

17  
09

## > Micropolluants dans les eaux

*Evaluation et réduction de la charge polluante des eaux usées urbaines*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV



# > Micropolluants dans les eaux

*Evaluation et réduction de la charge polluante  
des eaux usées urbaines*

*Mit deutscher Zusammenfassung – Con riassunto in italiano – With summary in English*

## **Impressum**

### **Editeur**

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### **Auteurs**

René Gälli, Jutta Schmid-Kleikemper (BMG Engineering AG),  
Christoph Ort (Eawag), Michael Schärer (OFEV)

### **Accompagnement au sein de l'OFEV**

Bettina Hitzfeld, Sébastien Lehmann, Christian Leu, Paul Liechti,  
Edith Oosenbrug, Sonia Pellegrini, Michael Schärer, Ulrich Sieber,  
Christoph Studer

### **Référence bibliographique**

Gälli René, Ort Christoph, Schärer Michael 2009: Micropolluants dans les eaux. Evaluation et réduction des rejets provenant des réseaux d'eaux urbaines. Connaissance de l'environnement n° 0917. Office fédéral de l'environnement, Berne. 108 p.

### **Traduction**

Milena Hrdina, 2740 Moutier

### **Graphisme, mise en page**

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

### **Photo de couverture**

Station d'épuration avec l'appareillage d'un essai pilote (Christoph Ort, Eawag)

### **Téléchargement du fichier PDF**

[www.environnement-suisse.ch/uw-0917-f](http://www.environnement-suisse.ch/uw-0917-f)

(il n'existe pas de version imprimée)

Référence: UW-0917-F

# > Table des matières

<b>Abstract</b>	<b>5</b>	4.2.1	Aperçu	63
<b>Vorwort</b>	<b>6</b>	4.2.2	Biocides à l'origine de micropollutions dans les eaux usées et les eaux souterraines	64
<b>Avant-propos</b>	<b>7</b>	4.2.3	Séparer les urines pour réduire la charge de médicaments dans les eaux – tests écotoxicologiques	67
<b>Prefazione</b>	<b>8</b>	4.2.4	Hierarchisation des produits de la transformation de micropolluants	70
<b>Introduction</b>	<b>9</b>	4.3	Identification de micropolluants à l'aide de tests biologiques	72
<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>	4.3.1	Introduction	72
<b>Résumé</b>	<b>16</b>	4.3.2	Elaboration d'une méthode permettant d'observer les effets des micropolluants dans les écosystèmes aquatiques	75
<b>Riassunto</b>	<b>22</b>	4.3.3	Etudes écotoxicologiques visant à identifier le risque potentiel des micropolluants pharmaceutiques dans les eaux	76
<b>Summary</b>	<b>28</b>	4.4	Etat actuel de l'assainissement	77
<b>1 Introduction</b>	<b>33</b>	4.4.1	Introduction	77
<b>2 Contexte initial et besoin d'intervention</b>	<b>36</b>	4.4.2	L'assainissement en Suisse – état actuel, coûts et besoins d'investissements	78
2.1 Défis à relever pour protéger les eaux contre l'apport de substances	36	4.5	Adaptation technique de l'assainissement	80
2.2 Les micropolluants potentiels et leur impact sur l'environnement	40	4.5.1	Introduction	80
2.3 Interventions requises	44	4.5.2	Mise en place d'un système d'assainissement durable à l'exemple de la ville de Winterthour	80
<b>3 Charge de micropolluants en Suisse</b>	<b>45</b>	4.5.3	Passage à une gestion régénératrice des eaux usées?	82
3.1 Observations de l'environnement	45	4.6	Nouveau modèle d'organisation	85
3.2 Données disponibles	45	4.6.1	Nouveau modèle d'organisation pour promouvoir une gestion durable des eaux usées en Suisse	85
3.3 Brève description du modèle des flux de substances	48	<b>5 Conclusions</b>	<b>88</b>	
3.3.1 Délimitation du système	49	5.1	Etat actuel de l'environnement	88
3.3.2 Données initiales	49	5.2	Actions envisageables	88
3.4 Les cas de la carbamazépine et du diclofénac	52	5.2.1	Mesures à la source	89
3.5 Exploitations de valeurs de débit mesurées sur le long terme	55	5.2.2	Approche centralisée (en bout de chaîne)	90
3.6 Validité du modèle, estimation pour d'autres substances	56	5.2.3	Approche décentralisée	91
3.7 Constat	58	5.2.4	Mesures organisationnelles	92
3.8 Mesures au niveau des stations centrales d'épuration des eaux – évaluation des coûts	58	5.3	Effets escomptés en terme d'efficacité et d'efficience	92
<b>4 Projets de recherche MicroPoll 1</b>	<b>62</b>	5.4	Autres besoins d'intervention	96
4.1 Introduction	62			
4.2 Priorisation des micropolluants	63			

---

<b>Index</b>	<b>98</b>
Abréviations	98
Glossaire	98
Figures	99
Tableaux	100
Bibliographie	100

---

## > Abstract

Over the past few years a situation analysis on micropollutants in watercourses has been carried out on the initiative of the FOEN through various research projects. This report summarises the results of these studies. The research groups obtained more detailed knowledge of the pollution situation, enabling them to make reliable model predictions and indicate possible options for action, their anticipated effects and the resultant costs – with particular focus on the technical optimization of municipal waste water treatment. It became evident that significant reductions in micropollutant levels can only be made by combining a number of measures on multiple levels.

Keywords:

Micropollutants, waste water

In den letzten Jahren wurde auf Initiative des BAFU mittels verschiedener Forschungsprojekte eine Situationsanalyse bezüglich Mikroverunreinigungen in den Gewässern durchgeführt. Dieser Bericht fasst die Resultate dieser Studien zusammen. Die Forschungsgruppen haben genauere Erkenntnisse zur Belastungslage gewonnen, konnten zuverlässige Modellvorhersagen machen und zeigten mögliche Handlungsoptionen, deren zu erwartende Wirkungen und die resultierenden Kosten auf – mit speziellem Fokus auf die technische Optimierung der Abwasserreinigung. Dabei zeigte sich, dass nur durch eine Kombination mehrerer Massnahmen auf unterschiedlichen Ebenen die Gewässerbelastung mit Mikroverunreinigungen markant verringert werden kann.

Stichwörter:

Mikroverunreinigungen,  
Abwasser

Divers projets de recherche réalisés ces dernières années à l'initiative de l'OFEV ont servi à évaluer la présence de micropolluants dans les eaux suisses. Le présent rapport fait la synthèse de ces études. Les groupes de recherche ont pu ainsi préciser leurs connaissances en la matière, élaborer des modèles de prévision fiables, proposer des interventions possibles avec leurs effets probables et les coûts qu'elles impliqueraient, avec une focalisation particulière sur l'optimisation technique de l'épuration des eaux usées. Il est apparu que seul un ensemble de mesures combinées à divers niveaux sera susceptible de réduire de manière substantielle la charge de micropolluants dans nos cours d'eau.

Mots-clés:

Micropolluants, eaux usées

Negli ultimi anni, su iniziativa dell'UFAM è stata effettuata un'analisi della situazione dei microinquinanti nelle acque attraverso vari progetti di ricerca. Il presente rapporto riassume i risultati di questi studi. I gruppi di ricerca hanno acquisito conoscenze più precise sulle condizioni d'inquinamento, formulato previsioni affidabili basate su modelli e illustrato le opzioni possibili, gli effetti prevedibili e i relativi costi, in particolare per quanto riguarda l'ottimizzazione della depurazione delle acque di scarico. È emerso che solo una combinazione di più misure adottate a vari livelli permetterà di ridurre sensibilmente la concentrazione di microinquinanti nelle acque.

Parole chiave:

Microinquinanti, acque di scarico

## > Vorwort

Die natürlichen Funktionen unserer Flüsse und Seen sind vielfältig: Sie gestalten Landschaften und sind wichtige Erholungsräume, transportieren Wasser und Geschiebe, sind wichtige Ökosysteme mit grosser natürlicher Vielfalt und erneuern unsere Grundwasserreserven. Um sie auch künftig optimal zur Trinkwasserversorgung, Bewässerung und Stromproduktion nutzen zu können und Menschen, Tiere, Umwelt und Infrastrukturen wirksam vor den Gewalten des Wassers zu schützen, müssen die Gewässer nachhaltig bewirtschaftet werden. Dabei stehen gemäss dem Leitbild Fließgewässer drei Entwicklungsziele im Vordergrund:

- > Ausreichender Raum und eine natürliche Gestaltung der Gewässer
- > Gewährleistung einer naturnahen Wasserführung und eines naturnahen Geschiebehaushalts
- > Sicherstellung einer genügenden Wasserqualität

Dieser Bericht ist ganz dem Thema Wasserqualität gewidmet, mit speziellem Fokus auf die Gewässerbelastung mit Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung. Es wird eine Analyse der Belastungslage der Schweizerischen Oberflächengewässer präsentiert, welche sich auf einer gesamtschweizerischen Modellrechnung sowie auf den Resultaten verschiedener Messkampagnen abstützt. Diese Situationsanalyse wurde im Rahmen des im Jahre 2006 gestarteten Projektes «Mikroverunreinigungen in den Gewässern – Strategie MicroPoll» des BAFU durchgeführt. Der Bericht gibt zusätzlich eine Übersicht über die Auswirkungen von Mikroverunreinigungen in Gewässern und zeigt auf, mit welchen Massnahmen in der Siedlungsentwässerung die Gewässerbelastung deutlich reduziert werden kann.

Willy Geiger  
Vizedirektor  
Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

---

## > Avant-propos

Nos cours d'eau et nos lacs ont maintes fonctions à leur actif: ils façonnent le paysage et offrent de précieux espaces de détente, transportent l'eau et charrient des alluvions, constituent des écosystèmes essentiels par leur grande diversité naturelle, renouvellent la nappe phréatique, donc nos réserves d'eau souterraine. Il s'agit d'appliquer à cette ressource vitale les principes de la gestion durable si nous voulons perpétuer de façon optimale ses diverses utilisations – surtout production d'électricité, boisson et irrigation – tout en assurant une protection efficace de l'environnement, de ses habitants et des infrastructures contre la violence des eaux. Ainsi le document «Cours d'eau suisses: idées directrices» définit les trois grands objectifs suivants:

- > procurer aux cours d'eau un espace suffisant, laissé autant que possible à l'état naturel
- > assurer un régime hydrologique (débits) proche de l'état naturel, charriage compris
- > garantir une qualité d'eau suffisante

Centré sur le thème «qualité de l'eau», le présent rapport examine plus précisément le problème que posent les micropolluants contenus dans les eaux des systèmes d'assainissement. Il présente la situation actuelle des eaux superficielles en Suisse en se basant sur une modélisation de ces sources de pollution, ainsi que sur les résultats de plusieurs campagnes de mesure. Cette analyse de situation a été réalisée dans le cadre du projet «Micropolluants dans les eaux – stratégie MicroPoll» lancé par l'OFEV en 2006. Par ailleurs, ce rapport passe en revue les effets produits par les micropolluants présents dans nos eaux et décrit les mesures à prendre dans les réseaux d'évacuation des eaux urbaines pour faire nettement baisser cette charge polluante.

Willy Geiger  
sous-directeur  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

---

## > Prefazione

Le funzioni naturali dei nostri fiumi e laghi sono molteplici: plasmano il paesaggio e sono importanti spazi di svago, trasportano acqua e materiale solido di fondo, sono preziosi ecosistemi con una grande diversità naturale e rigenerano le nostre riserve di acque sotterranee. Per poterli sfruttare anche in futuro in modo ottimale per l'approvvigionamento di acqua potabile, l'irrigazione e la produzione di energia elettrica e proteggere efficacemente le persone, gli animali, l'ambiente e le infrastrutture dalle forze dell'acqua, le acque devono essere gestite in modo sostenibile. Conformemente alle linee guida per la gestione dei corsi d'acqua svizzeri, gli obiettivi di sviluppo prioritari sono tre:

- > spazio sufficiente e sviluppo naturale dei corsi d'acqua;
- > regime di deflusso e bilancio del materiale solido di fondo il più possibile naturali;
- > garantire una qualità sufficiente dell'acqua.

Il presente rapporto è interamente dedicato alla qualità dell'acqua, con un'attenzione speciale alla presenza di microinquinanti provenienti dallo smaltimento delle acque urbane. Presenta un'analisi delle concentrazioni di inquinanti nelle acque superficiali svizzere, la quale è stata effettuata sulla base di un modello di calcolo comprendente l'intero territorio svizzero e basato sui risultati di varie campagne di misurazione. L'analisi è stata effettuata nell'ambito del progetto «Microinquinanti nelle acque – Strategie MicroPoll» dell'UFAM, avviato nel 2006. Il rapporto traccia inoltre un quadro delle ripercussioni dei microinquinanti sulle acque, evidenziando le misure da adottare nell'ambito dello smaltimento delle acque urbane per ridurre sensibilmente l'inquinamento delle acque.

Willy Geiger  
vicedirettore  
Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

---

## > Introduction

Rivers and lakes in Switzerland have a variety of natural functions: They shape landscapes, are important leisure areas, carry water and sediments, are important eco systems with great natural diversity and replenish groundwater reserves. To maintain these watercourses for future use for power generation, drinking water provision and irrigation, and to protect people, animals, the environment and infrastructure effectively from the force of the water, watercourses have to be sustainably managed. The Guiding Principles for Swiss Watercourses focus on three development goals:

- > Ensuring the watercourses are given adequate space, left in as natural a state as possible
- > Guaranteeing near-natural water flows and bed load balances
- > Guaranteeing adequate water quality

This report is devoted to the topic of water quality, with particular focus on water pollution by micropollutants from urban wastewater. It contains an analysis of the state of pollution of Swiss surface waters which is based on land wide modelling and the results of various measurement campaigns. This situation analysis was carried out within the FOEN project «Micropollutants in Watercourses – MicroPoll Strategy» initiated in 2006. The report also includes an overview over the impact of micropollutants on watercourses and identifies measures that can be taken regarding urban wastewater to significantly reduce water pollution.

Willy Geiger  
Vice Director  
Federal Office for the Environment (FOEN)

## > Zusammenfassung

Auf Initiative des BAFU wurde mittels verschiedener Forschungsprojekte eine Situationsanalyse bezüglich Mikroverunreinigungen in den Gewässern durchgeführt. Dieser Bericht fasst die Resultate dieser Studien zusammen.

Dank dem guten Ausbaustandard der Siedlungsentwässerung (Kanalisationen, Regenrückhaltebecken und Abwasserreinigungsanlagen) hat sich die Wasserqualität der schweizerischen Gewässer in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. Insbesondere hatten die Massnahmen eine starke Reduktion des Nährstoffeintrags zur Folge. Der Eintrag von organischen Spurenstoffen über die Siedlungsentwässerung ist jedoch nach wie vor eine Herausforderung für den Gewässerschutz. Unzählige Stoffe können in sehr tiefen Konzentrationen (Nano- bis Mikrogramm pro Liter) in den Gewässern nachgewiesen werden und werden daher als organische Mikroverunreinigungen bezeichnet. Auch in Fischen und im Trinkwasser lassen sich organische Mikroverunreinigungen nachweisen.

Ausgangslage

In der Schweiz sind über 30 000 Stoffe im täglichen Gebrauch. Darunter fallen Stoffe wie beispielsweise Pflanzenschutzmittel, Biozide, Pharmaka oder Inhaltsstoffe von Konsumentenprodukten (Körperpflegeprodukte, Reinigungsmittel etc.), die in unzähligen Anwendungen in Industrie, Gewerbe und Haushalt eingesetzt werden. Eine systematische Übersicht über Mengen, Verwendung, Emissionen, Umweltverhalten und Toxizität dieser Stoffe existiert nicht.

Woher stammen die Mikroverunreinigungen?

Der Eintrag in die Gewässer erfolgt sowohl über die Siedlungsentwässerung als auch über diffuse Emissionen wie beispielsweise die Landwirtschaft. Dieser Bericht fokussiert jedoch auf die Siedlungsentwässerung. Schwer abbaubare Stoffe, welche ins Abwasser gelangen, passieren die Abwasserreinigungsanlage (ARA) häufig unverändert. Auch leicht abbaubare Stoffe gelangen zeitweise via Regenentlastungen in die Gewässer oder werden in ARAs, die nicht auf dem neusten Stand der Technik sind, nur unvollständig abgebaut. Entwässern mehrere ARAs in dasselbe Gewässer, kommt es zu einer Akkumulation von Mikroverunreinigungen entlang der Fließstrecke oder in stehenden Gewässern. In Gebieten, wo Fließgewässer zur Trinkwassergewinnung genutzt werden oder Grundwasservorkommen infiltrieren, können Mikroverunreinigungen ins Trinkwasser gelangen. Die Schweiz hat im weiteren als Wasserschloss Europas eine besondere Oberliegerverantwortung gegenüber den Nachbarstaaten. Täglich werden mit dem gereinigten Abwasser Mikroverunreinigungen ins benachbarte Ausland exportiert.

Wie gelangen Mikroverunreinigungen in die Gewässer?

Mikroverunreinigungen können bereits in sehr tiefen Konzentrationen nachteilige Wirkungen auf Wasserlebewesen ausüben. Ob ein Stoff Probleme in Gewässern verursacht, wird weitgehend durch seine physikalisch-chemischen und ökotoxikologischen Eigenschaften bestimmt. Stoffe, die gut wasserlöslich und schwer oder nicht abbaubar sind, können in der Regel in den Gewässern nachgewiesen werden. Die Stoffeigen-

Was bewirken Mikroverunreinigungen in Gewässern?

schaften und die ins Abwasser emittierte Menge bestimmen somit die im Auslauf der ARAs zu erwartenden Konzentrationen. Hohe Konzentrationen treten insbesondere in kleinen Fließgewässern auf, wenn grosse ARAs oder mehrere ARAs ihr Abwasser einleiten. Ob die in Gewässern auftretenden Konzentrationen eine Gefährdung für Wasserlebewesen darstellen, kann anhand der ökotoxikologischen Eigenschaften der Stoffe abgeschätzt werden. Spezifische Effekte, wie sie beispielsweise durch hormonaktive Stoffen verursacht werden, können bereits im Bereich von Nanogramm pro Liter auftreten. Entsprechende Effekte wurden in Schweizer Fließgewässern nachgewiesen. Bisher existieren nur für wenige dieser Stoffe Daten zur Abschätzung der Umweltauswirkungen. Meistens handelt es sich dabei um Stoffe, die eine gezielte Wirkung auf Organismen haben und daher einem Zulassungsverfahren unterliegen (z. B. Pflanzenschutzmittel).

In Gewässern kann eine grosse Vielzahl von Mikroverunreinigungen nachgewiesen werden. Dies bedeutet, dass die Gesamtwirkung aller dieser Mikroverunreinigungen die Auswirkungen auf Wasserorganismen bestimmt. Weiter müssen neben den eingesetzten Stoffen selbst auch deren Umwandlungsprodukte in die Beurteilung der Problematik mit einbezogen werden.

### **Wichtige Erkenntnisse aus den Forschungsprojekten**

#### **Belastung der Gewässer und deren Auswirkungen**

In sechs Studien wurde eine Übersicht bezüglich Mikroverunreinigungen in den Gewässern erarbeitet. Die Resultate sind in diesem Kapitel kurz zusammengefasst.

Belastungslage Schweiz

Da es schwierig und sehr aufwendig ist, mit Messungen die Belastungslage von Mikroverunreinigungen in sämtlichen relevanten Gewässern der Schweiz zu erfassen, wurde ein Nationales Stoffflussmodell entwickelt und mithilfe von Messdaten überprüft. Dieses Modell ermöglicht, für zahlreiche Stoffe abzuschätzen, wie weit die Siedlungsentwässerung zur Gewässerbelastung beiträgt. Die Auswertungen ergaben für einzelne Stoffe lokal derart hohe Konzentrationen, dass eine Schädigung von Wasserlebewesen nicht ausgeschlossen werden kann. Das Modell wurde neben der Erkennung von lokal stark belasteten Gewässerabschnitten auch zur Beurteilung von technischen Massnahmen bei ARAs verwendet.

Mit unterschiedlichen Methoden wurden für verschiedene Stoffgruppen gewässerrelevante Stoffe und Umwandlungsprodukte identifiziert.

Welche Mikroverunreinigungen sind relevant?

Da für Biozide keine Zahlen zu den eingesetzten und in Gewässer gelangenden Mengen verfügbar waren, wurden entsprechende Erhebungen bei Herstellern und Verbrauchern durchgeführt. Anhand dieser Daten wurde ein einfaches Priorisierungsverfahren entwickelt, das eine Erkennung von gewässerrelevanten Stoffen erlaubt. Dieses Vorgehen kann auch auf andere Stoffgruppen übertragen werden.

Da neben den Ausgangsstoffen auch deren Umwandlungsprodukte in Gewässern relevant sein können, wurde ein Modell entwickelt, das die Bildung und Verteilung

von Umwandlungsprodukten in der Umwelt abschätzt. Bei Pflanzenschutzmitteln wie auch bei Pharmaka zeigte sich, dass Umwandlungsprodukte einen relevanten Beitrag zur Gewässerbelastung leisten können, obwohl sie meist weniger giftig sind als die Ausgangsprodukte. Bei gesetzlich vorgeschriebenen Stoffbewertungen sollten deshalb Umwandlungsprodukte routinemässig mit beurteilt werden, oder es sollte zumindest eine erste grobe Modellabschätzung des Umweltverhaltens durchgeführt werden.

Zur Beurteilung der Gewässerqualität werden neben chemischen Analysen oft ökotoxikologische Untersuchungen mit Fischen, Wasserflöhen, Algen etc. an Gewässer- und Abwasserproben durchgeführt. Die meisten Standardtests sind auf die akute Toxizität von Stoffen ausgerichtet (hohe Konzentrationen und kurze Expositionszeit) und daher nicht geeignet, um chronische Belastungen durch Mikroverunreinigungen zu beurteilen. Zwei Projekte untersuchten alternative Testsysteme zur Beurteilung von Gewässerbelastungen. Es zeigte sich aber, dass sowohl die Messung des oxidativen Stress', ermittelt mit Fischzellen, als auch die Untersuchung der Entwicklung von Zebrafisch-Embryonen zu wenig empfindlich auf die geprüften Mikroverunreinigungen (Pharmaka, Biozide, Pflanzenschutzmittel) reagierten.

Biologische Testverfahren  
zur Beurteilung  
von Mikroverunreinigungen  
in Gewässern

#### Massnahmen zur Reduktion der Gewässerbelastung

Die heutige Siedlungsentwässerung in der Schweiz weist einen Wiederbeschaffungswert von ca. 100 Milliarden Franken (Mrd. CHF) auf. Um die Funktionsfähigkeit des Systems zu erhalten und laufend an den Stand der Technik anzupassen, fallen gegenwärtig jährliche Kosten von ca. 1,7 Mrd. CHF an. Aufgrund des prognostizierten steigenden Erneuerungsbedarfs stellte sich die Frage, mit welchen organisatorischen und technischen Massnahmen gleichzeitig Gewässerbelastungen mit Mikroverunreinigungen reduziert werden können.

In einem der Projekte wurde der Einfluss von organisatorischen Massnahmen untersucht. Daraus konnte der Schluss gezogen werden, dass eine Effizienzsteigerung des Siedlungsentwässerungssystems, wie es zurzeit in der Schweiz betrieben wird, möglich ist. Dies kann beispielsweise durch den Zusammenschluss von kleinen Gemeinden zu einem grösseren Einzugsgebiet mit einer zentralen Abwasserreinigungsanlage und durch ein effizienteres Einzugsgebietsmanagement geschehen. Grössere Einzugsgebiete erleichtern Massnahmen zur Professionalisierung der Siedlungsentwässerung, wie beispielsweise die gemeinsame Nutzung von fachlich hoch qualifiziertem Betriebspersonal, welches durch seine Arbeit eine Verbesserung der Reinigungsleistung von Abwasserreinigungsanlagen und gleichzeitig eine Kostenreduktion bewirkt.

Organisatorische Massnahmen  
in der Siedlungsentwässerung

Grundsätzlich können technische Massnahmen in dezentrale Massnahmen (Abwasservorbehandlung am Ort der Entstehung) und zentrale Massnahmen (Optimierung der bestehenden zentralen Abwasserreinigungsanlagen) unterschieden werden, wobei im Rahmen dieses Projektes nur die dezentralen Massnahmen im Sinne einer Alternative zum bestehenden zentralen System betrachtet wurden.

Technische Massnahmen  
in der Siedlungsentwässerung

Bei den dezentralen Massnahmen wurde unterschieden zwischen Massnahmen bei massgeblichen Emittenten (z. B. Spitälern) und einem vollständig dezentralen System

der Siedlungsentwässerung, bei dem jedes Haus über eine eigene «ARA» mit separater Fassung und Reinigung von Urin, Fäkalien und Grauwasser verfügt.

Am Beispiel des Kantonsspitals der Stadt Winterthur konnte nachgewiesen werden, dass dezentrale Massnahmen nicht angezeigt sind, da der Anteil der Emissionen des Kantonsspitals verglichen mit den Gesamtemissionen eher gering ist. Es zeigte sich, dass dezentrale Massnahmen nur dort sinnvoll sind, wo eine oder mehrere Punktquellen (z. B. Spital, Alterspflegeheim) einen grossen Anteil an der Gesamtfracht bei den Arzneimitteln in einem Einzugsgebiet ausmachen. Dezentrale Massnahmen sind bereits heute bei vielen Industriebetrieben implementiert, die eine eigene Abwasser(vor)-behandlungsanlage betreiben.

In einem weiteren Projekt wurde die Auswirkung von so genannten NoMix-Toiletten auf den Eintrag von Pharmaka in Gewässer untersucht. Bei dieser Technologie wird der Urin separat gesammelt und entsorgt, so dass im Urin enthaltene Mikroverunreinigungen (insbesondere Pharmaka) nicht ins Abwasser gelangen. Es zeigte sich, dass vom Menschen eingenommene Pharmaka nur zu 60–70 % über den Urin ausgeschieden werden und somit die Einträge aus Haushalten ins Abwasser mit der NoMix-Toilette nicht gänzlich verhindert werden können. Hinzu kommt, dass alle übrigen im Haushalt eingesetzten, und allenfalls problematischen, Publikumsprodukte wie Waschmittel direkt ins Abwasser und damit in die öffentliche Kanalisation gelangen.

In einem zusätzlichen Projekt wurde die heutige Siedlungsentwässerung mit Kanalisationssystem und zentraler Abwasserreinigung mit einem hypothetischen dezentralen System verglichen, welches ohne Kanalisationssystem auskommt und bei dem die Abwasseraufbereitung in den einzelnen Gebäuden integriert ist. Die aus den Haushalten stammenden Mikroverunreinigungen werden entsprechend behandelt oder gesammelt und extern entsorgt (Urin, Fäkalien). Die Resultate zeigten, dass eine Abkehr vom heutigen System nicht sinnvoll ist. Neben den deutlich höheren Kosten und langen Übergangszeiten bei einer Umstellung wäre auch mit betrieblichen Problemen zu rechnen. Ein dezentrales System ist hingegen allenfalls geeignet für kleinräumige, entlegene Siedlungen ohne bereits bestehende entsprechende Infrastruktur.

### Schlussfolgerungen

Der Eintrag von Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung beeinträchtigt Pflanzen und Tiere der Gewässer sowie die Qualität der Trinkwasservorkommen in Seen und im flussnahen Grundwasser. Es gibt klare Hinweise für nachteilige Einwirkungen in den Gewässern. So führen hormonaktive Stoffe zu einer Verweiblichung von männlichen Fischen. Die Tatsache, dass für hunderte bis tausende Mikroverunreinigungen in den Gewässern nur ungenügendes Wissen vorliegt, unterstreicht den deutlichen Handlungsbedarf. Bei den Trinkwasserressourcen besteht zur Zeit keine Gefährdung für die Bevölkerung, trotzdem müssen aus Gründen des vorsorglichen Verbraucherschutzes Massnahmen getroffen werden.

Schlussfolgerungen

Die Existenz von Mikroverunreinigungen in Schweizer Gewässern lässt erkennen, dass regulatorische Massnahmen, zum Beispiel auf Stufe der Chemikaliengesetzgebung und

der Gewässerschutzverordnung, in ihrer heutigen Form zu kurz greifen und lediglich geeignet sind, die Anwendung einzelner Stoffe und Stoffgruppen zu regulieren. «Erzieherische Massnahmen» wie Pfandsysteme, Verbraucherinformation und die Anpassung von Entsorgungswegen können mithelfen, Emissionen zu reduzieren. Es sollte durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit ein breites Bewusstsein für das Thema Mikroverunreinigungen bei der Industrie und bei den Konsumenten geschaffen werden und somit die Akzeptanz für weitergehende Massnahmen erhöht werden. Die Anzahl verwendeter Stoffe in Produkten dürfte in Zukunft weiter zunehmen. Ihre Verbrauchsmengen dürften ebenfalls ansteigen, dies einerseits wegen steigender Bevölkerungszahl und andererseits wegen der höheren Lebenserwartung (Medikamente und Körperpflegeprodukte).

Der Zeitpunkt für weiterreichende Massnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft ist günstig, da diesbezüglich Erneuerungen anstehen. Für den Unterhalt und die Erneuerung des bestehenden Systems werden hohe Kosten anfallen. Im Rahmen der Planung dieser Arbeiten können notwendige Massnahmen zur Reduktion von Mikroverunreinigungen einbezogen werden. Daher sollte jetzt in Erwägung gezogen werden, mit welchen technischen Massnahmen das heutige System optimiert werden kann. Die zur Anwendung gelangenden Verfahren sollten folgende Charakteristika aufweisen:

- > «Breitbandwirkung» gegen möglichst viele Mikroverunreinigungen
- > Flexibilität bei der Implementierung in die bereits vorhandene Verfahrenstechnik
- > Einfach realisierbare Erweiterung zur bestehenden Infrastruktur
- > Akzeptables Kosten-Nutzen-Verhältnis

Durch zentrale Massnahmen auf der ARA (z. B.: Ozonung oder Aktivkohlebehandlung) kann ein grosser Teil der Mikroverunreinigungen eliminiert werden. Im Vordergrund stehen Massnahmen zur Frachtreduktion und zur Verbesserung der Wasserqualität. Dies betrifft

- > grosse ARAs zur Reduktion grosser Frachten (Oberliegerverantwortung, Reduktion der Stofffrachten ins Meer),
- > ARAs an Gewässerabschnitten mit ungenügender Verdünnung des eingeleiteten gereinigten Abwasser, sowie
- > ARAs an Gewässern die für die Trinkwassernutzung von Bedeutung sind (Seen mit wichtigen Trinkwasserfassungen, Flüsse mit Uferinfiltration ins Grundwasser im Bereich von Trinkwasserfassungen)

Es ist zu erwarten, dass nach einer sorgfältigen Kosten-Nutzen-Abschätzung rund 100 ARAs mit mehr als 10000 Einwohnerwerten ausgebaut werden müssten, um die genannten Zielsetzungen zu erreichen. Dieser Ausbau ist mit Investitionskosten von schätzungsweise 1,2 Mrd. CHF verbunden. Die zu erwartenden Mehrkosten (Betrieb und Investitionen, inklusive Filtrationsstufe) für die heutigen Abwasserreinigung liegen bei 5–10 % für grössere ARAs und bei 15–25 % für kleinere ARAs.

Spezifische dezentrale und organisatorische Massnahmen können einen zusätzlichen Beitrag zur Lösung des Problems Mikroverunreinigungen in Gewässern leisten. Unter

---

den Voraussetzungen der heutigen Siedlungswasserwirtschaft liegt der Schwerpunkt bei der technischen Verbesserung der bestehenden Abwasserreinigungsanlagen. Nur eine erhöhte Effizienz der Abwasserreinigung ermöglicht die Elimination eines Grossteils der Mikroverunreinigungen.

Im Rahmen des Projektes «Mikroverunreinigungen in Gewässern» erarbeitet das BAFU gemeinsam mit kantonalen Fachstellen, Forschungsanstalten, Verbänden und der Industrie Grundlagen zur Beurteilung von zentralen technischen Massnahmen. In grosstechnischen Versuchen werden weitergehende Reinigungsstufen evaluiert (Ozonung und Behandlung mit Aktivkohle). Die Beurteilung der Verfahren umfasst die Bestimmung der Elimination von zahlreichen Mikroverunreinigungen, die Überwachung der Ökotoxizität im gereinigten Abwasser sowie die Erhebung von betrieblichen und betriebswirtschaftlichen Kenngrössen. Zusätzlich werden Kriterien für die Überprüfung der Effizienz von verfahrenstechnischen Massnahmen sowie zur Beurteilung des Einflusses oben erwähnter Massnahmen auf die Gewässerqualität erarbeitet.

Technische Massnahmen  
in der Erprobung

Weitere wichtige Handlungsfelder sind:

- > Reduktion der Emissionen von Mikroverunreinigungen aus diffusen Quellen
- > Erarbeitung einer systematischen Übersicht über Mikroverunreinigungen (inkl. Einbezug von einer Vielzahl von Mikroverunreinigungen in die Gewässeruntersuchung)
- > Erarbeitung von Methoden zur ökotoxikologischen Bewertung von Gewässerbelastungen

---

**Hinweis:**

*Im Teil «Verzeichnisse» finden Sie ein **Glossar**, welches die wichtigsten Fachbegriffe erklärt.*

---

## > Résumé

Plusieurs projets de recherche ont été lancés ces dernières années à l'initiative de l'OFEV pour évaluer la présence de micropolluants dans les eaux suisses. Le présent rapport fait la synthèse de ces études.

La mise en place de systèmes efficaces d'évacuation des eaux urbaines (canalisations, bassins de rétention des eaux de pluie et stations d'épuration des eaux usées) a permis d'améliorer sensiblement la qualité des eaux en Suisse. Ces mesures ont notamment réduit de beaucoup les apports de nutriments. Les composés traces organiques qui parviennent dans les eaux après avoir transité par les réseaux d'évacuation des eaux urbaines posent cependant toujours un défi de taille à la protection des eaux. Une multitude de substances présentes à des concentrations infimes (de l'ordre du microgramme ou du nanogramme par litre), et appelées de ce fait micropolluants, peuvent être décelées dans les eaux. On détecte aussi des micropolluants organiques dans les poissons ainsi que dans l'eau potable.

