

# Journée d'info 2015

Für Deutsch  
umdrehen

**Micropolluants dans les eaux –  
Actions dans le domaine de  
l'épuration des eaux usées**

# Journée d'info 2015

## **Micropolluants dans les eaux – Actions dans le domaine de l'épuration des eaux usées**

Nos eaux usées contiennent beaucoup de micropolluants provenant de différentes sources. Malgré les bonnes performances des stations d'épuration des eaux usées (STEP), ces substances polluent nos eaux. C'est pourquoi l'ordonnance sur la protection des eaux prévoit que les communes suisses à mettre en œuvre des mesures techniques pour éliminer les micropolluants dans certaines STEP à partir de 2016. Les recherches de l'Eawag ont joué un rôle essentiel en élaborant les normes de qualités des eaux et en développant des mesures techniques efficaces pour les STEP. La journée d'information 2015 offre une vue d'ensemble de la situation actuelle en Suisse et présente l'état de la recherche concernant les mesures d'épuration des eaux ainsi que l'évaluation et la surveillance des eaux superficielles.

L'Eawag est l'institut de recherche sur l'eau du domaine des EPF. Les quelque 500 personnes qui y travaillent se répartissent sur les sites de Dübendorf près de Zurich et de Kastanienbaum près de Lucerne. En plus de son engagement pour la recherche, l'Eawag est très actif dans le domaine de l'enseignement et du conseil et joue en cela un rôle de passeur entre la science et le monde professionnel. [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

# Programme

## Modérateurs

Pr. Christof Holliger, Directeur du Laboratoire de biotechnologie de l'environnement, EPFL

Marc Bernard, Chef de la section Protection des eaux, Service de la protection de l'environnement, Canton du Valais

<b>9.20</b>	<b>Mot de bienvenue au nom de l'EPFL</b> Pr. Patrick Aebischer, Président de l'EPFL	
<b>9.30</b>	<b>Allocution de bienvenue</b> Pr. Rik Eggen, Directeur adjoint de l'Eawag	
<b>9.35–10.00</b>	<b>Les micropolluants dans les eaux usées et les eaux superficielles – un tour d'horizon</b> Dr Christa McArdell, Département de chimie de l'environnement, Eawag	<b>4</b>
<b>10.00–10.25</b>	<b>La contamination du Léman par les micropolluants</b> Audrey Klein, Secrétaire générale, Commission internationale pour la protection des eaux du Léman	<b>5</b>
<b>10.25</b>	<b>Pause café</b>	
<b>11.00–11.25</b>	<b>Micropolluants: besoin d'action en Suisse romande dans le traitement des eaux usées, à l'exemple du canton de Vaud</b> Dr Philippe Vioget, Directeur adjoint de l'environnement industriel, urbain et rural, Département du territoire et de l'environnement DGE	<b>6</b>
<b>11.25–11.50</b>	<b>Éléments traces dans les eaux: que fait la Suisse?</b> Dr Michael Schärer, Chef de la section Protection des eaux, Office fédéral de l'environnement OFEV	<b>7</b>
<b>11.50–12.15</b>	<b>Discussion</b>	
<b>12.15–13.45</b>	<b>Standing lunch</b>	
<b>13.45–14.10</b>	<b>Les sous-produits de l'ozonation et leur devenir dans le post-traitement biologique</b> Pr. Urs von Gunten, Directeur du Laboratoire pour le traitement et la qualité de l'eau, EPFL / Groupe de chimie de l'eau potable, Eawag	<b>8</b>
<b>14.10–14.35</b>	<b>Epuración biologique des eaux usées et traitement au charbon actif</b> Dr Adriano Joss, Département de Technologie des procédés, Eawag	<b>9</b>
<b>14.35–15.00</b>	<b>Evaluation de la qualité de l'eau par les tests biologiques d'écotoxicité</b> Dr Cornelia Kienle, spécialiste d'écotoxicologie aquatique, Centre Ecotox Eawag-EPFL	<b>10</b>
<b>15.00–15.15</b>	<b>Discussion</b>	
<b>15.15–15.40</b>	<b>Pause café</b>	
<b>15.40–16.05</b>	<b>Instruments politiques de régulation des micropolluants: difficultés et préférences</b> Pr. Karin Ingold, Département de Sciences sociales de l'environnement, Eawag / Institut de sciences politiques, Université de Berne	<b>11</b>
<b>16.05–16.30</b>	<b>Renaturation des cours d'eau: le juste équilibre entre protection et utilisation</b> Dr Christine Weber, responsable du programme Cours d'eau suisses, Eawag	<b>12</b>
<b>16.30–16.45</b>	<b>Discussion finale</b>	
	<b>Apéro dans le foyer</b>	



## Les micropolluants dans les eaux usées et les eaux superficielles – un tour d’horizon

Grâce aux nouvelles techniques d’analyse, il est aujourd’hui possible de détecter les polluants présents dans le milieu aquatique à très faible concentration et d’évaluer la contamination par les micropolluants de façon plus réaliste. Face aux récents constats, la Confédération a décidé de prendre des mesures pour limiter les rejets à partir des stations d’épuration et s’attaque aux émissions diffuses.

Suite au développement de l’épuration depuis 50 ans, la qualité des eaux suisses s’est fortement améliorée en ce qui concerne le carbone, le phosphore et l’azote. Toutefois, les missions de l’assainissement ont maintenant changé et, depuis une quinzaine d’années, le problème des micropolluants tient le secteur en haleine. En raison du niveau de vie et du vieillissement de la population, de nombreux composés sont émis dans le milieu aquatique par les ménages, les transports, le bâtiment, l’industrie et l’agriculture.

Les mesures effectuées depuis près de 20 ans par le service de l’environnement et de l’énergie de Bâle-Ville (AUE) à la station de surveillance des eaux du Rhin de Weil permettent d’en savoir plus sur les voies de rejet des micropolluants en indiquant si une substance est émise en continu ou si ses concentrations varient. Les fluctuations peuvent être dues à des rejets ponctuels – venant de déversoirs d’orage, d’industries, etc. – ou à des arrivées de rejets diffus – venant du lessivage des terrains agricoles ou des bâtiments par exemple.

### Des seuils de détection de plus en plus bas

Les micropolluants sont présents à des concentrations infimes (quelques µg/l ou moins). C’est grâce au développement de techniques d’analyse de plus en plus performantes, comme la chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse, que leur détection est aujourd’hui possible. Cet effort de perfectionnement technique doit être maintenu pour cerner la pollution réelle. C’est ce qu’a souligné un récent projet: il a révélé que, malgré les faibles quantités employées, les insecticides jouent un rôle beaucoup plus important que ne l’indiquent les programmes de surveillance car les critères de qualité « chroniques » sont très souvent dépassés. Les techniques actuelles d’analyse permettent également la détection de substances inconnues. L’Eawag a mis au point une méthode ad hoc pour la surveillance quotidienne du Rhin. L’AUE est ainsi aujourd’hui en mesure de détecter tout accident éventuel.

