les perspectives d'application dans le cadre réglementaire pour les deux techniques.

www.centreecotox.ch/prestations-expert/formation-continue/



Un nouvel écotoxicologue du sol au Centre Ecotox

En juin, Mathieu Renaud est venu renforcer les rangs de l'équipe d'écotoxicologie des sols du Centre Ecotox à Lausanne en tant que collaborateur scientifique. Bienvenue, Mathieu!

Mathieu Renaud a fait des études de biologie à l'université de Madère à Funchal puis effectué un master à Coimbra, au Portugal, avant d'y effectuer une thèse sur le rôle écologique des effets des mélanges de métaux dans les sols. Après avoir travaillé quelques années à l'université canadienne du Saskatchewan pour les besoins de sa thèse, il se réjouit d'être revenu en Europe. « Je suis heureux de pouvoir découvrir la Suisse et pratiquer mon français au quotidien », avoue Mathieu, qui possède la double-nationalité franco-portugaise. Il apprécie également l'orientation pratique des recherches du Centre Ecotox et souhaite appliquer les méthodes qu'il a appris à connaître dans ses travaux précédents à l'évaluation des risques dans les sols en Suisse.



Women in Regulatory Toxicology

Marion Junghans est, avec Marlene Ågerstrand, Anna Bero-nius et Olwenn Martin, éditrice d'un volume spécial sur les «Women in Regulatory Toxicology». Dans cet ouvrage, les éditrices mettent l'accent sur la parité dans le domaine des sciences exactes. Selon les études menées par l'UNESCO ces dernières années, les femmes sont sous-représentées dans la recherche scientifique. De plus, il existe une grande disparité entre les pays et la part des femmes diminue à mesure que l'échelon de carrière augmente. L'égalité entre les sexes est l'un des 17 objectifs de développement durable de l'ONU. Le volume spécial paraît dans la revue «Frontiers in Toxicology». Les personnes engagées dans la recherche en toxicologie réglementaire sont invitées à soumettre un manuscrit sur le sujet. Pour garantir une égale représentation des chercheuses et des chercheurs dans cet ouvrage, il est demandé à ce que la première ou la dernière auteure de l'étude soit une femme.

www.frontiersin.org/research-topics/24918/women-in-regulatory-toxicology-2021



Un projet sur les rodenticides

Les rodenticides sont des composés chimiques utilisés pour lutter contre les rongeurs jugés nuisibles comme les souris ou les rats. Ils se présentent en général sous la forme d'appâts renfermant des substances actives inhibant la coagulation sanguine, ou anticoagulants. Ces anticoagulants sont extrêmement toxiques pour les humains et les animaux, sont souvent difficilement dégradables dans l'environnement et peuvent s'accumuler dans les tissus biologiques. Ils représentent donc un fort danger potentiel pour les prédateurs qui se nourrissent de rongeurs comme les rapaces et les renards. On ne dispose pas jusqu'à présent de données sur l'état de la contamination par les anticoagulants en Suisse. Étant donné qu'ils présentent un risque élevé pour les enfants et les animaux non cibles qui peuvent ingérer les appâts par mégarde, ces produits sont principalement utilisés par les dératisateurs professionnels, notamment dans les égouts et le milieu agricole. Dans un nouveau projet, le Centre Ecotox compile les données disponibles sur les utilisations d'anticoagulants en Suisse et travaille à l'établissement d'une méthode d'analyse permettant leur détection dans l'eau et les organismes biologiques. La méthode sera ensuite utilisée pour estimer le degré de contamination de l'environnement en Suisse. L'étude est commanditée par l'Office fédéral de l'environnement.

Contact: Carolin Riegraf carolin.riegraf@oekotoxzentrum.ch



Surveillance de la qualité de l'eau de la Chamberonne

La Chamberonne, qui se jette dans le Léman à l'est de Lausanne, doit être renaturée dans les années qui viennent. Le Centre Ecotox intervient dans ce projet en évaluant la qualité écotoxicologique de l'eau avant la renaturation. Pour déterminer l'état de référence, des échantillons d'eau et de sédiment prélevés à 10 endroits différents sont étudiés avec une batterie de biotests standardisés. Les échantillons de sédiment sont ainsi soumis à des tests avec des ostracodes et des nématodes et la qualité du sédiment est évaluée avec l'indice Oligochètes basé sur l'observation de la communauté d'oligochètes. La qualité de l'eau est évaluée avec le test combiné sur algues vertes qui cible les herbicides et le test cellulaire ER-CALUX qui cible les substances œstrogéniques. La qualité de l'eau et du sédiment ainsi déterminée servira de référence pour évaluer les effets de la renaturation.

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

L'écotoxicologie dans le monde

Les cocktails de pesticides plus toxiques qu'on ne le croyait pour les abeilles

Dans les milieux agricoles, les organismes vivants ne sont pas seulement exposés à des substances individuelles mais généralement à de véritables cocktails de pesticides. Pour évaluer les interactions entre les différentes substances et d'autres stress, des scientifiques britanniques ont examiné les données de toxicité publiées dans 90 études considérant les effets de tels mélanges. Résultat: les effets des différents pesticides sur les abeilles ne se contentent pas de s'ajouter mais ils se renforcent mutuellement. Par conséquent, les évaluations des risques qui se basent sur une additivité supposée des pesticides sous-estiment l'effet global sur la mortalité des abeilles. C'est par exemple le principe appliqué pour l'autorisation de ces produits.