Contexte

En Suisse, nous utilisons chaque jour plus de 30 000 substances chimiques. Produits phytosanitaires, biocides, médicaments ou composants d'articles courants (détergents, produits de soins corporels, etc.), ils sont utilisés à toutes sortes de fins dans l'industrie et l'artisanat, mais aussi dans les ménages. A ce jour, il n'existe pas de répertoire systématique qui recense les quantités, les utilisations, les émissions, l'impact environnemental et la toxicité de ces substances.

D'où proviennent les micropolluants?

Celles que l'on retrouve dans les eaux proviennent aussi bien des systèmes d'assainissement que d'émissions diffuses, comme l'on en rencontre dans l'agriculture. Le présent rapport se concentre cependant sur les réseaux d'évacuation des eaux urbaines. Transportées par les eaux usées, les substances difficilement dégradables transitent par la station d'épuration (STEP), souvent sans aucune transformation. Mais il arrive aussi que des substances facilement dégradables aboutissent dans les eaux: via les déversoirs d'orage par temps de pluie ou par le biais de STEP à l'équipement obsolète et de ce fait incapables de les éliminer complètement. Si plusieurs STEP déversent leur effluent dans le même milieu récepteur, on assiste à une accumulation de micropolluants le long du cours d'eau ou dans le lac concerné. Lorsque des cours d'eau servent de source d'eau potable ou s'infiltrent dans la nappe souterraine, des micropolluants peuvent se retrouver dans l'eau potable. Le rôle de «château d'eau» de l'Europe confère à la Suisse une responsabilité particulière de riverain amont à l'égard des Etats qui l'entourent. Or, jour après jour, les effluents de stations d'épuration exportent des micropolluants vers les régions voisines.

Comment les micropolluants parviennent-ils dans les eaux?

Même en concentrations infimes, les micropolluants peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes aquatiques. Les problèmes qu'une substance donnée occasionne dans l'eau dépendent essentiellement de ses propriétés physico-chimiques et écotoxicologiques. Ce sont en général les substances aisément solubles et peu, ou pas, biodégra-

Quels sont les effets des micropolluants dans les eaux?

dables qui se retrouvent dans les eaux. Les concentrations prévisibles à la sortie d'une STEP sont ainsi déterminées par les propriétés de la substance considérée et par la quantité présente dans les eaux usées. On en observe notamment des concentrations élevées dans les petits cours d'eau récepteurs de grandes STEP ou de STEP successives. Quant à savoir si ces concentrations représentent un danger pour les organismes aquatiques, on peut l'évaluer sur la base des caractéristiques écotoxicologiques de la substance considérée. Certains effets, tels ceux des perturbateurs endocriniens, peuvent déjà survenir à partir d'une concentration de 1 ng par litre, et de tels effets ont été constatés de façon probante dans des cours d'eau en Suisse. A ce jour, les données nécessaires pour évaluer les atteintes à l'environnement n'existent que pour quelques-uns de ces micropolluants. Il s'agit le plus souvent de substances qui exercent un effet ciblé sur des organismes, donc soumises à une procédure d'homologation (produits phytosanitaires, p. ex.).

Les micropolluants présents dans les eaux étant extrêmement nombreux et variés, l'impact subi par les organismes aquatiques correspond à l'effet global de ces substances. Outre les substances de départ, l'examen de cette problématique doit prendre en considération leurs métabolites (produits de leur dégradation).

**Informations précieuses fournies par les projets de recherche**

La pollution des eaux et ses effets

Six études ont été menées pour fournir un aperçu du problème que représentent les micropolluants dans les eaux. Leurs résultats sont brièvement résumés ici.

Evaluation de la charge polluante

Comme il serait difficile et extrêmement coûteux de mesurer avec précision la charge en micropolluants de toutes les eaux de Suisse, un modèle des flux de substances a été mis au point puis testé à l'aide de mesures. Pour de nombreuses substances, ce modèle national permet d'estimer les quantités que les réseaux d'évacuation des eaux urbaines rejettent dans l'environnement et contribuent ainsi à la pollution des cours d'eau et des lacs. Les calculs effectués ont parfois révélé des concentrations si élevées que l'on ne peut exclure des atteintes aux organismes aquatiques. Ce modèle a été utilisé non seulement pour mettre en évidence des charges polluantes localement élevées dans certains tronçons de cours d'eau, mais aussi pour évaluer les effets d'améliorations techniques apportées à des STEP.

Différentes méthodes ont permis d'identifier dans les diverses catégories chimiques des substances polluantes ayant un impact sur les eaux, de même que leurs métabolites.

Quels micropolluants posent problème?

Vu l'absence de chiffres (quantités utilisées et parvenant dans les eaux) concernant les biocides, les données ont été recueillies auprès des fabricants et des utilisateurs. Ces informations ont permis de mettre au point une méthode simple de définition des priorités, qui permet d'identifier les substances ayant un impact écologique dans le milieu aquatique. Cette procédure peut également s'appliquer à d'autres catégories de substances.

Outre les substances de départ, les produits de leur dégradation peuvent aussi déployer des effets nocifs dans les eaux. Dès lors, un modèle a été élaboré pour évaluer la formation et la dispersion de ces métabolites dans l'environnement. Il est ainsi apparu que les dérivés de produits phytosanitaires et de médicaments peuvent contribuer de façon considérable à la charge polluante des eaux, tout en étant dans l'ensemble moins toxiques que les substances de départ. Les évaluations prescrites par la législation devraient donc englober systématiquement les métabolites des substances à identifier, ou alors il faudrait au moins procéder à une première appréciation modélisée de leur comportement dans l'environnement.

Parallèlement aux analyses chimiques, la qualité de l'eau est souvent évaluée à l'aide d'études écotoxicologiques sur des poissons, des daphnies, des algues, etc. prélevés dans des eaux usées, des cours d'eau ou des lacs. Les tests usuels se focalisent en général sur la toxicité aiguë des substances (concentrations élevées et brève durée d'exposition); ils conviennent donc pas pour apprécier l'effet des charges chroniques de micropolluants. Deux projets ont étudié d'autres tests pour évaluer la pollution des eaux. Force fut cependant de constater que tant la mesure du stress oxydant, déterminé sur des cellules de poissons, que l'étude du développement d'embryons de poisson zèbre constituent des méthodes trop peu sensibles à l'impact des micropolluants testés (médicaments, biocides ou produits phytosanitaires).

Tests biologiques pour l'évaluation de micropolluants dans les eaux

#### Mesures destinées à réduire la charge de micropolluants dans les eaux

La valeur de remplacement des installations d'assainissement en Suisse avoisine actuellement 100 milliards de francs. Par ailleurs, on consacre chaque année environ 1,7 milliard de francs pour préserver la capacité opérationnelle du système, ainsi que son niveau technique. Les prévisions annonçant que le besoin de renouvellement ira croissant, il s'agissait d'identifier la combinaison idéale de mesures organisationnelles et techniques permettant de réduire en même temps la charge de micropolluants dans les eaux.

L'un des projets évoqués plus haut a exploré l'influence de mesures d'ordre organisationnel. Selon ses conclusions, il est possible d'améliorer l'efficacité du système actuel d'évacuation des eaux urbaines. A cette fin, on peut par exemple regrouper de petites communes pour former une zone de collecte plus étendue et dotée d'une station d'épuration centrale, et en améliorant la gestion du bassin versant. La création de zones de collecte plus grandes facilite la professionnalisation des systèmes d'assainissement, notamment par le recours collectif à du personnel d'exploitation hautement qualifié, dont le travail améliore le rendement des stations d'épuration tout en réduisant les coûts.

Mesures organisationnelles dans l'assainissement

S'agissant des mesures techniques, on peut distinguer l'approche décentralisée (traitement préalable des eaux usées là où elles sont produites) et l'approche centralisée (optimisation des stations centrales d'épuration existantes). Le projet dont il est question ici devait se contenter d'examiner en quoi des mesures décentralisées pourraient apporter des solutions de rechange au système centralisé actuel.

Mesures techniques dans l'évacuation des eaux urbaines

Pour ce qui est des mesures décentralisées, on a envisagé d'une part les mesures à prendre par les responsables d'émissions importantes (tels les hôpitaux), d'autre part le principe d'un système entièrement décentralisé dans lequel chaque maison posséderait sa propre «STEP» avec captage et épuration séparés de l'urine, des matières fécales et des eaux grises.

En prenant le cas de l'hôpital cantonal à Winterthour (ZH), on a démontré que des mesures décentralisées ne sont en l'occurrence pas indiquées, du fait que les quantités de substances polluantes émises par l'établissement n'occupent qu'une place relativement modeste dans les émissions totales. Il apparaît dès lors que des mesures locales ne se justifient que si une ou plusieurs sources ponctuelles (hôpital ou home médicalisé, p. ex.) représentent une forte proportion de la charge globale en substances médicamenteuses dans le bassin versant considéré. Par ailleurs, de nombreux sites industriels ont d'ores et déjà mis en place leur propre installation de (pré)traitement des eaux usées.

Un autre projet a étudié l'effet des «WC NoMix» sur l'apport de composés pharmaceutiques dans les eaux. Consistant à collecter et à traiter séparément les urines, cette technique évite que des micropolluants (résidus de médicaments notamment) ne parviennent dans les eaux usées. On a cependant constaté que 60 à 70 % seulement des médicaments absorbés par l'être humain sont éliminés par voie urinaire, de sorte que les toilettes NoMix ne remédient pas entièrement aux rejets de ces substances dans les eaux usées des ménages. De plus, des produits d'usage courant utilisés par les ménages et pouvant poser problème (les lessives, p. ex.) passent directement dans les eaux usées et les canalisations publiques.

Enfin, un dernier projet a comparé le système actuel d'évacuation des eaux urbaines, avec son réseau de canalisations et une station centrale d'épuration, et un hypothétique système décentralisé, sans canalisations mais où le traitement des eaux est intégré à chaque bâtiment. Les micropolluants issus des ménages y seraient traités de façon ciblée ou collectés et évacués (urines, matières fécales). Les résultats de cette étude indiquent qu'il ne serait pas judicieux d'abandonner le système actuel. Outre les coûts nettement plus élevés et la phase de transition nécessairement longue qu'impliquerait un tel changement, il faudrait s'attendre à des problèmes d'exploitation. En revanche, un système décentralisé pourrait éventuellement convenir pour de petites agglomérations isolées et encore dépourvues d'une infrastructure appropriée.

## Conclusions

Les micropolluants qui parviennent dans les eaux par le biais des réseaux d'évacuation des eaux urbaines ont des effets nuisibles sur les plantes et les animaux aquatiques, ainsi que sur la qualité des ressources en eau potable des lacs et des nappes souterraines à proximité de cours d'eau. Le caractère nocif de ces substances a été clairement établi: des perturbateurs endocriniens entraînent par exemple la féminisation des poissons mâles. De plus, le manque de connaissances dont nous disposons aujourd'hui sur des centaines, voire des milliers, de micropolluants présents dans nos eaux constitue en soi une raison d'agir. Dans l'état actuel des choses, les substances décelées dans les res-

Conclusions

sources d'eau potable ne présentent aucun danger pour la population, mais le principe de précaution exige que des mesures soient prises pour protéger les consommateurs.

La présence de micropolluants dans les eaux suisses révèle que les prescriptions actuelles, notamment la législation sur les produits chimiques et l'ordonnance sur la protection des eaux, comportent des lacunes et ne peuvent guère que régir l'utilisation de certaines substances ou catégories de substances. Des mesures «éducatives», comme les systèmes de consigne, l'information des consommateurs et l'adaptation des filières d'élimination, peuvent en revanche contribuer à réduire les émissions. Un travail ciblé de relations publiques devrait aussi être entrepris pour sensibiliser tant l'industrie que les consommateurs au problème des micropolluants, et améliorer ainsi l'accueil qu'ils réserveront à d'autres mesures. Il est en effet fort probable que le nombre de substances entrant dans la composition de produits en tout genre augmente encore à l'avenir. Les quantités utilisées prendront inévitablement l'ascenseur, suivant en cela la croissance démographique d'une part, l'allongement de l'espérance de vie d'autre part (médicaments et produits de soins corporels).

Le moment est propice pour prendre des mesures complémentaires sur les systèmes d'assainissement, car les installations devront être renouvelées bientôt. Or les coûts d'entretien et de renouvellement des systèmes actuels sont considérables. Dans un souci de rationalisation, la planification de ces renouvellements pourrait dès lors inclure des mesures destinées à réduire les micropolluants. Il est donc temps d'examiner quelles mesures techniques permettront d'optimiser le système actuel. Les procédés envisagés devraient présenter les caractéristiques suivantes:

- > action «à large spectre», pour éliminer le plus grand nombre de micropolluants,
- > compatibilité avec les procédés en place,
- > agrandissement aisé des infrastructures existantes,
- > rapport coût/utilité acceptable.

Des mesures prises à la STEP (ozonation ou traitement au charbon actif) peuvent éliminer une grande partie des micropolluants. Il importe toutefois de les appliquer tout d'abord là où il est crucial de diminuer la charge polluante et d'améliorer la qualité de l'eau. Voici donc les STEP à équiper en priorité:

- > les grandes STEP, afin de réduire des charges importantes (responsabilité du riverain amont, diminution des flux polluants déversés dans la mer);
- > les STEP déversant leur effluent dans un tronçon de cours d'eau n'assurant pas une dilution suffisante des eaux traitées;
- > les STEP rejetant leur effluent dans des eaux exploitées pour alimenter le réseau d'eau potable (lacs avec d'importants captages d'eau potable, rivières dont l'eau s'infiltré dans les nappes d'eaux souterraines à proximité de captages d'eau potable).

Une étude de rentabilité approfondie établira selon toute vraisemblance qu'il faudra adapter l'équipement d'environ 100 STEP de plus de 10 000 équivalents-habitants pour atteindre les objectifs évoqués plus haut. Selon les estimations, les coûts d'investissements nécessaires se monteront à 1,2 milliard de francs. Les coûts supplémentaires à

prévoir pour l'épuration des eaux usées (investissements et exploitation, y compris l'étape de filtration) se situeront entre 5 et 10 % pour les grandes STEP et entre 15 et 25 % pour les STEP plus petites.

Des mesures décentralisées et organisationnelles spécifiques constitueraient un moyen de plus pour venir à bout du problème des micropolluants présents dans les eaux. Au vu des conditions qui prévalent actuellement dans la gestion des eaux urbaines en Suisse, la priorité doit aller à l'amélioration technique des stations d'épuration existantes. Seule une efficacité accrue des opérations d'épuration permettra d'éliminer la majeure partie des micropolluants.

Dans le cadre du projet «Micropolluants dans les eaux», l'OFEV met au point, en collaboration avec des services cantonaux spécialisés, des stations de recherche, des associations intercommunales et l'industrie, les bases nécessaires pour évaluer les innovations techniques à apporter aux STEP. Ces travaux prennent la forme d'essais à l'échelle industrielle de procédés d'épuration supplémentaires (ozonation et traitement au moyen de charbon actif). L'évaluation des procédés consiste à déterminer la quantité de micropolluants qu'ils permettent d'éliminer, à surveiller l'écotoxicité dans les eaux traitées et à relever certains paramètres techniques et propres à l'exploitation. Des critères sont en outre élaborés contrôler l'efficacité de procédés techniques et d'évaluer l'influence des mesures évoquées ci-dessus sur la qualité des eaux.

Mesures techniques à l'essai

Voici d'autres champs d'action importants:

- > réduire les émissions de micropolluants provenant de sources diffuses,
- > dresser un tableau systématique des micropolluants (et inclure un grand nombre de ces substances dans l'analyse des eaux),
- > élaborer des méthodes d'évaluation écotoxicologique de la pollution des eaux.

**Remarque:**

*La partie «Index» du présent document contient un **glossaire** qui explique les principaux termes et notions techniques.*

## > Riassunto

Su iniziativa dell'UFAM sono stati avviati vari progetti di ricerca che hanno analizzato la situazione dei microinquinanti nelle acque. Il presente rapporto riassume i risultati di questi studi.

Negli ultimi decenni, grazie alla buona qualità degli impianti di smaltimento delle acque urbane (canalizzazioni, bacini di raccolta dell'acqua piovana e impianti di depurazione delle acque), la qualità delle acque svizzere è notevolmente migliorata. Le misure hanno permesso in particolare di ridurre sensibilmente l'apporto di sostanze nutritive. Nell'ambito della protezione delle acque resta tuttavia da risolvere il problema dell'immissione di elementi organici in tracce attraverso gli scarichi. Nelle acque possono infatti essere presenti innumerevoli inquinanti in concentrazioni molto basse (dell'ordine di microgrammi o nanogrammi per litro), noti appunto come microinquinanti organici. I microinquinanti organici sono rilevabili anche nei pesci e nell'acqua potabile.

Situazione iniziale

In Svizzera sono utilizzate giornalmente oltre 30000 sostanze. Tra queste figurano, ad esempio, prodotti fitosanitari, biocidi, farmaci o componenti di beni di consumo (prodotti per il corpo, detersivi, ecc.) utilizzati in innumerevoli applicazioni industriali, artigianali e domestiche. Non esiste una raccolta sistematica di dati sulle quantità, sull'utilizzazione, sulle emissioni, sul comportamento nell'ambiente e sulla tossicità di queste sostanze.

Da dove provengono i microinquinanti?

Queste sostanze sono immesse nelle acque sia attraverso gli impianti di smaltimento delle acque urbane che attraverso emissioni diffuse, ad esempio nell'agricoltura. Il presente rapporto si concentra tuttavia sugli impianti di smaltimento delle acque. Le acque di scarico contengono sostanze difficilmente degradabili che gli impianti di depurazione delle acque (IDA) spesso non riescono a trattare e, di conseguenza, giungono nei corsi d'acqua. Nelle acque confluiscono anche sostanze facilmente degradabili convogliate nelle canalizzazioni dall'acqua piovana o non completamente degradate dagli IDA non conformi allo stato attuale della tecnica. Se più IDA defluiscono nelle stesse acque si verifica un accumulo di microinquinanti sia lungo i corsi d'acqua o che negli specchi d'acqua. Nelle zone in cui i corsi d'acqua sono utilizzati per la produzione di acqua potabile o vi è un'infiltrazione nelle falde acquifere, i microinquinanti possono inquinare l'acqua potabile. La Svizzera, considerata la riserva idrica dell'Europa, ha inoltre una responsabilità particolare nei confronti dei Paesi limitrofi: attraverso le acque di scarico depurate vi esportiamo ogni giorno i microinquinanti.

Come fanno i microinquinanti a finire nelle acque?

I microinquinanti possono essere nocivi per gli organismi acquatici anche in concentrazioni minime. Il grado di nocività che una sostanza ha per le acque dipende in gran parte dalle sue proprietà fisico-chimiche ed ecotossicologiche. Di norma, la presenza nei corsi d'acqua di sostanze facilmente solubili e difficilmente o non degradabili può essere dimostrata. Le proprietà delle sostanze e le quantità immesse nelle acque deter-

Cosa provocano i microinquinanti nelle acque?

minano pertanto le concentrazioni che ci si attendono nelle acque rilasciate dagli IDA. Elevate concentrazioni si registrano in particolare nei corsi d'acqua piccoli quando gli IDA grandi o più IDA vi rilasciano le loro acque depurate. Le proprietà ecotossicologiche delle sostanze permettono di valutare se le concentrazioni rilevate nelle acque rappresentano un pericolo per gli organismi acquatici. Effetti specifici, come ad esempio quelli provocati dai perturbatori endocrini, possono verificarsi già a livello di nanogrammi al litro. Effetti corrispondenti sono stati riscontrati nei corsi d'acqua svizzeri. Sinora i dati disponibili con cui valutare l'impatto ambientale riguardano solo poche sostanze. In genere, si tratta di sostanze che hanno un effetto mirato sugli organismi e, di conseguenza, sono soggette a una procedura di omologazione (ad esempio i prodotti fitosanitari).

Nelle acque possono essere presenti numerosi microinquinanti. Le ripercussioni per gli organismi acquatici sono quindi determinate dall'effetto complessivo di tutti questi microinquinanti. Inoltre, la valutazione della problematica deve tener conto non solo delle sostanze impiegate ma anche dei loro prodotti di trasformazione.

### **Importanti risultati dei progetti di ricerca**

#### **Inquinamento delle acque e sue ripercussioni**

Essendo difficile e molto dispendioso misurare le concentrazioni di microinquinanti in tutte le acque svizzere importanti, è stato dapprima elaborato e poi testato, con l'ausilio di dati ottenuti con delle misurazioni, un modello nazionale dei flussi di sostanze. Questo modello permette di stimare per numerose sostanze il contributo dato dagli impianti di smaltimento delle acque urbane all'inquinamento delle acque. Per singole sostanze, le analisi hanno rivelato concentrazioni locali così elevate che non si possono escludere danni per gli organismi acquatici. Oltre che per identificare i tratti localmente molto inquinati, il modello è stato utilizzato anche per valutare le misure tecniche a livello degli IDA.

L'inquinamento in Svizzera

Con vari metodi sono stati identificati, per vari gruppi di sostanze, le sostanze e i prodotti di trasformazione che hanno un'incidenza sulle acque.

Quali sono i microinquinanti dannosi?

Siccome per i biocidi si disponeva di dati sulle quantità impiegate e riversate nelle acque, sono stati svolti appositi rilevamenti presso i fabbricanti e i consumatori. In base ai dati raccolti è stata elaborata una semplice procedura di prioritizzazione (?) che consente di identificare le sostanze con un'incidenza sulle acque. Questa procedura può essere applicata anche ad altri gruppi di sostanze.

Poiché oltre alle sostanze di partenza possono avere un'incidenza sulle acque anche i loro prodotti di trasformazione, è stato sviluppato un modello che stima la formazione e la distribuzione di prodotti di trasformazione nell'ambiente. Per i prodotti fitosanitari e i farmaci è emerso che i prodotti di trasformazione possono contribuire in modo rilevante all'inquinamento delle acque, pur essendo, in genere, meno tossici dei prodotti di partenza. Nell'ambito delle valutazioni delle sostanze prescritte dalla legge occorre quindi tener conto sistematicamente anche dei prodotti di trasformazione o

almeno procedere a una prima stima grossolana del comportamento nell'ambiente mediante un modello.

Per valutare la qualità delle acque, oltre alle analisi chimiche sono spesso effettuate anche indagini ecotossicologiche su pesci, pulci d'acqua, alghe, ecc. su campioni di acque e acque di scarico. La maggior parte dei test standard è incentrata sulla tossicità acuta delle sostanze (concentrazioni elevate e tempi di esposizione brevi) e di conseguenza non è adatta per valutare gli inquinamenti cronici da microinquinanti. Due progetti hanno esaminato sistemi di test alternativi per valutare l'inquinamento delle acque. È emerso però che sia la misurazione dello stress ossidativo, determinato utilizzando cellule di pesci, sia l'analisi dell'evoluzione degli embrioni di pesce zebra reagiscono in modo troppo poco sensibile ai microinquinanti considerati (farmaci, biocidi, prodotti fitosanitari).

Test biologici per valutare i microinquinanti nelle acque

#### Misure di riduzione dell'inquinamento delle acque

Gli attuali impianti di smaltimento delle acque urbane in Svizzera hanno un valore di sostituzione di circa 100 miliardi di franchi. I costi per conservare la funzionalità del sistema e adeguarla continuamente allo stato della tecnica si aggirano su 1,7 miliardi di franchi all'anno. Dato il previsto incremento del bisogno di rinnovo è d'obbligo chiedersi quali siano le misure organizzative e tecniche che, al contempo, permettono di ridurre il tenore di microinquinanti nelle acque.

In uno dei progetti è stato analizzato l'influsso delle misure organizzative. Lo studio è giunto alla conclusione che è possibile aumentare l'efficienza del sistema svizzero di smaltimento delle acque urbane. Si può ad esempio raggruppare piccoli Comuni per formare un comprensorio più grande con un impianto centrale di depurazione delle acque di scarico e una gestione più efficiente. Comprensori più grandi agevolano le misure di professionalizzazione degli impianti di smaltimento delle acque urbane, come ad esempio l'uso congiunto di personale operativo altamente qualificato, che con il suo lavoro migliora l'efficienza depurativa degli impianti di depurazione delle acque e, allo stesso tempo, riduce i costi.

Misure organizzative nell'ambito dello smaltimento delle acque urbane

Le misure tecniche si suddividono sostanzialmente in misure decentrate (pretrattamento delle acque di scarico alla fonte) e misure centrali (ottimizzazione degli impianti centrali di depurazione delle acque), ma nell'ambito di questo progetto sono state considerate unicamente le misure decentrate intese quale alternativa al sistema centrale esistente.

Misure tecniche nell'ambito dello smaltimento delle acque urbane

Le misure decentrate sono state suddivise in misure presso grandi emittitori (ad esempio gli ospedali) e sistemi completamente decentrati di impianti di smaltimento delle acque urbane, in cui ogni casa dispone di un proprio «IDA» con captazione e depurazione separate delle urine, delle feci e delle acque grigie.

L'esempio dell'ospedale cantonale della città di Winterthur ha permesso di dimostrare che le misure decentrate non sono adatte, poiché la quota delle emissioni dell'ospedale cantonale è relativamente esigua rispetto alle emissioni complessive. È emerso che le

misure decentrate hanno senso solo dove una o più sorgenti puntuali (ad esempio ospedale, casa per anziani) rappresentano una percentuale consistente del carico totale di farmaci in un bacino imbrifero. Già oggi sono adottate misure decentrate in numerosi stabilimenti industriali, dotati di un proprio impianto di (pre)trattamento delle acque.

In un altro progetto è stato esaminato l'impatto dei cosiddetti gabinetti NoMix sull'apporto di farmaci nelle acque. Si tratta di una tecnologia in cui l'urina è raccolta e smaltita separatamente, in modo tale che i microinquinanti in essa contenuti (in particolare i farmaci) non finiscano nelle acque di scarico. È emerso che solo il 60–70 per cento dei farmaci assunti dall'uomo è espulso attraverso le urine e quindi i gabinetti NoMix non permettono di eliminare completamente gli apporti delle economie domestiche nelle acque di scarico. A ciò si aggiunge il fatto che tutti gli altri prodotti destinati al pubblico utilizzati in casa ed eventualmente problematici, come i detersivi, finiscono direttamente nelle acque di scarico e quindi nella canalizzazione pubblica.

In un altro progetto, l'attuale smaltimento delle acque urbane con un sistema di canalizzazione e depurazione centrale delle acque di scarico è stato confrontato con un ipotetico sistema decentrato, che fa a meno del sistema di canalizzazione e in cui il trattamento delle acque di scarico è integrato nei singoli edifici. I microinquinanti prodotti dalle economie domestiche sono trattati adeguatamente oppure raccolti e smaltiti esternamente (urina, feci). I risultati hanno mostrato che non avrebbe senso abbandonare il sistema attuale. Oltre ai costi nettamente più alti e ai lunghi periodi di transizione, un'eventuale conversione creerebbe anche problemi d'esercizio. Un sistema decentrato è adatto tutt'al più per piccoli insediamenti remoti privi di un'infrastruttura corrispondente.

## Conclusioni

L'apporto di microinquinanti provenienti dagli impianti di smaltimento delle acque urbane danneggia le piante e gli animali che vivono nelle acque nonché la qualità delle riserve di acqua potabile nei laghi e nelle falde acquifere vicino ai fiumi. Vi sono chiari indizi di ripercussioni negative sulle acque. I perturbatori endocrini, ad esempio, portano a una femminizzazione dei pesci maschi. Il fatto che per centinaia o addirittura migliaia di microinquinanti nelle acque siano disponibili solo conoscenze insufficienti evidenzia il forte bisogno d'intervento. Benché al momento non vi sia alcun pericolo per la popolazione a livello delle riserve di acqua potabile, occorre adottare delle misure preventive volte a proteggere i consumatori.

Conclusioni

L'esistenza di microinquinanti nelle acque svizzere indica che le misure normative in vigore, ad esempio a livello della legislazione sui prodotti chimici e dell'ordinanza sulla protezione delle acque, non sono abbastanza incisive e consentono unicamente di disciplinare l'utilizzazione di singole sostanze e gruppi di sostanze. Misure «educative» come i sistemi di cauzione sui vuoti, le informazioni per i consumatori e l'adeguamento delle vie di smaltimento possono contribuire a ridurre le emissioni. Attraverso delle relazioni pubbliche mirate bisognerebbe sensibilizzare l'industria e i consumatori nei confronti dei microinquinanti, preparando così il terreno per ulteriori misure. In futuro, il numero di sostanze utilizzate nei prodotti è destinato ad aumentare. Anche le

quantità di consumo dovrebbero crescere, da un lato sulla scia della crescita demografica e dall'altro per via dell'innalzamento della speranza di vita (farmaci e prodotti per il corpo).

È il momento giusto per prendere ulteriori misure nell'ambito della gestione delle acque urbane: sono infatti imminenti delle ristrutturazioni. Per la manutenzione e il rinnovo del sistema esistente sono previsti investimenti ingenti. Nell'ambito della pianificazione di questi lavori è possibile includere le necessarie misure di riduzione dei microinquinanti. Adesso bisognerebbe quindi valutare le misure tecniche in grado di ottimizzare il sistema attuale. I metodi adottati devono soddisfare i seguenti requisiti:

- > un'«azione ad ampio spettro» contro il maggior numero possibile di microinquinanti;
- > la flessibilità a livello di implementazione nella tecnica già esistente;
- > l'ampliamento dell'infrastruttura esistente realizzabile facilmente;
- > il rapporto costi/benefici accettabile.

Misure centrali a livello degli IDA (ad esempio ozonizzazione o trattamento con carbone attivo) permettono di eliminare buona parte dei microinquinanti. La priorità va alle misure di riduzione del carico e miglioramento della qualità dell'acqua. Tali misure interessano:

- > i grandi IDA per ridurre grandi carichi (responsabilità del rivierasco a monte, riduzione dei carichi riversati in mare),
- > gli IDA su tratti con una diluizione insufficiente delle acque di scarico depurate emesse, nonché
- > gli IDA che scaricano in acque utilizzate per la produzione di acqua potabile (laghi con importanti captazioni di acqua potabile, fiumi con infiltrazione nelle falde acquifere nei pressi di captazioni di acqua potabile).

Si stima che un'accurata analisi dei costi e dei benefici identificherebbe circa 100 IDA con più di 10000 abitanti-equivalenti che richiedono un intervento per raggiungere gli obiettivi menzionati. Gli investimenti necessari per questi interventi sono stimati a 1,2 miliardi di franchi. I maggiori costi previsti (esercizio e investimenti, struttura di filtraggio compresa) per gli attuali impianti di depurazione delle acque di scarico si aggirano sul 5–10 per cento per i grandi IDA e sul 15–25 per cento per quelli più piccoli.

Misure decentrate e organizzative specifiche possono fornire un contributo supplementare alla soluzione del problema dei microinquinanti nelle acque. Nelle condizioni attuali di gestione delle acque urbane, la priorità va al miglioramento tecnico degli impianti di depurazione delle acque esistenti. Solo una maggior efficienza della depurazione delle acque permette di eliminare buona parte dei microinquinanti.

Nell'ambito del progetto «microinquinanti nelle acque», l'UFAM elabora basi per valutare le misure tecniche centrali in collaborazione con organismi cantonali, istituti di ricerca, associazioni e l'industria. In sperimentazioni tecniche su grande scala sono valutati livelli di depurazione supplementari (ozonizzazione e trattamento con carbone

Sperimentazione di misure tecniche

---

attivo). La valutazione dei metodi comprende la determinazione dell'eliminazione di numerosi microinquinanti, il monitoraggio dell'ecotossicità nelle acque di scarico depurate nonché il rilevamento di valori di riferimento operativi ed economici. Inoltre, sono stati elaborati criteri per verificare l'efficacia delle misure tecniche e procedurali e valutare l'influsso delle misure sulla qualità delle acque menzionate sopra.

Altri importanti campi d'intervento sono i seguenti:

- > la riduzione delle emissioni di microinquinanti da fonti diffuse;
- > l'elaborazione di un'analisi sistematica dei microinquinanti (compresa l'inclusione di numerosi microinquinanti nell'analisi delle acque);
- > l'elaborazione di metodi di valutazione ecotossicologica dell'inquinamento delle acque

## > Summary

A situation analysis of micropollutants in Swiss water bodies has been carried out on the initiative of the Federal Office for the Environment (FOEN). This report summarises the results of the different studies.

Starting point

Water quality in Swiss water bodies has considerably improved over recent decades. The nutrient loads have been significantly reduced by expanding and upgrading municipal waste water infrastructure (sewers, stormwater tanks and wastewater treatment plants). However, the input of organic trace contaminants through municipal drainage continues to present a water quality challenge. The numerous substances present in water in very low concentrations (nanograms or micrograms per litre) are denoted as micropollutants. Some organic micropollutants have even been found in fish and drinking water.

Over 30,000 substances are in daily use in Switzerland as ingredients of plant protection products, biocides, pharmaceuticals and consumer products (body care products, cleaning agents etc.) in numerous industrial, commercial and domestic applications. A systematic overview is missing on the quantities, the uses, the emissions, the behaviour in the environment and the toxicity of these substances.

Where do the micropollutants come from?

Input into the aquatic environment occurs through the urban drainage system and from diffuse sources, such as agriculture. This report focuses on urban drainage. Persistent substances may pass the wastewater treatment plant (WWTP) unchanged. In addition, input of easy degradable substances occurs through WWTPs that are not state of the art and periodically through storm water or combined sewer overflows. If several WWTPs drain into the same water body, micropollutants can accumulate along the stretch or in lakes. Even groundwater used as drinking water may be contaminated by micropollutants from urban drainage via infiltration of polluted surface water. As the water tower of Europe, Switzerland also has an upstream responsibility towards its neighbours. Micropollutants are continuously exported out of the country with the treated wastewater in rivers.

How do micropollutants reach the aquatic environment?

Micropollutants may have adverse effects on aquatic life even at very low concentrations. Usage, physical-chemical and ecotoxicological properties determine whether a substance causes problems in the aquatic environment. The concentration of a compound in the WWTP effluent is determined by the load into the wastewater treatment plant and the physico-chemical properties of the compound. Generally, substances that are water soluble and persistent are not removed in WWTPs and can therefore be detected in natural waters. High concentrations occur principally in small streams with a high fraction of treated wastewater. The comparison of the exposure with ecotoxicologically based thresholds allows to assess the risk to affect the aquatic life. Specific effects for example by hormonally active substances, can occur at levels as low as the nanogram per litre range. Such effects have been identified in Swiss surface waters. So

What is the effect of micropollutants in the water?

far, only for a few of these substances exist sufficient data allowing to evaluate their influence on the aquatic environment. Particularly, data are available for substances that have a specific effect on organisms and that are therefore subject to a regulatory procedure (e.g. plant protection products).