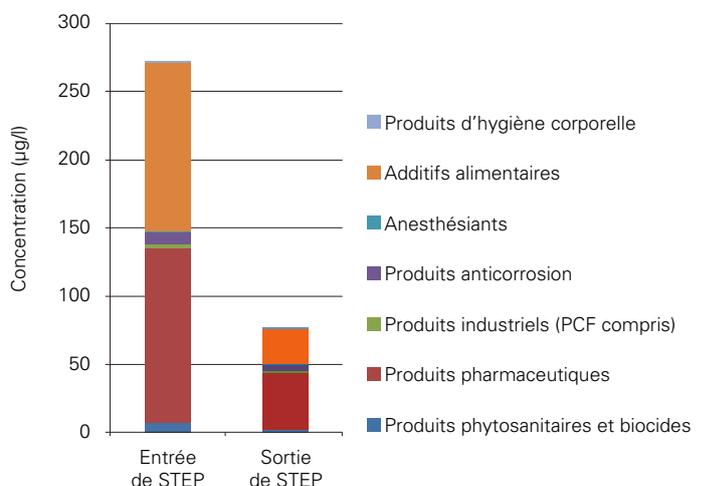
La Suisse est à la source de deux des principaux fleuves d’Europe, le Rhin et le Rhône. Comparés à d’autres géants européens, ces deux grands cours d’eau sont assez peu contaminés par les micropolluants. En revanche, les ruisseaux et rivières moyennes peuvent présenter, même en Suisse, des concentrations supérieures aux normes de qualité environnementale, de sorte qu’un impact sur la vie aquatique ne peut être exclu. Dans sa nouvelle proposition d’ordonnance sur la protection des eaux, la Confédération tient compte du problème des micropolluants et a adapté les exigences de qualité en conséquence.

### S’attaquer aux émissions ponctuelles et diffuses

Les eaux usées sont l’une des principales voies de rejet des micropolluants dans les cours d’eau moyens à grands. Beaucoup de composés polaires ne sont pas éliminés dans l’épuration. Dans un screening de l’Eawag portant sur neuf STEP et 450 médicaments, cosmétiques, détergents, additifs alimentaires, pesticides, biocides et produits industriels, de 100 à 160 substances ont été détectées dans les effluents d’épuration. Leur concentration cumulée était de l’ordre de 70 µg/l, majoritairement due aux résidus de médicaments et aux édulcorants (voir figure). Etant donné que plus de 30 000 substances chimiques sont utilisées quotidiennement en Suisse, on peut imaginer que des milliers d’autres substances n’ont pas été identifiées.

La nouvelle loi sur la protection des eaux prévoit des mesures pour limiter les rejets venant de l’assainissement. Dans les 20 ans à venir, près de 100 des 700 STEP du pays seront équipées de traitements avancés pour éliminer les micropolluants organiques. La STEP de Neugut, à Dübendorf, a été la première; elle fonctionne depuis mars 2014 avec un dispositif d’ozonation. Des études ont montré que les 12 substances indicatrices étaient éliminées à plus de 80% avec une dose assez faible d’ozone (0,55 g O<sub>3</sub>/g COD). La STEP de Bachwis, à Herisau, a été équipée d’un système de traitement au charbon actif en poudre qui fonctionne depuis juin 2015.

A côté des sources ponctuelles, les émissions diffuses (surtout agricoles) provoquent aussi des pics de pollution et des dépassements des critères de qualité. En mai 2014, le Conseil fédéral s’est déclaré favorable à l’élaboration d’un plan d’action pour les produits phytosanitaires qui devrait encore améliorer la situation des eaux suisses par rapport aux micropolluants.



Concentrations moyennes de micropolluants dans neuf stations d’épuration suisses (Otto, Singer, Götz 2014, Eawag/Envilab: Etude réalisée sur mandat de l’Office fédéral de l’environnement).



## La contamination du Léman par les micropolluants

Près d'un million de personnes tirent leur eau potable du lac Léman. La Commission internationale pour la protection des eaux du Léman contre la pollution (CIPEL) surveille depuis des années la présence de micropolluants dans le lac. Elle encourage d'autre part la lutte contre cette forme de pollution.

Avec 89 kilomètres de cube, le Léman est la plus grande réserve d'eau douce d'Europe occidentale. La Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL) surveille la présence de micropolluants dans les eaux du lac pour pouvoir garantir l'approvisionnement en eau potable de près de 900 000 habitants de la région. A l'échelle du territoire de la CIPEL, près de 2,3 millions d'habitants rejettent quotidiennement des micropolluants via l'utilisation de certains produits d'usage courant comme les produits cosmétiques, ménagers et les médicaments, sans compter les rejets des industries qui peuvent pour certaines d'entre elles représenter des quantités parfois importantes de rejets de micropolluants.

### Une surveillance régulière et continue

La CIPEL veille depuis plusieurs décennies à la présence de ces micropolluants dans les eaux et a renforcé son suivi dès 2004 grâce à des techniques analytiques plus performantes, permettant de rechercher aujourd'hui chaque année près de 400 pesticides et 58 résidus médicamenteux. En 2004, la CIPEL mettait en évidence dans le lac un pic de concentration pour 2 pesticides (un herbicide: le foramsulfuron et un fongicide: le métalaxyl) entre 30 et 100 m de profondeur.

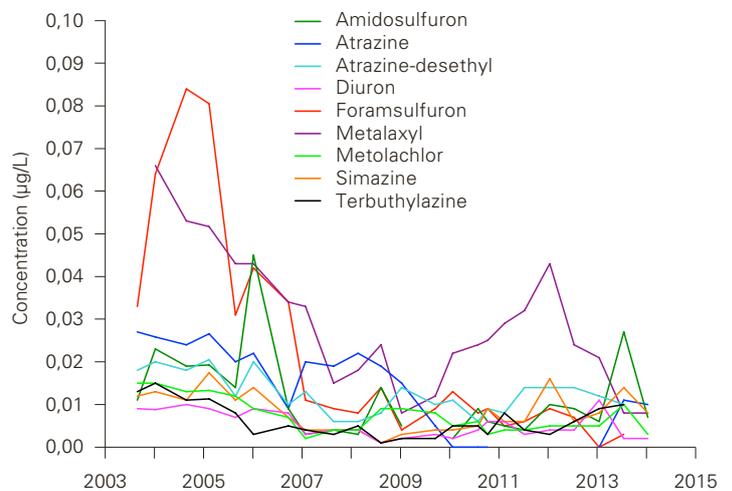
Des analyses complémentaires effectuées le long du Rhône en amont du lac ont permis de mettre en évidence l'origine industrielle de cette pollution et d'alerter les services compétents du canton du Valais qui ont pris les mesures nécessaires auprès des industries concernées. Parallèlement à ces rejets d'origine industrielle qui représentent plusieurs tonnes de substances apportées au Léman chaque année, la part des rejets de micropolluants d'origine domestique n'est pas négligeable à l'échelle du bassin versant du Léman. Suivant les substances, les quantités rejetées par les STEP présentes sur le territoire vont de quelques dizaines à plusieurs centaines de kilos par an.

