oekotoxzentrum
centre ecotox

centre ecotox news

33. édition novembre 2026
Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée



L'abrasion des pneus modifie les communautés biologiques du biofilm p. 3

Les pesticides restent plus longtemps dans le sol qu'on ne le pensait p. 4

Valeurs de référence pour les produits phytosanitaires dans les sols p. 6

Des plages de référence pour les bioindicateurs p. 7

L'acide trifluoroacétique : un défi p. 8

Le sol : remettre une ressource essentielle au premier plan



Dr Mathieu Renaud,
écotoxicologue des sols au Centre Ecotox

Le sol est l'une de nos ressources naturelles les plus précieuses. Il constitue la base de la production alimentaire, de la régulation et de la purification de l'eau, du stockage du carbone et du maintien de la biodiversité. Il sert aussi de réservoir pour les polluants issus des activités humaines, dont beaucoup peuvent persister pendant des années, voire des décennies. Malgré son importance, le sol a historiquement reçu moins d'attention que l'eau dans les programmes de surveillance et de protection.

La situation évolue, car la société prend plus conscience des défis auxquels les sols sont confrontés, ce qui se traduit par une attention accrue de la part des autorités réglementaires. Au niveau de l'UE, le fait que plus de 60 % des sols soient considérés comme en mauvaise santé a conduit à l'adoption de la directive sur la surveillance et la résilience des sols en 2025. Cette directive vise à créer un cadre pour l'évaluation systématique de la santé des sols et la gestion des sites contaminés, avec pour objectif d'avoir des sols sains d'ici 2050.

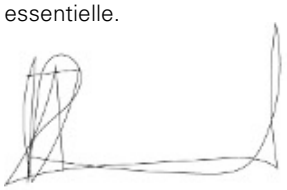
La Suisse suit sa propre approche réglementaire, mais les questions restent largement les mêmes: comment déterminer si les sols sont capables de maintenir leurs fonctions et leur fertilité, et comment identifier et évaluer les impacts de la contamination chimique ? L'attention croissante accordée aux sols crée une demande de plus en plus forte pour des outils capables de soutenir une prise de décision fondée sur des données scientifiques.

Cette édition met en avant plusieurs contributions de nous dans les domaines de l'écotoxicologie des sols et de l'évaluation des risques. Le Centre Ecotox a contribué à une étude nationale sur les résidus de pesticides dans les sols agricoles suisses. Les résultats montrent que les propriétés des sols et les conditions climatiques influencent fortement la persistance des pesticides. Plusieurs substances ont persisté plus longtemps que prévu, parfois à des concentrations préoccupantes sur le plan écotoxicologique.

La présence et la persistance de résidus ne suffisent toutefois pas à déterminer l'existence d'un risque environnemental. Leur interprétation nécessite une évaluation des risques plus approfondie. Afin de soutenir ce processus, le Centre Ecotox a travaillé sur les Soil Guideline Values (SGV). Ces valeurs constituent un outil important pour identifier les sites où les résidus de pesticides pourraient présenter un risque pour la fertilité des sols, nécessiter une évaluation plus approfondie avec des indicateurs d'effet biologiques.

En complément de la surveillance chimique, les indicateurs biologiques fournissent des informations sur les effets des contaminants sur les organismes du sol et le fonctionnement des écosystèmes, bien que leur interprétation reste complexe. Nour avons examiné comment la variabilité naturelle peut être utilisée pour établir des plages de réponses de référence pour certaines espèces de plantes et d'organismes du sol. Ces références permettent de distinguer les variations naturelles des effets liés à la contamination et fournissent une base scientifique pour intégrer des approches basées sur les effets dans les programmes de surveillance des sols.

Les sols constituent un système complexe, mais l'attention croissante qui leur est accordée crée de nouvelles opportunités dans la recherche, la réglementation et la mise en œuvre. À travers ces recherches, le développement de méthodes et le transfert de connaissances, le Centre Ecotox cherche à développer les outils scientifiques nécessaires pour soutenir la protection ainsi que la gestion de notre sol en tant que ressource essentielle.



Titre : La fertilité des sols est essentielle à notre production alimentaire et ne doit pas être compromise par des résidus de produits phytosanitaires. Le Centre Ecotox contribue à l'évaluation de ces risques en développant des valeurs de référence fondées sur les risques et des bioindicateurs adaptés (Photo : Centre Ecotox).

Les particules d'usure des pneus modifient la composition du biofilm

Les résidus d'usure des pneus se déversent dans les écosystèmes aquatiques via les eaux de voirie et les eaux usées. Une nouvelle étude montre que ces particules peuvent modifier la composition et la fonction des communautés naturelles du biofilm qui constitue la base du réseau trophique dans les milieux aquatiques.

La circulation automobile produit en continu des particules d'usure des pneus, qui se déposent au bord des routes et finissent par gagner les sols et le milieu aquatique avec le ruissellement des eaux de voirie. En Europe, les émissions de ces particules sont estimées à environ 450 000 tonnes par an. Pourtant, leurs effets sur les communautés complexes des écosystèmes aquatiques ont encore été peu étudiés.

Dans ce contexte, le périphyton est particulièrement intéressant : ce biofilm naturel qui recouvre les cailloux et autres surfaces dans les cours d'eau est composé d'un réseau complexe d'algues, de bactéries et de champignons, et assure une fonction essentielle dans l'écosystème. Par son activité de photosynthèse, il produit en effet des substances organiques, qui constituent une base fondamentale du réseau trophique. « Les modifications du périphyton pourraient donc avoir des conséquences pour toute la chaîne alimentaire », explique Sara Gonçalves, en post-doc au département Toxicologie de l'environnement de l'Eawag. Pour en savoir plus, une équipe de recherche composée de spécialistes de l'Eawag, du Centre Ecotox et de l'EPFL s'est donc penchée sur les effets des particules de pneus sur le périphyton.

Les particules de pneus s'accumulent sur le biofilm

Pour étudier les interactions, l'équipe a exposé du périphyton pendant deux semaines à différentes concentrations de pneus concassés (50, 500 et 1000 mg/l). Les scientifiques ont tout d'abord observé que les particules s'accumulaient sur et dans le biofilm : 25 à 30 % des particules s'étaient liées au périphyton quand elles avaient été appliquées aux concentrations les plus fortes. « Les sub-stances contenues dans les pneus peuvent alors entrer en contact avec le biofilm, analyse Sara Gonçalves. Parmi elles, on trouve par exemple du zinc et des composés organiques servant d'agents de vulcanisation, d'antioxydants ou d'agents anti-ozone. »