Many different micropollutants are simultaneously present in water bodies. Therefore, the overall toxicity of the mixture of micropollutants determines the impact on aquatic life. Furthermore, in order to understand the overall effect, both the parent substances as well as their transformation products have to be considered.

**Important findings from the research projects**

Pollution of water bodies and its effects

Six studies established an overview on micropollutants in Swiss surface waters. The results of these projects are summarised below.

It is difficult and very cost intense to measure the extent of micropollutant contamination in all the relevant water bodies in Switzerland. Therefore, a National Material Flow Model was developed and verified with measured data. The model allows to evaluate the contribution of urban drainage to total water pollution for many substances. The analyses showed that damage of aquatic organism cannot be excluded from exposure to micropollutants in small streams with a high fraction of treated wastewater. The model was used to identify heavily polluted stretches of water and to assess technical measures at WWTPs.

Concentration  
ins Swiss Surcae waters

Various methods were applied in two projects to identify classes of compounds, substances and transformation products with aquatic relevance.

What micropollutants  
are relevant?

As no data were available on the biocide quantities used or discharged into the aquatic environment, surveys were carried out among manufacturers and users. Based on these data, a simple prioritisation method was developed and used to identify 21 substances with a high relevance for aquatic systems. This procedure can be applied to other groups of chemicals.

Since appreciable quantities of both parent compounds and their transformation products may occur in water bodies, a model was developed to evaluate the formation and distribution of transformation products in the environment. It was shown for both plant protection products and pharmaceuticals that transformation products can have a significant impact on water pollution, although they are generally less toxic than the parent compounds. Therefore, substance evaluation as part of the regulatory process should include routine analysis of transformation products or at least initial rough modelling of their behaviour in the environment.

Ecotoxicological tests with fish, water fleas, algae etc. are often carried out to evaluate the water quality of water and wastewater samples, in addition to chemical analyses. Most standard tests are intended to determine acute substance toxicity (high concentra-

Biological test methods  
for analysis of micropollutants  
in water courses

tions and short exposure times), which makes them unsuitable for analysis of chronic effects caused by micropollutants. Two projects investigated alternative test systems including analysis of the development of zebra fish embryos and the measurements of the oxidative stress using fish cells. The main finding was that both methods were insufficiently sensitive to the micropollutants tested (pharmaceuticals, biocides, plant protection products) at concentrations occurring in waste water or polluted surface waters.

#### Measures to reduce water pollution

The current urban drainage infrastructure in Switzerland has a replacement value of about CHF 100 billion. It costs about CHF 1.7 billion annually to maintain the system and keep the technology up to date. The predicted increasing need for renewal is pointing to the question of additional organisational and technical measures reducing water contamination by micropollutants. Such measures were studied in four research projects that are summarised in the following sections.

One of the projects studied the potential of organisational measures. It concluded that the efficiency of the urban drainage system currently in use in Switzerland can be increased. This can be achieved by connecting small communities to a central wastewater treatment plant of larger catchments and by more efficient infrastructure management. Larger catchments simplify municipal drainage professionalization measures such as joint use of highly qualified operating personnel who can work to improve the performance of wastewater treatment plants and simultaneously reduce costs.

Organisational measures  
in municipal drainage

Technical measures can be divided into decentralised measures (wastewater pre-treatment at source) and centralised measures (optimisation of existing central treatment plants). The following three projects focused on decentralised measures as an alternative to the existing centralised system. The relevance of measures at critical sources (e.g. hospitals) was evaluated and the potential of toilets separating urine was investigated. Finally, a fully decentralised system was evaluated of municipal drainage in which every building has its own “WWTP” with a separate collection and treatment of urine, faeces and grey water

Technical measures  
in municipal drainage

The example of the Cantonal hospital in the city of Winterthur indicated that decentralised measures are not appropriate, since emissions from the hospital are quite low expressed as percentage of the total emissions. Obviously, decentralised measures only make sense where one or more point sources (e.g. hospital, nursing home) represent a high proportion of the total pharmaceuticals load in a catchment. Decentralised measures are already implemented at many industrial plants which have their own wastewater (pre)treatment plants.

The second project investigated the impact of NoMix toilets on the input of pharmaceuticals into the aquatic environment. This system collects and disposes of the urine separately so that micropollutants (particularly pharmaceuticals) contained in it do not enter the wastewater. The project revealed that only 60–70 % of the pharmaceuticals ingested by humans are excreted through the urine, therefore the NoMix toilet cannot

totally prevent domestic input into wastewater. In addition, all the other problematic consumer products used in the home such as cleaning agents go directly into the wastewater and then into the public sewers.

The third project compared current municipal drainage by a sewer system and central wastewater treatment with a hypothetical decentralised system which operates without a sewer system and integrates wastewater treatment within each individual building. The micropollutants contained in domestic/household wastewater are suitably treated or collected and disposed of externally (urine, faeces). The results showed that a change from the current system is not worthwhile. Apart from the much higher costs and the long transition periods required for conversion, operational problems could also be expected. A decentralised system would however be suitable for small, remote communities with a lack of wastewater infrastructure.

### Conclusions

The input of micropollutants from urban drainage affects aquatic organisms and the quality of drinking water resources in lakes and in groundwater adjacent to rivers. There is evidence for harmful effects to aquatic organisms in Swiss surface waters caused by micropollutant exposure. Hormonally active substances cause feminization of male fish. The fact that little is known about hundreds or thousands of micropollutants emphasises the clear need for action. Currently, measured levels of micropollutants in Swiss drinking water do not indicate unacceptable risk to the population. However, because relatively little is known, measures have to be taken for reasons of precautionary consumer protection.

The occurrence of micropollutants in Swiss water bodies demonstrates that regulatory measures such as chemical legislation and the Water Protection Ordinance do not go far enough in their present form and are only suitable for controlling the use of individual substances and material groups. Educational measures such as deposit systems, consumer awareness programs and modification of disposal channels can help to reduce emissions. Initiatives should be taken to create widespread awareness of micropollutants in industry and among consumers and therefore to increase acceptance of more stringent measures. The number of substances used in products and their consumption is likely to rise in future due to increases in population and longer life expectancy (pharmaceuticals and body care products).

The research projects summarised in this report demonstrate that specific decentralised and organisational measures can contribute to solve the problem of micropollutants in the aquatic environment. However, measures should mainly focus on improving existing WWTPs. It is only possible to remove the majority of micropollutants through increased wastewater purification efficiency.

At the time, the initiation of more far-reaching measures in the urban wastewater sector is beneficial because infrastructure replacement is due. The planning for these projects should include measures necessary to reduce micropollutant loads. Consideration

Conclusions and  
Recommendations

should be given now to the technical measures capable of improving the current system. The methods applied should have the following characteristics:

- > Broad range effect against as many micropollutants as possible
- > Flexibility of implementation in the existing process engineering
- > Easily achievable upgrading of existing infrastructure
- > Acceptable cost/benefit ratio

It is known from public literature that measures at the WWTP (e.g. ozone or activated carbon treatment) can eliminate a broad range of micropollutants. In order to apply these techniques most efficiently as part of a Swiss waste water treatment strategy one should focus on load reduction and water quality improvement. The measures should apply to

- > Large WWTPs, to reduce high loads (upstream responsibility, reducing loads discharged into the sea),
- > WWTPs on stretches of water with inadequate dilution of the treated wastewater discharged, and
- > WWTPs on water bodies with significance for drinking water use (lakes used as important drinking water reservoirs, rivers with bank infiltration into groundwater around drinking water wells)

A preliminary cost/benefit analysis indicates that approximately 100 WWTPs larger than 10,000 population equivalents would have to be upgraded in order to achieve the objectives outlined above. These upgrades involve investment costs estimated at CHF 1.2 billion. The anticipated additional costs (operation and investment including filtration stage) for the existing wastewater treatment are 5–10 % for larger and 15–25 % for smaller WWTPs.

Within the project “Micropollutants in the aquatic environment”, the FOEN collaborates with cantonal water pollution control agencies, research institutions, professional associations and industry to define principles for the assessment of centralised technical measures. Further treatment steps (ozone and activated carbon treatment) are being evaluated in large-scale trials. The assessment includes determination of the elimination capacity for many micropollutants, monitoring of ecotoxicity in the treated wastewater and collecting key operational and economic parameters. Criteria for checking the efficiency of technical measures and an assessment of the effect of the above measures on water quality are also being prepared.

Technical measures in testing

Other main activities of the FOEN in the area of micropollutants are:

- > Reduction of micropollutant emissions from diffuse sources
- > Preparation of a systematic overview on micropollutants (including a large number of micropollutants in the water quality monitoring)
- > Preparation of methods for ecotoxicological evaluation of water pollution

# 1 > Introduction

Grâce au bon équipement des réseaux d'évacuation et de traitement des eaux urbaines (canalisations, bassins d'eaux pluviales et stations d'épuration), l'état des cours d'eau et des lacs suisses s'est sensiblement amélioré ces 50 dernières années. Les infrastructures possèdent aujourd'hui un niveau technique élevé. De plus, alors qu'en 1965 à peine 14 % des habitants de Suisse étaient raccordés à une station centrale d'épuration des eaux usées (STEP), leur proportion a atteint 97 % en 2005.

Bon équipement des systèmes d'assainissement

L'amélioration des réseaux d'évacuation des eaux (construction de bassins d'eaux pluviales, p. ex.) et des stations d'épuration a nettement réduit la charge polluante déversée par les systèmes d'assainissement, notamment celle due aux apports d'éléments fertilisants (azote, sous forme d'ammonium et de nitrates, et phosphates), de substances organiques dissoutes, tels les produits de lessive, et de métaux lourds, mais aussi de matières en suspension, comme notamment les boues<sup>[1]</sup>. Les ruisseaux couverts de mousse et dégageant une odeur nauséabonde, de même que les tapis d'algues dans les lacs, appartiennent désormais au passé. Pour en arriver là, il a fallu investir massivement dans les infrastructures (réseaux de canalisations, stations d'épuration, etc.).<sup>[2]</sup>

Le problème des apports d'éléments fertilisants a été résolu

Aujourd'hui, c'est l'apport de composés traces organiques dans les eaux qui représente un défi de taille. Il s'agit en premier lieu de substances organiques de synthèse d'usage courant, puisqu'on en utilise actuellement plus de 30 000 en Suisse. A l'instar des eaux usées, nombre d'entre elles passent par les canalisations, les déversoirs d'orage et les stations d'épuration, mais aussi d'autres voies d'apport, pour parvenir directement dans les eaux, où on les décèle en très faibles concentrations (de l'ordre du microgramme ou du nanogramme par litre, soit du millionième ou du milliardième de gramme par litre; un nanogramme par litre correspondant environ à la dilution d'un kilogramme dans le volume du lac de Biemme). Appelées micropolluants, ces substances comprennent par exemple des résidus de produits chimiques utilisés dans la protection de végétaux et de matériaux, de médicaments ou de produits de consommation courante (détergents, produits de soins corporels, etc.). Les métaux lourds sont certes également classés parmi les micropolluants, le présent rapport renonce toutefois à les traiter, car ils ne provoquent que des pollutions locales isolées dans les eaux suisses.

Les micropolluants sont aujourd'hui le principal défi pour protection des eaux

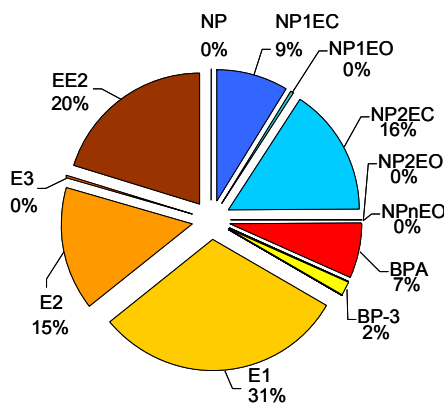
Des méthodes d'analyse récentes permettent d'identifier de plus en plus de ces substances présentes en traces dans les eaux<sup>[3]</sup>, la somme des divers composés détectés dans les eaux de surface pouvant atteindre plusieurs centaines de microgrammes par litre. Quant aux substances organiques synthétiques qui viennent d'arriver sur le marché ou que l'on décèle depuis peu dans les eaux, on les appelle «polluants émergents». Soulignons que les micropolluants peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes aquatiques, comme c'est le cas des perturbateurs endocriniens<sup>[4]</sup> (cf. encadré 1).

«Polluants émergents»

### Encadré 1: Perturbateurs endocriniens

Les perturbateurs endocriniens forment un groupe important parmi les composés traces organiques. Ils comprennent notamment les œstrogènes (tel l'éthinylestradiol, l'un des principes actifs de la pilule contraceptive), qui peuvent, même en concentration infime, exercer une influence néfaste (féminisation) sur les organismes aquatiques. Au cours d'une étude, l'adjonction d'une concentration de 5 à 6 ng/l d'éthinylestradiol dans un étang a ainsi fait chuter drastiquement sa population de têtes-de-boule (*Pimephales promelas*)<sup>[5]</sup>. Si la concentration de cette substance dans les eaux suisses reste normalement inférieure à 1 ng/l, on a déjà mesuré des concentrations atteignant jusqu'à 12 ng/l, de sorte que des effets locaux ne sont pas à exclure.

Les effets des divers perturbateurs endocriniens s'additionnant, une évaluation de l'état des eaux doit tenir compte de toutes les substances présentes. Le graphique ci-contre illustre la contribution, selon modélisation, de divers micropolluants à l'activité endocrinienne normalisée totale dans la Glatt en aval de Dübendorf en 2007 (0,1 ng/l; résultats obtenus par exposition de levures ou test YES [Yeast Estrogen Screening]).



NP: nonylphénol; NPnEO: nonylphénol éthoxylate; NP1EC, NP1EO, NP2EC, NP2EO: produits de la dégradation de nonylphénol éthoxylate; BPA: bisphénol A; BP-3: benzophénone-3 (filtre UV); E1, E2, E3: hormones humaines naturelles (œstrogènes); EE2: éthinylestradiol (principe actif des moyens contraceptifs hormonaux).

Alors que des micropolluants ont été décelés, les bases scientifiques font souvent défaut pour apprécier les risques sanitaires et écotoxicologiques. On connaît également mal le comportement de ces substances dans les systèmes d'évacuation des eaux urbaines et dans les eaux. D'où une difficulté accrue à évaluer les micropolluants et à désigner ceux qu'il importe de traiter en priorité.

Voici les actions ou les recherches qui s'imposent en Suisse dans le domaine des micropolluants:

- > élaborer un système d'évaluation des micropolluants dans le cadre de la législation sur la protection des eaux;
- > poursuivre le développement de diverses méthodes d'analyse des composés traces et de mesures biologiques à même de détecter la présence de micropolluants dans les eaux;

Méthodes de détection des micropolluants

Déterminer et évaluer l'état des eaux – des recherches s'imposent sur les micropolluants

- 
- > évaluer les moyens techniques permettant d'optimiser l'évacuation des eaux urbaines et l'épuration des eaux<sup>[6]</sup>; apprécier leur faisabilité temporelle, technique, financière et organisationnelle.

Pris dans son ensemble, le problème des micropolluants offre plusieurs angles d'attaque. Voici les mesures qui peuvent être prises en vue de réduire l'apport de ces substances dans les eaux:

Diverses possibilités d'agir

- > réduire la consommation de substances potentiellement dangereuses; à cette fin, interdire certaines substances, restreindre leur utilisation ou modifier le comportement des consommateurs;
- > éviter les déversements à la source, de sorte que les substances incriminées ne parviennent pas dans les eaux (prétraitement local au point d'émission, p. ex.);
- > empêcher les substances de parvenir dans les eaux avec les eaux traitées par les stations d'épuration.

Il importe de relever ici que les apports diffus engendrés par de nombreux processus techniques ne sont pas recensés. On qualifie de «diffus» les apports répartis sur un territoire relativement vaste et qu'il n'est dès lors pas possible de localiser avec précision, comme on peut le faire pour l'effluent d'une station d'épuration (exemples: lessivage de produits phytosanitaires présents dans le sol, précipitation de polluants en suspension dans l'atmosphère). Il reste par ailleurs à examiner les questions que ne manqueront pas de soulever le financement de mesures supplémentaires et leur acceptation par le grand public.

### **Objectifs**

Pour répondre au besoin identifié en matière de recherche, l'OFEV a lancé le projet Réduction de la pollution des eaux et préservation des ressources (MicroPoll 1). Divers travaux de recherche ainsi menés ont permis d'étudier le problème des micropolluants en Suisse. De plus, le projet Stratégie MicroPoll – Micropolluants dans les eaux, lancé en 2006, a consisté à analyser la situation des micropolluants dans les eaux. Le présent rapport résume les résultats de ces études et présente les différentes possibilités qui permettent de réduire la charge polluante dans les eaux. Ce faisant, il se concentre en particulier sur la présence de micropolluants organiques dans les eaux et sur les systèmes d'évacuation des eaux urbaines.

## 2 > Contexte initial et besoin d'intervention

### 2.1 Défis à relever pour protéger les eaux contre l'apport de substances

Les activités humaines mettent en circulation d'innombrables substances chimiques. L'Union européenne en a inscrit un peu plus de 100 000 dans l'inventaire EINECS des substances «anciennes» (Inventaire européen des substances chimiques commerciales existantes). Si on leur ajoute les nouvelles, le nombre des substances connues dépasse nettement les 100 000. Parmi elles, environ 30 000 revêtent de l'importance du fait des quantités utilisées: elles sont fabriquées ou importées dans l'UE en quantités qui dépassent une tonne par producteur et par an. Les substances commercialisées en Suisse atteignent un nombre équivalent. Au vu de ces chiffres, il n'est pas surprenant de constater que ni l'UE ni la Suisse ne connaissent les quantités, l'utilisation, les émissions, le comportement dans la nature et la toxicité de chacune de ces substances, ni leurs effets sur l'être humain et sur l'environnement. Il s'avère dès lors extrêmement difficile de dire combien de micropolluants parviennent dans l'environnement, en quelles concentrations ils peuvent être présents dans les eaux et quelle influence ils peuvent exercer sur l'homme et l'environnement.

Une multitude de substances

Diverses campagnes de mesure menées par les cantons, la Confédération, divers instituts de recherche, les universités et les commissions internationales pour la protection des eaux, comme la Commission internationale pour la protection des eaux du Rhin (CIPR) et la Commission internationale pour la protection des eaux du lac Léman (CIPEL) ont décelé une foule de substances dans les eaux de surface et même dans certains organismes, comme les poissons. Par ailleurs, l'Observation nationale des eaux souterraines (NAQUA) a notamment quantifié des produits phytosanitaires et des médicaments dans les eaux souterraines. La présence de ces substances dans les eaux prouve que le système actuel d'évacuation et de traitement des eaux urbaines atteint ses limites lorsqu'il s'agit d'éliminer les micropolluants<sup>[7]</sup>. Il importe dès lors de déterminer s'il est possible d'améliorer les installations existantes de sorte qu'elles soient en mesure de dégrader la plupart de ces substances ou s'il convient de restreindre encore l'utilisation des substances problématiques.

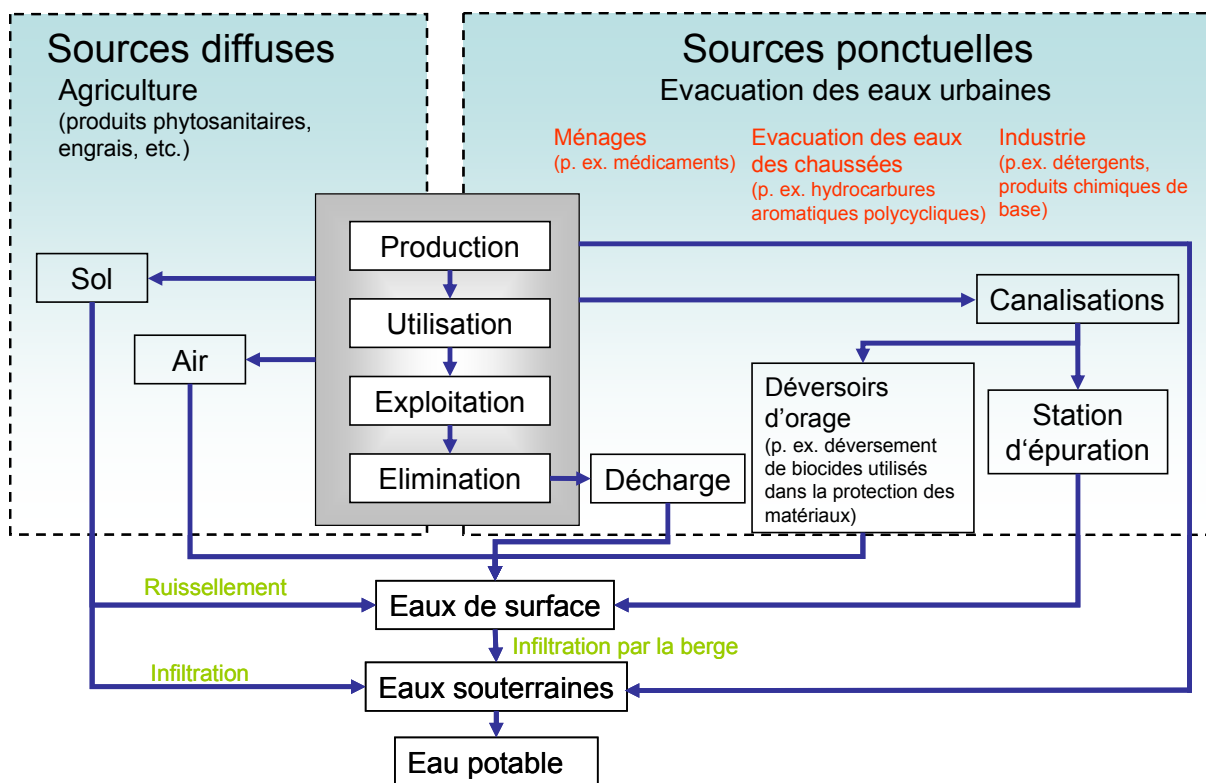
Les produits contenant des composés organiques de synthèse sont de plus en plus utilisés et leur complexité ne cesse de s'accroître. De plus, les ménages, l'industrie et l'agriculture recourent sans cesse à de nouveaux produits pour toutes sortes d'usages. Jusqu'à plusieurs milliers de ces substances parviennent ainsi dans les cours d'eau, les lacs et les eaux souterraines par le biais des réseaux d'assainissement et de sources diffuses<sup>[8]</sup> (fig. 1). Les apports qui transitent par les réseaux d'évacuation des eaux urbaines proviennent aussi bien des rejets des stations d'épuration des eaux que directement des canalisations (déversoirs d'orage et fuites). Avec leur équipement technique actuel, les STEP ne peuvent au mieux qu'éliminer une partie de toutes ces substances,

Une multitude de voies d'apport

qui parviennent ainsi dans les eaux. En cas de précipitations, seule une proportion minimale (que l'on estime à 2,5% dans le cas idéal) des eaux brutes sont évacuées directement dans les cours d'eau. Il arrive donc que des substances que les STEP parviennent normalement à dégrader soient déversées dans les eaux. Elles comprennent également des substances lessivées par la pluie, tels les biocides provenant des revêtements de façades ou d'autres secteurs de la protection de matériaux. Parmi les autres sources d'émissions, relevons les déversements directs et indirects d'installations industrielles (produits de nettoyage et produits chimiques de base, p. ex.), ainsi que les apports diffus provenant de l'agriculture (tels les produits phytosanitaires), des décharges, de l'air et de l'évacuation des eaux de ruissellement routiers (hydrocarbures aromatiques polycycliques, p. ex.). Les micropolluants ne parviennent en outre pas seulement dans les eaux de surface, mais aussi dans les eaux souterraines et, de là, dans l'eau potable. Dans ce dernier cas, les apports sont dus à des infiltrations d'eau dans le sol, à l'infiltration d'eaux de surface vers la nappe phréatique (à travers les berges d'une rivière) et au manque d'étanchéité des conduites d'eaux usées.

**Fig. 1** > Voies d'apport de micropolluants dans les eaux

*Au cours des diverses phases du cycle de vie d'un produit, ses composants sont relâchés, par le biais de sources diffuses ou ponctuelles, dans les divers compartiments de l'environnement. De là, ils parviennent ensuite dans les eaux. Dans les eaux de surface, il convient de distinguer les cours d'eau et les plans d'eau (lacs). Dans ces derniers, la dégradation des composés traces organiques se déroule différemment en raison d'un temps de séjour sensiblement plus long et du fréquent manque d'oxygène dans le milieu ambiant.*



La plupart des pays ont déjà restreint, voire interdit, l'emploi de quelques catégories de substances connues et particulièrement problématiques, tels les polluants organiques persistants (POP), qui sont inscrits dans la Convention de Stockholm<sup>[9]</sup>, ou les substances énumérées dans les textes légaux idoines (directive 76/69/CEE<sup>[10]</sup> pour l'UE; ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques<sup>[11]</sup> pour la Suisse). Vu la multitude de ces substances, il est toutefois impossible de les réglementer une à une. Même le nouveau règlement adopté par l'UE (Enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques [REACH]<sup>[12]</sup>) n'améliorera sans doute pas sensiblement la situation sur le front des émissions de composés traces.

Réglementation des substances

La loi suisse sur la protection des eaux (LEaux) a pour but de protéger les eaux souterraines et superficielles contre toute atteinte nuisible<sup>[13]</sup>. L'annexe 1 de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) prescrit ainsi que la qualité de l'eau «doit être telle que l'eau, les matières en suspension et les sédiments ne contiennent pas de substances de synthèse persistantes»<sup>[14]</sup>. Par ailleurs, la qualité de l'eau doit être telle que «d'autres substances pouvant polluer les eaux et y aboutir par suite de l'activité humaine,

Les micropolluants dans la législation suisse sur la protection des eaux

- > ne s'accumulent pas dans les végétaux, les animaux, les micro-organismes, les matières en suspension ou les sédiments;
- > n'aient pas d'effet néfaste sur les biocénoses ni sur l'utilisation des eaux;
- > n'entravent pas les processus biologiques qui permettent aux végétaux et aux animaux de couvrir leurs besoins physiologiques fondamentaux, tels que les processus du métabolisme, la reproduction et le sens olfactif de l'orientation;
- > n'aient que des concentrations pratiquement nulles lorsqu'elles ne sont pas présentes dans les eaux à l'état naturel.»

Pour y parvenir, les eaux doivent respecter les exigences relatives à la qualité des eaux définies dans l'annexe 2 OEaux. A l'exception des pesticides organiques, cette ordonnance ne spécifie toutefois pas d'exigence chiffrée pour évaluer une pollution des eaux par des micropolluants. Selon la LEaux, il incombe cependant au Conseil fédéral de définir les exigences relatives à la qualité de l'eau. A ce sujet, le principe qui sous-tend l'OEaux consiste à fixer des exigences sur la base de données écotoxicologiques. L'ordonnance détaille la marche à suivre lorsque des eaux ne satisfont pas aux exigences relatives à la qualité de l'eau (art. 47) et exige que les méthodes d'analyses correspondent aux règles établies, telles les normes du CEN (Comité européen de normalisation).

Contrairement à la législation suisse, la directive-cadre européenne dans le domaine de l'eau prévoit explicitement une évaluation de la qualité chimique de l'eau sur la base de normes de qualité environnementale définies pour des substances prioritaires et s'appliquant dans toute l'UE<sup>[15]</sup>. Lors de l'évaluation de l'état écologique des eaux, les Etats membres sont par ailleurs tenus de définir des valeurs limites *spécifiques à un bassin versant donné*, aussi bien pour les substances de synthèse que pour les polluants naturels. Ils doivent en outre mettre en place des programmes d'observation des eaux superficielles et prouver que les valeurs-limites sont respectées ou que des mesures ont été prises dans ce sens. En Allemagne, c'est le groupe de travail de l'Etat fédéral et des Länder pour la protection des eaux (LAWA) qui se charge de dresser une liste des

substances dangereuses pour les eaux et, à partir de là, de définir des critères de qualité selon la procédure de la directive-cadre dans le domaine de l'eau (<sup>[16]</sup> p. ex.).

Si l'on veut définir des mesures efficaces, il faut commencer par évaluer la charge de micropolluants dans les eaux et les risques qu'elle représente pour l'homme et l'environnement. Ce faisant, il importe toutefois de garder à l'esprit que diverses évolutions, telle la consommation croissante de médicaments due au vieillissement de la population européenne, ne feront qu'aggraver le problème<sup>[17]</sup>. Enfin, en matière de protection des eaux contre l'apport de substances, la Suisse doit relever les mêmes défis que les membres de l'UE, tenus d'appliquer la directive-cadre dans le domaine de l'eau.

Pour assurer une protection intégrale des eaux, il importe de bien connaître leur état. Il est possible de l'évaluer dans sa globalité en considérant l'hydrologie, l'écomorphologie, la biodiversité et la qualité chimique de l'eau. Les agglomérations, les routes à l'extérieur des agglomérations et les apports diffus provenant de l'agriculture (substances emportées par le vent, érosion, infiltration, etc.) influent sur la qualité de l'eau. L'évacuation des eaux urbaines, sur laquelle se concentre le présent rapport, ne constitue donc qu'un seul parmi de multiples aspects. Il ne faut pas non plus oublier les produits phytosanitaires, que nous n'évoquons ici qu'à titre accessoire, mais qui parviennent en quantités considérables dans les eaux et dont les quantités utilisées et l'écotoxicité sont relativement bien connues. Un ensemble complet d'instruments permettant d'évaluer la qualité des eaux en Suisse est actuellement en préparation: en collaboration avec les services cantonaux spécialisés, l'OFEV et l'Eawag (Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF) élaborent des méthodes pour analyser et apprécier les cours d'eau (système modulaire gradué<sup>[18]</sup>). Devant fournir une appréciation globale de l'état d'un cours d'eau, ce système comprend plusieurs méthodes partielles et englobe des analyses portant sur nombre de domaines: hydrologie, structure des cours d'eau (écomorphologie), chimie de l'eau et écotoxicologie, biodiversité et biocénoses (communautés animales, végétales et de micro-organismes). Il reste cependant à affiner les diverses méthodes et à les tester dans la pratique. On n'a ainsi pas encore défini comment représenter et interpréter les résultats des différentes analyses.

Voici les méthodes qui permettent en principe d'apprécier la qualité de l'eau pour ce qui est de la charge en micropolluants:

- > Evaluation de composés isolés: il s'agit de la méthode classique qui permet d'apprécier la qualité de l'eau selon la présence d'une substance reconnue dangereuse. Elle atteint ses limites dans le cas des micropolluants, car il n'est possible d'identifier qu'une fraction des composés présents dans les eaux. A l'exception des produits phytosanitaires, la Suisse ne possède pas encore de système fondé en droit et valable à l'échelle nationale pour évaluer les composés traces organiques.
- > Evaluation de mélanges: dans le cas des perturbateurs endocriniens, on peut déclarer que l'effet spécifique (telle l'activité œstrogénique, cf. encadré 1) d'un mélange de composés équivaut à la somme des effets des substances qui le composent. L'effet spécifique de la plupart des micropolluants n'étant pas connu, on ne peut que rarement attribuer un effet observé à la substance mesurée. On peut donc prévoir les

Défis de la protection des eaux contre les substances

L'état de l'eau ne se limite pas à sa qualité (chimique)

conséquences qu'entraînera la présence de mélanges complexes uniquement dans quelques cas précis.

- > Recours à des tests biologiques: cette méthode consiste à évaluer la qualité de l'eau en procédant à des tests biologiques sur des échantillons d'eau. Les résultats sont toutefois difficiles à interpréter et les procédés sont rarement assez sensibles.
- > Appréciation de l'écologie des eaux: il est possible de décrire l'écologie d'un cours d'eau (peuplement d'algues, composition des biocénoses, peuplement piscicole, etc.). En général, de nombreux facteurs influent sur l'écologie des eaux. Seules des méthodes spéciales d'analyse écologique permettent donc, mais dans certains cas uniquement, d'apprécier l'effet éventuel engendré par des micropolluants<sup>[18]</sup>.
- > Modélisation de la pollution existante: pour obtenir un aperçu de la charge de tous les cours d'eau en polluants, il convient de compléter les données issues de l'observation de l'environnement en recourant à des modèles.

La Suisse est membre de diverses commissions internationales pour la protection des eaux: Commission internationale pour la protection du Rhin (CIPR), Commission internationale pour la protection du lac de Constance (IGKB), Commission internationale pour protection des eaux du lac Léman contre la pollution (CIPEL), Commission internationale pour la protection des eaux italo-suissees contre la pollution (CIPAIS), Commission pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR). Les accords internationaux conclus avec les Etats voisins ont pour objectif d'améliorer la qualité de ces eaux transfrontalières. La CIPR a ainsi désigné toute une série de composés dangereux pour l'environnement dont les concentrations dans le Rhin doivent être ramenées en deçà d'une certaine limite<sup>[19]</sup>.

Commissions internationales  
pour la protection des eaux

## 2.2 Les micropolluants potentiels et leur impact sur l'environnement

Les spécialistes de différents pays pensent tous que les micropolluants engendrent des problèmes dans les eaux<sup>[17]</sup>. Une foule d'exemples le prouvent d'ailleurs amplement. Les substances en cause étant fort nombreuses et leur toxicité le plus souvent inconnue, il est cependant impossible d'apprécier le problème dans toute son ampleur. Dans certaines régions, on a ainsi mesuré des concentrations accrues de micropolluants lorsque l'effluent d'une STEP est insuffisamment dilué dans le cours d'eau récepteur (effluent d'une grande STEP déversé dans un petit ruisseau, p. ex.)<sup>[17]</sup>.