### Différentes stratégies d'équipement des STEP

Sur le territoire de la CIPEL, les substances chimiques utilisées quotidiennement par la population vont rejoindre les milieux aquatiques après avoir transité par 218 stations d'épuration (STEP). Leur présence dans les eaux est une préoccupation majeure de la CIPEL. Une étude réalisée en 2012 a permis d'évaluer: (1) le degré de contamination des eaux de surface (lac et cours d'eau) par les micropolluants provenant des rejets d'eaux usées domestiques. (2) Le succès des mesures de réduction qui pourraient être prises au niveau des STEP, comme l'installation d'un traitement quaternaire par ozonation ou par dosage de charbon actif en poudre.

Trois scénarios ont été testés et ont permis d'illustrer l'effet de différentes stratégies d'équipement des STEP et de montrer les réductions de charges en micropolluants et l'amélioration de la qualité des cours d'eau que l'on peut ainsi atteindre. Les coûts d'investissement et de maintenance associés ont également été estimés. Scénario 1: réduction de la charge. Les mesures visent des objectifs quantitatifs de réduction de charge moyenne déversée dans les milieux récepteurs d'environ 50% (scénario 1a) ou 80% (scénario 1b). Scénario 2: protection de l'écosystème. L'objectif est d'éviter des concentrations problématiques dans les milieux récepteurs. Scénario 3: stratégie suisse d'aménagement des STEP selon la révision de l'ordonnance sur la protection des eaux.

Les calculs associés démontrent que ces objectifs de réduction de charge moyenne ou de respect de la qualité des milieux récepteurs sont atteignables, même si une réduction importante de la charge n'implique pas nécessairement le respect généralisé des milieux aquatiques, et vice-versa. Ils nécessitent l'équipement de diverses STEP: 20 pour le 1a, 86 pour le 2, ou 29 pour le 3.



Evolution des concentrations en divers pesticides au centre du Léman à 30 m (station SHL2) de 2004 à 2014. (Source : CIPEL)



## Micropolluants: besoin d'action en Suisse romande dans le traitement des eaux usées, à l'exemple du canton de Vaud

Des investissements très importants seront nécessaires dans le canton de Vaud pour mettre l'épuration au niveau technique requis pour envisager l'élimination des micropolluants. Un projet d'aide financière cantonale misant sur des regroupements régionaux a été mis sur pied pour soutenir les communes.

Le canton de Vaud se caractérise par une épuration très décentralisée, avec 164 stations d'épuration (STEP) communales ou intercommunales à fin 2014. Les installations de plus grande capacité, soit celles précisément concernées par les exigences de traitement des micropolluants, sont pour la plupart de première génération, et ainsi limitées au seul traitement du carbone et du phosphore.

Une étude intitulée «plan cantonal micropolluants» (PCM) a montré que des investissements très importants seront nécessaires pour mettre le parc des STEP vaudoises au niveau des nouvelles exigences. En particulier, l'amélioration des traitements biologiques d'ancienne génération jusqu'au stade de la nitrification, qui représente une étape nécessaire pour un traitement avancé rationnel des micropolluants, coûtera plus cher que le traitement avancé lui-même, largement financé par la Confédération. Cette nouvelle donne offre toutefois une opportunité de rationaliser l'épuration vaudoise, en opérant des regroupements régionaux permettant d'améliorer sensiblement la qualité globale du traitement des eaux.

### Profiter des synergies par des regroupements régionaux

Le plan cantonal micropolluants a montré qu'avec un dispositif optimal de 14 STEP régionales présentant un niveau de traitement élevé (traitement du carbone, du phosphore, nitrification/dénitrification et traitement avancé des micropolluants), 90% de la population vaudoise pourrait bénéficier d'une épuration remise à neuf et à la pointe de la technique. Ce projet implique un investissement conséquent, de l'ordre de 1,2 milliards de francs pour les 20 prochaines années, dont seuls 10 à 15% seraient financés par la Confédération, le solde étant à la charge des communes concernées.

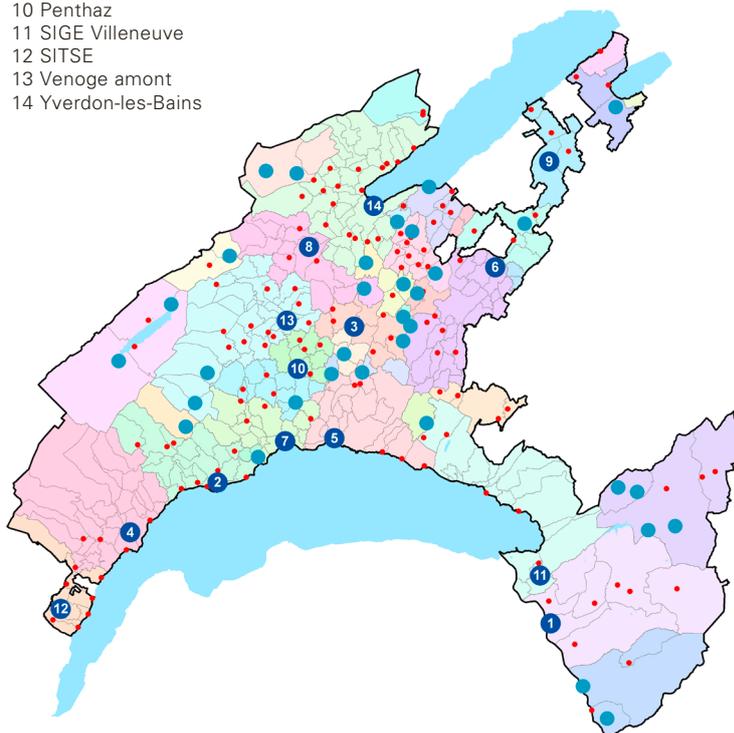
La mise en œuvre de cette solution optimale se heurte à des obstacles financiers liés aux investissements qui peuvent être très lourds pour certaines collectivités. C'est la raison pour laquelle un projet d'aide financière cantonale a été mis sur pied. Il vise à inciter les communes à collaborer entre elles pour mettre en place un dispositif d'épuration performant et rationnel à l'exploitation, en veillant à une équité de traitement entre elles. Un projet de modification de la loi vaudoise sur la protection des eaux contre la pollution (LPEP) prévoit une subvention cantonale de 35% sur les investissements liés à l'amélioration des traitements biologiques (nitrification, voire dénitrification) sur les pôles régionaux qui devront mettre en place un traitement avancé des micropolluants, ainsi que sur les raccordements de STEP périphériques à ces pôles régionaux.