Des effets d'abord sur la composition, puis sur les aspects fonctionnels

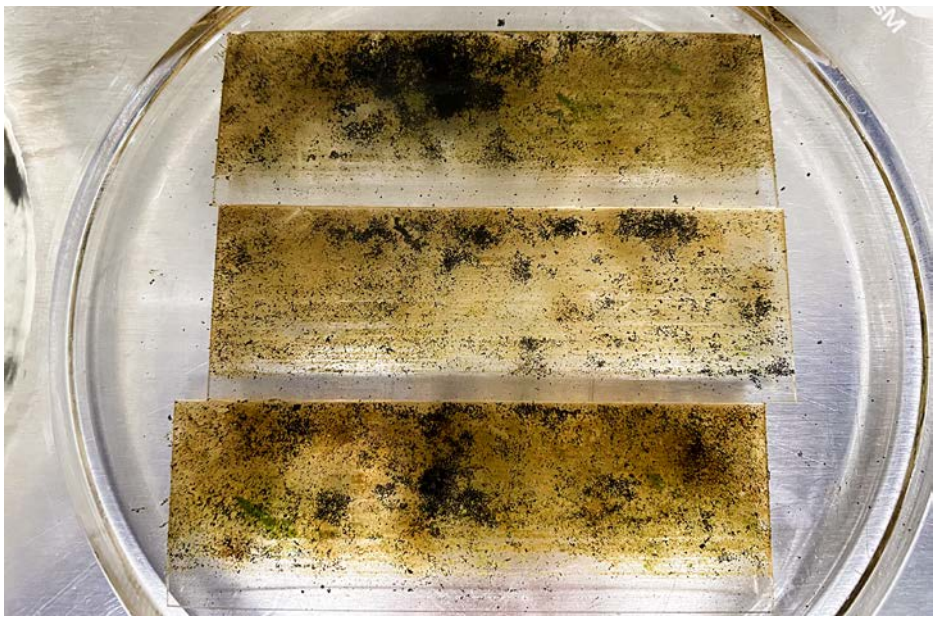
Les particules de pneus avaient un effet marqué sur la composition du biofilm. À la dose de 50 mg/l, la fréquence des diatomées était réduite de près de 45 % par rapport au témoin, et cette réduction atteignait 85 % à 500 et 1000 mg/l. En corollaire, la part des autres groupes, dont les cyanobactéries et les algues vertes, se modifiait. De même, un remplacement progressif s'opérait chez les bactéries : le sous-groupe Bacillota disparaissait presque totalement du biofilm quand ce dernier était exposé aux particules de pneus.

Une réaction des communautés était donc observable dès les expositions les plus faibles. En revanche, les modifications d'ordre fonctionnel n'apparaissaient qu'à des concentrations plus élevées. Au bout de 14 jours d'exposition à 500 ou 1000 mg/l, la biomasse algale avait baissé d'environ 30 %. Aux concentrations les plus élevées, l'efficacité énergétique de la photosynthèse baissait d'environ 10 %. Une réduction de cette efficacité photosynthétique était également observable après une exposition à un extrait aqueux de particules de pneus. « Même si la concentration de particules de pneus appliquée dans l'étude était plus élevée que celle typiquement mesurée dans les cours d'eau, cette dernière pouvait atteindre brièvement la dose testée la plus faible dans des certaines situations, telles que la fonte des neiges ou le lavage des voitures », souligne Sara Gonçalves.

Le produit de l'usure des pneus peut donc modifier la structure des communautés complexes et essentielles au fonctionnement de l'écosystème dans les cours d'eau. « La composition de ces communautés peut jouer un rôle d'indicateur pour détecter un impact environnemental des particules de pneus avant qu'une perturbation fonctionnelle du biofilm ne soit mesurable », conclut Sara Gonçalves. Étant donné que le périphyton est à la fois une source de substances organiques, une interface entre eau et sédiment et une porte d'entrée dans la chaîne alimentaire, il est important de prendre, à l'avenir, un meilleur compte de ces effets dans l'évaluation des particules de pneus.

Informations supplémentaires : Gonçalves, S. et al. (2026). Cryogenically milled tire tread induces functional and structural changes in natural periphyton communities. Environmental Pollution, 401, 128303 (12 pp.). doi.org/10.1016/j.envpol.2026.128303, https://dora.lib4ri.ch/eawag/item/eawag:36646

Contact : Alexandra Kroll
alexandra.kroll@oekotoxzentrum.ch;
Sara Gonçalves
saraisabel.bastosgoncalves@eawag.ch



Les biofilms présents sur des lames de microscope sont exposés à des particules de pneus.

Les pesticides restent plus longtemps dans le sol qu'on ne le pensait

Les résidus de pesticides sont très répandus dans les sols agricoles suisses et ils y persistent bien plus longtemps que ne le supposent les évaluations de risque réglementaires. Le fait que certains résidus soient encore présents, au bout de plusieurs années, à des concentrations potentiellement dangereuses pour les organismes du sol, interroge tout particulièrement.

Les sols sont une base vitale, tant pour la production alimentaire que pour de nombreux services écosystémiques. En milieu agricole, ils subissent pourtant de multiples sources de pression, dont notamment l'action de pesticides, qui peuvent rester dans le sol après leur application. Pour évaluer la fréquence de ces résidus dans les sols agricoles suisses et savoir combien de temps ils y perdurent au-delà du temps de dégradation considéré dans les évaluations réglementaires, les spécialistes d'Agroscope et du Centre Ecotox ont mené une étude en partenariat avec d'autres institutions. Les résultats montrent que la réalité du terrain est parfois très différente des bases théoriques.

Présence de résidus dans tous les sols étudiés

L'équipe a prélevé des échantillons dans 126 sols agricoles répartis dans toute la Suisse. Les sites d'étude comprenaient des champs de grandes cultures, des surfaces maraîchères, des vignobles et des plantations de pommiers et d'abricotiers, tous cultivés de manière conventionnelle, ainsi que quatre champs cultivés en agriculture biologique à titre de comparaison. Les prélèvements ont été effectués entre mars et novembre afin d'éviter les pics de concentration dus aux applications pendant la période de végétation. Au total, 146 composés ont été recherchés, dont 127 substances actives et 19 métabolites.

Des résidus de pesticides ont été détectés sur tous les sites, même ceux cultivés en agriculture biologique. Ces derniers présentaient toutefois des concentrations nettement inférieures à celles des terres cultivées de manière conventionnelle. Dans ces dernières, les analyses ont révélé la présence de 22 à 28 pesticides différents par site en moyenne, selon le mode de culture. Un champ particulier en totalisait même 54. C'est en moyenne au niveau des surfaces maraîchères que la somme des concentrations mesurées était la plus forte.