Absence d'une vue d'ensemble  
du problème

La présence d'une substance en concentrations mesurables dans des eaux superficielles dépend avant tout de ses propriétés physico-chimiques<sup>[8]</sup>. Les composés adsorbables, c'est-à-dire ceux qui se fixent à la surface de particules solides, comme celles des sédiments ou des boues, n'engendrent en général sous forme diluée que des pollutions locales (substances odorantes musquées, polychlorobiphényles [PCB] et métaux lourds, p. ex.). Ils sont en partie déjà éliminés au niveau de la STEP, par adsorption sur les boues d'épuration. Dans les eaux, ils tendent à se fixer aux particules en suspension et à se sédimer avec elles. Les substances qui se dégradent rapidement ne représentent pas non plus un grand danger, puisqu'elles sont largement éliminées à la STEP (c'est le cas des œstrogènes naturels et de synthèse). Elles ne seront toutefois pas

Propriétés physico-chimiques des  
substances

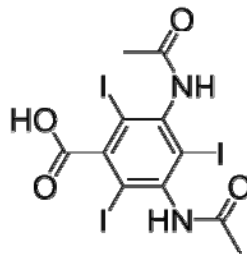
retenues par les STEP qui ne possèdent pas un équipement technique suffisamment récent, et pourront alors parvenir en quantités considérables dans les eaux. Lorsque de telles substances sont rejetées régulièrement et à différents endroits dans un cours d'eau, on risque d'en rencontrer des concentrations accrues sur des tronçons assez longs. Ce phénomène s'appelle «pseudopersistance». Enfin, il arrive que même des substances aisément biodégradables ne puissent, en l'absence d'une quantité ou d'une efficacité suffisantes des enzymes concernées, être dégradées au-delà d'un certain stade et demeurer présentes en concentrations infimes.

C'est toutefois parmi les substances aisément solubles dans l'eau, peu ou pas biodégradables (persistantes) et ne se fixant guère sur les matières en suspension ou les sédiments, que l'on recense les principaux micropolluants (l'encadré 2 en donne des exemples). Lorsque ces substances parviennent dans les eaux usées par suite des grandes quantités utilisées (médicaments, biocides, composants de poudres à lessive, etc.), on peut en rencontrer des concentrations élevées dans les eaux. Nombre de ces substances sont en effet rejetées en permanence dans les eaux par le biais des STEP.

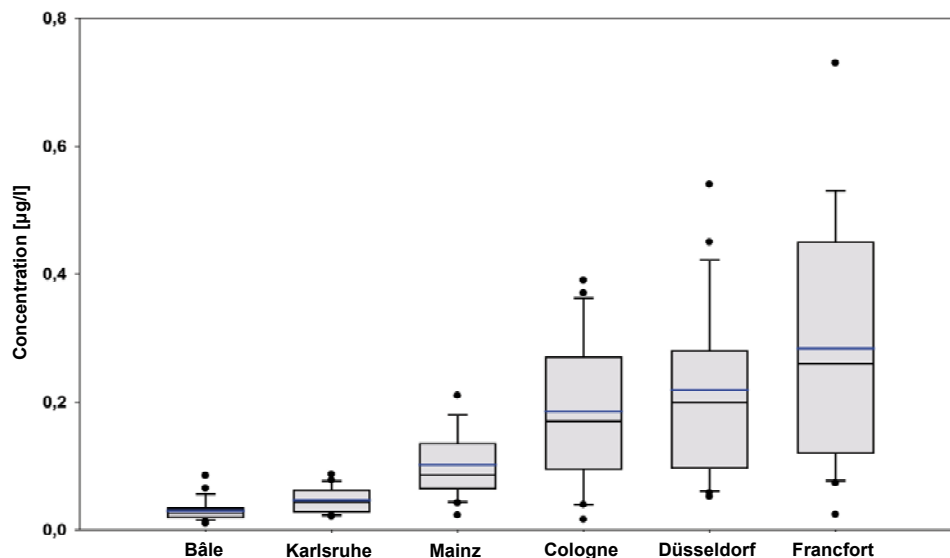
Principaux micropolluants:  
solubles dans l'eau et persistants

### Encadré 2: Micropolluants persistants connus

*Produits de contraste radiologique  
(Molécule type: acide amidotrizoïque)*

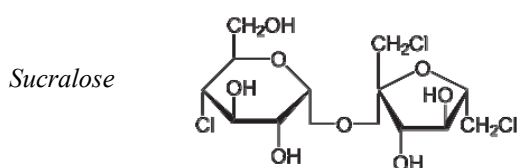


Concentrations d'acide aminotrizoïque dans le Rhin et le Main (2002-2003)



Source: TZW-Schriftenreihe – Band 29, „Vorkommen und Bewertung von Arzneimittelrückständen in Rhein und Main“.

Les produits de contraste radiologique (PCR) servent à améliorer la représentation des structures et des fonctions du corps sur un cliché (diagnostic radiologique). En Allemagne, les PCR organo-iodés (acide amidotrizoïque, iopamidol, iopromide et ioméprol, p. ex.) sont les substances actives médicamenteuses qui présentent les concentrations les plus élevées dans les eaux: la valeur maximale mesurée pour l'acide amidotrizoïque dépasse par exemple  $1 \mu\text{g/l}$ <sup>[20]</sup>. Les contrastants organo-iodés n'étant pas biodégradables, ils sont qualifiés de persistants. De plus, on a même décelé de faibles concentrations (de l'ordre du nanogramme par litre) d'iopamidol et d'iopromide dans de l'eau potable<sup>[20]</sup>. Basé sur de multiples mesures, le graphique ci-dessus illustre l'augmentation constante de la concentration d'acide amidotrizoïque au fil du Rhin, de Bâle jusqu'à Francfort. [Voici comment lire un diagramme à moustaches ou boxplot: le rectangle regroupe 50% des valeurs mesurées et est partagé par la médiane (ligne horizontale noire), de telle sorte qu'une moitié des valeurs se situe au-dessus et l'autre moitié au-dessous. La ligne épaisse bleue, supérieure à la médiane, représente la moyenne. Les points isolés sont considérés comme des valeurs extrêmes.]



Le sucralose, également connu sous le nom de Splenda, est un composé organo-chloré utilisé comme édulcorant dans les aliments. S'appuyant sur l'analyse d'échantillons d'eau, une étude suédoise a montré que cet édulcorant est présent presque partout et qu'il ne se dégrade guère ni dans les STEP ni dans les cours d'eau superficiels (taux de biodégradation  $< 10\%$ )<sup>[21]</sup>. Il s'agit donc d'une substance persistante. Si l'on sait que ses concentrations dans les cours d'eau superficiels atteignent l'ordre du nanogramme ou du microgramme par litre<sup>[21]</sup>, on connaît encore mal son effet sur les organismes aquatiques.

Les études menées jusqu'ici ont principalement porté sur le rôle micropolluant de substances utilisées intentionnellement pour leur effet sur des organismes vivants (biocides, produits phytosanitaires, médicaments, p. ex.), de même que sur les perturbateurs endocriniens, telles les hormones stéroïdiennes (principes actifs des contraceptifs hormonaux), l'atrazine, le bisphénol A, les agents ignifuges bromés, les filtres UV et les éthoxylates de nonylphénol<sup>[23]</sup>. Les perturbateurs endocriniens ont fait l'objet du Programme national de recherche PNR 50<sup>[24, 25]</sup>.

Une appréciation grossière de l'impact écologique d'une substance permet de procéder à ce que l'on appelle une évaluation du risque environnemental<sup>[8]</sup>. Celle-ci se fonde sur des données écotoxicologiques, qui fournissent une idée de l'impact de substances chimiques sur des organismes aquatiques (les poissons, p. ex.). A partir de ces données et compte tenu de facteurs de sécurité, on estime la concentration maximale tolérable dans l'environnement (concentration prévisible sans effet ou PNEC). Les informations

Micropolluants étudiés

Evaluation du risque  
environnemental,  
préservation des ressources en  
eau potable et  
responsabilité du riverain amont

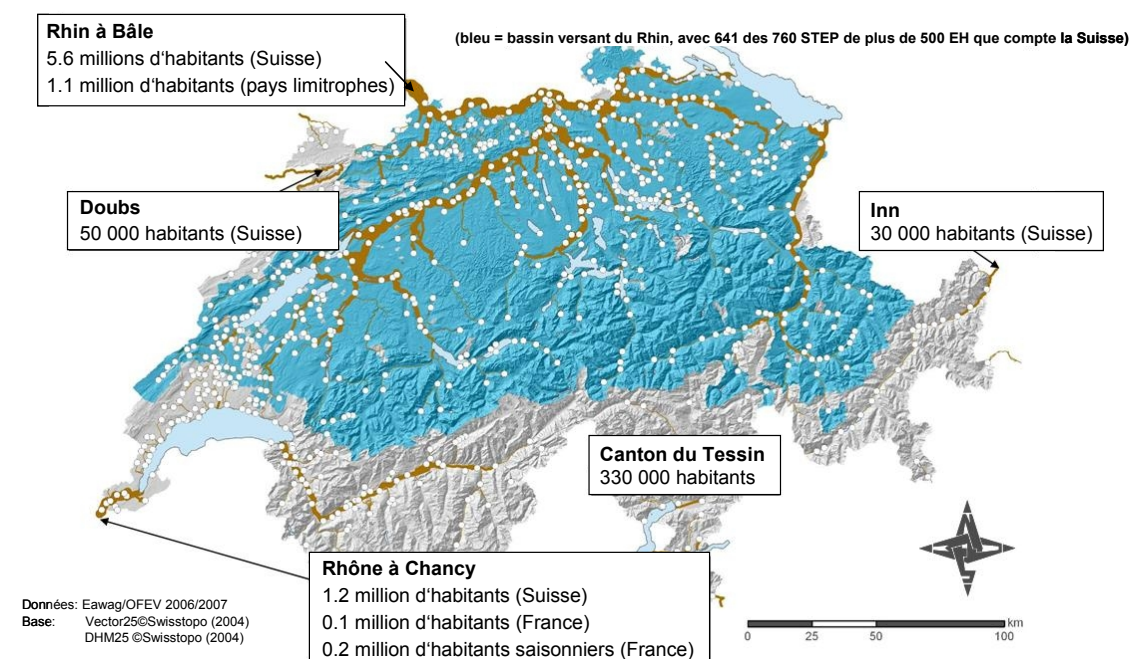
sur les quantités utilisées et la biodégradabilité, permettent en outre de prévoir la concentration que la substance concernée présentera dans l'environnement (concentration prévisible dans l'environnement ou CPE). Le cas échéant, on peut remplacer cette estimation par une mesure de la concentration (concentration mesurée dans l'environnement ou MEC). On calcule ensuite le rapport entre les valeurs CPE ou MEC et la valeur PNEC (CPE/PNEC ou MEC/PNEC). Si la concentration prévisible ou mesurée dépasse la concentration tolérable, il est impossible d'exclure des effets néfastes pour les organismes aquatiques.

L'accumulation de composés difficilement dégradables dans les eaux pose problème. Par infiltration à travers la berge, de telles substances peuvent atteindre les eaux souterraines et risquent dès lors de donner également beaucoup de fil à retordre à l'approvisionnement en eau potable. En lançant son programme 2020, la CIPR s'est ainsi donné pour objectif d'assurer l'exploitation d'eau potable par des moyens simples. La liste des substances Rhin contribue d'ailleurs à la réalisation de cet objectif.

Le rôle de «château d'eau» de l'Europe confère à la Suisse une responsabilité particulière vis-à-vis des Etats situés en aval. Or, chaque jour, des micropolluants sont exportés avec les effluents de stations d'épuration vers les régions voisines (fig. 2).

**Fig. 2 > Exportations suisses d'eaux usées**

*Nombre d'habitants par bassin versant jusqu'à la frontière, quantités d'eaux déversées (lignes marron) et stations d'épuration des eaux (points blancs).*



Les cartes sont reproduites avec l'autorisation de swisstopo (BA081360)

### 2.3 Interventions requises

Voici les principales actions que la Suisse se doit d'entreprendre pour réduire la charge de micropolluants provenant des réseaux d'évacuation des eaux urbaines:

1. mettre au point des modèles et des systèmes d'observation, afin d'avoir une vue d'ensemble de la charge de micropolluants en Suisse (en plus des résultats fournis par les autres réseaux d'observation de l'environnement);
2. adopter une stratégie pour recenser et évaluer les micropolluants présents dans les eaux;
3. mettre à disposition des données de base supplémentaires afin d'apprécier les risques toxicologiques et écotoxicologiques des micropolluants, des produits de leur dégradation et de leurs mélanges; élaborer des méthodes pour les prioriser;
4. poursuivre la mise au point d'analyses de composés traces et de tests biologiques pour déterminer la charge de micropolluants dans les eaux;
5. évaluer des mesures techniques et organisationnelles destinées à optimiser les systèmes d'évacuation des eaux urbaines et vérifier leur faisabilité temporelle, technique, organisationnelle et financière;
6. intensifier le travail d'information auprès du grand public, afin d'expliquer le problème aux usagers et de les inciter ainsi à agir de façon responsable (modification des habitudes de consommation et respect des voies d'élimination prescrites)<sup>[17]</sup>.

# 3 > Charge de micropolluants en Suisse

Auteurs: C. Ort, M. Schärer, H. Siegrist, J. Hollender

## 3.1 Observations de l'environnement

Pour évaluer leurs risques potentiels et définir les actions à entreprendre, il faut disposer d'une vue d'ensemble de la présence de micropolluants dans les eaux. L'OFEV a dès lors lancé une étude, afin d'en connaître la charge dans les eaux suisses. Cette étude devrait également englober une partie des actions à entreprendre présentées au chiffre 2.3.

Etat des eaux

Qu'ils soient fédéraux ou cantonaux, les services spécialisés s'intéressent à l'état des eaux dont ils ont la charge et souhaitent connaître les diverses voies d'apport des polluants (entreprises industrielles, agriculture ou STEP, p. ex.). Dans le cadre de divers projets (poursuivant des objectifs très variés), on s'est jusqu'ici attaché à analyser des micropolluants à l'aide d'échantillons d'eau prélevés dans des rivières, des lacs, des nappes souterraines et même dans l'eau potable.

Ces études consistent le plus souvent à détecter des polluants et, s'ils sont présents, à déterminer leur concentration et à la comparer avec des critères de qualité (PNEC). Les valeurs mesurées ont l'avantage d'indiquer la charge polluante effective des eaux à un moment précis et permettent ainsi d'apprécier le rendement d'épuration des STEP. Pour prélever des échantillons représentatifs sur une période suffisamment longue, il faut cependant mobiliser des moyens logistiques et matériels considérables. Quant aux analyses, elles commencent par des opérations complexes servant à préparer les échantillons et recourent à de coûteux instruments techniques (LC-MS/MS, p. ex.). Vu les ressources humaines et financières à disposition, les travaux d'observation de l'environnement restent limités dans l'espace et le temps. Il n'en reste pas moins que des mesures effectuées avec soin et systématiquement consignées constituent des archives précieuses et une base de travail appréciable. Même à l'avenir, nous ne pourrions nous passer de l'analyse de composés traces. C'est en effet le seul moyen de veiller à la bonne application de futures directives, ordonnances ou lois. De plus, les techniques d'analyse évoluent, de sorte que quelques méthodes simples permettent de détecter un nombre croissant de substances et de les quantifier de manière rationnelle.

Limites des campagnes de mesure destinées à documenter la charge polluante effective

## 3.2 Données disponibles

Entre 1974 et 2001, environ 1,2 million de valeurs mesurées ont été enregistrées dans une banque de données, créée lors du projet Réseau suisse poissons en diminution, pour servir à l'étude de problèmes spécifiques<sup>[26]</sup>. Il s'agit essentiellement de données

Banque de données

hydrologiques (environ 400 000) et de paramètres du réseau de mesure NADUF (surveillance nationale continue des cours d'eau suisses<sup>[27]</sup>), avec plus de 850 000 entrées. Nombre de ces valeurs correspondent à des paramètres classiques tels que nutriments, température, conductibilité et valeur pH, notamment. Jusqu'en 2001, les projets de recherche et les études cantonales n'ont permis de collecter systématiquement que quelque 750 et, respectivement, environ 1000 valeurs concernant les micropolluants (pesticides, perturbateurs endocriniens et quelques principes actifs de médicaments).

Actualisée à grands frais, cette banque de données contient actuellement plus de 13 000 valeurs mesurées pour les micropolluants, que l'on peut classer dans les catégories de substances suivantes: inhibiteurs de corrosion (> 700 valeurs), perturbateurs endocriniens (> 1300 valeurs), produits phytosanitaires (> 6500 valeurs), substances actives pharmaceutiques (> 4000 valeurs) et divers (EDTA et NTA, p. ex., > 500 valeurs). Le tableau 1 ci-après en donne un aperçu pour certaines substances. Outre les quantités vendues en Suisse, il indique les valeurs maximales mesurées dans les effluents de stations d'épuration et dans des cours d'eau superficiels. Certaines substances se distinguent par une dynamique d'utilisation et d'apport dans l'environnement fort complexe. Les concentrations de pesticides peuvent ainsi atteindre des valeurs très élevées à des moments précis, lors de précipitations par exemple. Comme l'agriculture applique des pesticides surtout pendant certaines périodes de l'année, c'est à ces périodes-là qu'ils sont lessivés sur les terrains. En général, on enregistre donc des concentrations accrues de pesticides agricoles seulement pendant les pluies. D'autres substances sont au contraire déversées en permanence dans les eaux. Il s'agit par exemple de résidus de médicaments, souvent utilisés en grandes quantités et qui parviennent dans les eaux après avoir transité par une STEP. Dans leurs cas, la charge polluante et les concentrations ne présentent pas de fortes variations dans le temps.

Plus de 13 000 valeurs mesurées pour les micropolluants

**Tab. 1 > Quelques valeurs tirées de la banque de données consacrée aux micropolluants organiques**

Toutes les valeurs sont indiquées en µg/l. Limite de détection: minimums et maximums sont calculés sur la base de matrices (à l'arrivée et à la sortie d'une STEP ou cours d'eau superficiel) et d'analyses.

Groupe	Nom de la substance	Quantités vendues en Suisse [kg/a]	Limite de détection (min-max) [µg/l]	Nombre de mesures dans des eaux superficielles (dont % supérieures à la limite de détection)	Nombre de mesures dans l'effluent d'une STEP (dont % supérieures à la limite de détection)	Concentration maximale [µg/l] Cours d'eau Lieu et date	Concentration maximale dans l'effluent d'une STEP [µg/l]
Inhibiteurs de corrosion	Benzotriazole	16 000	0,003–2	350 (99 %)	35 (100 %)	5,44 Glatt près d'Oberglatt (ZH), 2.2.2003	91,000
	Méthylbenzotriazole		0,041–0,2	321 (97 %)	24 (100 %)	1,2 Steinach (SG/TG), 21.9.2007	2,770
Perturbateurs endocriniens	Ethinylestradiol	158	0,0003–0,05	92 (4 %)	53 (11,3 %)	0,12 Glatt près de Zellersmühle (AR), 1.1.2005	2,800
	Estradiol		0,0002–0,05	85 (12 %)	53 (47 %)	0,01 Thur près d'Oberbüren (TG), 1.1.2005	0,017
	Estrone		0,0008–0,05	109 (28 %)	56 (84 %)	0,027 Glatt près de Zellersmühle (AR), 1.1.2005	0,051
	Bisphénol A		0,005–0,73	70 (63 %)	52 (90 %)	4,8 Furtbach (ZH), 23.6.2007	4,890
	Nonylphénol		0,001–0,5	510 (89 %)	244 (99 %)	38,063 Rhin près de Laufenburg (AG), 30.5.1983 (après 1986: 1,296, Furtbach, 8.1.2008)	2,200

Groupe	Nom de la substance	Quantités vendues en Suisse [kg/a]	Limite de détection (min-max) [µg/l]	Nombre de mesures dans des eaux superficielles (dont % supérieures à la limite de détection)	Nombre de mesures dans l'effluent d'une STEP (dont % supérieures à la limite de détection)	Concentration maximale [µg/l] Cours d'eau Lieu et date	Concentration maximale dans l'effluent d'une STEP [µg/l]
Produits phytosanitaires	Atrazine		0,003–0,03	1411 (92 %)	81 (49 %)	1,34 Flaacher Bach (ZH), 5.4.2000	20,660
	Carbendazime	26 000 <sup>a</sup>	0,005–0,05	64 (55 %)	25 (60 %)	0,281 Glatt près de Flawil (SG), 16.8.2007	5,929
	Diazinone		0,005–0,03	1192 (30 %)	78 (44 %)	0,3 Ellikerbach (ZH), 25.9.2000	1,180
	Diuron	20 000 <sub>1</sub>	0,005–0,03	678 (13 %)	28 (39 %)	1,402 Glatt près de Flawil (SG), 16.8.2007	0,210
	Irgarol	24 000 <sup>a</sup>	0,005–0,03	859 (1 %)	23 (30 %)	0,011 Glatt près de Flawil (SG), 16.8.2007	0,166
	Isoproturon		0,006–0,06	708 (18 %)	31 (26 %)	8,44 Ellikerbach (ZH), 5.4.2000	37,402
	MCPP (mécoprop)		0,01–0,3	170 (48 %)	24 (88 %)	0,778 Furtbach (ZH), 18.6.2007	2,030
	Terbutryne	27 000 <sup>a</sup>	0,005–0,03	1218 (10 %)	28 (71 %)	0,130 Furtbach (ZH), 17.7.2000	0,120
Principes actifs pharmaceutiques	Acide amidotrizoïque	487	0,05–0,1	47 (26 %)	43 (26 %)	1,5 Glatt près de Zellersmühle AR, 1.1.2005	3,500
	Aténolol	3165	0,01–0,1	56 (70 %)	39 (100 %)	2,565 Furtbach (ZH), 18.6.2007	1,700
	Azithromycine		0,005–1,4	48 (2 %)	44 (50 %)	0,012 Furtbach (ZH), 1.11.2004	0,700
	Bézafibrate	693	0,002–0,1	61 (18 %)	36 (64 %)	0,042 Furtbach (ZH), 20.6.2007	1,500
	Carbamazépine	4 373	0,002–0,1	489 (21 %)	69 (100 %)	0,84 Steinach (SG/TG), 21.9.2007	0,748
	Clarithromycine	1400	0,002–0,05	69 (52 %)	53 (100 %)	0,123 Furtbach (ZH), 23.6.2007	14,600
	Clindamycine		0,002–0,05	52 (21 %)	17 (100 %)	0,036 Steinach SG/TG, 1.1.2005	0,180
	Acide clofibrique	21	0,005–0,1	85 (0 %)	56 (95 %)	-	0,400
	Erythromycine dihydrate		0,005–0,1	33 (18 %)	9 (66 %)	0,052 Jonen (ZH), 1.11.2004	0,120
	Diclofénac	4573	0,05–0,1	140 (61 %)	76 (100 %)	0,641 Vedeggio (TI), 4.9.2007	2,399
	Ibuprofène	24 047	0,005–2	140 (14 %)	72 (75 %)	0,13 Vedeggio TI, 4.9.2007	7,000
	Acide méfénamique	19287	0,01–0,05	2 (0 %)	4 (100 %)	-	2,352
	Métoprolol	3172	0,01–0,2	38 (37 %)	17 (100 %)	0,066 Furtbach (ZH), 1.11.2004	0,750
	Naproxène		0,005–0,15	140 (21 %)	60 (98 %)	0,142 Furtbach (ZH), 18.6.2007	3,278
	Propranolol	732	0,005–0,06	38 (13 %)	10 (90 %)	0,022 Furtbach (ZH), 1.11.2004	0,120
	Roxithromycine		0,002–0,11	33 (9 %)	25 (24 %)	4,859 Vedeggio (TI), 4.9.2007	9,913
	Sotalol	760	0,005–0,2	55 (60 %)	42 (100 %)	0,249 Furtbach (ZH), 18.6.2007	1,300
	Sulfadiazine		0,005–0,15	33 (6 %)	24 (21 %)	0,004 Vedeggio (TI), 4.9.2007	0,025
	Sulfaméthazine		0,004–0,11	19 (5 %)	33 (15 %)	0,029 Glatt près de Flawil (SG), 16.8.2007	0,040
	Sulfapyridine		0,005–0,026	19 (74 %)	33 (100 %)	0,109 Furtbach (ZH), 23.6.2007	0,328
Sulfaméthoxazole	2079	0,005–0,05	69 (60 %)	24 (100 %)	0,11 Steinach (SG/TG), 21.9.2007	0,530	
Triméthoprime	700 <sup>2</sup>	0,005–0,67	69 (34 %)	36 (92 %)	0,076 Furtbach (ZH), 23.6.2007	0,180	
Agents complexants	EDTA		< 0,2	248 (81 %)	10 (100 %)	46,0 Aubonne près d'Allaman (VD), 29.6.1989 34,0 Witibach près de Granges (SO), 3.10.2007	29,100
	NTA		< 0,2	253 (72 %)	10 (100 %)	80,0 Aubonne près d'Allaman (VD), 3.1.1990 22,0 Witibach près de Granges (SO), 22.6.2007	9,100

<sup>1</sup> Quantités utilisées en tant que biocides: estimation selon BIOMIK Teil 1 [28] Bürgi D., Giger W., Knechtenhofer L., Meier I. 2007: Biozide als Mikroverunreinigungen in Abwasser und Gewässern – Teilprojekt 1: Priorisierung von bioziden Wirkstoffen. FRIEDLIPARTNER AG. Zurich. 189 p.

<sup>2</sup> Blüm et al.

Les valeurs mesurées disponibles ne permettent pas de répondre à notre question générale: «Quelle est la charge de micropolluants provenant des réseaux d'évacuation des eaux urbaines dans les eaux superficielles suisses?». Pour y répondre, il faudrait disposer des résultats d'observations systématiques menées sur le long terme et sur de nombreux cours d'eau. Même en effectuant une multitude de relevés chiffrés complémentaires, il resterait impossible de donner un aperçu global de la situation en Suisse: outre les moyens considérables qu'il faudrait mettre en œuvre, la variabilité temporelle des rejets déversés dans les cours d'eau rend l'entreprise des plus difficiles. Pour obtenir rapidement une évaluation fiable à l'échelle nationale, des spécialistes ont proposé de recourir à un modèle couvrant non seulement les quelques milliers de kilomètres de cours d'eau de notre pays, mais aussi ses centaines de STEP, et dont les résultats pourraient être vérifiés à l'aide des valeurs mesurées disponibles. On a ainsi mis au point un modèle informatique des flux de substances, tel qu'il est décrit ci-après<sup>[29]</sup>. Outre une appréciation de la situation actuelle, ce modèle permet de préparer des scénarios pour l'avenir, d'analyser le rapport coût/utilité et de procéder à une sélection optimale et ciblée des futurs sites destinés à une observation efficace et représentative.

Evaluation rapide à l'échelle nationale

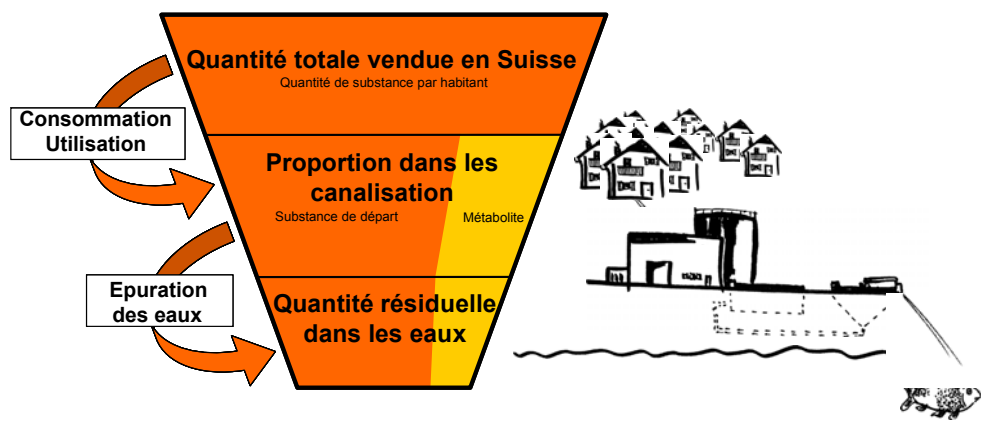
### 3.3 Brève description du modèle des flux de substances

Objectifs du modèle:

- > estimer les charges polluantes en tout endroit du réseau hydrographique suisse (relevé de l'état actuel);
- > identifier les tronçons de cours d'eau très touchés (charges polluantes et calcul des concentrations pour différents débits, comparaisons des CPE et des PNEC);
- > élaborer des scénarios prospectifs afin d'évaluer l'efficacité de mesures destinées à réduire les rejets de micropolluants par les STEP communales et optimiser leur application (analyses coûts/utilité selon le bassin versant);
- > identifier des substances indicatrices dont il est possible de prévoir la présence dans les eaux avec fiabilité, à l'aide d'un modèle simple et d'un minimum de paramètres.

Bien que les concentrations de polluants [masse par volume] constituent la valeur écotoxicologique déterminante et qu'on les mesure directement dans les échantillons naturels, il vaut la peine de déterminer aussi les **flux polluants** [masse par unité de temps]. C'est en effet le seul moyen de vérifier si les données ayant servi à l'élaboration du modèle sont réalistes. Si le modèle débouche sur des résultats plausibles pour une substance donnée, on peut supposer qu'il fournira une bonne estimation de la présence d'une substance semblable nouvellement utilisée. Il facilite par ailleurs le classement d'un échantillon d'eau récemment analysé: La charge polluante correspond-elle aux prévisions? Est-elle normale, inhabituellement élevée ou basse?

Fig. 3 > Application du modèle des flux à une substance donnée sur la base des quantités moyennes utilisées dans l'ensemble du pays



### 3.3.1 Délimitation du système

C'est le réseau hydrographique des cours d'eau suisses établi par l'Office fédéral de la topographie (swisstopo) qui sert de base. Ce réseau digitalisé présente une longueur totale de quelque 90 000 km. Par ailleurs, les eaux usées de 97 % de la population suisse sont traitées dans 742 STEP communales conçues pour épurer plus de 500 équivalents-habitants<sup>[30]</sup>. Le modèle tient compte de ces STEP et des habitants qui leur sont raccordés. Plus de 600 STEP déversent leur effluent dans des rivières et des ruisseaux et un peu moins de 100 directement dans un lac. En tout, quelque 6000 km de cours d'eau transportent des eaux usées traitées.

742 STEP communales  
6000 kilomètres de cours d'eau  
servant de milieu récepteur aux  
eaux traitées

### 3.3.2 Données initiales

Les quantités utilisées jouent un rôle crucial. En l'absence d'autre précision, on admet que les quantités utilisées correspondent aux quantités vendues (quantités vendues, cf. tab. 1). En ce qui concerne les principes actifs de médicaments, on peut obtenir des informations sur les quantités vendues auprès d'instituts d'études de marché. Les associations professionnelles concernées possèdent également des chiffres pour les composants de certains produits de nettoyage ou cosmétiques.

Quantités utilisées

La majeure partie des produits utilisés par les ménages (douche, bain, lessive et vaisselle) s'écoulent dans les égouts. Les substances actives des médicaments éliminées par le corps humain parviennent dans les toilettes, puis dans les canalisations. Ce qui compte dès lors c'est la proportion de la substance initiale qui est évacuée sans avoir subi de transformation. Cette proportion peut varier beaucoup: dans le cas du benzotriazole (inhibiteur de corrosion entrant dans la composition des produits de rinçage pour lave-vaisselle), elle atteint pratiquement 100 %, alors qu'elle ne dépasse pas quelques points de pourcentage pour certains médicaments. Prenons le cas d'un analgésique: la proportion de diclofénac éliminé sans altération atteint 16 % (moyenne<sup>[31]</sup> entre 1 % dans les

Des substances non transformées  
parviennent dans les égouts

Exemple: métabolites du  
diclofénac

urines et 15 % dans les matières fécales). Outre la substance de base, le corps humain élimine aussi des produits de sa transformation, appelés métabolites (définition des métabolites et informations complémentaires, cf. ch. 4.2.3 et 4.2.4). Dans le cas du diclofénac, les principaux métabolites connus représentent 65 % des composés éliminés (50 % dans les urines et 15 % dans les matières fécales). Le potentiel écotoxicologique de ces 65 % n'équivaut toutefois qu'à 20 % de la quantité totale de substance initiale utilisée. Voici donc comment on calcule le risque potentiel de la quantité de diclofénac vendue:  $16\% + 20\% = 36\%$ . Pour comparer les prévisions établies par le modèle et les mesures effectuées dans des échantillons naturels, on ne considère toutefois que les 16 %, car les analyses d'échantillons se limitent en général à la substance de base.

Les procédés d'épuration utilisés aujourd'hui dans les STEP communales n'éliminent que partiellement, voire pas du tout, nombre de micropolluants. Le taux d'élimination (élimination exprimée en pourcentage) entre dans le modèle des flux de substances au titre de coefficient de transfert. Dans le cas du diclofénac par exemple, la dégradation moyenne dans une STEP conventionnelle avoisine 25 %<sup>[32]</sup>. En l'absence quasi totale de données sur le comportement de métabolites dans les STEP, on admet en première approximation qu'ils sont éliminés dans la même mesure que la substance de base. Le modèle se fonde uniquement sur la situation qui se présente par temps sec et ne permet pas (encore) de fournir des indications sur la charge polluante engendrée par l'actionnement des déversoirs d'orage dans un réseau d'eaux mixtes.