### Soutien du Conseil d'Etat

Ce dispositif complétera l'aide fédérale ciblée sur le traitement avancé des micropolluants. Le montant total de l'aide cantonale est estimé à CHF 200 millions à investir sur les 20 prochaines années. Un premier exposé des motifs et projet de loi et projet de décret, attribuant un crédit-cadre de CHF 80 millions pour faire face aux besoins d'engagement des 4 premières années, a été accepté par le Conseil d'Etat le 24 juin 2015 et sera prochainement soumis au Parlement.

Sans cette aide financière cantonale, la mise en œuvre du PCM, qui privilégie l'intérêt général par rapport aux enjeux locaux, sera difficile et les regroupements régionaux ne seront probablement que partiels. Après plus de 40 ans de subventions qui ont permis la construction de l'épuration vaudoise actuelle, la réintroduction d'un régime d'aide cantonale permettra de faciliter la mise en œuvre des compléments nécessaires à une protection des eaux optimale à des coûts économiquement supportables.

- 1 Aigle
  - 2 Région Aubonne
  - 3 Echallens
  - 4 Gland et Nyon
  - 5 Lausanne
  - 6 Moyenne Broye
  - 7 Morges
  - 8 Orbe
  - 9 Payerne
  - 10 Penthaiz
  - 11 SIGE Villeneuve
  - 12 SITSE
  - 13 Venoge amont
  - 14 Yverdon-les-Bains
- STEP avec traitement des micropolluants
  - STEP sans traitement des micropolluants
  - STEP potentiellement régionalisable



Le «plan cantonal micropolluants» (PCM) prévoit d'équiper 14 stations d'épuration de traitements avancés pour l'élimination des micropolluants. (Graphique: DGE)



## Eléments traces dans les eaux: que fait la Suisse ?

En décidant d'équiper ses principales stations d'épuration de traitements avancés pour l'élimination des micropolluants, la Suisse a pris une position de pionnier dans le domaine de la protection des eaux. Elle complète sa politique par des mesures, notamment à la source, visant à limiter les rejets diffus venant du milieu urbain, des transports, de l'agriculture et de l'industrie.

Ces dernières décennies, la qualité des eaux s'est nettement améliorée en Suisse et dans le reste de l'Europe grâce au développement de l'assainissement et une modification de certaines pratiques, notamment de fertilisation agricole. Suite à une sollicitation croissante des ressources en eau (due à la pression démographique, à l'agriculture, etc.), la qualité des eaux est cependant de plus en plus menacée. Ces dernières années, l'Office fédéral de l'environnement a effectué plusieurs bilans pour caractériser les contraintes pesant sur nos milieux aquatiques. Il s'est avéré que, dans les régions très peuplées comme le Plateau, les eaux usées traitées rejetées par les stations d'épuration sont une source très importante de pollution par les composés traces organiques (CTO). Une grande variété de ces polluants peut être détectée à des concentrations relativement élevées dans les cours d'eau accueillant d'importants volumes de ces effluents. Parallèlement, les rejets diffus venant des zones urbaines et de l'agriculture continuent de poser un problème épineux pour la protection de la vie aquatique et pour la sécurité de l'approvisionnement en eau potable.

Pour réduire les rejets de micropolluants dans le milieu aquatique, il est nécessaire d'agir de multiples façons pour répondre à la diversité des composés et de leurs voies de déversement. Des mesures doivent être prises à différents niveaux pour assurer une protection suffisante de nos eaux.

### Ozonation et traitement au charbon actif dans l'épuration

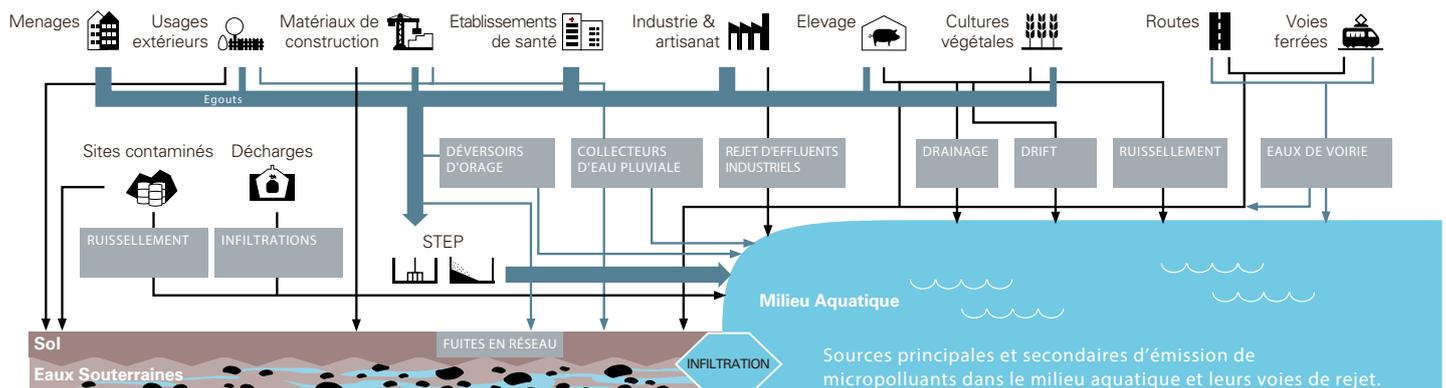
A partir de 2016, la Suisse réalisera une optimisation ciblée de ses stations d'épuration (STEP). Différentes technologies ont été testées dans des essais pilotes pour l'élimination des CTO contenus dans les eaux usées. Ils ont montré que l'ozonation et le traitement au charbon actif en poudre permettaient en moyenne d'éliminer plus de 80% de ces composés. La qualité de l'effluent d'épura-

tion s'en trouve considérablement améliorée et les effets nocifs sur les organismes aquatiques sont presque totalement neutralisés. Les améliorations sont réalisables aussi bien sur le plan technique que financier et sont jugées très efficaces pour débarrasser les effluents des micropolluants. Il a été jugé opportun de les mettre en œuvre dans les STEP suivantes: (1) grandes STEP (réduction de la charge), (2) STEP dont les effluents se déversent dans des milieux à faible capacité de dilution (protection des écosystèmes) et (3) STEP dont les effluents se déversent dans des milieux utilisés pour l'eau potable (protection des ressources en eau potable). Pour financer l'amélioration technique de la centaine de STEP ainsi sélectionnées, la loi sur la protection des eaux (LEaux) sera modifiée de façon à prévoir une contribution basée sur le principe du pollueur-payeur: une taxe sur les eaux usées prévue jusqu'en 2040 permettra de financer 75 % de l'investissement initial de 1,2 milliards de francs par le biais d'indemnités. L'exécution de cette mesure sera assurée par une modification de l'ordonnance sur la protection des eaux qui, comme celle de la LEaux, entrera en vigueur le 1.1.2016.