« Les résidus détectés n'appartenaient pas uniquement à des substances autorisées actuellement, précise Thomas Bucheli d'Agroscope, qui dirige le projet. Nous avons souvent rencontré des produits de transformation de pesticides aujourd'hui interdits en Suisse. C'est par exemple le cas de la 2-hydroxy-atrazine, un métabolite de l'atrazine, qui est un herbicide interdit de longue date. Ce constat montre que les anciennes applications peuvent rester détectables dans le sol pendant très longtemps. »

Tout ne dépend pas de l'intensité d'application

La quantité de pesticides détectée dans un sol donné ne dépendait pas uniquement de l'intensité d'application, mais également des propriétés du sol et des conditions climatiques. Le nombre de composés détectés augmentait avec la teneur en carbone organique et était d'autant plus faible que les précipitations étaient abondantes sur la durée. La nature des processus présidant à ces relations n'a pas été directement étudiée dans le projet. Mais il est notamment probable que l'adsorption sur la matière organique ait pour effet de réduire la biodisponibilité des pesticides et que de bonnes conditions d'humidité favorisent l'activité microbienne et le transfert des composés dans le sous-sol. « Les sols secs et riches en humus semblent donc particulièrement prédestinés à une forte présence de résidus de pesticides, estime Thomas Bucheli. Cet aspect doit être pris en compte dans le choix des sites pour la surveillance des sols. »

Une persistance plus forte que prévu

La persistance des pesticides dans le sol, mesurée par leur demi-vie (DT50), est un critère important de l'homologation de ces composés. Dans l'étude, les valeurs maximales de la DT50 déterminées dans la procédure d'autorisation ont été comparées à la persistance observée en conditions réelles de terrain : elles étaient dépassées dans près de 60 % des cas. L'écart était particulièrement important pour les résidus qui, au moment des prélèvements, se trouvaient déjà dans le sol depuis plus longtemps que la DT90 (durée déterminée dans la procédure d'autorisation, au bout de laquelle 90 % de la quantité initiale a disparu).

Cela peut être dû au fait que le lien des pesticides avec la matière organique et minérale, ou leur intégration à des agrégats, s'intensifie à mesure que la durée de séjour dans le sol s'allonge, ce qui peut ralentir les processus de dégradation. Or les études réglementaires portent surtout sur les phases précoces de la dégradation des pesticides et ne rendent donc pas entièrement compte des comportements à long terme.

Effets potentiels sur la faune du sol

Pour savoir si les résidus de pesticide détectés pouvaient avoir un impact écotoxicologique sur les organismes du sol, les concentrations mesurées dans le sol ont été comparées aux valeurs limites écotoxicologiques déterminées dans le cadre de l'homologation pour différents groupes d'organismes tels que les lombrics, les collemboles et les acariens. « Nous avons mis en évidence concentrations susceptibles d'entraîner des effets écotoxicologiques dû au mélange de pesticides sur 22 sites, parmi les 126 étudiés, indique Marion Junghans, du Centre Ecotox. Les sites le plus souvent concernés étaient les pommeraies, mais c'est au niveau des surfaces maraîchères que la toxicité du mélange était la plus forte. » Aucun dépassement n'a été constaté dans les quatre champs cultivés en agriculture biologique ou dans les plantations d'abricotiers. Treize pesticides étaient majoritairement responsables, dont sept avaient perdu leur homologation en Suisse entre 2016 et 2021. Trois composés contribuaient particulièrement à la toxicité des mélanges, à savoir deux fongicides, le difénoconazole et l'époxiconazole, et un insecticide particulièrement toxique pour les petits organismes du sol, le chlorpyrifos. Sur ces trois pesticides, seul le difénoconazole est encore autorisé.

Les résidus restent longtemps porteurs de risque

Les pesticides les plus intéressants sont ceux qui perdurent dans le sol bien plus longtemps que ne le prévoient les données des dossiers d'homologation. Pour plusieurs substances actives, dont le difénoconazole, le chlorpyrifos, l'époxiconazole, le boscalid et le fludioxonil, des concentrations susceptibles de contribuer à la toxi-



Les pesticides sont utilisés pour éviter de perdre une partie de la récolte à cause des ravageurs ou des mauvaises herbes. Cependant, des résidus de ces substances peuvent persister dans le sol longtemps après leur application.

cité du mélange ont été mesurées après que le temps de séjour a dépassé la DT90. « Nous ignorons toutefois dans quel pourcentage ces résidus anciens sont encore biodisponibles », souligne Marion Junghans. L'évaluation écotoxicologique n'a pas été possible pour tous les résidus car les données de toxicité chronique n'étaient pas toujours disponibles pour les organismes du sol. « Qui plus est, nous n'avons pas pris en compte les plantes et les microorganismes dans notre étude. Celles-ci peuvent être exposées à des effets écotoxicologiques supplémentaires », ajoute Marion Junghans.

Comparaison entre la Suisse et l'Union européenne

L'équipe a comparé les résultats obtenus en Suisse avec les données du réseau européen d'observation des sols LUCAS datant de 2018. Il est apparu que le risque écotoxicologique pour les organismes du sol était plus fort en Suisse que dans les pays de l'Union européenne étudiés, et ce, quel que soit le mode d'utilisation du sol considéré. Les pesticides problématiques étaient sensiblement les mêmes dans les deux jeux de données, mais ils étaient détectés plus fréquemment et à des concentrations plus élevées en Suisse. Ce niveau de contamination plus élevé pourrait notamment s'expliquer par des quantités appliquées plus importantes ou par une utilisation plus fréquente des pesticides problématiques.

Conséquences pour l'homologation et la surveillance des sols

L'étude montre que les données sur les pesticides utilisées dans les procédures d'autorisation ne rendent pas suffisamment compte du comportement à long terme des substances dans les champs. Les résidus persistants, en particulier, peuvent perdurer dans le sol bien après la durée prévue par la DT90. Les scientifiques proposent donc de prolonger les études de persistance au-delà de cette durée et d'appliquer des modèles qui représentent mieux le ralentissement de la dégradation des résidus anciens au cours du temps. Pour les futurs programmes de surveillance de la qualité des sols, l'équipe recommande d'autre part de cibler les pesticides potentiellement pertinents et de mieux harmoniser les méthodes d'analyse.

Enfin, pour évaluer le risque pour les organismes du sol et mieux protéger la fertilité des sols agricoles, il est nécessaire d'établir des valeurs limites écotoxicologiques et des bioindicateur permettant d'évaluer les effets des pesticides. Le Centre Ecotox a déjà déterminé de telles valeurs seuils pour de nombreux pesticides et optimise également l'utilisation des bioindicateurs (voir p. 6-7). « En même temps, il faut poursuivre les recherches pour pouvoir évaluer les effets réels sur le terrain, estime Marion Junghans. Il est particulièrement important de déterminer dans quelle proportion les résidus persistants restent biodisponibles. » Cet aspect est au cœur de travaux menés actuellement par les deux institutions.

Informations supplémentaires: Rösch, A. et al. (2026) Longevity of modern pesticides in Swiss agricultural soils: distribution, drivers, and potential environmental implications. Environ. Sci.: Processes Impacts 2026; 28 (8): 2169–2186. https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/item/eawag:37294

Contact: Marion Junghans
marion.junghans@oekotoxzentrum.ch;
Thomas Bucheli thomas.bucheli@agroscope.admin.ch

Valeurs de référence pour les produits phytosanitaires dans les sols : un nouvel outil pour l'agriculture suisse

Comment savoir si les résidus de produits phytosanitaires restant dans les sols agricoles présentent un risque pour la fertilité des sols ? Les nouvelles valeurs de référence écotoxicologiques peuvent en donner une idée. Fondées sur des données écotoxicologiques, les valeurs proposées permettent d'identifier les sites à risque dans un premier screening.



Les résidus de produits phytosanitaires présents dans les sols ne doivent pas nuire à la fertilité de ces derniers. Les valeurs de référence pouar les sols (SGV) aident à classer les sols menacés. acés.