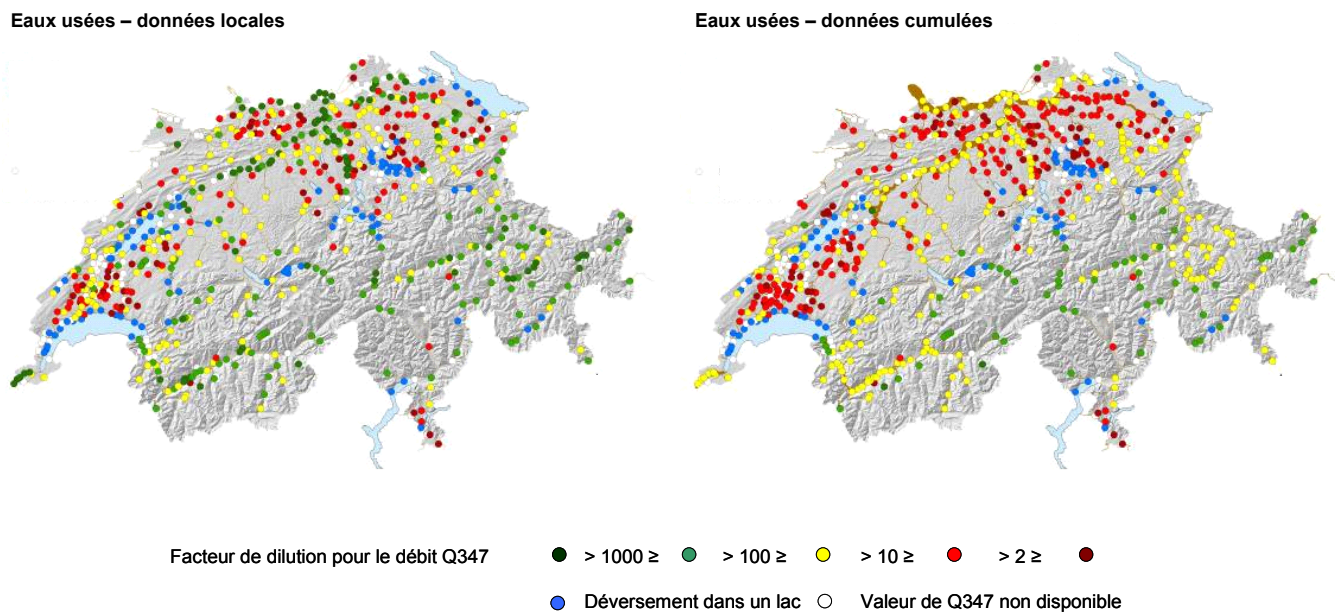
Dégradation insuffisante dans les STEP

Les quantités résiduelles de composés traces organiques qui ne peuvent être éliminés par les procédés conventionnels d'épuration sont déversées dans les eaux superficielles avec les eaux traitées. Elles sont ensuite diluées par les eaux naturelles et non polluées d'un cours d'eau ou d'un lac. La dilution s'avérant la plus défavorable lorsque le débit est au plus bas ( $Q_{347}$ ), c'est dans ces conditions que l'on a mesuré les charges polluantes. Le débit  $Q_{347}$  désigne le débit qu'un cours d'eau atteint ou dépasse à un endroit précis pendant 347 jours par année (95 % du temps), sa moyenne étant calculée sur une période de dix ans. En l'absence de station de mesure du débit à proximité de la STEP considérée, la valeur de  $Q_{347}$  a été obtenue par interpolation<sup>[33]</sup>, de sorte que nous disposons d'une estimation du débit  $Q_{347}$  pour plus de 80 % des STEP qui déversent leur effluent dans un cours d'eau. La figure 4 (carte à gauche) indique les facteurs locaux de dilution. Ces derniers indiquent dans quelle mesure l'effluent de la STEP est dilué dans le milieu récepteur ou la baisse des concentrations de polluants engendrée par la dilution. L'effluent de plus de 150 STEP est dilué moins de dix fois. D'autres eaux traitées étant rejetées en amont de la plupart des STEP et les eaux du milieu récepteur charriant donc déjà une charge polluante en arrivant à leur hauteur, les facteurs cumulés de dilution ont également été calculés (fig. 4, carte de droite). Il apparaît alors que le facteur de dilution est inférieur à 10 pour plus de 230 STEP. La carte montre clairement que la dilution varie beaucoup d'une région à l'autre (différence entre Plateau et régions de montagne) et que son évaluation ne peut se limiter au niveau local dans le cas des substances persistantes. Nous qualifions ici de persistantes les substances qui atteignent une demi-vie d'une durée équivalente ou supérieure à leur durée de séjour dans le système considéré (réseau hydrographique suisse).

La dilution est la plus défavorable lorsque le débit est au plus bas ( $Q_{347}$ )

**Fig. 4 > Facteur de dilution pour les STEP suisses**

A gauche: facteurs de dilution locaux ( $FD_L$ ) lorsque le débit à l'entrée des STEP équivaut au débit de temps sec ( $Q_{STEP,TS}$ ;  $FD_L = Q_{347}/Q_{STEP,TS}$ ), l'hypothèse étant que toute l'eau en amont du déversement de la STEP est exempte de charge polluante. A droite: facteurs cumulés de dilution ( $FD_C$ ), qui tiennent compte de tous les déversements d'eaux usées traitées en amont de la STEP ( $FD_C = Q_{347}/\sum Q_{STEP,TS}$ ).  $Q_{347}$  = débit d'étiage (il englobe aussi le débit  $Q_{STEP,TS}$ ). On perçoit d'emblée les nettes différences entre le Plateau, à forte densité de population, et les régions de montagne, peu habitées, où les précipitations sont fréquentes et où l'eau de la fonte des neiges améliore la dilution.



Les cartes sont reproduites avec l'autorisation de swisstopo (BA08 1360).

En ce qui concerne le comportement des micropolluants dans les eaux, le modèle admet, pour simplifier, qu'ils ne sont pas transformés. Il additionne donc les charges polluantes calculées pour chaque effluent de STEP au fil des rivières et des lacs. Cette hypothèse a été vérifiée à l'aide des données issues de l'observation récente de l'environnement (concentrations converties en flux). Voici ce qu'il en ressort: la demi-vie de nombreuses substances est plus longue ou à peu près équivalente au temps d'écoulement dans les rivières suisses, de sorte qu'il n'y a pas lieu de s'attendre à une dégradation marquée. Soulignons que les temps d'écoulement dans les ruisseaux et les rivières suisses sont inférieurs à une journée<sup>[34]</sup>.

Comportement des polluants dans les cours d'eau naturels: pas de dégradation marquée

Par souci de précision, le modèle pourrait tenir compte d'une certaine dégradation dans les lacs, car les temps de séjour y sont nettement plus longs que dans les rivières. Preuve en est la photolyse du diclofénac: sa demi-vie atteint jusqu'à huit jours en été et jusqu'à 30 en hiver<sup>[35]</sup>. Les calculs entrepris, en tenant compte ou non de la transformation des substances dans les lacs, ont toutefois montré qu'il n'existe pas de grande différence entre ces deux variantes, sauf, bien entendu, pour ce qui est des flux et des concentrations mesurées immédiatement à la sortie des lacs. La dégradation des substances dans les lacs n'influe toutefois guère sur le nombre de dépassements des PNEC en aval des STEP. C'est en effet surtout, mais pas exclusivement, sur des cours d'eau

petits à moyens et non alimentés par un lac, qu'il faut s'attendre à trouver les emplacements critiques (grandes STEP sises dans des zones à forte densité de population et mauvaises conditions de dilution).

### 3.4 Les cas de la carbamazépine et du diclofénac

La carbamazépine, un antiépileptique, et le diclofénac, un analgésique, sont deux produits pharmaceutiques largement utilisés en Suisse. Le diclofénac ne présente certes une toxicité aiguë pour les organismes aquatiques que si ses concentrations atteignent l'ordre du mg/l<sup>[20]</sup>. Pourtant, une exposition prolongée à une concentration supérieure à 1 µg/l entraîne une modification des organes chez certains poissons<sup>[16]</sup>. On a par ailleurs pu prouver que le diclofénac s'accumule dans les organes et les tissus des poissons étudiés<sup>[20]</sup>. A partir des valeurs figurant dans le tableau 2, du réseau hydrographique et des STEP prises en compte dans le modèle des flux, on peut calculer la quantité de carbamazépine ou de diclofénac qu'il faut s'attendre à rencontrer à un endroit précis. La figure 5 illustre la comparaison entre les prévisions calculées et les valeurs effectivement mesurées dans des bassins versants de différentes tailles. A quelques rares exceptions près, les prévisions concordent très bien avec les mesures. Des écarts avoisinant un facteur deux n'ont rien d'inhabituel pour des médicaments et des produits chimiques utilisés par les ménages et correspondent à la variabilité temporelle prévisible<sup>[36]</sup>.

Les prévisions concordent très bien avec les valeurs mesurées

Tab. 2 > Données initiales utilisées pour le diclofénac et la carbamazépine

Substance Utilisation	Quantités vendues [kg/a] <sup>a</sup>	Proportion de la substance de base éliminée sans avoir subi de transformation <sup>b</sup>	Flux moyen à l'entrée de la STEP	Elimination dans une STEP équipée de procédés conventionnels <sup>d</sup>	Flux moyen à la sortie de la STEP	Potentiel écotoxicologique propre aux métabolites, en équivalent de la substance de départ <sup>b</sup>	PNEC <sup>f</sup>
Diclofénac Analgésique	4000	16 %	env. 240 µg/hab.j	25 %	ca. 180 µg/hab.j	20 %	0,1 µg/l
Carbamazépine Antiépileptique	4400	10 % <sup>c</sup>	env. 160 µg/hab.j	0 % (20 % à -20 %) <sup>e</sup>	ca. 160 µg/hab.j	26 %	0,5 µg/l

<sup>a</sup> Moyenne des années 2000 et 2004<sup>[37]</sup>.

<sup>b</sup> Somme de la substance présente dans les urines et les matières fécales<sup>[31]</sup>.

<sup>c</sup> La référence<sup>b</sup> ne fournissant qu'une indication de la proportion éliminée sans altération dans les urines, la part contenue dans les matières fécales a fait l'objet d'une estimation (cf. aussi note<sup>e</sup>).

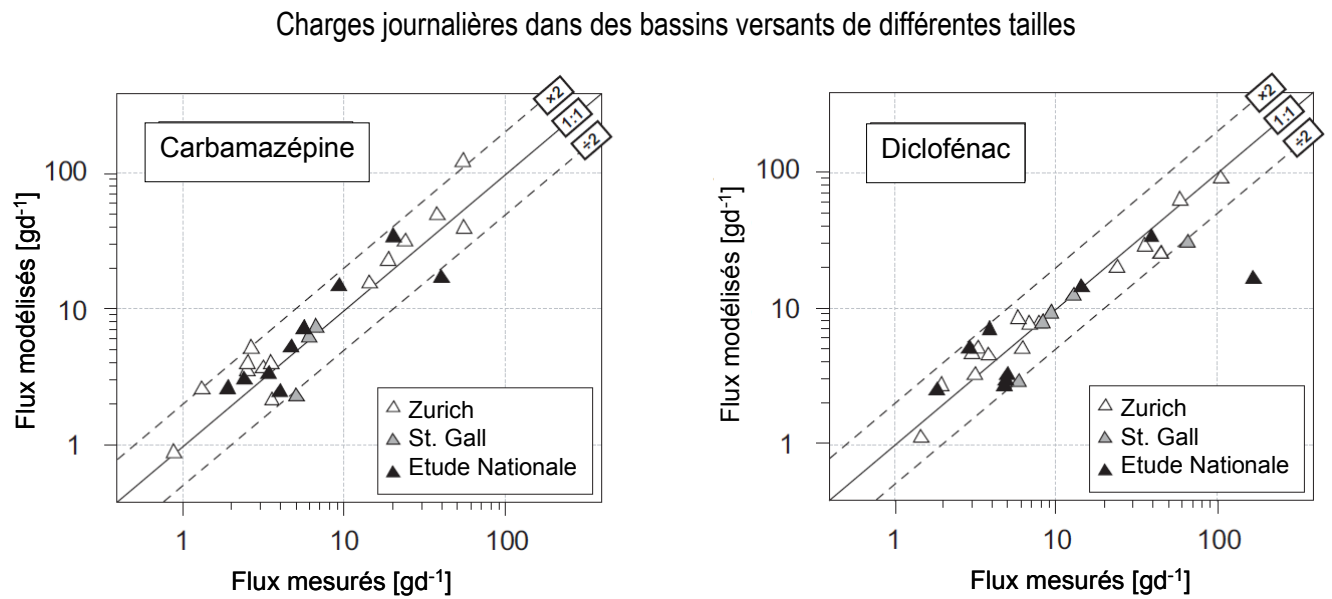
<sup>d</sup> Moyenne de neuf STEP<sup>[32]</sup>. Cette moyenne a été confirmée par les valeurs enregistrées dans quatorze autres STEP au cours d'une campagne nationale de mesure<sup>[38]</sup>.

<sup>e</sup> Moyenne de neuf STEP<sup>[32]</sup>. Lors de leur transformation à la STEP, une partie des métabolites (glucuroconjugé) peuvent aussi retourner à l'état de la substance initiale<sup>[39]</sup>.

<sup>f</sup> Bund- und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Allemagne<sup>[16]</sup>.

**Fig. 5** > Carbamazépine et diclofénac dans les cours d'eau

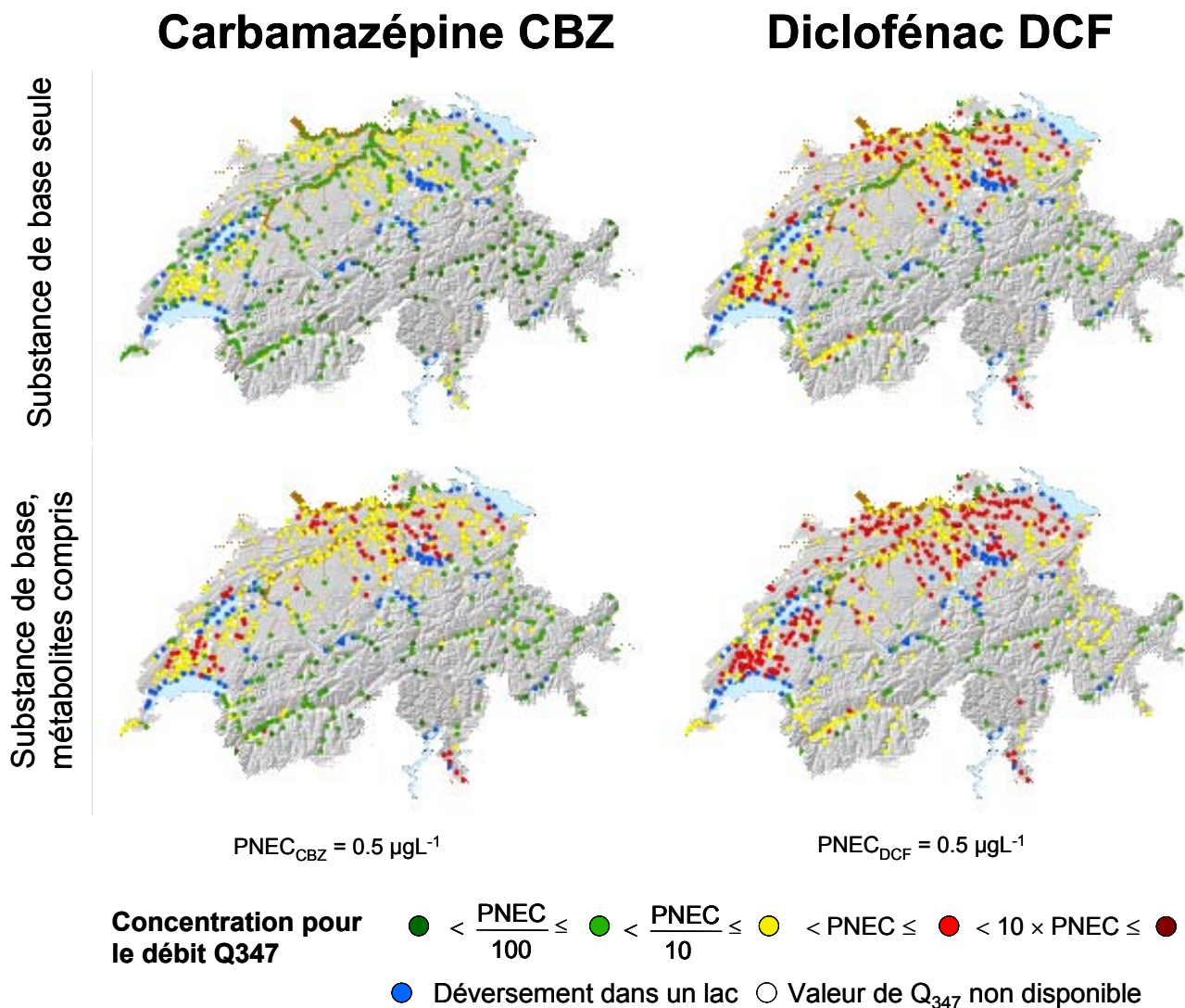
Flux calculés à partir du nombre d'habitants raccordés à la STEP dans le bassin versant (axe des ordonnées) et valeurs mesurées (axe des abscisses). Les valeurs fournies par le modèle ne s'écartent que rarement de plus d'un facteur deux des flux mesurés. Des écarts de cet ordre n'ont rien d'inhabituel pour des médicaments et des produits chimiques utilisés dans les ménages et correspondent à la variabilité temporelle à laquelle on peut s'attendre en un point donné.



Grâce à la bonne concordance entre prévisions du modèle et valeurs effectives (observation de l'environnement), il est possible de calculer des prévisions pour tous les autres tronçons de cours d'eau en aval d'une STEP. La figure 6 représente les concentrations calculées (flux polluants divisés par le débit minimal  $Q_{347}$ ).

**Fig. 6 > Concentrations de carbamazépine (à gauche) et de diclofénac (à droite) – substance de base seule (en haut) et risque potentiel total y compris les métabolites (en bas)**

Les points rouges signalent des tronçons de cours d'eau, en aval de STEP, où la PNEC de chaque substance est dépassée pour le débit  $Q_{347}$ . Valeur PNEC de la carbamazépine:  $PNEC_{CBZ} = 0,5 \mu\text{g/l}$ ; valeur PNEC du diclofénac:  $PNEC_{DCF} = 0,1 \mu\text{g/l}$ <sup>[16]</sup>.



Les cartes sont reproduites avec l'autorisation de swisstopo (BA08 1360).

Les concentrations de polluants sont déterminées sur la base des 543 STEP pour lesquelles le débit minimal  $Q_{347}$  dans le milieu récepteur en aval du déversement est disponible. Si l'on ne considère que la substance de base, les concentrations de carbamazépine ne dépassent jamais la PNEC ( $PNEC_{CBZ} = 0,5 \mu\text{g/l}$ )<sup>[16]</sup>. Par contre, les concentrations de diclofénac dépassent la PNEC ( $PNEC_{DCF} = 0,1 \mu\text{g/l}$ ) en aval de plus de 100 STEP.

La prise en compte des métabolites et de leur potentiel écotoxicologique multiplie sensiblement le nombre des dépassements: on en recense près de 100 (environ 15 % des cas) pour la carbamazépine en présence du débit  $Q_{347}$ , et même plus de 200 (plus de 35 % des cas) pour le diclofénac. Ces estimations sont toutefois entachées d'incertitudes.

### 3.5 Exploitations de valeurs de débit mesurées sur le long terme

D'aucuns ont pu arguer à raison, que le débit  $Q_{347}$  correspond à un scénario pessimiste (*worst case*). Pour réfuter cette supposition répandue, l'exploitation des mesures de débits ci-après porte sur les 20 dernières années. Au lieu de se focaliser uniquement sur la concentration pour un débit minimal, elle considère la variation des débits (hydrogramme) dans les cours d'eau. Elle établit pendant combien de jours par an la  $PNEC_{DCF}$  aurait théoriquement été dépassée avec une consommation de diclofénac identique au cours de toutes ces années.

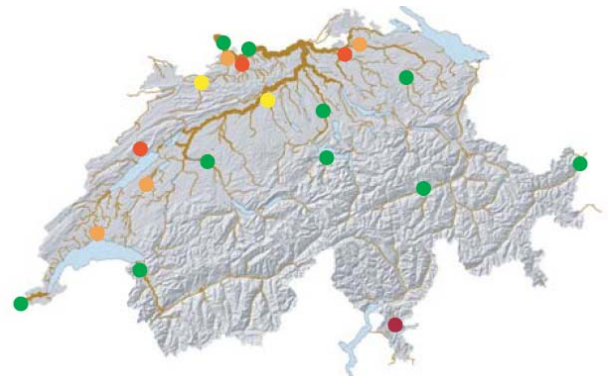
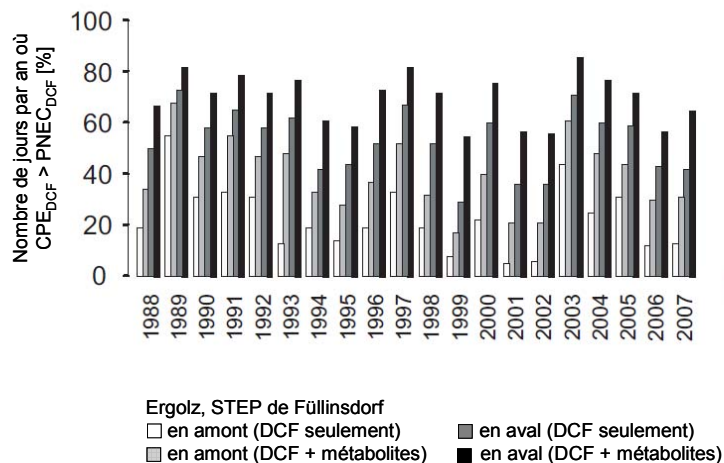
Dilution compte tenu  
du régime réel d'écoulement

La figure 7 (à gauche) illustre les débits enregistrés à la station de mesure de l'Ergolz à la hauteur de Liestal, en amont et en aval de la STEP de Füllinsdorf. A l'aide du modèle, on calcule la quantité de diclofénac probablement présente chaque jour dans ce tronçon (métabolites compris). Une fois cette quantité connue, on établit le débit journalier moyen que la rivière aurait dû atteindre pour ne pas dépasser la  $PNEC_{DCF}$ . Enfin, on détermine le nombre de jours où ce débit critique n'a pas été atteint. Le calcul a montré que le débit de l'Ergolz n'assure qu'une «dilution insuffisante» pendant la majeure partie du temps et que la  $PNEC_{DCF}$  a donc théoriquement été dépassée pendant 30 à 70 % du temps.

**Fig. 7 > Exploitation des valeurs de débit mesurées durant 20 ans dans l'Ergolz à la hauteur de Liestal**

**Durée théorique de dépassement de la valeur  $PNEC_{DCF}$  dans 20 stations de mesure du débit**

Abcisses: année; ordonnées: nombre de jours où la valeur  $PNEC_{DCF}$  ( $0,1 \mu\text{g/l}$ ) a théoriquement été dépassée (en % par an).



Nombre de jours par an où  $CPE_{DCF} > PNEC_{DCF}$  (DCF + métabolites)

- jamais
- les années sèches seulement
- 10-30 %
- 30-70 %
- > 70 %

De nombreuses des stations destinées à mesurer des débits sur le long terme sont situées le long de grands cours d'eau ou de rivières et de ruisseaux qui ne reçoivent pas d'effluent de STEP, c'est-à-dire rarement là où l'on pourrait s'attendre à une dilution insuffisante. L'exploitation de données décrite plus haut a néanmoins été entreprise pour 20 de ces stations, soigneusement sélectionnées. Les résultats sont représentés dans la figure 7 (à droite) et concordent, pour les 20 tronçons considérés, avec la figure 6 (en bas à droite): à tous les emplacements où l'exploitation des séries temporelles de données débouche sur «jamais», le modèle n'a prévu aucun dépassement de la valeur  $PNEC_{DCF}$  pour le débit  $Q_{347}$ . A l'inverse, partout où il faut s'attendre à un dépassement de cette valeur pour le débit  $Q_{347}$ , ce dépassement ne se limite pas à une période brève (environ 5% du temps, soit un peu plus de deux semaines, selon la définition du débit  $Q_{347}$ ), mais prévaut pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, par année.

## 3.6

### Validité du modèle, estimation pour d'autres substances

La transformation et la dégradation d'une substance dans le corps humain peuvent varier beaucoup d'un individu à l'autre. Le taux de dégradation dans les STEP varie aussi d'une station à l'autre et n'est pas constant dans le temps. Du point de vue statistique, la présence d'un grand nombre d'habitants dans la zone de collecte d'une STEP et de plusieurs STEP dans le bassin versant d'une rivière compense ces variations. A partir des quantités vendues, des coefficients de transfert moyens pour la métabolisation et le taux de dégradation fournissent donc une bonne approximation de la charge de substances non altérées qui parviennent dans les canalisations et une prévision réaliste de la charge polluante dans les eaux (hypothèse: seule une faible part des médicaments non utilisés sont éliminés avec les ordures). En première approximation, la concentration de la substance de base dans l'échantillon sert aussi d'indicateur pour les métabolites. Des coefficients de transfert simples suffisent ainsi pour savoir quelle proportion des quantités achetées parvient dans les eaux sans avoir subi d'altération. Testé avec succès pour diverses substances, ce modèle peut en principe s'appliquer à toutes celles qui

La substance de base sert d'indicateur pour les métabolites

- > présentent un mode d'utilisation simple, c'est-à-dire celles dont l'utilisation dans la région considérée est uniforme dans le temps et l'espace;
- > se dégradent lentement et leur concentration n'enregistre pas de grandes baisses (dues p. ex. à la sédimentation au fond de l'eau après fixation sur des matières en suspension);
- > sont utilisées exclusivement dans les zones urbanisées, de sorte qu'elles parviennent dans les eaux principalement par le biais des STEP (pas de source diffuse, comme pour les pesticides épandus dans l'agriculture).

Il s'agit donc de substances dont les STEP rejettent en permanence des quantités uniformément réparties dans les eaux de la région considérée.

La campagne nationale de mesure réalisée dans le cadre de la modélisation a montré que des substances dont les quantités utilisées ne sont pas documentées transitent aussi par les STEP, pour parvenir en charges comparables dans les eaux. Lorsque l'on ne connaît pas les ventes d'une substance, mais que ses concentrations par habitant mesurées à la sortie de la STEP sont plus ou moins constantes, il est possible de calculer directement la charge polluante qu'elle engendre dans le cours d'eau. On a ainsi pu comparer la concentration dans les eaux d'un large éventail de substances avec les critères servant à évaluer la qualité de l'eau (tab. 3). Ne se dégradant guère, ces substances s'accumulent au fil du cours d'eau. De plus, les charges polluantes présentent une bonne corrélation avec le nombre d'habitants du bassin versant.

**Tab. 3 > Substances pour lesquelles le modèle est applicable**

*Comparaison des quantités utilisées (données recueillies par un institut d'étude de marché), charges polluantes calculées et mesurées, objectifs en matière de qualité et calculs modélisés. Ces données (exemptes de valeurs extrêmes isolées) indiquent uniquement un ordre de grandeur et peuvent parfois varier grandement (d'une STEP à l'autre et d'un jour à l'autre).*

Substance et utilisation	Quantité utilisée <sup>a</sup> [µg/hab.]	Quantité moyenne dans l'effluent de la STEP et dans les eaux [µg/hab.] <sup>b</sup>	Objectifs en matière de qualité (PNEC) [µg/l]	Valeurs cibles à caractère préventif [µg/l]	Nombre de dépassements compte non tenu des métabolites
Atrazine (produit phytosanitaire)	d.n.d.	10	0,6 <sup>[39]</sup>		0
				0,1 <sup>[40]</sup>	0
Benzotriazole (inhibiteur de corrosion)	5800	4100		1 <sup>[40]</sup>	263
				0,1 <sup>[41]</sup>	481
Carbamazépine (produit pharmaceutique)	1650	160	0,5 <sup>[16]</sup>		0
				0,1 <sup>[40]</sup>	
Clarithromycine (produit pharmaceutique)	520	100	0,03 <sup>d</sup>		215
				0,1 <sup>[40]</sup>	97
Diazinone (biocide, produit phytosanitaire)	d.n.d.	20	0,003 <sup>[42]</sup>		52
				0,1 <sup>[40]</sup>	0
Diclofénac (produit pharmaceutique)	1500	180	0,1 <sup>[16]</sup>		125
Estradiol (E2) et ses équivalents (effet endocrinien)		1,0	0,001 <sup>[43]</sup>		80
MCP (mécoprop) (produit phytosanitaire, protection des matériaux)	d.n.d.	90	18 <sup>[44]</sup>		0
				0,1 <sup>[40]</sup>	38
Sotalol (produit pharmaceutique)	329	260		0,1 <sup>[40]</sup>	179
Sulfaméthoxazole y compris l'acétylsulfaméthoxazole (produit pharmaceutique)	860	120	0,59 <sup>c</sup>		34
				0,1 <sup>[40]</sup>	70

<sup>a</sup> Pour les produits pharmaceutiques, données d'utilisation<sup>[37]</sup>.

<sup>b</sup> Résultats de la modélisation et/ou d'une campagne nationale de mesure<sup>[29]</sup>.

<sup>c</sup> Obtenus par déduction selon la DCE (directive-cadre européenne dans le domaine de l'eau),<sup>[45]</sup> à partir de<sup>[46]</sup> et de<sup>[47]</sup>.

<sup>d</sup> Obtenus par déduction selon la DCE (directive-cadre européenne dans le domaine de l'eau),<sup>[45]</sup> à partir de<sup>[48]</sup>.

### 3.7 Constat

Les études réalisées montrent que ce sont, comme on pouvait s'y attendre, surtout les cours d'eau de taille petite à moyenne du Plateau, région à forte densité de population, qui sont le plus touchés par la présence de micropolluants provenant des réseaux d'évacuation des eaux urbaines. Le modèle fournit une bonne estimation de la présence d'une douzaine de ces substances. Le problème qu'elles posent varie selon la quantité utilisée, leur élimination à la STEP et le rapport CPE/PNEC. De plus, les produits (nouvelles autorisations et retraits du marché) de même que les PNEC (recherches en cours) ne cessent de varier. Soulignons que les substances à partir desquelles le modèle a été mis au point peuvent servir d'indicateurs pertinents pour l'ensemble de la charge polluante issue des réseaux d'évacuation des eaux urbaines.

### 3.8 Mesures au niveau des stations centrales d'épuration des eaux – évaluation des coûts

#### Modèles de calcul

Afin de garantir une qualité suffisante de l'eau en Suisse, il est possible de se fonder sur les résultats du chapitre 3 pour élaborer une stratégie d'amélioration de la qualité de l'eau consistant à équiper certaines STEP d'une étape de traitement supplémentaire (ozonation ou recours au charbon actif en poudre) destinée à éliminer les composés traces organiques présents dans les eaux usées. Si l'on utilise le diclofénac comme indicateur de la qualité de l'eau et si l'on pose que la  $PNEC_{DCF}$  ne doit jamais être dépassée (compte non tenu des métabolites, cf. fig. 6), il faudrait équiper une centaine de STEP situés sur des cours d'eau petits à moyens du Plateau (cf. tab. 4). Comme cette mesure s'appliquerait à beaucoup de petites STEP, la diminution de la charge totale de diclofénac n'atteindrait guère que 15 %.

Stratégie «Qualité de l'eau»

Vu la responsabilité de riverain amont de la Suisse et pour préserver les ressources en eau potable (lacs et eaux souterraines), on peut par ailleurs appliquer une stratégie de réduction de la charge. Le choix de stations à équiper repose ici en priorité sur la taille de la STEP: quel que soit le lieu où son effluent se déverse dans les eaux superficielles, plus la STEP est grande, plus la réduction de la charge sera importante. Si l'on reprend l'indicateur diclofénac, on peut admettre qu'en équipant toutes les STEP d'une étape de traitement supplémentaire on parviendrait à éliminer 95 % environ de sa charge totale. En équipant toutes les STEP qui traitent plus de 10 000 équivalents-habitants, soit au total 197 stations, on parviendrait à réduire la charge polluante de 80 %. Cette stratégie ne supprimerait cependant que 45 % des dépassements de la valeur  $PNEC_{DCF}$ .

Stratégie «Réduction de la charge polluante»

**Tab. 4 > Diverses stratégies et leurs effets**

*Comparaison de la stratégie «Qualité de l'eau», qui vise à remédier aux dépassements et se concentre sur les tronçons très pollués, et de la stratégie «Réduction de la charge», qui ne tient pas compte des charges polluantes locales et s'attache à équiper les STEP les plus grandes, afin de réduire autant que possible la charge polluante totale.*

Stratégie	Nombre de STEP à équiper	Réduction de la charge	Réduction des dépassements des critères de qualité	Coûts d'investissement [en milliards CHF]
Qualité de l'eau $C_{DCF} < PNEC_{DCF}$	109	-15 %	100 %	0,7-0,9
Réduction de la charge STEP > 10 000 EH	197	> 80 %	45 %	1,6-1,9
Stratégies combinées $C_{DCF} < PNEC_{DCF}$ + STEP > 100 000 EH	119	-40 %	100 %	0,9-1,1

Une étude approfondie a examiné les variantes des deux stratégies de base présentées ci-dessus et calculé le coût de leur application<sup>[49]</sup>. La stratégie la plus efficace, qui permet à la fois de garantir une qualité suffisante de l'eau et de protéger les ressources en eau potable, combine les deux stratégies «Qualité de l'eau» et «Réduction de la charge», l'étude mentionnée n'ayant cependant pris en considération que les STEP de plus de 100 000 équivalents-habitants dans l'effort de réduction de la charge. Selon la stratégie et le procédé de traitement retenus, les coûts d'investissements des deux scénarios ci-dessus devraient se situer entre 0,7 et 1,9 milliard de francs.

Stratégies combinées

### Perspectives

Simple estimations basées sur diverses hypothèses et des données actuelles, ces deux scénarios ne sont présentés ici qu'à titre d'exemple. Un véritable programme de mesures devra encore prendre d'autres aspects en considération:

- > *Taille des STEP:* L'introduction d'une étape de traitement supplémentaire, telle l'ozonation ou l'adsorption sur charbon actif en poudre, engendrerait des dépenses disproportionnées pour les petites STEP. Prendre en compte les stations qui traitent une charge moyenne inférieure à 10 000 équivalents-habitants n'aurait donc pas de sens. Si des mesures destinées à éliminer les composés traces organiques s'imposent dans leurs cas, il est plus indiqué d'envisager leur raccordement à une station proche. Si ce n'est pas possible, il est recommandé d'assurer un âge des boues suffisamment élevé (au moins une nitrification poussée).
- > *Exigences techniques pour les STEP existantes:* la mise en place d'une étape de traitement supplémentaire n'a de sens, du point de vue technique et économique, que dans les STEP déjà bien équipées (assurant au moins une nitrification poussée). Afin de garantir un fonctionnement sûr et efficace du procédé, il importe, au vu des connaissances actuelles, d'installer une filtration (filtre à sable ou filtration membranaire, p. ex.) qui sera placée avant l'étape de traitement supplémentaire. L'introduction d'une nouvelle étape filtrante engendre certes des coûts importants, mais on peut aussi recourir à des variantes peu coûteuses, comme les filtres textiles. Les STEP pourront satisfaire au mieux les exigences techniques si l'installation du

procédé de traitement supplémentaire s'inscrit dans le cadre d'une rénovation normale ou dans la construction d'une nouvelle station. On évitera ainsi des coûts disproportionnés.