### Réduire les émissions à la source

Une des solutions passe également par une meilleure prise en compte du problème des micropolluants dans les plans généraux d'évacuation des eaux. En plus de mesures techniques comme les couches d'adsorption ou le traitement des eaux de voirie, la rétention des polluants peut être améliorée en optimisant le fonctionnement et la gestion à long terme des infrastructures d'assainissement. Dans le domaine des émissions diffuses d'origine agricole, la Suisse élabore un plan d'action pour les produits phytosanitaires à l'échéance 2016.

De manière générale, la réduction des atteintes portées à l'environnement doit passer par l'adoption de comportements responsables vis-à-vis des ressources naturelles dans tous les domaines d'activité humaine. Ce principe vaut également pour les émissions de composés traces organiques dans le milieu aquatique où les mesures à la source misent sur une responsabilisation des utilisateurs et une optimisation des modes de production. C'est en combinant mesures à la source et mesures correctives que nous pourrions lutter efficacement, et dans le consensus, contre les émissions de micropolluants.





## Les produits de transformation d'ozonation et leur devenir dans le post-traitement biologique

L'ozonation des eaux usées ne provoque pas la minéralisation des substances visées mais leur transformation chimique. Les produits de cette réaction peuvent être déterminés par analyse chimique et par modélisation mais les connaissances sur leur biodégradation et leur biodégradabilité sont encore limitées. Là aussi, la modélisation apporte des solutions.

L'ozonation intervient dans l'épuration des eaux pour oxyder les polluants traces indésirables. De nombreuses études montrent qu'elle détruit efficacement l'activité primaire des micropolluants même si elle ne les minéralise pas mais les convertit en produits dits de transformation ou métabolites. L'ozone réagit d'autre part avec des composants de la matrice en donnant également naissance à des sous-produits d'oxydation (voir figure). Les principaux composants en cause sont alors la matière organique encore contenue dans les eaux usées et les ions bromure. Ces derniers peuvent être oxydés en bromates pour lesquels la loi suisse a fixé une valeur limite dans l'eau potable. Les sous-produits d'oxydation formés à partir de la matière organique sont généralement biodégradables. C'est pourquoi il est recommandé de faire suivre l'ozonation d'un traitement biologique. De leur côté, les bromates ne peuvent être biodégradés qu'en conditions anaérobies et ne sont donc pas éliminés par ce post-traitement. L'Eawag a récemment élaboré une méthode permettant d'évaluer la qualité de l'eau résultante en tenant compte de tous ces aspects. Elle permet donc d'estimer si l'ozonation est le traitement avancé qui convient au traitement de l'eau usée.

### Prédiction des produits de transformation

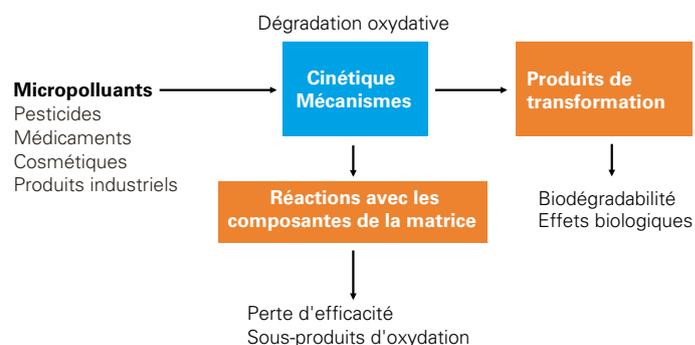
L'apparition des produits de transformation dépend fortement de la structure des micropolluants et de leur réactivité avec l'ozone et les radicaux hydroxyle synthétisés lors de l'ozonation. L'ozone réagit de manière très sélective et rapide avec les composés aromatiques activés, les amines neutres, les oléfines et les composés soufrés. Les radicaux hydroxyle réagissent avec quasiment toutes les molécules organiques, ce qui explique que l'ozonation des eaux usées donne naissance à une multitude de métabolites. Il est possible de prédire leur formation à partir des réactions possibles avec les deux oxydants (ozone et radicaux hydroxyle), puis de les doser grâce à des techniques d'analyse à haute résolution. Il existe déjà de nombreuses études sur les produits de transformation potentiels de nombreuses classes de composés chimiques. L'Eawag travaille actuellement à un outil internet qui facilitera leur prédiction.

### Biodégradabilité des produits de transformation

Il a été démontré grâce à des essais biologiques que l'activité native des micropolluants (œstrogène, antibiotique, virostatique, herbicide, etc.) disparaissait au fur et à mesure de leur élimination. Cela signifie que le mélange de produits de transformation obtenu présente une activité biologique nulle ou fortement réduite. Dans de rares cas, il arrive que le métabolite présente une activité que le produit natif ne possède pas (activité œstrogène et

mutagène suite à l'oxydation de la quinoléine par ex.). Bien que l'oxydation des micropolluants réduise généralement l'écotoxicité de l'effluent, il est recommandé de faire suivre l'ozonation d'un post-traitement qui permet de limiter les émissions de produits de transformation dans l'environnement. L'association de l'ozonation et d'un traitement biologique est utilisée depuis des années dans la production d'eau potable pour éliminer les sous-produits d'oxydation biodégradables. Elle est actuellement testée pour l'épuration. Dans le cas de la carbamazépine, un antiépileptique, il a été démontré que deux des trois principaux produits de transformation étaient dégradés lors de la filtration biologique. D'autres métabolites (divers oxydes d'amines tertiaires) n'étaient pas éliminés.

Dans une étude de l'Eawag récemment publiée, la biodégradabilité des produits de transformation de l'ozonation a été évaluée par modélisation. Il s'est avéré que ceux issus des composés aromatiques et oléfiniques devraient être mieux dégradables que les substances natives. En revanche, aucune amélioration n'était attendue avec les amines. La prédiction concernant ce groupe de substances coïncide avec les données expérimentales sur les oxydes d'amines; les informations concernant les autres classes de substances sont encore insuffisantes. Les années à venir permettront d'évaluer la qualité prédictive des modèles.



Processus à prendre en compte dans le cas de l'ozonation. L'ozone et les radicaux hydroxyle réagissent avec les micropolluants et les composantes de la matrice, c'est-à-dire l'effluent des traitements par les boues activées. Les premiers sont convertis en produits de transformation et les seconds entraînent la formation de sous-produits d'oxydation et une perte d'efficacité.



## Épuration biologique des eaux usées et traitement au charbon actif

Dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas aujourd'hui de traitement biologique qui permette une élimination satisfaisante des micropolluants dans les eaux usées. Dans les stations communales, l'épuration biologique doit donc être complétée de traitements avancés d'ozonation ou d'adsorption sur charbon actif. Ce dernier réactif peut être employé de diverses façons.

Le traitement mécanique et biologique des eaux usées s'est avéré un moyen efficace et bon marché de lutter contre l'eutrophisation des eaux. Il permet également d'éliminer ou du moins de transformer une part significative des micropolluants: les stations équipées de nitrification/dénitrification en éliminent près de la moitié, celles qui n'en sont pas dotées près d'un tiers. Il semble donc logique de se demander si les traitements biologiques ne pourraient pas être optimisés pour mieux les éliminer.