En 2017, le Conseil fédéral a adopté un plan d'action visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires. L'un des objectifs est de faire en sorte que l'utilisation des produits phytosanitaires (PPh) n'ait pas d'effet durable sur la fertilité des sols. Pour s'en assurer, les résidus de PPh doivent être surveillés dans les sols agricoles et leur impact sur la fertilité des sols évaluée. Pour ce faire, il est besoin, d'une part, des valeurs de référence écotoxicologiques pour estimer le risque représenté par les résidus, et d'autre part, des bioindicateurs adéquats pour mesurer leurs effets.

Le Centre Ecotox travaille à l'élaboration de ces deux outils en partenariat avec EnviBioSoil. Leur attention se concentre sur les organismes du sol et le développement des plantes cultivées, dans la mesure où ces groupes biologiques sont décisifs pour la fertilité des sols et sont les plus susceptibles d'être directement affectés par les résidus. L'équipe du projet a proposé comme valeurs de référence les « Soil Guideline Values (SGV) » déterminées sur la base de données écotoxicologiques. Les SGV sont des valeurs définies pour les résidus de PPh à des fins de screening, au-dessus desquelles des effets négatifs sur la fertilité des sols ne peuvent être exclus.

Sélection et évaluation des substances

Les SGV ont été déterminées pour la plupart des quelque 80 PPh détectés en Suisse dans le programme de surveillance de l'Observatoire national des sols. Leurs valeurs s'échelonnent de 0,037 µg/kg de sol pour l'atrazine à 8500 µg/kg pour le métalaxyl. Pour la majorité des PPh, les SGV déterminées étaient dites « ad hoc », c'est-à-dire qu'elles se fondaient uniquement sur les données écotoxicologiques des dossiers d'homologation. Un certain nombre de PPh prioritaires ont été soumis à une évaluation écotoxicologique plus précise : dans leur cas, les données d'homologation ont pu être complétées de données issues de la littérature scientifique. L'équipe du projet a vérifié la qualité des données à l'aide d'un protocole standardisé et n'a retenu que celles qui étaient jugées fiables et pertinentes. Étant donné que le sol de chaque site contient de nombreux PPh, les SGV ont ensuite été combinées pour évaluer la toxicité des mélanges.

Limites de disponibilité des données

Les SGV devant jouer un rôle de précaution, il a été tenu compte des incertitudes de calcul liées aux données manquantes par l'application d'un facteur de sécurité. D'autre part, la biodisponibilité des résidus de PPh a été prise en compte par normalisation vis-à-vis d'une teneur en carbone organique standard dans le sol ; il est toutefois probable que cette biodisponibilité se modifie à mesure que les résidus perdurent dans le sol, mais l'effet de ce « vieillissement » est encore largement inconnu. Dans le cas de cinq substances, la détermination d'une SGV s'est avérée impossible dans la mesure où les données du dossier d'homologation étaient inaccessibles au public ; il s'agit du fénarimol, de l'orbencarbe, du pencycuron, du pyrifénox et du zoxamide.

Applications pratiques

Les SGV sont conçues pour un screening permettant d'évaluer le risque pour la fertilité des sols sur un site donné en hiver, avant la première application de PPh de la saison. Un dépassement de ces valeurs indique un risque d'effets sur le terrain ; il est alors recommandé de procéder à une étude détaillée du site à l'aide de bioindicateurs. Ces études approfondies sont, dans l'idéal, menées sur une période prolongée d'environ cinq ans, afin de détecter tous les effets, dont ceux à long terme. Les SGV fournissent donc un premier outil de sélection permettant d'identifier les sites nécessitant une caractérisation plus précise des effets potentiels.

Informations supplémentaires : Junghans, M., Balk, F., Campiche, S., Lauber, E., Renaud, M., Ferrari, B. (2026) Soil Guideline Values – proposed screening values for the integrated assessment of plant protection product residues in agricultural soils, https://www.centre-ecotox.ch/projets/ecotoxicologie-des-sols/strategie-de-surveillance-des-produits-phytosanitaires-dans-le-sol

Contact : Marion Junghans
marion.junghans@oekotoxzentrum.ch

Des plages de référence pour les bioindicateurs

Des chercheurs du Centre Ecotox ont déterminé la variabilité naturelle de quatre espèces utilisées comme bioindicateurs ecotoxicologiques de l'état de santé des sols. Ces plages de référence serviront de base à une utilisation pratique de ces méthodes de bioindication et à une surveillance plus parlante de la qualité des sols.

La santé des sols est essentielle, et les organismes qui y vivent, contribuent fortement à leur fertilité et donc sur la production de denrées alimentaires. En 2017, la Confédération a lancé un plan d'action sur les produits phytosanitaires (PPh) afin de réduire les risques qui leur sont liés et de préserver la fertilité des sols. Dans le cadre de ce plan d'action, le Centre Ecotox travaille avec plusieurs partenaires à l'élaboration d'une stratégie de surveillance des résidus de PPh dans les sols agricoles.

Des bioindicateurs pour la surveillance des sols

Mais comment évaluer correctement le degré de contamination des sols ? « Les analyses chimiques indiquent les concentrations de résidus, mais elles ne permettent pas de savoir si les polluants sont biodisponibles ou s'ils ont un effet sur les organismes du sol, explique le responsable du projet, Mathieu Renaud. Certaines espèces d'organismes du sol peuvent alors aider à évaluer la pollution à travers ses effets sur des fonctions biologiques telles que la reproduction ou la croissance. On parle alors de bioindicateurs. » Le Centre Ecotox a proposé plusieurs bioindicateurs pour l'évaluation de la fertilité des sols, dont notamment les enchytréides et les collemboles.

Toutefois, il manquait encore une méthode adéquate pour interpréter les résultats en identifiant correctement les écarts par rapport à la réponse normale. La difficulté réside alors dans la variabilité naturelle du sol, car ses propriétés, telles que le pH, le taux de matière organique et la texture, influent sur le développement des organismes.

Détermination de plages de référence naturelles

Pour pouvoir interpréter une réaction biologique, il faut donc disposer d'une référence adéquate. Les essais de laboratoire intervenant dans les études écotoxicologiques utilisent souvent un sol standardisé comme témoin. « Ce sol témoin n'est cependant pas forcément représentatif des sols étudiés dans les programmes de surveillance, soulève Mathieu Renaud. Il peut alors arriver que des réactions biologiques soient mal interprétées, car les différences par rapport au témoin ne sont pas dues à la pollution mais à la variabilité naturelle de la réponse biologique en fonction des des sols. » Pour résoudre ce problème, Mathieu Renaud et son équipe ont sélectionné 32 sols du Jura suisse et y ont étudié diverses réponses biologiques chez quatre organismes de test standard, à savoir la reproduction chez les enchytréides et les collemboles, et la croissance des tiges et des racines chez le colza et l'oignon.