Siviter, H. et al. (2021) Agrochemicals interact synergistically to increase bee mortality. *Nature* <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03787-7>

Les eaux pluviales, source importante de microplastiques

Une nouvelle étude venue des États-Unis montre que les eaux de pluie qui ruissellent constituent une voie importante de rejet des microplastiques dans l'environnement. Les scientifiques ont analysé les eaux pluviales urbaines rejetées dans 12 bassins versants. Tous les échantillons présentaient des concentrations de microplastiques très supérieures à celles des effluents rejetés par les stations d'épuration. Les particules les plus fréquentes étaient les fibres et les fragments de gomme, provenant probablement de l'usure des pneus. Les eaux de pluie peuvent être traitées grâce à des systèmes de rétention biologiques dans lesquels elles peuvent s'infiltrer.

Werbowski, L. et al. (2021) Urban Stormwater Runoff: A Major Pathway for Anthropogenic Particles, Black Rubbery Fragments, and Other Types of Microplastics to Urban Receiving Waters. *ACS Environmental Science and Technology Water* 2021, 1, 1420–1428

De moins en moins d'insectes et d'espèces d'insectes en Suisse

La situation des insectes est très préoccupante, révèlent des scientifiques dans le premier rapport sur la diversité des insectes en Suisse. La diversité et la taille des populations d'insectes ont fortement diminué, avant tout sur le Plateau, mais également dans le Jura et dans les Alpes. Ce constat résulte de l'analyse des données des listes rouges, de programmes de surveillance et de diverses études. Près de 60 % des espèces étudiées sont menacées ou potentiellement menacées, celles des milieux aquatiques, des zones humides et des terres agricoles étant particulièrement touchées. Les causes de la régression des insectes sont notamment la perte continue

d'habitats et la dégradation des habitats restants par les apports accrus de fertilisants et de pesticides et la pollution lumineuse. Les auteurs et auteurs du rapport proposent un catalogue de mesures pour préserver la diversité des insectes en Suisse.

Widmer I. et al. (2021) Diversité des insectes en Suisse: importante, tendances, actions possibles. *Swiss Academies Reports* 16 (9) https://scnat.ch/fr/uuid/i/0ffab3f6-5259-51df-a67b-6a04cc8def23-Diversit%C3%A9_des_insectes_en_Suisse

Les aigles et vautours d'Europe contaminés au plomb

Dans les montagnes françaises, autrichiennes, suisses et italiennes, les aigles et les vautours sont fortement contaminés au plomb. C'est ce que révèle une nouvelle étude basée sur l'analyse de prélèvements de tissus chez quatre espèces d'aigles et de vautours. Les résultats montrent que presque la moitié des échantillons présentaient des teneurs plomb supérieures aux concentrations de fond attendues. Plus d'un quart des rapaces étudiés sont considérés comme intoxiqués et les plus touchés sont l'aigle royal et le vautour fauve. Les données indiquent que les munitions de chasse seraient les principales responsables de la contamination. Les scientifiques demandent donc une interdiction des munitions de chasse au plomb pour protéger les rapaces d'intoxications potentielles.

Bassi, E. et al. (2021). Lead contamination in tissues of large avian scavengers in southcentral Europe. *Science of The Total Environment*, 778: 146130.

Forte toxicité du mécoprop-P pour les dicotylédones aquatiques

Le mécoprop-P est un herbicide utilisé pour lutter contre le développement des plantes adventices dicotylédones sur les toitures plates. Jusqu'à présent, on ne disposait pas de données sur sa toxicité pour les dicotylédones aquatiques. Une nouvelle étude montre que ces dernières sont beaucoup plus sensibles au mécoprop-P que les lentilles d'eau, une monocotylédone utilisée jusqu'à présent pour l'évaluation des risques. Si les nouvelles données sont prises en compte dans cette évaluation, les critères de qualité du mécoprop-P se voient diminués de deux ordres de grandeur. Les données devraient également entrer en ligne de compte dans les futures évaluations pour l'autorisation de cet herbicide. De plus, la réglementation relative à l'utilisation du mécoprop-P dans les bandes bitumineuses des toitures plates doit être révisée puisqu'il peut, à partir de là, rejoindre le milieu aquatique par le biais du ruissellement.

Pérrillon, C. et al. (2021) The auxin herbicide mecoprop-P in new light: Filling the data gap for dicotyledonous macrophytes. *Environmental Pollution* 272: 116405

Impressum

Editeur: Centre Ecotox

Eawag

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: Anke Schäfer, Centre Ecotox

Traductions: Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

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

Copyright des photos: Centre Ecotox, Thibault Masset, EPFL (S. 4,5), Eawag (S. 7), Adobe Stock (S. 9, 11)

Maquette, graphisme et mise en page: visu' l AG identity, Bern

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