- > *Analyse coûts/utilité*: les dispositions de la législation sur la protection des eaux s'appliquent en principe à l'ensemble des eaux superficielles et souterraines. En raison des coûts induits par des mesures techniques, il convient d'examiner le rapport coût/utilité au cas par cas, en tenant compte des conditions propres à chaque situation. Les atteintes à la qualité de l'eau ayant nombre de causes, il est crucial de veiller à ce que les investissements apportent une amélioration optimale à la protection des eaux. Dans la stratégie «Réduction de la charge», il est logique de se limiter exclusivement aux STEP déversant les plus grandes charges polluantes (STEP > 100 000 EH, p. ex.) et à celles qui rejettent leur effluent dans un cours d'eau alimentant le réseau d'eau potable. Des investigations plus précises, menées pour planifier les interventions, réduiront sensiblement le nombre des STEP à équiper. De plus, les mesures techniques au niveau des STEP n'ont pas la première priorité dans des bassins versants où d'autres atteintes (graves déficits au niveau de l'écomorphologie ou atteintes dues aux émissions diffuses de substances dans l'agriculture) prédominent. Dans le cas d'un tiers environ des cours d'eau où l'objectif de qualité pour le diclofénac est dépassé, plus de 20 % de la superficie du bassin versant est ainsi vouée à l'exploitation agricole; et ces cours d'eau souffrent probablement davantage de l'apport de composés traces organiques provenant de l'agriculture. Ces exemples soulignent la nécessité d'évaluer la situation au cas par cas, afin de coordonner l'équipement de la STEP avec d'autres mesures. Cette évaluation comprend notamment aussi l'examen d'éventuelles mesures à prendre au niveau du réseau de canalisations (construction de bassins d'eaux pluviales suffisamment grands, assainissement de conduites non étanches, etc.).

Une planification globale au niveau du bassin versant, telle qu'elle est déjà pratiquée dans certaines régions, constitue l'instrument idéal pour soupeser et comparer les diverses mesures et élaborer une solution équilibrée. La gestion par bassin versant exige toutefois la collaboration de communes et de cantons voisins et représente ainsi un nouveau défi. En le relevant, on réunira toutefois des expériences utiles, qui pourront servir de base à une future optimisation de l'évacuation des eaux urbaines (cf. ch. 4.6).

Gestion par bassin versant

Pour atteindre les objectifs fixés, à savoir réduire la charge polluante et préserver la qualité de l'eau, l'OFEV suppose qu'il s'avérera nécessaire, après un examen minutieux du rapport coût/utilité, d'équiper environ 100 STEP de plus de 10 000 équivalents-habitants. Voici lesquelles:

Une centaine de STEP devront être équipées

- > les STEP les plus grandes de Suisse (traitant en moyenne une charge supérieure à 100 000 EH), afin de réduire les charges élevées de micropolluants (responsabilité du riverain amont, diminution des flux polluants déversés dans la mer),
- > les STEP dont l'effluent est rejeté dans un tronçon de cours d'eau n'assurant pas une dilution suffisante des eaux traitées;

- 
- > les STEP dont l'effluent est rejeté dans des eaux exploitées pour alimenter le réseau d'eau potable (lacs avec d'importants captages d'eau potable, rivières dont l'eau s'infiltré dans les nappes d'eaux souterraines à proximité de captages d'eau potable).

Selon les cas, une autre solution consiste à démanteler la station d'épuration et de transporter les eaux usées, par le biais d'une conduite de liaison, vers une station sise à proximité, dotée d'un équipement approprié et à même d'éliminer les composés traces organiques.

Le train de mesures envisagé, qui comprend l'équipement de 100 STEP et le raccordement de certaines petites STEP à des stations plus grandes, engendre des coûts d'investissement de l'ordre de 1,2 milliard de francs. A l'échelle de la Suisse, ces travaux engendreraient une augmentation de 130 millions de francs des coûts annuels globaux de l'épuration des eaux, ce qui correspond à une hausse de 6%. Les coûts supplémentaires par station d'épuration (investissement et exploitation, y compris installation d'une étape de filtration) resteront relativement modestes: ils se situeront entre 5 et 10% pour les grandes STEP et entre 15 et 25% pour les plus petites.

## 4 > Projets de recherche MicroPoll 1

### 4.1 Introduction

Entreprenant de combler les besoins mentionnés aux points 3 à 5 du chiffre 2.3, l'OFEV a mis, en juin 2004, les pôles de recherche ci-après au concours:

1. «Recensement et hiérarchisation des micropolluants»
2. «Quantification des flux des principaux micropolluants»
3. «Interventions à la source»
4. «Evolution possible de l'assainissement»

Après examen des esquisses de projets que nous avons reçues, nous avons décidé de financer neuf d'entre eux. Le tableau 5 donne un aperçu des pôles de recherche et des projets sélectionnés, qui sont tous brièvement présentés ci-après.

**Tab. 5 > Projets de recherche MicroPoll1**

Pôle de recherche/projet	Responsable du projet	Chiffre
Recensement et hiérarchisation des micropolluants		4.2
Biocides à l'origine de micropollutions dans les eaux usées et les eaux souterraines	Leo Morf, GEO Partner; Daniel Bürgi, Friedli Partner AG	4.2.2
Séparer les urines pour réduire la charge de médicaments dans les eaux – tests écotoxicologiques	Judit Lienert, Beate Escher, Eawag	4.2.3
Hiérarchisation des produits de la transformation de micropolluants	Martin Scheringer, EPF Zurich/Eawag; Kathrin Fenner, Eawag	4.2.4
Identification de micropolluants à l'aide de tests biologiques		4.3
Elaboration d'une méthode permettant d'observer les effets des micropolluants dans les écosystèmes aquatiques	Katja Knauer, Patricia Holm, Université de Bâle	4.3.2
Etudes écotoxicologiques visant à identifier le risque potentiel des micropolluants pharmaceutiques dans les eaux	Daniel Dietrich, Université de Constance	4.3.3
Etat actuel de l'assainissement		4.4
L'assainissement en Suisse – état actuel, coûts et besoins d'investissements	Max Maurer, Eawag	4.4.2
Adaptation technique de l'assainissement		4.5
Mise en place d'un système d'assainissement durable à l'exemple de la ville de Winterthour	Ruedi Moser, Gebr. Hunziker AG	4.5.2
Passage à une gestion régénératrice des eaux usées?	Kurt Sprecher, GEO Partner	4.5.3
Nouveau modèle d'organisation		4.6
Nouveau modèle d'organisation pour promouvoir une gestion durable des eaux usées en Suisse	Olivier Chaix, Bonnard & Gardel	4.6.1

Ces divers projets de recherche et leurs résultats sont résumés ci-après selon la structure suivante: un bref aperçu du projet (ou une description succincte de la méthodologie appliquée) est suivi par un ou plusieurs paragraphes contenant les résultats du projet, ainsi que les conclusions de son ou de ses auteur(s). Dans un dernier paragraphe, portant le titre marginal «Evaluation et discussion», nous évaluons l'importance des résultats dans un contexte plus large (mesures visant les micropolluants et protection des eaux en Suisse, p. ex.).

## 4.2 Priorisation des micropolluants

### 4.2.1 Aperçu

A partir des trois grandes catégories de substances que sont les médicaments, les produits phytosanitaires et les biocides, les projets réalisés ont mis au point diverses méthodes permettant de hiérarchiser une foule de substances (tab. 6). Outre ces méthodes, nous incluons aussi dans ce tableau le modèle<sup>[23]</sup> élaboré dans le cadre du Programme national de recherche PNR50 et celui décrit au chapitre 3. Chacune de ces méthodes peut en principe également s'appliquer à d'autres substances ou groupes de substances. Elles se heurtent toutefois toutes à un même problème, qui est de taille: l'incertitude des données disponibles sur les quantités et l'utilisation des produits. Or collecter ces données s'est parfois avéré très laborieux (vastes recherches, sondages auprès des fabricants, etc.).

Méthodes appliquées

**Tab. 6 > Comparaison des méthodes de hiérarchisation**

Projet	Groupe de substances	Critères	Méthode	Aspects non pris en compte	Problèmes
Bürgli/Morf 4.2.2	Biocides	Quantités utilisées, dégradabilité, bioaccumulation, toxicité aquatique, estimation du rapport CPE/PNEC	Estimations semi-quantitatives	Produits de transformation	Incertitude des données, peu de valeurs mesurées dans le milieu naturel pour valider la méthode
Lienert/Escher 4.2.3	Médicaments	Risque écotoxicologique des substances de départ et des produits de leur transformation	Estimations fondées sur la métabolisation et les taux d'élimination	Dégradabilité, quantités utilisées	Incertitude des données
Scheringer/Fenner 4.2.4	Produits de la transformation de substances phytosanitaires	Dégradation, processus de dégradation, coefficient de répartition carbone-eau, écotoxicité	Modèle de calcul pour le transport et la dégradation de polluants	Quantités utilisées	Incertitude des données, données manquantes remplacées par des estimations
Modèle suisse (ch. 3.3)	Médicaments, œstrogènes, etc.	Estimation du rapport CPE/PNEC	Mesures/considération des flux de substances	Processus de dégradation dans les eaux	Peu de valeurs mesurées dans le milieu naturel pour valider la méthode
PNR50 <sup>[23]</sup>	Perturbateurs endocriniens	Diverses méthodes servant à déterminer l'activité hormonale	Mesures/modélisation de composés basée sur les flux de substances et la fugacité		Données manquantes remplacées par des estimations

Un système de suivi des quantités mises sur le marché s'avérerait fort utile pour nombre de substances: on disposerait ainsi de données de base plus fiables pour hiérarchiser les micropolluants en Suisse. Bien qu'il existe des indications précises sur les quantités vendues et utilisées pour certains groupes de substances, tels les médicaments, et que le registre public des produits tenu par l'Organe de réception des notifications des produits chimiques recense les quantités de produits chimiques industriels dangereux pour l'environnement, les quantités d'autres substances en vente sur le marché ne sont pas connues.

Suivi des quantités de produits chimiques

Les données sur la dégradabilité et l'écotoxicologie de nombreuses substances font défaut ou ne sont pas accessibles. La situation devrait cependant s'améliorer quelque peu ces prochaines années pour ce qui est des principes actifs des produits biocides et pour nombre de produits chimiques industriels, notamment grâce aux exigences imposées au sein de l'UE par la directive sur les produits biocides et le règlement REACH. Des données fondamentales sur les propriétés et l'écotoxicité de quelque 30 000 substances devraient en effet être disponibles d'ici 2018. Malgré le règlement REACH, les informations concernant 70 000 des 100 000 anciennes substances resteront partielles, voire totalement inexistantes.

Disponibilité des données

Des modèles peuvent fournir des indications cruciales quant aux substances à évaluer en priorité lors de campagnes de mesure. Avant d'y recourir, il importe toutefois de les vérifier et de les valider à l'aide de valeurs mesurées, et de poursuivre leur développement pour qu'ils couvrent une grande variété de substances et d'utilisations.

L'utilité des modèles

#### 4.2.2 Biocides à l'origine de micropollutions dans les eaux usées et les eaux souterraines

Direction du projet: Leo Morf (GEO Partner AG), Daniel Bürgi (FRIEDLIPARTNER AG)

Aperçu

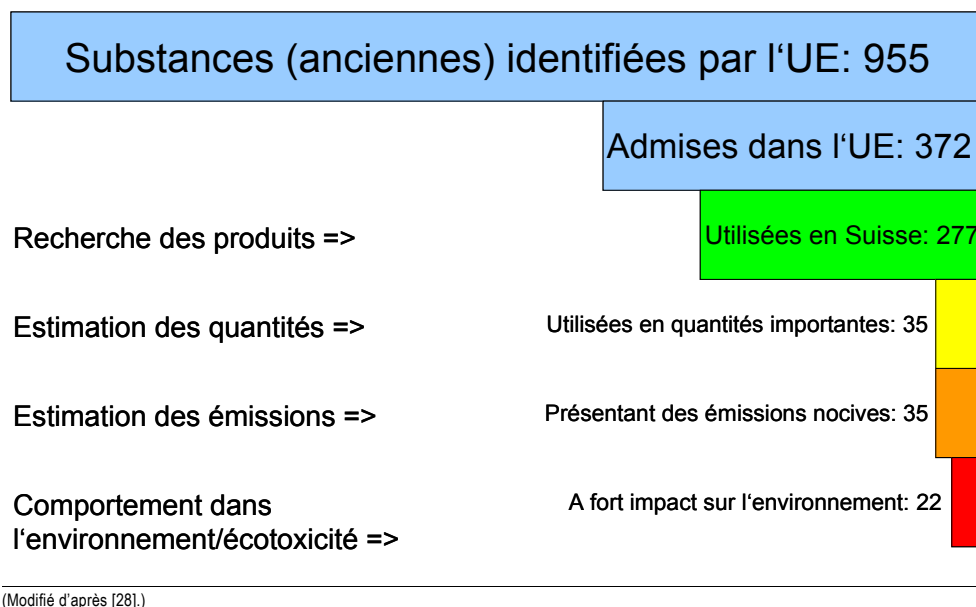
Ce projet comprend deux volets:

1. Hiérarchisation de biocides en Suisse<sup>[28]</sup>
2. Analyse type des flux d'une sélection de biocides (composés d'ammonium quaternaire, quats ou CAQ)<sup>[50]</sup>.

Les recherches menées pour réunir des données sur les différents produits et les quantités qui en sont utilisées ont révélé que 277 principes actifs de biocides sont appliqués en Suisse (fig. 8) et que leur quantité avoisine 7400 tonnes par an. En fait, 10 % des produits disponibles sur le marché constituent à eux seuls 95 % des ventes, les alcools (éthanol, propanol) et les biocides oxydatifs instables (chlore, ozone, peroxydes) représentant plus des deux tiers de la consommation totale. Quant aux produits restants, qui comprennent des biocides mal biodégradables, on en utilise quelque 2000 tonnes par an en Suisse, soit environ autant que de produits phytosanitaires. Les estimations de quantités sont entachées d'une incertitude relativement élevée, car la disponibilité des données était médiocre et qu'il a donc fallu poser de nombreuses hypothèses.

Résultats de la hiérarchisation de biocides: ces produits sont utilisés en grandes quantités en Suisse

Fig. 8 &gt; Hiérarchisation de biocides en Suisse



La hiérarchisation des 277 principes actifs utilisés en Suisse s'est déroulée selon une procédure en trois étapes, basée sur les critères suivants: quantités émises, comportement dans l'environnement et écotoxicité (fig. 8). Lors de la première étape, les auteurs du projet ont sélectionné, parmi les 277 substances étudiées, les 35 dont les émissions sont particulièrement élevées (> 5 t/a) selon les estimations. Au cours de la deuxième étape, ils ont évalué le comportement dans l'environnement, notamment la dynamique de dégradation, de ces 35 substances. Les composés aisément dégradables (comme l'éthanol) n'ont pas été examinés plus loin. Sur la base des quantités émises et des processus de dégradation, les chercheurs ont retenu 22 principes actifs potentiellement dangereux pour l'environnement, afin de les étudier de plus près (acide borique, glutaraldéhyde, composés d'ammonium quaternaire [CAQ], dérivés de guanidine [PHMB], isothiazolinones [OIT, BIT], dichlofluanide, alkylamines, IPBC, formaldéhyde, propiconazole, terbuthyryne, carbendazime, irgarol, diuron, bronopol, pyithione de zinc, perméthrine, oxyde de cuivre, imidazolidines [DMDM], OPBA et DEET). Après avoir réuni les données chimico-physiques et écotoxicologiques de ces 22 substances, ils sont passés à la troisième étape de la procédure: se fondant sur l'estimation du risque environnemental et d'autres critères (métabolites, mesures d'exposition, données réunies, autres usages à des fins «non biocides», etc.), ils ont réparti les composés en trois groupes prioritaires.

Le modèle de hiérarchisation mis en œuvre dans cette étude peut s'appliquer à d'autres groupes de substances, pour autant que l'on dispose de données probantes sur leurs propriétés et les quantités utilisées. Ces dernières sont souvent entachées d'incertitudes et les réunir implique un travail de recherche considérable. Des valeurs mesurées dans les eaux faisant défaut pour les principes actifs biocides, il a été impossible d'évaluer la précision des estimations entreprises et dès lors du rôle des biocides en tant que micro-

22 substances ont un impact sur l'environnement

Hiérarchisation de biocides – conclusions

polluants. Le rapport établi fournit toutefois des indications utiles pour choisir les biocides à analyser en priorité au cours d'une campagne de mesure.

Le volet *hiérarchisation* du projet a révélé l'impact particulièrement marqué des CAQ sur l'environnement. Les flux de substances ont donc été analysés pour cinq biocides importants (quatre chlorures de benzalkonium et un chlorure de didécyl-diméthylammonium [CDDA-10]). La consommation totale de ces cinq principes actifs au titre de biocides est estimée à 120 tonnes par an en Suisse, les produits destinés au traitement de surface en représentant à eux seuls près de la moitié. Deux tiers de la quantité totale, toujours pour les cinq CAQ, peuvent sans doute être attribués à un usage non biocide. Autrement dit, les cinq composés considérés sont en majeure partie utilisés dans la protection de surfaces et dans des détergents, et ne sont dès lors pas régis par l'ordonnance sur les produits biocides. L'analyse détaillée des flux de substances a montré que l'application de grandes quantités de ces principes actifs se prolonge sur des périodes considérables, dans le cas d'éléments en bois, par exemple, où les CAQ servent d'agent de protection. Enfin, une grande partie des produits utilisés sont rejetés dans le système d'assainissement. Les CAQ étant toutefois bien éliminés dans les STEP, les quantités qui parviennent dans les eaux par cette voie d'apport ne représentent que 10 % environ des émissions totales dans l'environnement. En effet, 90 % des émissions sont à mettre sur le compte, par exemple, des trop-pleins de bassins d'eaux pluviales, des fuites dans le réseau d'égouts, des écoulements de purin dans les eaux ou dans le sol. Au total, 9 % des quantités utilisées à des fins biocides parviennent dans le milieu ambiant. D'autres modèles de calcul ont par ailleurs montré que des concentrations accrues de chlorures de benzalkonium peuvent parfois mettre des organismes aquatiques en danger ( $CPE > PNEC$ ). C'est moins probable dans le cas du CDDA-10.

Les données sur l'utilisation et les émissions sont peu fiables, et voici essentiellement pourquoi: absence d'informations sur les quantités destinées à certains domaines d'application et absence de campagnes systématiques de mesure en Suisse (eaux usées des hôpitaux, p. ex.). Des vérifications minutieuses ont confirmé les estimations des quantités utilisées dans le cadre de la hiérarchisation des biocides. Il a toutefois fallu mobiliser des ressources considérables pour réunir des informations sur les substances elles-mêmes et les quantités appliquées. Un registre central des produits chimiques faciliterait sensiblement les choses et fournirait une vue d'ensemble sur les substances utilisées et les quantités rejetées dans les eaux. Puisqu'une petite partie seulement des émissions totales de CAQ parviennent dans les eaux par le biais des STEP, les mesures visant à améliorer l'efficacité des STEP (solutions en bout de chaîne) n'auront sans doute qu'un effet minime sur la charge de ces substances, sauf dans le cas où l'effluent de la STEP représente la majeure partie du débit du milieu récepteur.

L'incertitude des données restreint la pertinence des analyses types des flux de substances. Les estimations d'ordres de grandeur, pour l'apport dans les eaux notamment, peuvent toutefois être qualifiées de réalistes. Grâce au programme sur les produits biocides<sup>[51]</sup> de l'Union européenne, on devrait disposer à l'avenir de données plus nombreuses sur les risques de ces substances pour les organismes aquatiques et sur leur comportement dans les eaux usées et dans l'environnement. Pour disposer de données

Résultats de l'analyse des flux de substances: composés d'ammonium quaternaire

Conclusions de l'analyse des flux de substances

Evaluation et discussion: données lacunaires; campagnes de mesure

plus fiables sur les quantités utilisées, il faudrait obliger les fabricants à fournir des informations précises sur les quantités et le type d'utilisation de chaque produit au moment de la demande d'autorisation. Et il serait nécessaire de vérifier si les bases légales requises existent. Afin de mieux apprécier le rôle des biocides dans la protection des eaux, il importe de procéder à des relevés spécifiques dans les eaux superficielles. Il convient notamment de mener des campagnes de mesure dans les tronçons où une charge est prévisible. Pour les CAQ considérés, il s'agit surtout de cours d'eau qui servent de milieu récepteur à des eaux traitées provenant d'hôpitaux ou de l'industrie alimentaire. Les mesures ainsi recueillies peuvent également servir à vérifier et à affiner des modèles des flux de substances.

#### 4.2.3 Séparer les urines pour réduire la charge de médicaments dans les eaux – tests écotoxicologiques

Direction du projet: Judit Lienert, Beate I. Escher (Eawag)

Ce projet<sup>[52]</sup> a mis au point une méthode de screening pour apprécier le risque écotoxicologique de médicaments et évalué la contribution de la séparation des urines (technique «NoMix») à la réduction de la charge de médicaments dans les eaux. A cet effet, il a pris en compte les quantités de médicaments consommés, ainsi que leur transformation et l'élimination des principes actifs par le corps humain. Grâce aux connaissances déjà disponibles, l'application de cette méthode est aisée.

Dans le cas de la plupart des 42 principes actifs étudiés, les produits éliminés (principes actifs et produits de transformation ou métabolites) représentent un risque potentiel plus faible pour les organismes aquatiques que la substance active elle-même<sup>[31]</sup>. Sur la base des données disponibles, seules quelques substances auraient un effet spécifique sur les daphnies (puces d'eau), les algues ou les poissons.

Dans le cas de 212 principes actifs, le taux d'élimination avec les urines a atteint en moyenne 64 % ( $\pm 27\%$ )<sup>[53]</sup>. Il varie toutefois beaucoup, même au sein des groupes de substances (fig. 9). Le corps élimine ainsi 90 à 100 % des contrastants utilisés en radiologie par voie urinaire, ce taux se situant entre 6 et 98 % (fig. 9) pour les cytostatiques (médicaments anticancéreux). Les données disponibles pour 30 principes actifs, ont d'ailleurs pu servir de base pour déterminer que les médicaments présentent un potentiel écotoxicologique quasi équivalent s'ils sont présents dans les urines ou dans les matières fécales<sup>[31]</sup>.

Méthodologie:  
screening de médicaments

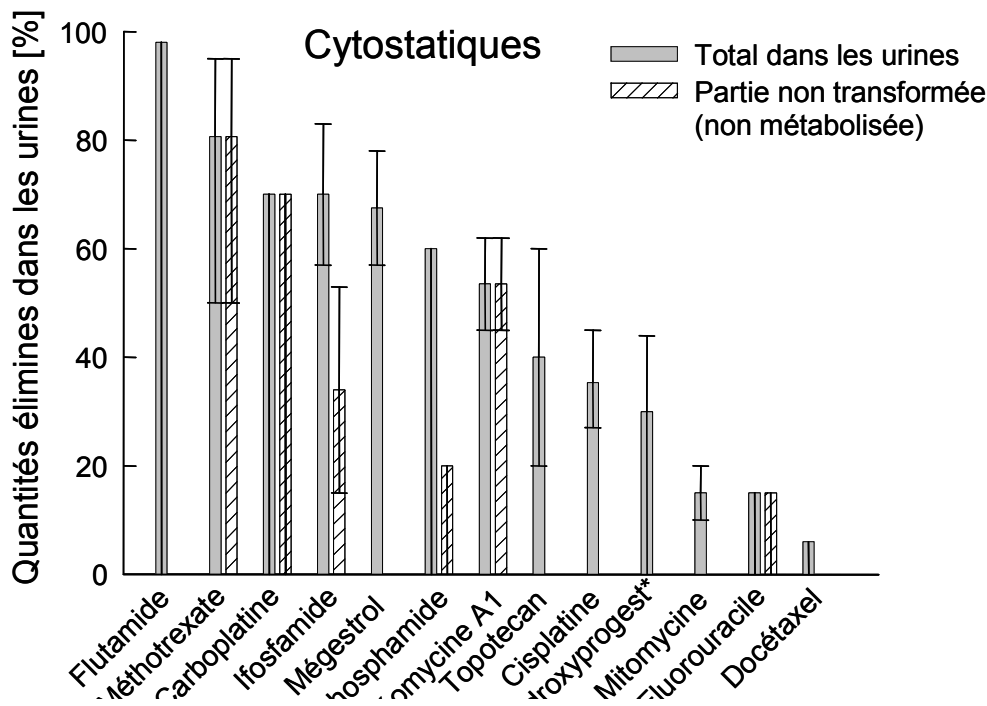
Résultats: risque  
écotoxicologique des produits de  
transformation

Elimination des médicaments par  
le corps humain et séparation des  
urines

**Fig. 9 > Taux d'élimination de médicaments anticancéreux (cytostatiques) par les voies urinaires**

Part totale d'une substance éliminée dans les urines (total via les urines) et part de la substance de départ (part non transformée).

Les rectangles indiquent les quantités moyennes d'une substance active éliminée via les urines; les barres d'erreur montrent les valeurs minimales et maximales des divers produits correspondant à chaque principe actif.



Le cas des bêtabloquants (antihypertenseurs) prouve que les médicaments peuvent aussi avoir des effets spécifiques non intentionnels sur les organismes aquatiques<sup>[54]</sup>. Des tests en laboratoire ont ainsi montré que les bêtabloquants peuvent freiner la photosynthèse des algues. La métabolisation de ces substances peut toutefois annuler leur toxicité. Une modélisation basée sur la structure chimique des produits de transformation a notamment établi que la métabolisation du propranolol dans le corps humain abaisse par exemple fortement sa toxicité pour les algues. Les produits de transformation de deux autres bêtabloquants, l'aténolol et le métoprolol, s'avèrent cependant aussi toxiques pour les algues que les composés de départ.

Exemple: les bêtabloquants

La récupération et le traitement séparé des urines, à l'aide de toilettes spéciales «No-Mix» (séparation des urines), constituent une mesure qui relève du traitement décentralisé des eaux usées. En effet, les eaux usées restantes ne contiennent plus que des matières fécales, des eaux pluviales et des eaux grises, et seront traitées à la STEP. Environ 60 à 70 % des médicaments étant éliminés par les voies urinaires, la séparation des urines peut diminuer sensiblement la charge de médicaments dans les eaux usées, et réduire ainsi de moitié le risque écotoxicologique que les médicaments représentent à la STEP<sup>[31]</sup>. On peut par ailleurs supposer que les médicaments adsorbés sur les

Conclusions: efficacité du traitement décentralisé des eaux usées pour l'élimination des médicaments

matières fécales qui parviennent jusqu'à la STEP sont éliminés avec les boues d'épuration; une hypothèse qui reste toutefois à vérifier.

Les résultats montrent que l'impact écotoxicologique des médicaments est le plus souvent inconnu et qu'il est difficile de prédire leurs effets spécifiques sans procéder à des tests écotoxicologiques. Vu l'évolution de l'effet toxicologique induit par la transformation du produit de départ, l'appréciation du risque potentiel des médicaments (dans le cadre des procédures d'autorisation, p. ex.) ne devrait pas seulement considérer les substances de départ, mais aussi les produits de transformation (cf. aussi ch. 4.2.4).

A quelques réserves près, l'approche décrite permet une hiérarchisation relativement fiable des principes actifs. Elle attribue par ailleurs un coefficient de risque à chaque substance, qui permet d'estimer sa véritable nocivité pour les organismes aquatiques. Outre ce risque écotoxicologique, il conviendrait aussi de prendre en considération la dégradabilité à la STEP et dans le milieu ambiant, les effets des mélanges de plusieurs principes actifs, ainsi que d'éventuels effets chroniques. On parviendra ainsi à mieux évaluer le rôle micropolluant des principes actifs des médicaments et de leurs produits de transformation, et d'affiner la hiérarchisation.

La séparation des urines n'offre qu'une efficacité limitée pour réduire l'apport de médicaments dans les eaux. En effet, cette technique ne retient pas les médicaments éliminés avec les eaux usées, dont la proportion peut, selon un sondage allemand, s'avérer significative<sup>[56]</sup>. En Suisse, il semble au contraire que cette proportion soit nettement moins grande, voire négligeable. Selon une enquête menée dans une bibliothèque publique, 1 % seulement des 500 personnes interrogées ont déclaré jeter régulièrement des médicaments dans les toilettes, tandis que 13 % les éliminent avec les ordures et 76 % les ramènent au point de vente<sup>[31]</sup>. De plus, la part du principe actif éliminé par les voies urinaires varie beaucoup selon le médicament, une réalité qui grève l'efficacité de la séparation des urines. Il vaudrait néanmoins la peine d'envisager un recours ciblé à la technologie «NoMix», pour certains principes actifs (les contrastants utilisés en radiologie, p. ex.) ou certaines sources ponctuelles (tels les hôpitaux). Et il ne faut pas oublier non plus les nombreux micropolluants qui parviennent dans les eaux usées sans passer par les WC.

Une autre approche consiste à adapter les bases légales régissant les procédures d'autorisation afin d'inclure les produits de transformation dans l'évaluation du risque, telle qu'elle est prescrite par ces textes. Selon les lignes directrices de l'Agence européenne des médicaments (EMA)<sup>[57]</sup>, seules les substances de départ doivent être testées au cours de la première phase de cette évaluation. Si cette phase ne révèle aucun risque (CPE < 0,01 µg/l), on peut le plus souvent renoncer à la deuxième phase, qui comprend justement l'évaluation des principaux produits de transformation.

Les médicaments, de la médecine humaine ou vétérinaire, exercent une influence intentionnelle sur certains processus biologiques chez l'homme ou l'animal. Il est crucial de déterminer avec quelle intensité les mêmes effets se font également sentir chez les organismes aquatiques<sup>[58]</sup>. Des substances à effet hormonal produisent par

Tenir compte des produits de transformation

Evaluation et discussion: hiérarchisation de médicaments

Efficacité de la séparation des urines

Evaluation du risque propre aux médicaments

Effets des médicaments sur des organismes non-cibles

exemple le même effet chez d'autres espèces animales que chez l'homme: qu'ils soient naturels ou synthétiques, les œstrogènes (substances à effet hormonal) exercent un effet sur les poissons. Une analyse systématique de divers principes actifs pharmaceutiques orientée dans ce sens faciliterait l'identification des substances problématiques<sup>[38]</sup>. Il reste malgré tout impossible d'exclure des effets spécifiques «accidentels» que l'on découvre par «hasard» (comme l'effet des bêtabloquants sur les algues<sup>[54]</sup>).

Le rôle des produits de transformation dans la protection de l'environnement est traité dans le cas des produits phytosanitaires au chiffre 4.2.4.

#### 4.2.4 Hiérarchisation des produits de la transformation de micropolluants

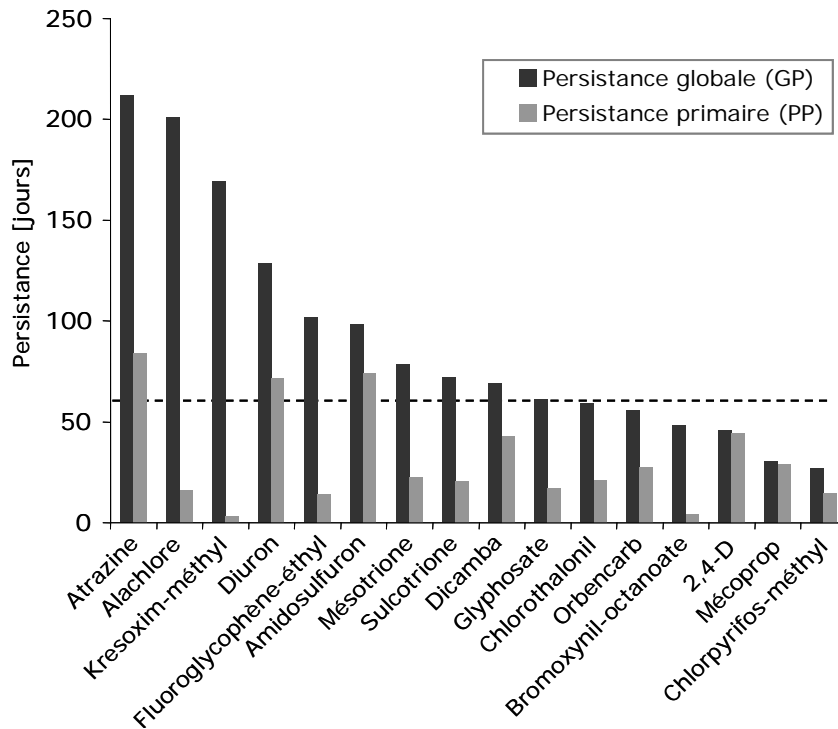
Direction du projet: Martin Scheringer (EPF Zurich); Kathrin Fenner (EPF Zurich /Eawag)

Une fois parvenus dans les eaux, les micropolluants peuvent subir des processus biologiques et chimiques et devenir des produits de transformation. Lorsque l'on évalue des micropolluants présents dans les eaux, il importe donc de savoir si c'est la substance de départ ou ses produits de transformation (ou de dégradation) qui entrent en contact avec les organismes aquatiques (tels les poissons). Pour hiérarchiser des produits de transformation, il faut identifier ceux qui pourraient avoir un impact significatif en raison de leur mauvaise dégradabilité, de leur écotoxicité ou de leurs propriétés physico-chimiques. Les auteurs de ce projet ont mis au point deux modèles qui permettent d'estimer la formation et la dispersion de produits de transformation dans le milieu ambiant<sup>[59,60]</sup>. Ces modèles ont été appliqués à seize substances actives de produits phytosanitaires pour lesquelles il existe des données fiables quant à l'apparition de produits de transformation et aux propriétés de ces derniers (atrazine, diuron, dicamba, bromoxynil-octanoate).

Estimations basées sur des modèles

Il s'est avéré que les produits de transformation contribuent notablement à la persistance globale de produits phytosanitaires (fig. 10). La comparaison avec les valeurs mesurées a confirmé les concentrations relatives de substances de départ et de produits de transformation calculées à l'aide du modèle. Pour trois des cinq composés considérés, les produits de transformation présentaient une toxicité spécifique inférieure à celle de la substance de départ. Dans les deux autres cas, la toxicité des produits de transformation était toutefois accrue et ceux-ci représentaient un plus grand risque pour les organismes aquatiques. Les produits de transformation du diuron se sont ainsi révélés plus toxiques (toxicité mesurée) pour les daphnies que le diuron lui-même<sup>[59]</sup>. Par ailleurs, le risque modélisé correspondant à tous les produits de transformation de dicamba était supérieur à celui du dicamba lui-même. A l'exception du dicamba et du diuron, les produits de transformation étaient plus polarisés que la substance de départ et donc davantage solubles dans l'eau. La toxicité non spécifique diminuant normalement lorsque la polarité s'accroît, on peut admettre que la toxicité de ces produits de transformation est inférieure à celle des substances de départ.