Les chercheurs ont comparé deux approches différentes pour déterminer le les réponses normales, c'est-à-dire la variabilité naturelle dans les différents sols. Dans la première approche, les réponses biologiques dans les sols ont été comparées à un sol témoin standard et les écarts évalués. La deuxième approche, quant à elle, se fondait directement sur la distribution des valeurs de mesure dans les sols. « Nous avons pu déterminer des plages de valeurs normales pour les quatre espèces étudiées, indique Mathieu Renaud. L'approche fondée sur la distribution s'est alors révélée mieux adaptée à la détermination de ces plages de référence que la comparaison avec le sol témoin standard. » Les sols étudiés contenaient très peu de résidus de PPh ce qui les rendait particulièrement adaptés à une caractérisation de la variabilité biologique naturelle.

Vérification avec des sols contaminés

Les résultats montrent qu'il est possible de déterminer des plages de référence en se fondant directement sur la variabilité naturelle des bioindicateurs dans des sols d'une région donnée. Ces plages de référence permettent ensuite de faire la distinction entre les fluctuations naturelles et al réponse aux PPh. En même temps, l'étude a clairement montré que cette variabilité différait selon les espèces et qu'il n'existait donc pas de plage de référence universelle, valable pour tous les sols et tous les organismes. Les plages de référence doivent donc être définies pour chaque espèce employée dans les tests et, si nécessaire, pour les différentes régions.
« Nous allons maintenant étendre notre approche à d'autres types de sols et régions de Suisse et comparer les plages de référence normales ainsi définies avec des sols contaminés, indique Mathieu Renaud. Cela nous permettra d'évaluer la sensibilité et la fiabilité avec laquelle les bioindicateurs détectent les sols pollués dans les conditions réelles de la surveillance. »

Plus d'informations : Renaud, M. et al. (2026) Natural variability of four ecotoxicological test species in soils–proof of concept at a regional scale and first step towards a national reference response. Integrated Environmental Assessment and Management, https://doi.org/10.1093/inteam/vjag114, https://dora.lib4ri.ch/eawag/item/eawag:37292

Contact : Mathieu Renaud
mathieu.renaud@centreecotox.ch



La reproduction d'organismes du sol tels que les collemboles peut être utilisée pour évaluer la pollution d'un sol. Elle est toutefois également soumise à une variation naturelle en fonction du type de sol.

TFA : un défi pour la protection des eaux et l'approvisionnement en eau potable

L'acide trifluoroacétique (TFA), un composé extrêmement persistant de la famille des PFAS, est détectable dans les eaux superficielles et souterraines de la quasi-totalité de la Suisse. Ce que l'on sait déjà des sources d'émission, des effets potentiels sur la santé et des difficultés de traitement mène à une seule conclusion : pour limiter durablement la contamination, c'est à la source qu'il faut agir.

Très soluble dans l'eau, mobile et, en l'état actuel des connaissances, quasiment indégradable dans l'environnement : ces propriétés font de l'acide trifluoroacétique un cas à part parmi les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS). Qui plus est, le TFA est émis en continu dans l'environnement à partir d'une grande diversité de sources. Pour la protection des eaux, se pose alors une question cruciale : comment éviter que ce polluant ne continue de s'accumuler, alors qu'il est déjà très répandu et qu'il est très difficile de l'éliminer dans l'eau ?

Une forte augmentation dans les cours d'eau

Les analyses récentes révèlent à quel point le TFA s'est répandu en Suisse : dans une étude du programme d'observation nationale de la qualité des eaux souterraines (NAQUA), le polluant a été détecté dans 508 stations de mesure sur 517 en 2022 et 2023. Près de 70 % des concentrations mesurées étaient inférieures à 1 µg/l et 95 % en dessous de 2 µg/l. Les valeurs observées avaient alors tendance à être plus élevées dans les régions agricoles que dans les régions alpines et préalpines.

Le TFA est également très présent dans les cours d'eau. Des analyses effectuées entre 2021 et 2023 dans neuf stations réparties sur rivières suisses ont indiqué des concentrations allant de 0,21 à 2,8 µg/l. Dans les systèmes fluviaux étudiés, les concentrations avaient tendance à augmenter de l'amont vers l'aval. Mais le plus frappant est l'évolution de la contamination dans le temps : une comparaison avec des analyses datant de 1996/1997 révèle que la concentration moyenne de TFA dans le réseau hydrographique suisse est passée de 0,09 à 0,52 µg/l ; elle a donc été quasiment multipliée par six !

Une multitude de sources d'émission pour un composé hautement persistant

Le TFA peut se libérer dans l'environnement d'une multitude de façons. En Suisse, les plus fortes émissions s'effectuent par dépôt atmosphérique. Les gaz fluorés issus des fluides frigorigènes se dégradent dans l'atmosphère en donnant naissance à du TFA qui est ensuite entraîné par les pluies dans les sols et les milieux aquatiques. Étant donné que la substance peut alors être transportée sur de très grandes distances, elle atteint même les zones les plus reculées des Alpes. Pour la période 2021 à 2023, des scientifiques ont estimé les dépôts atmosphériques de TFA en Suisse à environ 24,5 tonnes par an, soit plus de quatre fois la valeur d'il y a trente ans.

Les produits phytosanitaires formant du TFA en se dégradant constituent une autre source majeure d'émission en Suisse. En milieu agricole, leur contribution peur être nettement supérieure à celle des dépôts atmosphériques. S'ajoutent ensuite à ces sources les rejets provenant des eaux usées communales et industrielles, des décharges et, éventuellement, du traitement thermique des déchets contenant des PFAS. La source dominante dépend fortement du lieu considéré. À l'échelle de la Suisse, les dépôts atmosphériques contribuent le plus fortement aux émissions connues. Dans certaines zones agricoles, la contribution des produits phytosanitaires peut toutefois être largement majoritaire.

Quasiment impossible à éliminer dans l'eau

En raison de sa faible masse moléculaire, de sa forte polarité et de sa grande solubilité dans l'eau, le TFA ne peut être extrait de l'eau qu'au prix d'une énorme consommation d'énergie. Les technologies classiques de potabilisation et d'épuration des eaux n'en assurent qu'une élimination insuffisante, car il ne s'accumule ni dans les boues floculées ni dans la phase solide. De plus, même le charbon actif et les résines d'échanges d'ions, pourtant validés pour le traitement des PFAS à chaîne longue, sont peu efficaces avec le TFA.