Plus de dix ans de recherche ont montré que la biodégradation des micropolluants obéissait aux lois de la biochimie et que son rendement pouvait être évalué par les méthodes classiques. Ce processus n'est cependant pas entièrement compris dans le détail en raison, notamment, de la diversité et de la complexité des microorganismes impliqués. Il est en revanche aujourd'hui certain que même une optimisation maximale des paramètres de dimensionnement ou de fonctionnement des traitements biologiques ne permet pas de se dispenser de traitements complémentaires. De très nombreuses options de traitement biologique ont pourtant été envisagées et testées: système fongiques, biomasse génétiquement modifiée, augmentation de l'âge des boues, traitement en étapes, couplage aérobiose/anaérobiose, biofilms, etc.

### Charbon actif: plus efficace en poudre qu'en granulés

Le charbon actif est utilisé depuis des dizaines d'années comme auxiliaire de filtration dans la production de l'eau potable. Le principe d'utilisation est le même dans l'épuration: L'activation du charbon permet d'augmenter sa surface spécifique qui atteint l'équivalent d'un terrain de football pour quelques grammes de charbon actif. Les eaux usées sont mises en contact avec le charbon actif; un temps de contact d'au moins 20 minutes est nécessaire à l'adsorption des micropolluants. Une fois chargé, le charbon actif usagé est retiré de l'eau par filtration puis éliminé par incinération. Les micropolluants adsorbés sont alors intégralement oxydés en eau et en CO<sub>2</sub>.

Plusieurs variantes du traitement au charbon actif coexistent aujourd'hui dans l'épuration des eaux. (1) Dans le système d'Ulm, le réacteur de contact est suivi d'une décantation et d'une recirculation du charbon actif en poudre (CAP) dans le bassin de contact. Pour assurer une rétention totale du CAP, une filtration sur sable est effectuée en fin de chaîne. Des essais pilotes à grande échelle ont montré que la décantation était superflue avant la filtration sur sable. Cette information est capitale dans la mesure où les décanteurs demandent beaucoup d'espace. La technologie basée sur un

apport direct de CAP dans le filtre à sable a sensiblement la même emprise au sol que l'ozonation. L'ajout de CAP dans le traitement biologique à boues activées est une option qui convient bien aux petites stations: étant donné que l'adsorption des micropolluants sur le charbon actif se produit dès cette étape, elles n'ont pas besoin d'infrastructures supplémentaires. Cette option a cependant l'inconvénient d'exiger de la quantité plus importante de CAP. (2) Dans les technologies basées sur le charbon actif granulaire (CAG; 0,2–1 mm de diamètre), l'adsorbant reste beaucoup plus longtemps dans le système. Pour que les installations soient rentables, le charbon actif n'est en général renouvelé qu'une fois par an au maximum. Mais l'expérience a montré que la filtration au CAG demandait généralement davantage de charbon actif que celle au CAP et qu'elle n'était donc pas concurrentielle.

### L'association de l'ozone et du charbon actif

Plusieurs projets de recherche sont actuellement en cours pour tenter de savoir si un couplage de l'ozonation et de l'adsorption sur charbon actif (en poudre ou en granulés) pourrait être intéressant, notamment pour les stations où l'ozonation n'est que partiellement possible. Pour en décider, les facteurs suivants doivent être considérés: (1) la composition de l'effluent à traiter (voir la conférence d'Urs von Gunten) – l'ozone peut être déconseillé en présence de fortes teneurs en bromures, d'effluents industriels ou de colorants alors que le charbon actif convient généralement – (2) le coût financier et énergétique un peu élevé pour le charbon actif (en comptant l'activation), (3) l'apparition de produits de transformation lors de l'ozonation – un problème uniquement si des produits nocifs peuvent se former (bromates, NDMA, etc.).



Pilote d'apport direct de charbon actif au filtre à sable à la STEP d'Ergolz 1 à Sissach (BL). L'installation se compose de deux silos à charbon et d'une unité de pesée avec humidificateur (à droite sur la photo).



## Evaluation de la qualité de l'eau par les tests biologiques d'écotoxicité

Les polluants chimiques peuvent avoir de multiples effets sur les organismes aquatiques. Les bioessais écotoxicologiques permettent de détecter et d'évaluer l'importance de ces effets et se prêtent ainsi à une appréciation de la qualité des eaux usées et naturelles.

Les bioessais mettent en œuvre des cellules, des organismes vivants ou des communautés biotiques pour mesurer leurs réactions aux polluants isolés ou aux cocktails chimiques. Les tests réalisés avec des daphnies, des vers oligochètes, des poissons, etc., détectent les effets toxiques de toutes les substances présentes auxquelles ces organismes sont sensibles. Un seul essai spécifique d'un mode d'action donné peut tester l'effet combiné de toutes les substances de l'échantillon agissant de cette façon sur les organismes aquatiques. C'est particulièrement intéressant pour les composés difficiles à détecter par les méthodes classiques comme les perturbateurs endocriniens.

Il est donc judicieux d'utiliser les bioessais en complément des analyses de traces pour mesurer, par exemple, l'abattement des polluants dans les traitements d'épuration. Cette combinaison permet d'estimer aussi bien la baisse des teneurs en composés que l'atténuation de la toxicité de l'effluent. De plus, les essais biologiques détectent également les effets des produits de transformation des polluants. Suivant l'objectif poursuivi, ils sont réalisés en conditions standard au laboratoire (*in vitro* ou *in vivo*) ou sur le terrain (*in situ*).

### Etude des eaux usées

Dans le projet «Stratégie MicroPoll» de l'Office fédéral de l'environnement, de nombreux bioessais ont été testés pour évaluer l'efficacité des technologies d'élimination des micropolluants dans l'épuration. Des tests sur cellules (*in vitro*) et sur organismes (*in vivo*) ont été choisis pour couvrir une grande variété d'effets toxiques à différents niveaux trophiques. Les bioessais ont prouvé leur intérêt pour évaluer la performance des traitements avancés comme l'ozonation ou le traitement au charbon actif en poudre (CAP). Une étude pilote réalisée à la STEP de Vidy a démontré que les essais *in vitro* spécifiques de certains modes d'action (inhibition de la photosynthèse, activité œstrogénique, etc.) étaient les mieux adaptés mais que certains essais *in vivo* tels que le «fish early life stage toxicity test» réalisé avec la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) donnaient également satisfaction. Tous les tests ont démontré que le risque dû aux sous-produits biodégradables de l'ozonation pouvait être éliminé par un traitement biologique consécutif comme une filtration sur sable. Ils ont révélé que l'ozonation et le traitement au CAP étaient équivalents et neutralisaient une grande variété d'effets écotoxicologiques à plus de 80%.