Résultats: contribution notable des produits de transformation à la persistance globale et à l'écotoxicité

**Fig. 10 > Persistance de seize produits phytosanitaires***PP = Persistance de la substance de départ seule**PG = Persistance de la substance de départ plus celle des produits de transformation*

Des modèles existants, disponibles sur Internet et conçus pour estimer les diverses propriétés de certaines substances (demi-vies dans le sol, coefficient de répartition entre eau et carbone organique, prévision des modes de dégradation), ont par ailleurs été vérifiés. Selon ces vérifications, les modèles existants permettent en principe de déterminer les principales caractéristiques des substances à partir de leur structure chimique. Les données ainsi obtenues peuvent servir de données initiales aux modèles mis au point dans ce projet. L'incertitude qui entache les données issues d'estimations et de modélisations fausse toutefois beaucoup la valeur des concentrations modélisées.

Ces résultats soulignent clairement le rôle des produits de transformation des substances phytosanitaires. Lorsque l'on procède à des évaluations prescrites par la loi, la littérature spécialisée recommande en général de vérifier, dans une procédure de routine, si des produits de transformation potentiellement dangereux pour l'environnement se forment à partir de la substance de départ. Les données sont cependant rares pour nombre des substances considérées, de même que pour leurs produits de transformation. Les modèles élaborés dans le cadre de ce projet permettent d'obtenir une première approximation du comportement de ces produits dans le milieu ambiant.

Prédire les propriétés des substances

Conclusions: les produits de transformation jouent un rôle important!

Des recherches s'imposent toujours dans le domaine de l'identification et de la hiérarchisation des produits de transformation. Ceux de la plupart des micropolluants (biocides, médicaments, etc.) ne sont en effet pas connus ou insuffisamment étudiés. Vérifier les modèles pour d'autres groupes de substances consoliderait leur validité pour la hiérarchisation de ces produits. Les résultats des vérifications pourraient ensuite servir à décider s'il convient effectivement d'inscrire l'évaluation de l'écotoxicité et de la persistance des produits de transformation dans les prescriptions légales, comme c'est déjà le cas pour les biocides et les produits phytosanitaires, tant au sein de l'UE qu'en Suisse. Par contre, le règlement REACH de l'Union européenne ne prévoit pas encore la prise en compte des produits de transformation lors de l'évaluation de substances persistantes, bioaccumulables et toxiques.

Evaluation et discussion: inclure les produits de transformation dans les prescriptions légales

La protection des eaux devrait aussi prendre les produits de transformation davantage en considération. Lors de l'analyse de micropolluants, on devrait par exemple mesurer également les produits de transformation connus, et leur importance pour la législation sur la protection des eaux devrait être évaluée sur la base des mesures enregistrées. Si les réglementations ne fixent pour l'heure des valeurs limites que pour les composés de départ, les produits de transformation ayant un impact sur l'environnement devraient à l'avenir être pris en compte lors de la définition de ces limites.

Rôle des produits de transformation dans la protection des eaux

### 4.3 Identification de micropolluants à l'aide de tests biologiques

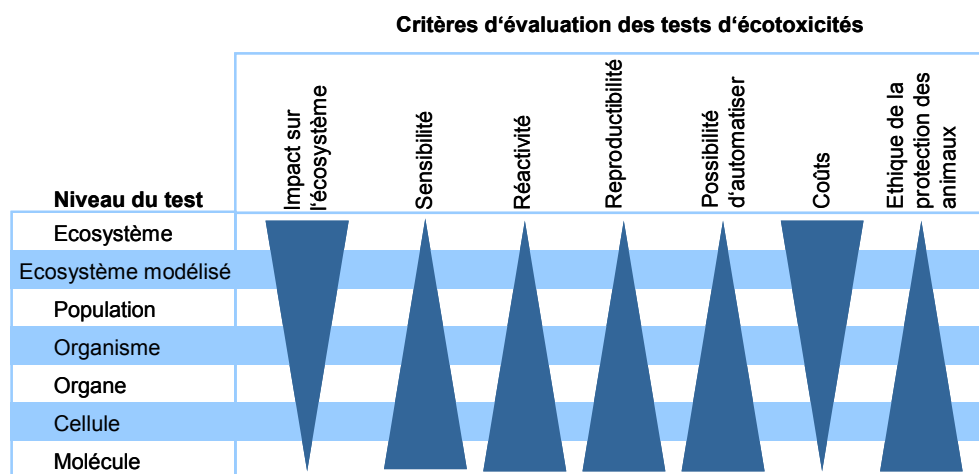
#### 4.3.1 Introduction

En cas d'accident grave, comme celui qui s'est produit à Schweizerhalle le 1<sup>er</sup> novembre 1986, il arrive que des polluants organiques atteignent des concentrations très élevées dans les eaux, au point d'avoir un effet toxique aigu sur les organismes en présence. A l'inverse, l'influence des micropolluants n'est perceptible qu'après une exposition relativement longue. On parle alors d'effets chroniques. Les tests portant sur l'effet aigu sont réalisés rapidement avec des concentrations élevées de la substance analysée. Ils sont assez peu coûteux et exigent moins de travail que les tests visant à déterminer la toxicité chronique. Ces derniers doivent se dérouler sur une longue période et font intervenir de faibles concentrations de la substance incriminée. Pour la plupart des substances, on ne dispose en général que de données sur la toxicité aiguë, car celle-ci compte parmi les paramètres qui déterminent la classe de risque selon la législation sur les produits chimiques. Toute une série de tests ont par ailleurs été mis au point afin de prouver l'impact des micropolluants sur des organismes aquatiques. Ces tests cherchent à identifier divers effets écotoxicologiques à divers niveaux de l'écosystème (allant de l'écosystème lui-même à la cellule et à la molécule, en passant par ses divers peuplements et organismes; fig. 11). L'effet des polluants qui exercent une influence sur un organisme, puis sur un écosystème entier, apparaît tout d'abord au niveau des molécules: dégâts subis par les protéines ou l'ADN. Si ces dégâts ne sont pas réparés, ils peuvent toucher les cellules et les organes, puis l'organisme lui-même. On peut ensuite identifier des effets au niveau des peuplements et de l'écosystème,

Tests conçus pour les micropolluants

dans la mesure où les populations s'amenuisent ou se fragilisent<sup>[61]</sup>. Si l'on suit l'ordre descendant, de l'écosystème à la molécule, le rôle de la substance pour l'écosystème et les coûts des tests diminuent, tandis que leur sensibilité, leur réactivité et leur reproductibilité tendent à s'accroître (fig. 11). Réalisés au niveau de la cellule, des tests à court terme peuvent servir de système d'alerte en identifiant des charges ou des dangers potentiels. On ne connaît toutefois pas encore l'importance de ces effets sur un écosystème entier.

Fig. 11 > Vue d'ensemble des tests biologiques



Source: [18, 61]

Une série de tests (OCDE, ISO, DIN, p. ex.) a été standardisée et utilisée pour évaluer l'effet de produits chimiques sur des organismes (niveau de l'organisme dans la fig. 11). La plupart des résultats proviennent de tests destinés à déterminer la toxicité aiguë, qui conviennent toutefois mal, vu leur faible sensibilité, pour tester la toxicité de substances présentes à l'état de traces. Divers tests axés sur un effet spécifique n'en sont pour l'heure qu'au stade de développement. Tout en étant plus sensibles, ils ne permettent cependant de vérifier qu'un nombre restreint d'effets. Ces tests peuvent éventuellement servir au dépistage précoce d'éventuels impacts sur l'environnement.

On peut réaliser des tests sur des substances, des mélanges bien définis et des échantillons d'eau prélevés dans le milieu ambiant. Dans le cas d'échantillons naturels, il peut toutefois s'avérer difficile de distinguer les effets engendrés par les micropolluants et les effets inhérents, dus à l'échantillon lui-même (valeur pH, salinité, etc.). Avant de procéder à certains tests, on purifie ou on concentre les échantillons, afin de réduire ces effets inhérents (cf. <sup>[62]</sup> p. ex.). Selon la méthode appliquée, on risque toutefois de modifier la composition de l'échantillon et de faire disparaître une partie des micropolluants.

Tests standard –  
tests axés sur un effet spécifique

Tests de produits chimiques –  
échantillons d'eau

### Encadré 3: Une analogie: Quel rapport entre maladie et écotoxicité?

*Une foule de maladies ou de troubles qui affectent les êtres humains sont d'origines diverses. Qu'est-ce qui provoque une allergie, une migraine ou un cancer? Il n'est pas toujours possible d'attribuer ces maladies à une cause précise. Il en va de même en écotoxicologie, lorsque l'on constate par exemple que les échantillons prélevés dans un cours d'eau entravent le développement de larves de moustiques ou lorsque toute la population piscicole d'un lac s'effondre. Dans ces exemples, les effets ne sont pas nécessairement dus à des micropolluants et, si ces derniers sont en cause, il peut alors s'agir d'un grand nombre de substances différentes, souvent présentes en faibles concentrations et capables, même en mélange, d'avoir des effets non prévisibles sur les organismes.*

On dispose aujourd'hui certes de quelques méthodes et tests efficaces pour appréhender l'écotoxicité de micropolluants dans les eaux: tests YES (fig. 12) et induction de vitellogénine pour les substances à effet hormonal, test de la photosynthèse pour les inhibiteurs de la photosynthèse, test de l'acétylcholine pour les acides phosphoriques organiques, etc. Mais il reste impossible de procéder à une évaluation écotoxicologique globale des eaux. Vu la variété des substances en présence, il n'est guère possible d'identifier et d'évaluer les effets des mélanges. Ceux-ci peuvent de plus s'annuler (effets antagonistes), se renforcer mutuellement (effets synergiques) ou s'additionner (effets additifs)<sup>[63]</sup>. Les substances dont l'effet suit le même mécanisme sont en général «additives».

Un effet antagoniste d'un mélange antifouling (formé d'un composé de tributylétain, d'igrarol et de disothiazolinone) sur la photosynthèse et la multiplication de microalgues a par exemple été observé<sup>[64]</sup>; un effet synergique sur la toxicité aiguë d'un mélange de produits phytosanitaires pour les daphnies (puces d'eau)<sup>[65]</sup> a pu être démontré; et des effets additifs sont apparus dans le cas des substances à effet hormonal (cf. encadré 1).

Evaluation globale des eaux pour l'heure encore impossible; mélanges de substances

**Fig. 12 > Test YES – test de l'activité hormonale**

*Test YES réalisé sur une plaque de microtitration. Les échantillons sont testés à des concentrations décroissantes (de gauche à droite). En présence d'activité œstrogénique accrue, l'échantillon vire au rouge.*

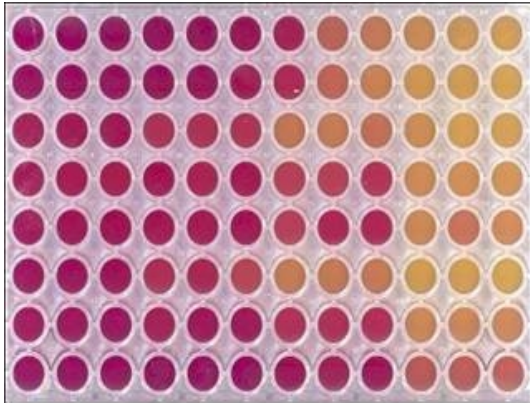


Photo: Etienne Vermeirssen, Eawag.

#### 4.3.2 **Elaboration d'une méthode permettant d'observer les effets des micropolluants dans les écosystèmes aquatiques**

Direction du projet: Katja Knauer, Patricia Holm (Université de Bâle)

Considérant qu'une foule de micropolluants sont présents dans les eaux suisses, ce projet s'était donné pour but de déterminer s'il est possible de mesurer les effets de micropolluants à l'aide du paramètre de «stress oxydatif». L'influence de certaines substances peut en effet conduire à la formation de dérivés réactifs de l'oxygène qui peuvent endommager l'ADN, des protéines et des lipides. Le stress oxydatif a été mesuré par le biais de la concentration des dérivés réactifs de l'oxygène (ROS)<sup>[66]</sup> et de l'activité de l'enzyme superoxyde dismutase (SOD)<sup>[67]</sup>, qui catalyse la dégradation des ROS afin de protéger les cellules.

Des tests en laboratoire ont montré qu'un stress oxydatif peut-être mesuré dans des lignées de cellules de truite arc-en-ciel et dans les algues. Des effets significatifs ne sont toutefois apparus que pour des concentrations allant du microgramme au milligramme par litre, lorsque les cellules ont été exposées à des substances telles que le cuivre, le principe actif triclosan (entrant dans la composition des biocides), les produits phytosanitaires atrazine, diuron et isoproturon ou à l'analgésique diclofénac. L'indicateur «stress oxydatif» est cependant peu sensible aux concentrations auxquelles les substances considérées (le cuivre, p. ex.) sont présentes dans les cours d'eau, de sorte qu'il ne révèle que rarement l'effet de micropolluants isolés. Des échantillons d'eau prélevés dans un ruisseau pollué par des herbicides, le Seebach dans le canton de Berne, ont été testés en laboratoire en vue d'observer un éventuel effet de stress sur les cellules. Des concentrations accrues de ROS ont été constatées dans les cellules de poisson, mais pas dans les cellules d'algues. Il a par ailleurs été impossible d'établir une corrélation avec les valeurs chimiques mesurées.

Méthodologie

Résultats: effets perceptibles seulement en présence de fortes concentrations de produits chimiques

Pour être en mesure de procéder à d'autres études dans le cours d'eau lui-même, des compartiments spéciaux qui permettent d'exposer les cellules sur de longues périodes en plein air ont été conçus. Des mesures ont tout d'abord été prises dans les eaux non polluées, car le recours au paramètre «stress oxydatif» exige de connaître l'influence de paramètres naturels, comme la lumière et la température.

Bien que la méthode consistant à mesurer les ROS puisse être qualifiée de facile à appliquer, elle recourt à un indicateur de stress peu spécifique, qui s'avère peu approprié pour détecter la présence de micropolluants. Si un stress oxydatif a pu être observé dans les organismes exposés en plein air, rien ne permet d'en conclure à la présence de micropolluants, car le stress oxydatif agit selon des mécanismes fort complexes lorsqu'il est utilisé comme biomarqueur non spécifique. Pour établir une corrélation, il faudrait disposer des résultats d'autres analyses chimiques.

Des réactions non spécifiques ne sont souvent perceptibles au niveau du système qu'en présence de concentrations assez élevées de produits chimiques, comme cette étude l'a montré dans le cas du stress oxydatif. Il importe donc de mettre au point des tests ciblés correspondant à des mécanismes spécifiques, qui permettront de donner une évaluation globale de la qualité de l'eau pour un groupe de substances à impact écologique. La détection de l'activité œstrogénique dans les eaux est par exemple bien avancée (test YES, l'induction de vitellogénine, etc.). Relevons dans l'ensemble que les tests portant sur des organismes sont en général moins sensibles que des études ciblées portant sur des molécules.

Dans le cadre d'une évaluation du risque environnemental des micropolluants, le projet a permis de compléter le paramètre «stress oxydatif» par une série de paramètres spécifiques (approche multiparamètres), qui pourraient permettre de caractériser les micropolluants.

Conclusions: la pertinence d'une utilisation dans les eaux n'est pas assurée

Evaluation et discussion: il faut des objectifs de qualité et des méthodes plus sensibles

#### 4.3.3 Etudes écotoxicologiques visant à identifier le risque potentiel des micropolluants pharmaceutiques dans les eaux

Direction du projet: Daniel Dietrich (Uni Konstanz)

Ce projet s'est donné pour objectif de déterminer le risque potentiel que le diclofénac (un anti-inflammatoire détecté dans le milieu ambiant à des concentrations de l'ordre du nanogramme, voire du microgramme, par litre) représente pour les poissons. Des poissons-zèbres ont été exposés au diclofénac à tous les stades de leur développement, et les effets du médicament sur divers paramètres, tels la reproduction, l'embryogenèse, la viabilité et le comportement ont été étudiés. De plus, les organes des poissons exposés ont été auscultés et les éventuelles modifications des quantités de certaines enzymes et substances messagères sensibles au diclofénac ont été analysées. Pour terminer, l'activation ou la désactivation de certains gènes cibles en fonction de l'exposition au diclofénac ont été examinées. Ces dernières analyses ne sont toutefois pas encore achevées.

Méthodologie

Les essais ont montré qu'en concentrations significatives dans l'environnement, le diclofénac ne présente pas de toxicité aiguë pour les poissons-zèbres. Chez les poissons adultes, des concentrations allant jusqu'à 5 mg/l n'ont provoqué ni hausse de la mortalité, ni modification du comportement ou des organes; une teneur de 100 µg/l de diclofénac n'a eu aucune influence sur la reproduction (nombre d'œufs et leurs taux de fécondation) des poissons. Des effets sur le développement d'embryons de poissons-zèbres ne sont apparus que pour des concentrations 400 à 1000 fois supérieures aux concentrations les plus fortes mesurées jusqu'ici dans le milieu ambiant. Aucune modification des quantités d'enzymes et de substances messagères sensibles au diclofénac n'a été observée. Des tests complémentaires, réalisés sur des cellules de poisson, n'ont pas non plus révélé une quelconque toxicité du diclofénac en concentrations significatives dans l'environnement. Cela ne veut pas dire pour autant que la présence de ce médicament dans les eaux ne pose aucun problème. Les derniers résultats en date suggèrent ainsi que le diclofénac influe sur l'expression génique chez le poisson-zèbre, et des recherches sont en cours pour évaluer l'importance écotoxicologique de cette découverte. Une appréciation du risque doit par ailleurs prendre en considération des effets chroniques (sur le long terme), en particulier des effets s'étendant sur plusieurs générations, ainsi que les effets de mélanges de substances.

Résultats et conclusions:  
le médicament étudié ne présente pas de toxicité aiguë; indices d'effets sub-cellulaires

Bien que le diclofénac ne semble pas représenter un danger pour les poissons, du moins pas aux concentrations auxquelles on le trouve aujourd'hui dans l'environnement, il importe de mener des recherches pour développer des méthodes destinées à évaluer l'état des eaux en présence de micropolluants. Pour assurer un suivi à l'échelle nationale, les méthodes mises au point doivent ensuite être standardisées et simplifiées. Ce n'est pas le cas des méthodes développées jusqu'ici, et leur application coûte cher et exige beaucoup de travail. Il faut donc s'attacher à simplifier et à standardiser les méthodes prometteuses. Du point de vue de la protection des animaux, il serait préférable d'opter pour des méthodes recourant à des cultures de cellules plutôt que pour celles utilisant des organismes supérieurs, tout en sachant que les résultats fournis par les systèmes cellulaires n'offrent qu'une pertinence biologique limitée (en ce qui concerne le succès reproducteur et la vitalité générale des poissons, p. ex.) pour déterminer l'impact écotoxicologique (maintien de populations piscicoles en bonne santé).

Evaluation et discussion: besoin de méthodes standardisées

## 4.4 Etat actuel de l'assainissement

### 4.4.1 Introduction

Pour définir des mesures techniques et organisationnelles destinées à venir à bout du problème des micropolluants et estimer également leurs coûts, il importe de connaître l'état actuel de l'assainissement en Suisse. Le projet présenté ci-après a élaboré une approche permettant de collecter des données à cette fin et en a réuni une première série.

#### 4.4.2 L'assainissement en Suisse – état actuel, coûts et besoins d'investissements

Direction du projet: Max Maurer, Anja Herlyn (Eawag)

Ce projet a élaboré des bases théoriques permettant d'analyser de manière systématique les coûts, l'état actuel et les besoins d'investissements des réseaux d'assainissement en Suisse<sup>[68]</sup>. Un système de relevés a été mis au point à cet effet, puis une multitude de données sur l'assainissement en Suisse ont été collectées, dépouillées et interprétées (cf. fig. 13).

Selon les estimations, la valeur économique globale de remplacement des installations d'assainissement de la Suisse avoisine 100 milliards de francs<sup>[30]</sup>, les STEP représentant 10 milliards de francs du total et les canalisations publiques 54 milliards. Quant au reste, il est en mains privées (évacuation des eaux des biens-fonds et installations du bâtiment). Les coûts annuels (frais d'exploitation, amortissements et intérêts), soit 1,7 milliard de francs, se répartissent à parts quasi égales entre canalisations et STEP, les coûts spécifiques d'exploitation dépendant toutefois beaucoup de la taille de la station d'épuration et de sa zone de collecte. Si l'on considère le coût par habitant et par an, le fonctionnement des grandes STEP est nettement plus avantageux, tandis que les canalisations des zones de collecte plus petites occasionnent des frais d'exploitation moins élevés.

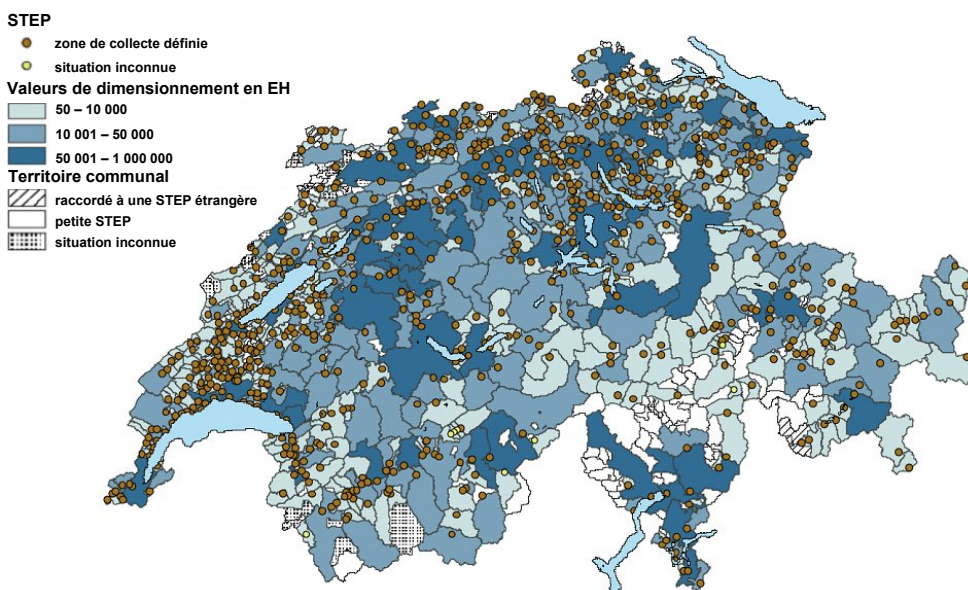
Au total, 2530 communes sont raccordées à 759 STEP de plus de 500 équivalents-habitants (cf. fig. 13), mais 81 grandes STEP de plus de 50 000 équivalents-habitants épurent 62 % des eaux usées. La longueur totale des égouts publics atteint environ 47 000 km, auxquels viennent s'ajouter les quelque 42 000 km (estimation) de conduites assurant l'évacuation des eaux des biens-fonds.

Méthodologie

Résultats: coûts et valeur économique de remplacement des installations d'assainissement

**Fig. 13 > Zones de collecte des STEP suisses**

*Les tonalités de bleu indiquent la taille des STEP: plus le bleu est foncé, plus la STEP est grande. (EH = équivalent-habitant)*



La Suisse dispose d'un réseau d'assainissement bien équipé et efficace. Vu la structure de l'âge des installations, le besoin de renouvellement s'accroîtra probablement ces prochaines années, entraînant aussi une hausse des coûts, en particulier au niveau des canalisations. Faute de données suffisantes sur l'état des STEP, il n'a pas été possible d'estimer leur besoin de rénovation. Tandis que l'infrastructure commence à accuser son âge dans les régions urbaines, la plupart des ouvrages construits à la campagne sont nettement plus récents. Le besoin d'entretien et de rénovation a donc jusqu'à présent été relativement minime dans les zones rurales, mais les choses vont changer. Au cours des années qui viennent, il faudra rénover 25 % environ des stations d'épuration. C'est dire que le système d'assainissement est en train de passer de la phase de construction à la phase d'entretien. Voici quelques-uns des défis qui en découlent: assurer l'entretien professionnel des infrastructures, réduire les coûts, mettre au point de nouvelles techniques et de nouveaux systèmes et optimiser l'exploitation et l'entretien. Pour y parvenir, il faut du personnel qualifié, une gestion professionnelle et des responsables administratifs conscients de leurs responsabilités.

La gestion professionnelle du système d'assainissement est primordiale pour maintenir la qualité de l'eau à un niveau élevé, moyennant un investissement optimal, et l'améliorer encore. Les données issues de ce projet constituent une bonne base à la définition d'approches et de stratégies qui permettront au système d'assainissement suisse de venir à bout du problème des micropolluants. Pour répondre à certaines questions, il sera peut-être nécessaire de compléter l'inventaire établi. Une chose est toutefois sûre, le besoin accru de renouvellement auquel il faut s'attendre offre une bonne occasion de rénover et de perfectionner les infrastructures, et de les rendre ainsi aptes à répondre aux besoins à long terme. Ces travaux devront également faire appel à des technologies et à des solutions innovantes. Les résultats du projet mettent cependant aussi en évidence le morcellement extrême de l'assainissement au niveau de son organisation. Au vu du besoin élevé de renouvellement, le développement durable de l'assainissement en Suisse passe sans doute par la mise en place de structures décisionnelles intégrées au niveau des bassins versants.

Conclusions: à l'avenir, le besoin de renouvellement ira croissant

Evaluation et discussion: gestion professionnelle; le besoin de renouvellement offre l'occasion de restructurer le système

## 4.5 Adaptation technique de l'assainissement

### 4.5.1 Introduction

Deux approches complémentaires sont envisageables pour assurer l'adaptation technique de l'assainissement:

1. Mesures au niveau des principales sources de micropolluants (les hôpitaux, p. ex.).
2. Système complètement décentralisé, dans lequel chaque maison possède sa propre «STEP», avec collecte et traitement séparés des urines, des matières fécales et des eaux grises (eaux peu polluées).

### 4.5.2 Mise en place d'un système d'assainissement durable à l'exemple de la ville de Winterthur

Direction du projet: Ruedi Moser (Gebr. Hunziker AG)

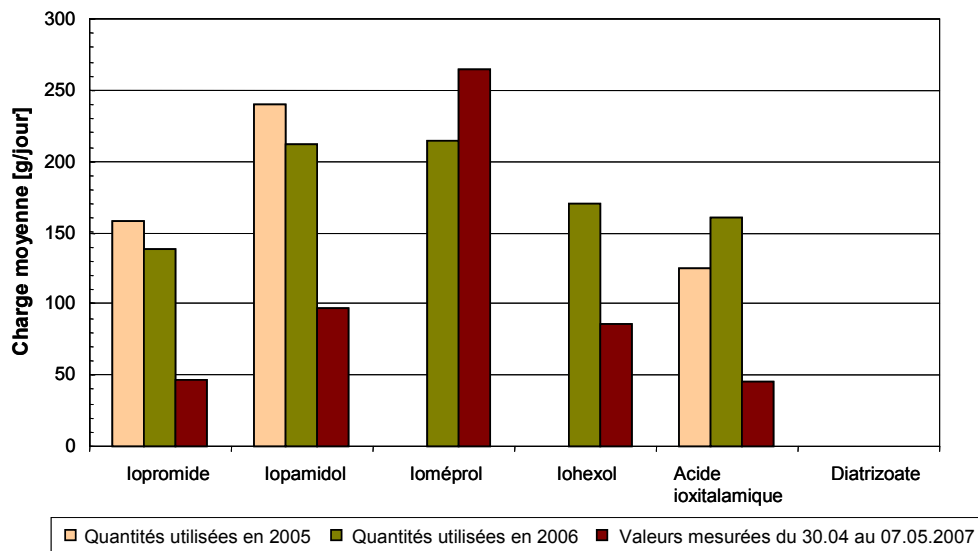
Ce projet avait pour objectif, en se fondant sur la zone de collecte de la ville de Winterthur, de proposer un système d'assainissement durable et comprenant des mesures décentralisées<sup>[69]</sup>. Il s'agissait tout d'abord de faire l'état des lieux du système d'évacuation et de traitement des eaux usées de la ville. Il a ainsi constaté que moins de 2,5 % des eaux usées parviennent directement dans les eaux par le biais des déversoirs d'orage, ce qui témoigne du bon équipement du réseau. Plus de 90 % des polluants arrivent donc dans les STEP, où ils sont en partie éliminés.

En moyenne, environ 18 % des médicaments utilisés en Suisse sont administrés dans des hôpitaux et seuls quelques rares médicaments sont utilisés nettement plus souvent en milieu hospitalier qu'à domicile. Ces médicaments comprennent les produits de contraste radiologique (100 % à l'hôpital) et les cytostatiques (médicaments anticancéreux; > 40 % à l'hôpital). Des sources ponctuelles, comme l'hôpital cantonal de Winterthur, peuvent donc être le principal émetteur de certaines substances. Des mesures de la concentration de produits de contraste radiologique, tel l'iopromid, dans les eaux usées de l'hôpital de Winterthur ont révélé une forte variation des émissions: entre 0 et 550g/jour<sup>[69]</sup>. Ces mesures ont permis de retracer entre 25 et plus de 100 % des quantités de substances distribuées par la pharmacie de l'établissement (fig. 14). Des relevés entrepris pour quantifier le même produit à la STEP de Winterthur ont montré que les patients ambulatoires éliminent une proportion considérable de ce contrastant une fois rentrés chez eux. Dans le cas des cytostatiques, comme le 5-fluorouracil, la proportion présente dans les eaux usées de l'hôpital était minime (< 1 %). Cette situation s'explique par la forte tendance à privilégier les traitements ambulatoires. Les médicaments anticancéreux ne peuvent dès lors pas être considérés comme un groupe de substances significatives dans cet établissement. Tout compte fait, l'hôpital cantonal est responsable de 20 % au maximum des émissions de médicaments dans la zone de collecte de Winterthur. Contrairement à ce que l'on supposait, il ne représente donc pas une importante source ponctuelle.

Résultats: état actuel du système d'assainissement de Winterthur

L'hôpital de Winterthur est-il une source ponctuelle de médicaments?

**Fig. 14 > Produits de contraste radiologique – comparaison des charges moyennes mesurées et des quantités utilisées à l'hôpital cantonal de Winterthour**



Source: [69]

Ce projet a évalué plusieurs systèmes destinés à éliminer les micropolluants présents dans les eaux usées des hôpitaux, au titre de mesures décentralisées. Il a par exemple montré que le recours à des toilettes spéciales séparant les urines des autres eaux usées n'est guère efficace. En effet, en moyenne seuls 63 % des médicaments sont éliminés par voie urinaire et le bon fonctionnement de telles toilettes coûte cher (cf. aussi ch. 4.2.3). Les toilettes sous vide constituent une autre solution: grâce au vide d'air, les matières fécales, de même que les médicaments qu'elles contiennent, sont collectés, stockés et éliminés (incinération, p. ex.) séparément. Très récente, cette méthode n'a pas encore fait ses preuves. De plus, pour éliminer tous les médicaments des eaux usées, il faudrait également séparer les urines. Pour éviter plus particulièrement les rejets de contrastants utilisés en radiologie dans les eaux usées, il est possible de distribuer des récipients adéquats aux patients concernés et d'éliminer ensuite les urines recueillies dans une installation de traitement des déchets spéciaux. Cette méthode a fait l'objet d'un essai pilote à Berlin, qui a débouché sur des résultats probants: la majeure partie des contrastants ne parviennent plus du tout dans les eaux usées. Enfin, pour éliminer tous les résidus de médicaments présents dans les eaux usées d'un hôpital, on peut envisager de doter l'établissement d'une installation spécifique de prétraitement. Jusqu'ici, seules de rares expériences ont été faites dans ce domaine et il n'existe pas encore de normes techniques pour de telles installations.

Evaluation de mesures décentralisées appliquées dans les hôpitaux

Dans le cas de Winterthour, une évaluation approximative a déterminé que le coût d'exploitation d'une STEP spéciale à l'hôpital équivaldrait à 40 % des coûts annuels d'une étape de traitement supplémentaire (par ozonation) à la STEP communale. De plus, cette mesure décentralisée n'éliminerait que 10 à 20 % des médicaments qui sont rejetés dans les eaux usées sur le territoire de la ville, alors qu'une solution centrale permettrait de traiter la totalité des émissions de médicaments.

Evaluation des coûts

Outre l'hôpital cantonal, le projet a évalué deux autres sources ponctuelles possibles dans la zone de collecte de la ville de Winterthur: un centre pour personnes âgées et l'école professionnelle KV Winterthur. Les émissions n'en font nullement des sources ponctuelles importantes de quelques-uns des médicaments analysés, ni même d'éthinylestradiol (principe actif de la pilule contraceptive). Selon les calculs entrepris, la charge d'éthinylestradiol dans les eaux usées de l'école professionnelle ne représente que 1,7% de la charge totale de la ville. Il serait dès lors inutile de traiter séparément les urines contenant des œstrogènes.

Evaluation d'autres sources ponctuelles

Dans la pratique, la place qu'un hôpital occupe dans les rejets de micropolluants dépend de la zone de collecte, du niveau d'équipement de la STEP communale, de la taille du milieu récepteur et de la présence d'autres sources ponctuelles (homes médicalisés, p. ex.). Du point de vue purement économique, l'application d'une mesure décentralisée, comme l'installation d'une STEP à l'hôpital cantonal de Winterthur, ne constitue pas nécessairement la solution idéale.

Conclusions: doter l'hôpital d'une installation de prétraitement n'est pas la solution idéale du point de vue économique

Les résultats de ce projet montrent qu'il faut surmonter de nombreuses difficultés pour assurer la séparation des médicaments et leur traitement dans un système aussi complexe que l'évacuation des eaux usées d'un hôpital existant. Il reste néanmoins possible d'inclure l'équipement requis dans la construction d'un nouvel établissement ou dans un projet de transformation, son installation serait alors plus simple et moins onéreuse.

Evaluation et discussion: il est difficile d'appliquer des mesures décentralisées à l'hôpital

Lorsqu'une ou plusieurs sources ponctuelles (hôpital ou home médicalisé, p. ex.) sont responsables d'une grande partie de la charge totale de médicaments dans une zone de collecte, il vaut malgré tout la peine de prendre des mesures décentralisées. Elles s'avéreront particulièrement utiles si la STEP communale ne parvient pas à éliminer les médicaments présents dans les eaux usées. Avant de recourir à ce genre de mesures, il importe donc de connaître certaines caractéristiques de la zone de collecte considérée, de même que ses sources ponctuelles. Des mesures décentralisées sont aujourd'hui appliquées dans nombre d'entreprises industrielles, qui possèdent chacune leur installation de (pré)traitement des eaux usées. Dans une zone de collecte «moyenne», comme celle de Winterthur, les sources ponctuelles de micropolluants ne jouent toutefois qu'un rôle secondaire, de sorte que les mesures centralisées s'y avèrent plus efficaces et moins onéreuses que des mesures à la source.