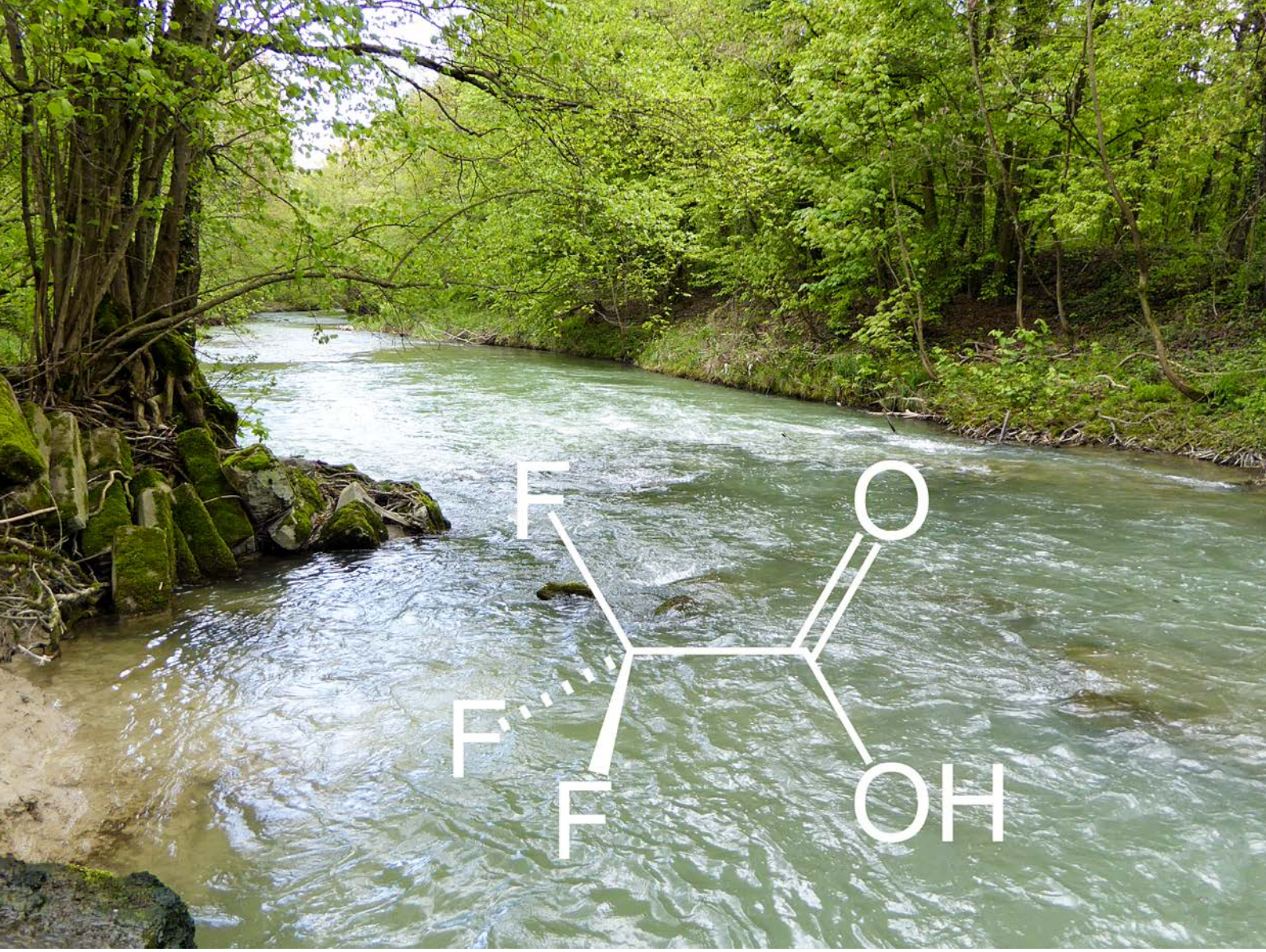
Il est techniquement possible de retirer physiquement le TFA de l'eau, par nanofiltration ou par osmose inverse, par exemple. Les études pilotes attestent de taux de rétention élevés : dans une installation pilote de potabilisation, une élimination de plus de 99,9 % a ainsi été atteinte par osmose inverse. Mais ces procédés produisent des flux de déchets hautement concentrés et leur coût et leur forte consommation d'énergie les rendent impropres à une utilisation à grande échelle.

Le développement de technologies permettant une réelle dégradation du TFA en est encore à ses balbutiements. Les premiers essais pilotes sont prometteurs, mais, pour le moment, ces procédés conviennent surtout au traitement des effluents et déchets industriels fortement concentrés. Une élimination généralisée du TFA dans les eaux déjà contaminées dans l'environnement semble donc irréaliste, tant d'un point de vue technique qu'économique.

Et les effets sur la santé ?

En plus de sa persistance et de son ubiquité, les effets potentiels du TFA sur la santé sont un sujet de préoccupation croissant. Des essais sur animaux ont notamment fait état de modifications du système reproducteur et d'une certaine toxicité pour le développement et le système immunitaire. Au vu de ces résultats, l'Agence européenne des produits chimiques a classé le TFA dans la catégorie des substances reprotoxiques en 2026.

On ne dispose encore que de peu de données concernant les organismes exposés dans l'environnement. Le TFA ne semble pas présenter de toxicité aiguë notable pour les organismes étudiés, mais les effets chroniques sont encore largement inconnus. En l'état actuel des connaissances, certaines algues y seraient particulièrement sensibles. Pour beaucoup d'autres organismes, dont les invertébrés du sol, les plantes vasculaires terrestres et de nombreux organismes marins, aucune donné fiable n'est disponible. Pour les substances aussi persistantes que le TFA, de telles lacunes ne sont pas anodines. En effet, même un risque minime peut, avec le temps, avoir un fort impact si la substance responsable est constamment émise dans l'environnement et ne se dégrade quasiment pas.



L'acide trifluoroacétique (TFA) est présent partout dans les cours d'eau ; il est extrêmement stable et nuit à la reproduction. Une fois que cette substance se trouve dans l'eau, il est pratiquement impossible de l'en éliminer.

Mieux vaut prévenir qu'assainir

La Suisse n'a pas encore défini de limite réglementaire spécifique au TFA pour les eaux de surface ou l'eau de boisson. Le Centre Ecotox a récemment déterminé un critère de qualité chronique de 16 µg/l pour la protection des écosystèmes aquatiques. Dans l'UE, le TFA est inclus dans la liste des 25 PFAS pour la somme desquels un seuil de 4,4 ng/l d'équivalents PFOA a été fixé dans le cadre de la directive cadre sur l'eau. Cette valeur résulte de l'évaluation de l'EFSA des concentrations sans danger pour la santé humaine. Si un échantillon d'eau ne renfermait que du TFA, à l'exclusion de tout autre PFAS, sa concentration ne devrait pas excéder 2,2 µg/l.

Actuellement, 95 % des concentrations mesurées dans l'eau souterraine sont encore inférieures à ce seuil. Mais les séries d'analyse des quinze dernières années montrent une nette augmentation, aussi bien dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines. Dans les régions agricoles, en particulier, les nappes phréatiques présentent dès aujourd'hui des concentrations de TFA comprises entre 1 et 5 µg/l.

Réduire les émissions à la source

La conclusion qui s'impose est donc claire : dans le cas du TFA, la prévention est le maître-mot. La contamination déjà présente dans l'environnement ne peut être réduite qu'avec des moyens techniques et financiers très considérables, et il est donc beaucoup plus efficace d'empêcher les futures émissions. Cela implique en particulier de questionner l'utilisation des produits à partir desquels du TFA peut se former, à savoir les fluides frigorigènes, certains produits phytosanitaires et les autres précurseurs. En complément, des mesures peuvent être engagées ponctuellement au niveau des effluents industriels très pollués pour réduire les émissions locales.