### Etude des milieux aquatiques recevant des effluents

Ces dernières années, une stratégie d'évaluation grossière a été élaborée dans le cadre d'un module Ecotoxicologie du Système modulaire gradué suisse pour apprécier, à l'aide d'essais biologiques, la qualité des milieux aquatiques potentiellement pollués par les eaux

usées. La méthode passe par l'échantillonnage des effluents, la préparation des échantillons (concentration par extraction en phase solide) et la réalisation des bioessais pour aboutir à l'appréciation des effets (voir figure).

Les bioessais doivent être sensibles, spécifiques, pratiques, bon marché et faciles à interpréter. Pour l'évaluation grossière, deux grands groupes de substances écotoxiques ont tout d'abord été ciblés: les herbicides inhibiteurs du photosystème II et les perturbateurs endocriniens de type œstrogène. Les premiers empêchent la croissance algale en inhibant le photosystème II (PS II) indispensable à la photosynthèse. Ils peuvent être détectés par le test algues combiné avec *Pseudokirchneriella subcapitata*, un essai simple et bon marché qui donne d'excellents résultats. Tout aussi robuste, le test YES («yeast estrogen screen») qui utilise des cellules de levure (*Saccharomyces cerevisiae*) génétiquement modifiées est recommandé pour la détection des œstrogènes. Les résultats du test algal et du test YES peuvent être traduits en termes de qualité écotoxicologique grâce à un système de classes basé, notamment, sur une comparaison avec les critères de qualité environnementale déterminés pour les expositions chroniques aux inhibiteurs du PS II et aux œstrogènes.

### Conclusions

La méthode présentée est conçue pour l'évaluation des milieux aquatiques recevant des eaux usées et constitue une première étape vers une stratégie d'appréciation globale et intégrée de la qualité des eaux. Les bioessais proposés interviennent en complément de l'évaluation habituelle par substance pour appréhender dans leur globalité une grande variété de composés traces organiques ayant une incidence sur les écosystèmes.



Etapes de la stratégie d'évaluation grossière de la qualité des eaux superficielles recevant des effluents d'épuration potentiellement pollués par des inhibiteurs du PS II et des œstrogènes.



## Instrumentes politiques de régulation des micropolluants: difficultés et préférences

La lutte contre les micropolluants dans le milieu aquatique exige aussi des décisions politiques. Selon le rôle qu'ils jouent, les acteurs politiques privilégient les solutions préventives ou au contraire réactives.

La contamination des eaux par les micropolluants est l'un des problèmes les plus complexes auxquels notre société et en particulier nos décideurs ont à faire face. Nous ne savons encore pas tout du comportement de ces composés dans l'environnement et devons prendre des mesures sans être certains de leur efficacité. Nous savons que les micropolluants peuvent être émis de façon ponctuelle ou diffuse. Dans le premier cas, des solutions techniques permettent d'éliminer les polluants contenus dans les eaux usées. Dans le second, les rejets ne peuvent être limités que par des restrictions ou des interdictions d'utilisation des produits. Les domaines d'utilisations sont cependant aussi bien urbains qu'industriels ou agricoles. Par où alors commencer? Dans quels secteurs et au niveau de quels groupes cibler intervenir aujourd'hui et demain? Quelles sont alors les préférences de l'élite politique et comment obtenir l'adhésion de la majorité des acteurs à une solution pour qu'elle soit consensuelle?

### Mesures à la source ou solutions «end of pipe»?

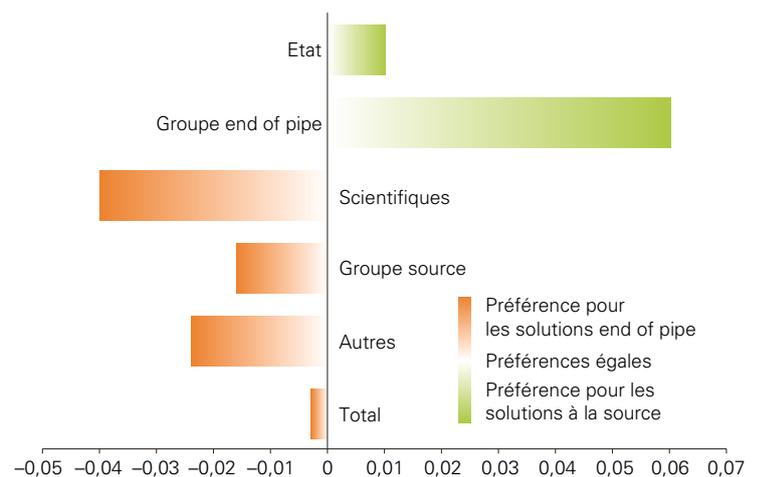
Pour répondre à cette question, nous avons interrogé plus de 40 acteurs de l'élite politique suisse ou, plus concrètement, des représentants des partis parlementaires, des groupes d'intérêt économique, des ONG environnementales, des associations de consommateurs, etc. Nous leur avons demandé leur degré d'adhésion à des mesures prises à la source ou «end of pipe» pour réduire les rejets de micropolluants. L'enquête a montré qu'ils privilégiaient légèrement les solutions end of pipe telles que l'installation de traitements avancés dans les stations d'épuration (voir figure). Les scientifiques y sont les plus favorables. Les acteurs institutionnels ont un vote plutôt nuancé, privilégiant une combinaison de solutions préventives et réactives. Les acteurs responsables de la mise en œuvre des solutions end of pipe (appelés Groupe end of pipe dans la figure), notamment les services cantonaux et les syndicats de gestion des eaux usées, présentent la plus grande préférence pour les mesures préventives à la source. Les représentants de l'agriculture et du monde économique ou industriel, donc directement concernés par les mesures à la source (appelés Groupe source dans la figure) ont tendance à préférer les solutions end of pipe.

### La participation politique rend plus enclin au compromis

Ces résultats montrent qu'une majorité d'acteurs politiques suisses se prononce pour une amélioration technique des stations d'épuration. C'est l'une des raisons pour lesquelles la Confédération a décidé d'adopter cette solution. Les personnes impliquées au niveau international y étaient les plus favorables étant donné leur conscience de la responsabilité conférée à la Suisse par sa situation en amont des grands réseaux hydrographiques européens.

En même temps, il semble évident que la politique suisse en matière de régulation des micropolluants continuera d'évoluer et ne se limitera pas aux solutions end of pipe uniquement. On ignore cependant s'il sera possible d'obtenir l'adhésion d'une majorité d'acteurs pour des instruments politiques intervenant à la source. Notre analyse des élites montre que certains groupes seraient disposés à accepter des mesures et des coûts supplémentaires. D'un côté, et comme les résultats de recherches précédentes dans le domaine de la protection des eaux mais aussi dans les domaines climatique et énergétique ont montré: surtout les acteurs qui participent intensément lors du processus décisionnels étaient particulièrement aptes au compromis. Par ailleurs, les représentants agricoles et économiques interrogés dans notre enquête se sont déclarés prêts à accepter des mesures à la source si elles respectaient le principe de la proportionnalité. Enfin, l'option de mesures à la source complétant les solutions end of pipe est principalement portée par les entités publiques ou administratives comme l'Office fédéral de l'environnement.

La question se pose de savoir si le modèle suisse est applicable au reste de l'Europe. En fait, la règle est la même partout: la régulation des micropolluants ne peut être efficace que si elle dépasse le cadre des instruments individuels tels que l'application des normes de qualité environnementale ou la définition de seuils réglementaires. Des systèmes de veille et d'incitation sont également nécessaires pour faire face à la complexité du problème.



Pour réduire les rejets de micropolluants dans le milieu aquatique, les acteurs interrogés préfèrent en moyenne les solutions end of pipe. Une valeur de +1 indique une forte préférence pour les mesures à la source, une valeur de -1, une prédilection marquée pour les solutions end of pipe.



## Renaturation des cours d'eaux: entre protection et utilisation

Le programme Cours d'eau suisses vise à répondre, par la recherche appliquée, aux questions relatives à la revitalisation des cours d'eau et aux assainissements liés à ces milieux tout en favorisant les échanges entre acteurs de terrain et scientifiques.

Force, dynamisme et biodiversité – c'est ainsi que l'on se représente les cours d'eau, en Suisse comme ailleurs. Parallèlement, ces écosystèmes ont subi la main de l'homme: les corrections fluviales, les endiguements, les rejets d'eaux usées et l'exploitation hydroélectrique ont profondément affecté leur structure et leurs fonctions naturelles. Face à ce constat, la loi sur la protection des eaux, révisée en 2011, exige maintenant une revalorisation écologique à grande échelle de ces milieux. Dans les 80 années à venir, 4000 km de cours d'eau canalisés devront être revitalisés. Les atteintes dues à l'exploitation hydroélectrique – aux éclusées et aux obstacles à la migration piscicole notamment – doivent être assaini d'ici à 2030. D'ici à fin 2018, l'espace réservé aux eaux devra être garanti par les instruments d'aménagement du territoire et toute forme d'exploitation intensive devra en être bannie.

Ces efforts s'étendront sur plusieurs générations mais ce grand projet de société nous donnera aussi l'opportunité unique d'en savoir plus sur nos cours d'eau, sur leur dynamique et leur fonctionnement, de voir comment ils réagissent aux revitalisations et assainissements. Il s'agit là d'une chance historique! L'Eawag et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) participent à ce processus d'apprentissage collectif à travers le programme Cours d'eau suisses qui vise à répondre aux questions relatives aux revitalisations et assainissements par la recherche appliquée tout en favorisant les échanges entre professionnels de terrain et scientifiques.

### Restaurer le régime de charriage

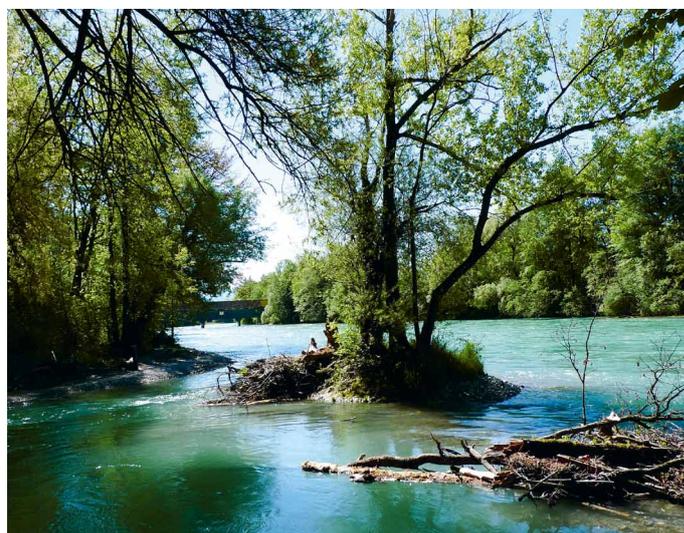
L'un des premiers projets du programme porte sur la dynamique des sédiments et des habitats. Programmé sur quatre ans, il rassemble des écologues et ingénieurs hydrauliciens issus de divers organismes de recherche suisses. Dans beaucoup de cours d'eau suisses, la recharge en sédiments venant de l'amont est perturbée: les graviers, galets, etc. sont retenus dans les barrages ou dans les pièges à sédiments. De plus, les endiguements limitent les apports latéraux. Pour résoudre ce problème, les hydrauliciens cherchent à faire transiter une partie des sédiments à travers les barrages ou à en apporter artificiellement en aval. De leur côté, les écologues étudient les effets du manque de transport solide puis de sa restauration sur la diversité et la dynamique des habitats, notamment alluviaux, et sur les réseaux trophiques. Les travaux s'appuient sur des études de terrain, des reconstitutions en laboratoire et des simulations. En plus des publications scientifiques, ils livreront des produits d'application pratique tels qu'un cours et un recueil de fiches.

### Stratégie unifiée pour évaluer les effets des revitalisations

Le deuxième axe de recherche, lancé cet été, concerne le contrôle de l'efficacité des revitalisations. Seul un suivi régulier permet en effet de savoir si une revitalisation a bien produit les améliorations souhaitées. En Suisse, la méthode d'évaluation diffère souvent d'un projet à l'autre, aussi bien sur les paramètres étudiés et sur la durée des observations. Cette hétérogénéité nous empêche de profiter pleinement de l'expérience acquise et donc d'optimiser l'emploi des ressources financières allouées par la Confédération. Nous travaillons donc actuellement avec l'OFEV et plusieurs partenaires suisses et étrangers à l'élaboration d'une stratégie unifiée d'évaluation à long terme des effets des revitalisations. Ce projet s'étendra sur deux ans.

### Une plate-forme d'échange de savoir et de vécu

Les projets de revitalisation et d'amélioration écologique des cours d'eau impliquent de nombreux acteurs: conseillers municipaux, hydrauliciens, agriculteurs, chercheurs, ornithologues, etc. Chacun d'eux est porteur d'un savoir particulier et d'une expérience précieuse. Même si leur collaboration ne se fait pas sans heurts, seule la prise en compte des différents points de vue permet la réalisation de projets pérennes et soutenables. Il est donc important qu'ils disposent d'un lieu de discussion qui leur soit propre. Une plate-forme d'échanges a donc été récemment créée avec le groupe de travail «Renaturation des eaux», rattaché à l'Agenda 21 pour l'eau, qui rassemble des représentants de diverses structures du secteur de la gestion des eaux en Suisse. En plus de manifestations diverses, le site interactif [www.plateforme-renaturation.ch](http://www.plateforme-renaturation.ch) offre de multiples possibilités pour échanger, créer des liens et lancer de nouveaux projets.



Secteur revitalisés de l'Aar.

# Notes

A series of horizontal dotted lines for writing notes.