« Pour éviter qu'à l'avenir, de telles situations, dans lesquelles la marge de manœuvre est extrêmement limitée, ne se reproduisent, il faut que les critères d'évaluation des produits chimiques intègrent un élément spécifique à la persistance des substances, commente Alexandra Kroll du Centre Ecotox. Car dans le cas des polluants extrêmement persistants et mobiles, il est beaucoup plus difficile d'assainir a posteriori que d'éviter les nouvelles émissions à l'amont. La réduction précoce des émissions à la source permet non seulement de limiter la contamination de l'environnement mais aussi, à long terme, d'éviter des traitements et mesures d'assainissement complexes et très coûteux. »

Plus d'informations: Kroll, A. et al. (2026) Trifluoressigsäure (TFA): Herausforderungen für Gewässerschutz und Trinkwasserversorgung in der Schweiz. Aqua & Gas 106 (10), 18-25. https://dora.lib4ri.ch/eawag/item/eawag:37390

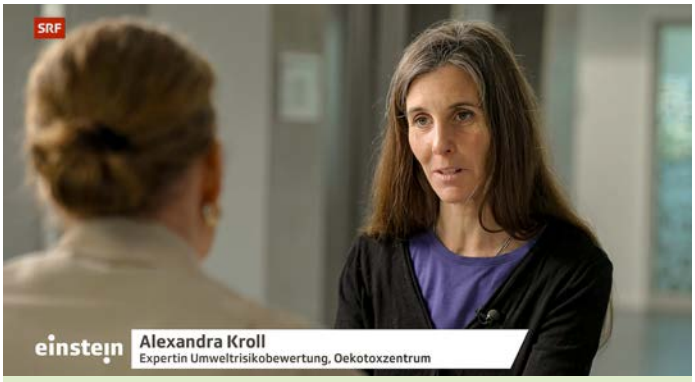
Contact: Alexandra Kroll
alexandra.kroll@oekotoxzentrum.ch

Les brèves du Centre Ecotox



Le Centre Ecotox dans de nouveaux locaux à l'EPFL
Le Centre Ecotox dispose depuis septembre 2026 de nouveaux locaux et d'espaces supplémentaires à l'EPFL. Nous avons déménagé dans le bâtiment CH fraîchement rénové du campus d'Ecublens, où nous occupons maintenant des locaux aux étages B et C. Nous sommes très heureux des nouveaux espaces de bureau et de laboratoire et apprécions énormément la terrasse ensoleillée dont nous jouissons sur le toit. À noter : notre adresse postale a changé. Vous trouverez davantage d'informations sur notre site .

www.centreecotox.ch/portrait/contact



Le Centre Ecotox dans l'émission Einstein de la SFR sur les risques liés aux PFAS
Les PFAS, ces « polluants éternels », contaminent les eaux, les sols, les aliments et affectent la santé humaine. De nombreux PFAS sont nocifs pour l'être humain et pour l'environnement. Pourtant, malgré la toxicité chronique de ces substances, on dispose encore de trop peu de données fiables sur leur dangerosité.
Alexandra Kroll, spécialiste des risques, s'entretient avec Katrin Hönegger d'Einstein sur l'importance des contaminations actuelles par les PFAS et les analyse. L'émission aborde la contamination des eaux, des sols et des êtres humains et présente de nouvelles méthodes pour éliminer les PFAS de l'eau potable, du lisier et des eaux usées.

Lien vers l'émission: https://www.srf.ch/play/tv/einstein/video/risiko-pfas-vergiften-wir-unsere-zukunft?urn=urn:srf:video:caae04b3-d7f9-4544-b5ae-aa651510268a



Évaluation écotoxicologique d'une nouvelle technologie de nettoyage des rues
Le canton de Genève a développé une nouvelle technologie pour le nettoyage des rues afin de réduire les émissions dans l'environnement de particules d'abrasion des pneus et de polluants associés. Dans un nouveau projet en partenariat avec l'Eawag, l'EPFL, le canton de Genève et le Tire Industry Project, le Centre Ecotox évalue les capacités potentielles de cette nouvelle technologie à réduire les rejets et les effets de ces matériaux.

Concrètement, il s'agit d'un véhicule de nettoyage à haute pression utilisé pour régénérer les pores de l'asphalte antibruit et ainsi prolonger sa capacité d'absorption phonique. Dans le cadre du projet, les scientifiques caractérisent tout d'abord l'état initial à travers la distribution des particules de pneus et des polluants associés dans les poussières provenant des routes, les eaux de ruissellement et les sols. Ces valeurs sont ensuite comparées aux concentrations mesurées après intervention du nouveau système de nettoyage. L'efficacité de la technologie sur le plan écologique est évaluée à l'aide de différents types de bioessais couvrant une large gamme de réactions biologiques. Cela permettra d'estimer dans quelle mesure l'impact écologique des eaux de voirie peut être réduit en conditions réelles.

Contact : Benoit Ferrari benoit.ferrari@centreecotox.ch; Etienne Vermeirssen etienne.vermeirssen@oekotoxzentrum.ch



Pesticides : aperçu des valeurs limites en vigueur en Suisse et dans l'Union européenne

Les pesticides sont utilisés dans les produits phytosanitaires, les produits biocides et les médicaments destinés aux êtres humains et aux animaux. Afin de protéger la santé humaine et les organismes du milieu naturel, des valeurs limites pour les pesticides sont donc fixées, d'une part, dans le cadre des procédures d'autorisation et, d'autre part, dans la législation relative à la sécurité alimentaire et à la protection de l'environnement. La mise en œuvre diffère en partie entre la Suisse et l'UE.

Une nouvelle fiche d'information propose un bref aperçu comparatif des valeurs limites en vigueur pour les eaux de surface et souterraines et l'eau potable en Suisse et dans l'UE. Elle compare également les situations respectives en matière de surveillance des pesticides dans les eaux et traite des interactions entre la surveillance et l'établissement des valeurs limites.

www.centreecotox.ch/news-publications/fiches-info

Nouvelle publication sur l'évaluation de la toxicité des mélanges de pesticides dans les sols

Bien que les résidus de pesticides se présentent généralement dans les sols européens sous forme de mélanges de plusieurs composés, l'évaluation actuelle des risques environnementaux pour les sols continue de considérer chaque pesticide isolément. De ce fait, les effets potentiels des mélanges sur les organismes édaphiques et les fonctions de l'écosystème du sol sont négligés.

Notre nouvel article de synthèse résume l'état des connaissances sur la toxicité des mélanges dans le sol et met en évidence d'importantes lacunes dans les données ainsi que des failles conceptuelles dans les pratiques scientifiques et réglementaires actuelles en matière d'évaluation des risques environnementaux dans le sol. Sur cette base, nous proposons une approche spécifique pour l'évaluation des risques liés aux mélanges dans les sols, qui considère séparément les différents niveaux trophiques. Cette approche peut éclairer et soutenir les développements internationaux, tels que la nouvelle législation européenne sur la surveillance des sols, ainsi que les études expérimentales sur les sols.

Balk, F., Lauber, E., Ferrari, B. J. D., Renaud, M., & Junghans, M. (2026). Current mixture toxicity assessments on soil organisms and applied risk assessments. Environmental Science: Advances. doi.org/10.1039/D5VA00405E. https://dora.lib4ri.ch/eawag/item/eawag:36660
Contact : Fabian Balk fabian.balk@oekotoxzentrum.ch



Privilégier la santé face aux denrées alimentaires contaminées aux PFAS

Le Centre Ecotox a contribué, en collaboration avec d'autres scientifiques, à l'élaboration d'une prise de position des Académies suisses des sciences, dont il a assuré la coordination, et qui portait sur la proposition de modification des ordonnances sur les denrées alimentaires et l'eau potable concernant les PFAS et la santé publique. Les composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) sont des composés chimiques très persistants que l'on retrouve partout dans l'environnement, y compris dans les denrées alimentaires et l'eau de boisson, et qui peuvent nuire à la santé humaine.

La Confédération a proposé de renforcer les valeurs maximales actuellement en vigueur pour l'eau potable et de définir une valeur maximale distincte pour quatre PFAS critiques. Si les chercheuses et chercheurs soutiennent cette stratégie, la limite maximale proposée pour les PFAS critiques, à savoir 20 ng/l, est jugée trop élevée pour garantir la protection de la santé. Par ailleurs, la Confédération a proposé que, pendant une période transitoire, les denrées alimentaires contaminées par des PFAS puissent être mélangées à des denrées non contaminées afin de pouvoir continuer à les commercialiser. Cette proposition est rejetée, car elle ne réduit pas la contamination par les PFAS dans la chaîne alimentaire ni l'exposition des personnes, mais se contente de la redistribuer, ce qui pourrait réduire l'incitation à assainir les zones fortement contaminées par les PFAS.

Plus d'informations sur le site web de la SCNAT: https://scnat.ch/fr/uuid/i/b399decd-061f-556f-8065-ec0e01e74fde-Privil%C3%A9gier_la_sant%C3%A9_face_aux_denr%C3%A9es_alimentaires_contamin%C3%A9es_aux_PFAS

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.

Une surveillance environnementale pour lutter contre l'antibiorésistance

La résistance aux antibiotiques peut se propager dans l'environnement et se transmettre de l'environnement au microbiome humain. Une nouvelle analyse conclut donc à la nécessité d'intégrer systématiquement une surveillance environnementale dans les stratégies européennes de lutte contre la diffusion de l'antibiorésistance. Les scientifiques ont évalué 18 stratégies nationales et constaté que les données d'occurrence des formes de résistance aux antibiotiques dans l'environnement étaient collectées de façon fragmentée et hétérogène. De leur point de vue, une surveillance environnementale harmonisée à l'échelle européenne s'imposerait donc en tant que pilier d'une approche « one health » réellement efficace pour lutter contre l'antibiorésistance.

Corno, G. et al. (2026) Environmental surveillance of antimicrobial resistance: the missing pillar in Europe's One Health strategy. npj Antimicrob Resist https://doi.org/10.1038/s44259-026-00274-9

Homologation des pesticides dans l'UE : les scientifiques alertent sur un affaiblissement de la protection de l'environnement

Des scientifiques alertent sur le fait que la simplification des règles d'homologation des pesticides proposée par la Commission européenne en 2025 amplifierait les failles des procédures d'évaluation actuelles. Leur critique porte notamment sur le projet de rendre illimitée l'autorisation des substances actives : il appartiendrait alors à la Commission de décider de l'opportunité des réévaluations, alors que ce sont justement ces réexamens réguliers des homologations qui ont conduit à l'interdiction de 59 substances depuis 2011. Par ailleurs, le délai de grâce serait allongé pour les autorisations non renouvelées et la recherche indépendante serait moins prise en compte. Les scientifiques demandent une meilleure étude des impacts sur les groupes d'espèces menacées, une communication transparente des études réalisées par les fabricants et une surveillance systématique après autorisation.

Wintermantel, D. et al. (2026) EU Omnibus proposal increases pesticide risks. Science 392,1348-1351. DOI:10.1126/science.aeg8744

Des valeurs indicatives proposées pour le PFOA et le PFOS dans le sol

Deux chercheurs ont proposé des valeurs indicatives pour les sols pour deux PFAS, à savoir le PFOS et le PFOA. Étant donné que leur entraînement dans les masses d'eau souterraine est un aspect particulièrement critique, ils ont calculé les concentrations dans le sol correspondant au seuil de 4 ng/l fixé pour l'eau afin de protéger la santé humaine. Ces teneurs sont, respectivement, d'à peine 0,01 et 0,06 µg/kg de sol pour le PFOA et le PFOS ; elles sont donc largement inférieures au seuil de détection des laboratoires privés, qui se situe aux alentours d'1 µg/kg. Les chercheurs proposent avec pragmatisme une valeur indicative d'1 µg/kg pour les deux substances, qui pourrait correspondre au seuil autorisé dans les boues d'épuration, les biosolides et le lisier. Pour les surfaces déjà contaminées, les auteurs recommandent une analyse coût/bénéfice et une fixation des substances dans les sols, par phytomanagement ou utilisation de biochar, par exemple.

Sauvé, S., Arp, H.P.H. (2026) Urgency to Propose Normative Soil Limits for Per- and Polyfluoroalkyl Substances Targeting PFOA and PFOS. Environ. Sci. Technol. Lett. 13, 862–864. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.6c00543

Les cocktails de polluants agissent tout le long de la chaîne alimentaire, jusqu'aux humains

Les polluants chimiques peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire et rester biologiquement actifs jusque dans le corps humain. C'est ce que montre une étude dans laquelle les effets de mélanges complexes de polluants organiques extraits de l'eau, des poissons, de diverses denrées alimentaires et du sang humain ont été testés dans 22 bioessais in vitro. Les effets les plus forts ont été observés avec les échantillons de poisson et de sang humain.

Escher, B. et al (2026) In Vitro Bioassay Evidence for Chemical Mixture Propagation from the Environment to Humans. Environ. Sci. Technol. 60, 16498–16513. https://doi.org/10.1021/acs.est.6c00908

Fortes concentrations de polluants dans les eaux pluviales urbaines

Les eaux pluviales urbaines peuvent polluer les milieux aquatiques avec des concentrations de polluants bien supérieures aux valeurs limites écotoxicologiques. L'étude de 34 échantillons d'eau pluviale prélevés dans toute l'Europe désigne en particulier les éléments métalliques, les résidus d'usure des pneus et les médicaments comme moteurs de risque. Du côté des métaux, les dépassements les plus importants ont été mesurés pour l'aluminium, le cuivre et le zinc. Parmi les polluants émergents, l'antibiotique chlarithromycine présentait le plus fort dépassement, suivi par la 6PPD-quinone, un produit de transformation d'un composant chimique des pneus. D'autres substances issues des pneus étaient également très présentes.

Molnár Karlsson, T. et al. (2026) Inventory and risk characterization of urban runoff pollutants in Europe. Water Research, 297, 125680, https://doi.org/10.1016/j.watres.2026.125680

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, Eawag (S. 3, 5), Adobe Stock (S. 6, 11)
Maquette et graphisme : Egger next, Thoune
Abonnements et changements d'adresse : Bienvenue à tout(e) nouvel(le) abonné(e), info@centreecotox.ch