Avantages et raisons d'être des mesures décentralisées

#### 4.5.3 Passage à une gestion régénératrice des eaux usées?

Direction du projet: Kurt Sprecher (GEO Partner)

Ce projet avait pour objectif de comparer le système central d'assainissement, tel que nous le connaissons aujourd'hui en Suisse, avec une solution alternative, celle d'un système entièrement décentralisé<sup>[70]</sup>. Le système décentralisé décrit ici comprend la séparation à la source des urines, des matières fécales et des autres eaux usées (eaux grises). Ces divers flux sont amenés vers des traitements différenciés: les eaux grises subissent une filtration membranaire avant d'être réutilisées, les urines sont soumises à un prétraitement par électrodialyse et ozonation et, enfin, les matières fécales sont

Méthodologie – comparaison avec un autre système

méthanisées dans des installations régionales. Les urines et les matières fécales sont collectées et transportées par camion. L'étude ne traite pas le cas des eaux usées industrielles. Si elle pose comme hypothèse que le passage au système décentralisé serait entièrement achevé d'ici 2080, elle ne se penche pas sur ses modalités. La comparaison des deux systèmes se base sur les paramètres suivants: coûts (économie), utilité pour l'homme (la société) et l'environnement (écologie).

Du point de vue économique, le passage au système décentralisé ne s'impose pas. Compte tenu du contexte, ce système coûterait sensiblement plus cher que le système actuel. De plus, pendant la période de transition, relativement longue, il faudrait assurer le fonctionnement parallèle des deux systèmes. Les principaux facteurs de coût dans le modèle décentralisé sont les installations du bâtiment, ainsi que les filtres membranaires assurant le traitement local des eaux grises. Quant aux transports, ils jouent un rôle secondaire en termes de coûts.

Les deux systèmes offrant un confort identique, on peut supposer que tous deux seraient bien acceptés par la population. Dans le système décentralisé, les «producteurs» d'eaux usées (les particuliers) deviendraient des acteurs, ce qui pourrait améliorer encore l'acceptation de ce système. Les aspects relevant de l'hygiène n'ont toutefois pas été pris en compte ici. Le système décentralisé comporte cependant un risque accru de contamination par des micro-organismes, pouvant grever la santé de l'homme et de l'environnement.

Le système décentralisé a le mérite de récupérer des nutriments tels que le phosphore. Dans le système actuel, l'eau sert à transporter les urines, les matières fécales, etc. (égouts). Si l'eau, voire le phosphore, deviennent des ressources rares, le système décentralisé décrit ici pourrait présenter des avantages: le phosphore, nutriment précieux, serait récupéré à partir des urines et l'eau ne serait plus gaspillée pour servir de moyen de transport. Reste cependant la question des besoins en énergie. Le projet les a certes évalués, mais force est de qualifier ces résultats d'incertains en raison du développement rapide de nouvelles technologies. Le système décentralisé respecte davantage l'environnement, car il occasionne moins d'émissions diffuses dans les eaux (fuites dans les canalisations, trop-pleins des déversoirs d'orage, etc.). Le poids de ces avantages dépend cependant pour beaucoup du bon fonctionnement des installations décentralisées d'épuration des eaux grises et de l'assurance de la qualité. Ce système doit aussi garantir l'évacuation et le traitement des eaux provenant de surfaces (rues, places, etc.), et une réutilisation partielle, après épuration, des eaux évacuées diminuerait en outre la consommation d'eau potable des agglomérations. Si l'on continue toutefois à dimensionner les réseaux d'eau potable pour répondre aux besoins maximaux en eau d'extinction, l'eau séjournerait plus longtemps dans les conduites (protection du réseau). Le système décentralisé ne traite par ailleurs le problème des micropolluants que dans le domaine de l'évacuation et du traitement des eaux urbaines. Il ne réduit en rien les autres apports de micropolluants dans les eaux, tels les rejets provenant de l'agriculture.

Résultats et conclusions:  
le système décentralisé n'offre que peu d'avantages économiques

Aspects sociaux

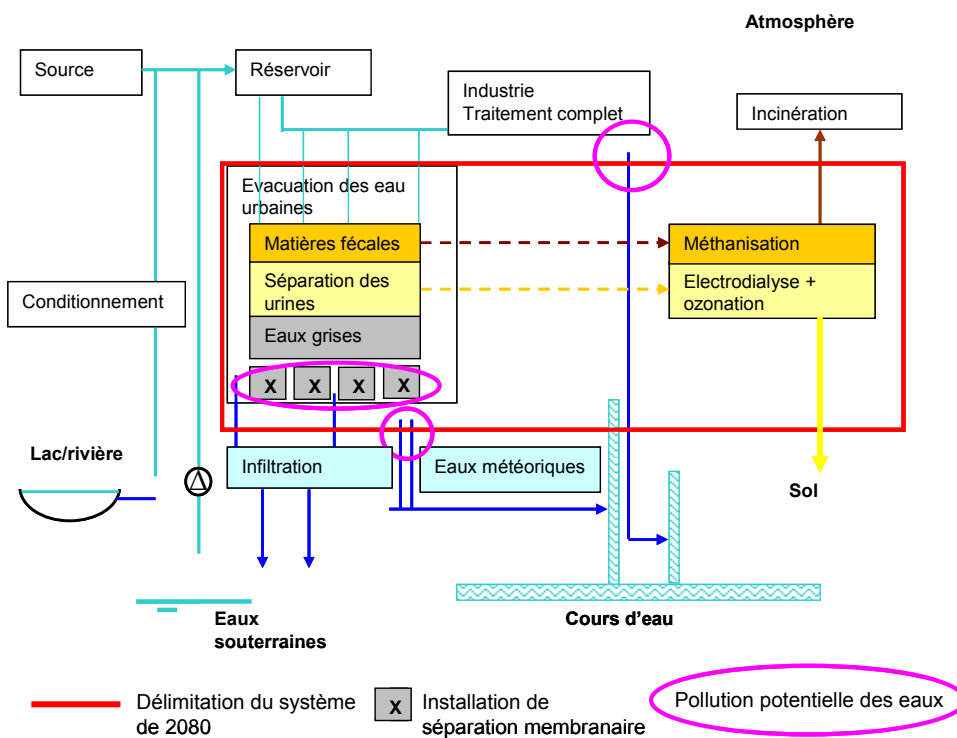
Aspects écologiques

Moyennant de nombreuses réserves, il apparaît possible de passer à un système décentralisé. Il faut toutefois prévoir une longue période de transition. L'acceptation de ce système dépend principalement de ses coûts, mais aussi du risque qu'il représente pour chacun (gestion des installations de traitement des eaux grises dans les maisons individuelles). De plus, il serait difficile de contrôler l'exploitation des installations décentralisées (pour ce qui est de l'efficacité, p. ex.): le mauvais fonctionnement de l'installation n'entraînerait aucun inconfort pour l'exploitant (contrairement à ce qui se produit pour le chauffage, p. ex.). Les nouvelles technologies mentionnées (conditionnement des urines, traitement des eaux grises, etc.) n'ont en outre pas encore été mises au point ni testées. Le système décentralisé est envisageable à petite échelle, pour des bâtiments sis à l'écart des zones urbanisées et pour de nouvelles constructions. On pourrait par exemple le tester dans des lotissements pilotes.

Evaluation et discussion:  
 faisabilité du système  
 décentralisé

**Fig. 15 > Système décentralisé d'assainissement**

*L'étude s'est limitée à l'évacuation et au traitement des eaux urbaines (rectangle rouge). Les détails sont décrits dans le texte.*



## 4.6 Nouveau modèle d'organisation

Outre les mesures techniques présentées aux chiffres 4.4 et 4.5, des mesures organisationnelles peuvent également réduire les apports de micropolluants dans les eaux. C'est ce type de mesures qui ont été examinées dans le projet ci-après.

### 4.6.1 Nouveau modèle d'organisation pour promouvoir une gestion durable des eaux usées en Suisse

Direction du projet: Olivier Chaix (Bonnard & Gardel)

Ce projet avait pour objectif de proposer des mesures organisationnelles (non techniques) afin d'améliorer les structures du système d'assainissement en Suisse<sup>[71]</sup>. De telles mesures doivent servir à appliquer la législation sur la protection des eaux avec davantage d'efficacité, leur évaluation se fondant sur l'état actuel de l'assainissement en Suisse<sup>[68]</sup>. Certains cantons (Aarau, Zurich et Vaud, p. ex.) possèdent une grande densité de petites STEP, alors que d'autres cantons (Berne, Genève et Glaris, p. ex.) se sont dotés d'un nombre limité de grandes STEP. Dans le cas des petites STEP, les conditions de dilution sont souvent défavorables, autrement dit le volume de l'effluent de la STEP est très grand par rapport au volume d'eau charrié par le cours d'eau récepteur.

Voici les défis actuels en matière d'assainissement: maîtrise des coûts, optimisation technique du système et contrôle d'exploitation. Quant aux défis futurs, ils comprennent les micropolluants, les changements climatiques et le développement de nouvelles technologies. Le réchauffement du climat pourrait à l'avenir réduire localement les quantités d'eau à disposition. Il importe donc d'organiser différemment les bassins versants, car il se pourrait que l'eau vienne à manquer pour assurer le bon fonctionnement du réseau d'égouts. Les techniques de l'assainissement ne cessant d'évoluer, on peut en principe envisager un passage progressif vers des mesures décentralisées. Pour éviter des coûts excessifs et des atteintes à l'environnement, ces mesures doivent être planifiées, mises en œuvres et vérifiées avec soin.

Les principaux déficits du système actuel d'assainissement en Suisse apparaissent au niveau communal. Les communes petites et moyennes dotées de petites STEP doivent professionnaliser leur système, car elles ne disposent par exemple que rarement de personnel qualifié. Elles ne parviendront pas à relever les défis actuels et futurs par leurs propres moyens. L'une des solutions passe par le regroupement de petites STEP en entités plus grandes; une solution dont l'efficacité a été confirmée dans des pays voisins.

Le projet propose trois mesures qui peuvent être combinées:

Méthodologie et point de départ

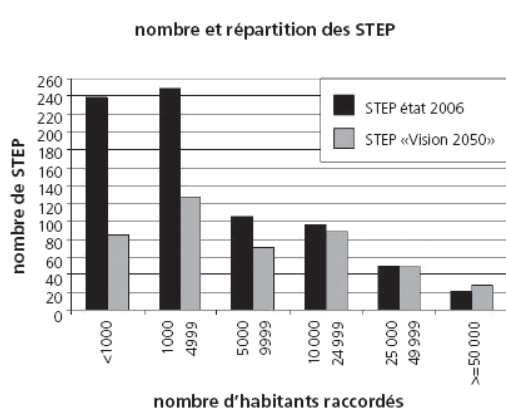
Résultats: défis actuels et futurs dans le domaine de l'assainissement

Le problème du morcellement

Mesures organisationnelles

- > *Regroupement des zones de collecte des STEP (Vision 2050)*: la solution consiste à regrouper les zones de collecte des STEP, de manière à obtenir davantage de grandes STEP et moins de petites STEP (fig. 16). Il s'agit notamment de réduire de plus de moitié le nombre des STEP de moins de 5000 équivalents-habitants. Selon les auteurs de l'étude, cette mesure parviendrait à elle seule à diminuer les concentrations de micropolluants dans les eaux. Voici comment: les STEP plus grandes assurent un meilleur rendement d'épuration et elles sont le plus souvent implantées sur un cours d'eau récepteur relativement grand, de sorte que leur effluent est mieux dilué.
- > *Rationalisation et régionalisation de l'organisation et des infrastructures*: une entité active dans le domaine de l'assainissement doit présenter une certaine taille pour être efficace. Les auteurs prévoient par exemple la forme d'une Sàrl ou d'une SA, qui doit être suffisamment grande pour se doter d'une équipe complète de professionnels qualifiés, capables d'exécuter toutes les tâches requises.
- > *Professionnalisation par la mise en place d'équipes spécialisées*: les auteurs proposent une structure organisationnelle et une taille optimale pour les équipes de professionnels. Il faudrait par exemple nommer un responsable régional de l'assainissement, des chefs d'exploitation de la ou des STEP, des responsables des réseaux d'égouts, etc. La taille critique d'une zone de collecte où une telle équipe serait opérationnelle avoisine 25 000 habitants.

Fig. 16 > Répartition des habitants entre les zones de collecte des STEP – en 2006 (en noir) et selon la Vision 2050



On peut en principe distinguer deux stratégies pour mettre en œuvre les mesures proposées. Il y a d'une part l'approche *top-down*, selon laquelle la Confédération et les cantons lancent le mouvement, par exemple en édictant des bases légales. Il est d'autre part possible d'envisager une démarche *bottom-up*, partant directement des communes et des régions concernées. La mise en œuvre des mesures devrait conjuguer ces deux stratégies.

Mise en œuvre

---

Il est possible d'accroître l'efficacité de l'actuel système d'assainissement suisse (maîtrise des coûts et élimination des micropolluants) en prenant des mesures organisationnelles. Ces mesures peuvent par exemple consister à regrouper des petites communes et à mettre en place une gestion plus efficace des bassins versants. La mise en œuvre des mesures proposées exige toutefois des cantons qu'ils se dotent d'une stratégie claire en la matière et que les communes soient prêtes à appliquer les réformes requises.

Conclusions: mesures organisationnelles

Les résultats de ce projet mettent au jour une dimension supplémentaire des actions qu'il est possible d'entreprendre pour résoudre le problème des micropolluants. La réforme organisationnelle du système d'assainissement permet en effet de réduire la charge de micropolluants, sans qu'il soit nécessaire de recourir à de nouvelles technologies d'épuration. De plus, les mesures proposées sont relativement simples et applicables avec les moyens disponibles. Le nouveau modèle d'organisation est avantageux à double titre, puisqu'il permet non seulement de s'attaquer au problème des micropolluants, mais aussi de réduire les coûts, d'où son grand attrait.

Evaluation et discussion: les mesures organisationnelles peuvent réduire la charge de micropolluants et économiser des frais

## 5 > Conclusions

---

### 5.1 Etat actuel de l'environnement

Un grand nombre de produits chimiques sont utilisés dans les domaines les plus variés et parviennent par diverses voies d'apport dans les eaux suisses. On retrouve les substances qui les composent sous forme de micropolluants dans les ruisseaux, les rivières, les lacs, les eaux souterraines et même dans l'eau potable. Il n'existe cependant pas de relevé systématique permettant de savoir de quelles substances il s'agit et en quelles quantités elles sont présentes.

Les micropolluants sont omniprésents

Les méthodes de mesure ne cessant de s'améliorer, il sera possible de détecter beaucoup plus de ces substances dans les eaux. De plus, le vieillissement de la population et l'accroissement des exigences en matière d'hygiène augmenteront à coup sûr la consommation de médicaments et de produits hygiéniques. Le nombre des composants dans les produits chimiques va par ailleurs se multiplier et de nouveaux groupes de substances, telles les nanoparticules, vont poser un défi supplémentaire. Or les mesures visant à réduire la charge de micropolluants doivent également tenir compte de ces évolutions futures.

On décèle sans cesse de nouvelles substances

Bien que l'on ait jusqu'ici mesuré un nombre relativement faible de substances dans nos eaux et que seuls de rares effets sur les organismes aquatiques soient connus, le principe de précaution nous oblige à agir afin de réduire la charge polluante présente dans les eaux. Nous devons commencer par nous efforcer de réduire les rejets de micropolluants dans les cours d'eau charriant une forte proportion d'eaux épurées, ainsi que dans les eaux destinées à alimenter le réseau d'eau potable ou s'infiltrant dans des nappes souterraines exploitées.

Restreindre l'utilisation des micropolluants à titre préventif

### 5.2 Actions envisageables

Il est possible d'intervenir à différents niveaux pour réduire la charge de micropolluants dans les eaux. Voici les quatre grandes catégories d'interventions que l'on peut distinguer:

#### 1. Mesures à la source

Ces mesures (interdictions, restrictions, exigences minimales, systèmes incitatifs, optimisation de l'utilisation et sensibilisation des consommateurs) peuvent réduire la quantité et le nombre des substances problématiques mises sur le marché.

#### 2. Mesures techniques centralisées

Appliquées au niveau des STEP, ces mesures (amélioration du taux de dégradation grâce à une étape de traitement supplémentaire, augmentation du volume de rétention

dans le réseau d'égouts par la construction de bassins d'eaux pluviales dimensionnés avec plus de générosité) peuvent réduire l'apport de substances dans les eaux.

### 3. Mesures techniques décentralisées

Ces mesures peuvent par exemple consister à équiper chaque bâtiment de son propre système d'épuration des eaux usées, de sorte qu'un réseau d'évacuation des eaux urbaines deviendrait inutile ou ne servirait qu'à transporter des eaux traitées. Il est aussi possible d'appliquer des mesures techniques décentralisées, telle la séparation des urines, dans le cas de gros émetteurs (hôpitaux, homes médicalisés).

### 4. Mesures organisationnelles

Appliquées seules, ces mesures (professionnalisation de l'assainissement ou regroupement des zones de collecte de STEP, p. ex.) ne suffisent pas à résoudre le problème des micropolluants. Elles ont toutefois le mérite de contribuer largement à la résolution de problèmes locaux et de réduire les coûts.

Ces différentes options sont détaillées ci-après.

## 5.2.1 Mesures à la source

Dans le cas de nombreux produits, on peut s'attaquer à la cause même du problème des micropolluants, c'est-à-dire intervenir au stade de la conception et de l'utilisation du produit, en tenant compte de tout le cycle de vie des composés chimiques.

Réduction ciblée des substances problématiques

A cet effet, on peut par exemple recourir à des mesures législatives, comme celle consistant à interdire ou à restreindre l'emploi de produits chimiques particulièrement dommageables pour l'environnement. En Suisse, cette solution est concrétisée par l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques<sup>[11]</sup>, qui limite en particulier le recours à des substances nocives, comme les éthoxylates de nonylphénol. Il est par ailleurs possible de fixer des exigences minimales, concernant notamment la dégradabilité des substances. C'est ce que fait le règlement de l'Union européenne sur les détergents<sup>[72]</sup>, qui exige que tous les tensioactifs (substances actives de lavage) se dégradent aisément. Restreindre l'emploi de certains produits incontournables (tels d'importants médicaments) s'avère toutefois difficile: il faut dès lors intervenir au cas par cas sur la base d'une évaluation du rapport coûts/utilité.

Instruments légaux

Les systèmes incitatifs constituent un autre instrument pour favoriser le développement de produits moins nocifs. Ils comprennent entre autres les taxes incitatives (comme celle sur les composés organiques volatiles [COV]) ou les écolabels<sup>[17]</sup>.

Systèmes incitatifs

Une entreprise plus difficile et au succès incertain consiste à changer les habitudes des consommateurs. Ses moyens comprennent les campagnes ciblées auprès du public, les informations destinées aux utilisateurs, les systèmes de consigne et l'adaptation des filières d'élimination.

Comportement des consommateurs

L'effet combiné de ces divers instruments devrait inciter les fabricants à agir au niveau de la conception des produits: premièrement, à remplacer les substances dangereuses pour l'environnement par des substances moins nocives et plus facilement dégradables

Conception des produits

et, deuxièmement, à concevoir des produits mieux adaptés à leur usage et contenant de plus faibles quantités de substances organiques de synthèse (p. ex. des machines à laver le linge utilisant peu de détergent ou des systèmes de dosage intelligents).

La mise en œuvre de ces diverses mesures passe par une collaboration interdisciplinaire et internationale<sup>[17]</sup>.

### 5.2.2 Approche centralisée (en bout de chaîne)

L'approche centralisée appliquée «en bout de chaîne» désigne les mesures visant à améliorer l'élimination des micropolluants à la STEP. La majeure partie des micropolluants parvenant dans les eaux par le biais des réseaux d'assainissement, les STEP jouent en effet un rôle primordial.

Les STEP jouent un rôle clé pour l'élimination de nombreux micropolluants

Selon leur utilisation, beaucoup de produits difficilement dégradables sont déversés en permanence dans les eaux usées et transitent par les STEP sans avoir subi une dégradation complète. Une amélioration des taux de dégradation dans les STEP contribuera dès lors à réduire les rejets de nombreux micropolluants. L'optimisation du rendement d'épuration au niveau du traitement biologique (en augmentant p. ex. l'âge des boues dans les stations où il est relativement bas) permet de diminuer les émissions d'importants micropolluants relativement bien biodégradables, comme les hormones. Pour parvenir cependant à éliminer la majeure partie des micropolluants, il est indispensable d'équiper les STEP d'une étape de traitement supplémentaire, telles l'ozonation ou l'adsorption sur charbon actif. Des tests en laboratoire et des essais pilotes ont en effet prouvé que ces deux procédés sont en principe à même d'éliminer la plupart des substances présentes dans les eaux usées<sup>[73]</sup>. Il convient de les tester à grande échelle afin d'évaluer leur efficacité, leur application dans la pratique, leur compatibilité avec l'environnement ainsi que leurs coûts. C'est à cette tâche que l'OFEV s'est attelé dans le cadre du projet «Micropolluants dans les eaux», puisque l'office vérifie l'applicabilité de procédés d'épuration plus poussés (ozonation et traitement au charbon actif notamment) en situation réelle.

L'un des points faibles des systèmes actuels d'assainissement (principalement des réseaux unitaires) réside dans le déversement d'eaux usées dans le milieu ambiant en cas de fortes précipitations. Or les mesures techniques décrites ci-dessus ne réduisent en rien ces émissions. Il importe donc de prendre des mesures techniques appropriées afin de diminuer autant que possible ces émissions résiduelles. Selon les estimations, les déversoirs d'orage rejettent 2,5 % des eaux brutes directement dans les eaux en cas de précipitations<sup>[17]</sup>. Des défauts d'étanchéité sont sans doute à l'origine de déversements moins volumineux, mais permanents, d'eaux usées non traitées vers les eaux souterraines et dans les cours d'eau. Par de telles fuites, même des produits chimiques, d'ordinaire très bien éliminés par les STEP communales, parviennent dans les eaux<sup>[7]</sup>. On peut réduire ces apports en augmentant le volume de rétention (bassins d'eaux pluviales) et en réparant les conduites d'eaux usées.

A moyen terme, il est possible d'optimiser le système d'assainissement en intervenant au niveau des STEP au rythme de leur renouvellement normal. La durée de vie moyenne de l'équipement d'une STEP se situe entre 20 et 30 ans environ; elle est donc nettement plus courte que celle des canalisations, qui avoisine 80 ans<sup>[7]</sup>.

Les mesures centralisées décrites ci-dessus ne tiennent pas compte de quelques aspects importants qui relèvent de la préservation des ressources (récupération de nutriments, consommation d'énergie). La réduction de la charge de micropolluants dans les eaux contribue à préserver la ressource eau, mais implique cependant une hausse de la consommation énergétique (pour faire fonctionner l'étape de traitement supplémentaire). Dans un souci de durabilité, il conviendrait d'examiner les moyens de préserver d'autres ressources encore, tels les nutriments.

### 5.2.3 Approche décentralisée

A titre d'alternative aux mesures centralisées à appliquer à la STEP, il est possible de prendre des mesures décentralisées. Les projets décrits au chiffre 4.5 ont exploré deux approches différentes des mesures techniques décentralisées au niveau du système d'assainissement:

- > Un modèle d'assainissement entièrement nouveau: «chaque maison possède sa propre STEP».
- > Des mesures techniques appliquées chez les principaux émetteurs pour réduire les émissions.

La première option consiste à revoir de fond en comble le fonctionnement de l'assainissement en Suisse. Les émissions seraient traitées directement à la source à l'aide de technologies appropriées. Epurées sur place, les eaux usées devraient être infiltrées ou déversées dans un cours d'eau superficiel. Ce modèle abandonne le principe de l'évacuation des eaux usées domestiques par le biais d'un réseau d'égouts. Du point de vue écologique, cette mesure – à savoir la mise en place d'un nouveau système entièrement décentralisé – a le mérite d'améliorer la préservation des ressources (récupération de nutriments contenus dans les eaux usées). Le passage du système actuel au nouveau modèle passe cependant par l'équipement de tous les ménages et exige donc beaucoup de temps. En d'autres termes, il faudrait continuer à exploiter le système actuel jusqu'à ce que le système décentralisé soit parfaitement opérationnel. Or un passage aussi progressif occasionnerait à coup sûr des coûts très élevés. De plus, les procédés techniques nécessaires à l'épuration et à l'élimination décentralisés des eaux ne sont pas encore au point. La sécurité du fonctionnement des installations (disponibilité, hygiène, accidents, logistique) et les moyens de la garantir, de même que les questions concernant la responsabilité de l'exploitation et de l'entretien peuvent en outre constituer de sérieuses pierres d'achoppement. Au vu des inconvénients énumérés ci-dessus, un tel modèle aurait probablement de la peine à passer la rampe au niveau politique. Enfin, il faudrait également régler l'évacuation des eaux des routes et des places. A l'heure actuelle, des systèmes décentralisés ne sont donc que des solu-

Deux approches de portée différente

Nouveau modèle:  
conditionnement des eaux usées dans chaque maison

tions parmi d'autres pour des lotissements isolés, dépourvus des infrastructures appropriées, et dans le cas de nouvelles constructions.

La seconde option consiste à prendre des mesures techniques ciblées (séparation et élimination directe d'eaux usées fortement chargées, prétraitement spécifique, etc.) destinées à réduire le flux polluant au niveau des gros émetteurs, afin de décharger les STEP et les eaux. Des mesures décentralisées chez les principaux émetteurs sont judicieuses si une ou plusieurs sources ponctuelles sont responsables d'une grande partie du flux total de micropolluants dans le bassin versant considéré (rejets de principes actifs de médicaments dans les eaux usées d'hôpitaux ou de homes médicalisés, p. ex.). Une telle situation peut se présenter dans le cas d'émetteurs sis dans des régions périphériques et dépourvues de l'infrastructure appropriée. Les technologies assurant le traitement décentralisé des eaux usées ne sont toutefois pas encore au point et devraient faire l'objet d'une évaluation approfondie. La séparation des urines permet notamment de collecter séparément les substances que le corps humain évacue par les voies urinaires et de les éliminer. Il est par ailleurs possible, après concentration, de récupérer les nutriments contenus dans les urines.

Mesures locales au niveau des gros émetteurs

#### 5.2.4 Mesures organisationnelles

L'idée d'optimiser l'assainissement en prenant des mesures organisationnelles au niveau de la zone de collecte des eaux usées n'est pas nouvelle. La STEP de Thoue traite ainsi les eaux usées de nombreuses communes situées dans le bassin versant du lac de Thoue. Regrouper des petites stations peu efficaces au profit de grandes stations dotées d'un équipement moderne et exploitées de manière optimale, ne peut avoir que des effets bénéfiques. Selon la situation géographique, un tel changement améliore aussi les conditions de déversement des eaux traitées, puisque les grandes STEP rejettent le plus souvent leur effluent dans un milieu récepteur relativement grand, qui en garantit une meilleure dilution. Diminuer le nombre de STEP en optant pour des stations plus grandes et dès lors plus efficaces revient aussi à étendre les zones de collecte des stations. Or cette extension offre l'occasion de recourir à de nouveaux modèles d'organisation, au sein desquels l'exploitation et l'entretien des installations seraient confiés à des équipes professionnelles formées de spécialistes. Dans l'ensemble, on suppose que les mesures organisationnelles permettraient de réaliser des économies substantielles à long terme tout en améliorant l'efficacité du système.

Mesures organisationnelles

#### 5.3 Effets escomptés en terme d'efficacité et d'efficience

Les diverses actions envisageables sont susceptibles de produire des effets différents et de portée variable sur la charge de polluants dans les eaux (tab. 7).

**Tab. 7 > Mesures destinées à réduire la charge de micropolluants dans les eaux et effets escomptés**

Mesure	Effet escompté
<b>Réglementation et information</b>	
Information destinée aux fabricants et aux utilisateurs	Réduction des émissions, liée toutefois à un changement d'habitudes chez les consommateurs; effet limité à un petit nombre de substances et d'applications
Prescriptions régissant la fabrication et l'utilisation de substances et de produits	Possibilité de réduire à moyen terme les émissions d'un nombre limité de substances
Restrictions d'utilisation ou interdiction de substances particulièrement dangereuses pour l'environnement	Mesures appropriées pour réduire, voire supprimer complètement, les émissions de substances isolées
<b>Mesures centralisées</b>	
Mesures au niveau des STEP (ozonation, traitement au charbon actif, p. ex.)	Possibilité d'éliminer un grand nombre des substances rejetées avec les eaux usées
<b>Mesures décentralisées</b>	
Mesures au niveau des principaux émetteurs	Mesures appropriées pour réduire les émissions de certaines substances ou certains groupes de substances
Passage du système actuel, avec traitement centralisé des eaux usées, à un système entièrement décentralisé	Possibilité d'éliminer un grand nombre de substances qui parviennent aujourd'hui dans les eaux par le biais des eaux usées, mais mesures réalisables à long terme seulement
<b>Mesures organisationnelles</b>	
Optimisation de la gestion du système d'assainissement	Meilleure élimination des substances dégradables

Dans certains cas, des mesures à la source (mesures décentralisées), comme la séparation des urines ou des eaux usées d'hôpitaux, pourraient être mises en œuvre à moyen terme, tandis qu'un changement en profondeur de tout le système d'assainissement n'est réalisable qu'à long terme. Impliquant d'importantes modifications au niveau des ouvrages, voire une restructuration en profondeur, de telles mesures ne peuvent donc, dans un premier temps, que venir compléter les mesures au niveau des STEP. Le passage à un système décentralisé pourrait tout au plus être envisagé à long terme. La Commission internationale pour la protection du Rhin a également conclu que, parmi les mesures destinées à réduire les micropolluants, celles prises en bout de chaîne sont sans doute les plus efficaces<sup>[17]</sup>.

Le tableau 8 donne un aperçu de quelques-unes des mesures envisagées pour réduire les micropolluants dans les eaux, ainsi que des groupes de substances dont ces mesures devraient diminuer les émissions. Relevons cependant qu'une intervention n'aura pas toujours un effet sur tous les représentants du groupe de produits indiqué. L'ozonation ne parvient par exemple guère à dégrader les contrastants utilisés en radiologie. Dans leur cas, il faudrait envisager une collecte et un traitement séparés (récipients à urines, p. ex.) ou réduire leurs émissions par des mesures au stade de leur utilisation. D'autres substances, tels les médicaments vétérinaires ou les produits phytosanitaires, étant essentiellement appliquées dans l'agriculture, seule une petite partie en parvient dans les eaux en transitant par les STEP. De même, les STEP éliminent très bien certains

Effets des mesures sur certains groupes de substances

biocides (les CAQ, p. ex.) des eaux usées, de sorte que leur présence dans l'environnement est principalement due à d'autres voies de rejet (comme l'actionnement des déversoirs d'orage). Des mesures visant à améliorer l'efficacité des stations d'épuration n'auront dès lors qu'un effet minime sur la charge de ces substances dans les eaux. Là encore, d'autres mesures s'imposent, comme des prescriptions ou des restrictions d'utilisation.

**Tab. 8 > Efficacité escomptée des mesures à réduire les émissions de certains groupes de substances**

«+»: la mesure envisagée réduit les émissions de certaines substances du groupe considéré.

«++»: la mesure envisagée réduit les émissions de nombreuses substances du groupe considéré.

Groupe de substances	Mesures au niveau de la réglementation		Mesures centralisées (STEP)		Mesures décentralisées		Mesures organisationnelles
	Mesures législatives (p. ex. interdiction de certaines substances)	Mesures éducatives (p. ex. restrictions d'utilisation)	Ozonation	Traitement au charbon actif	Nouveau système décentralisé d'assainissement	Mesures ciblées visant les gros émetteurs	Regroupement de petites STEP
Principales voies d'apport	Egouts et sources diffuses	Egouts et sources diffuses	Egouts	Egouts	Ménages	Hôpitaux et égouts, p. ex.	Egouts
Remarque	Certaines substances, telles les substances très persistantes et très toxiques	Certaines substances ou groupes de substances	Grand nombre de substances différentes	Grand nombre de substances différentes	Grand nombre de substances différentes	Certaines substances ou groupes de substances	On s'attend à une meilleure élimination de certaines substances dégradables

Groupe de substances

Médicaments (médecine humaine)	+	+	++	++	++	+	+
Hormones			++	++	++		+
Produits de soins corporels	+	+	++	++	++		+
Détergents	+	+	++	++	++		+
Produits chimiques industriels	+	+	++	++	++		+
Biocides	+	+	++	++	++		+
Produits phytosanitaires	+	+					
Médicaments vétérinaires	+	+					

Les micropolluants qui parviennent dans les eaux ont des effets nuisibles sur les plantes et les animaux aquatiques, ainsi que sur la qualité des ressources en eau potable des lacs et des nappes souterraines. Le caractère nocif de ces substances a été clairement établi: des perturbateurs endocriniens entraînent par exemple une féminisation de poissons mâles, des principes actifs de médicaments provoquent des lésions chez des poissons et des petits crustacés. De plus, le manque actuel de connaissances sur des centaines, voire des milliers, de micropolluants présents dans nos eaux constitue en soi une bonne raison d'agir. Pour l'heure, l'eau potable fournie à la population ne comporte aucun risque, mais le principe de précaution exige que des mesures soient prises pour protéger les consommateurs.

Légiférer et informer ne suffit pas

La présence de micropolluants dans les eaux suisses révèle que les prescriptions actuelles, notamment la législation sur les produits chimiques et l'ordonnance sur la protection des eaux, comportent des lacunes et ne peuvent guère que régir l'utilisation de certaines substances ou groupes de substances. Des mesures «éducatives», comme les systèmes de consigne, l'information des consommateurs et l'adaptation des filières d'élimination, peuvent contribuer à réduire les émissions. Un travail ciblé de relations publiques devrait aussi être entrepris pour sensibiliser tant l'industrie que les consommateurs au problème des micropolluants, et améliorer ainsi l'accueil qu'ils réserveront à d'autres mesures.

Le moment est propice pour prendre des mesures complémentaires au niveau des systèmes d'assainissement, car les installations devront être renouvelées bientôt. Or les coûts d'entretien et de renouvellement des systèmes actuels sont considérables. Dans un souci de rationalisation, la planification de ces renouvellements pourrait dès lors inclure des mesures destinées à réduire les micropolluants. Il est donc temps d'examiner quelles mesures techniques permettront d'optimiser le système actuel. Les procédés envisagés devraient présenter les caractéristiques suivantes:

Le moment est propice pour agir

- > action «à large spectre», pour éliminer le plus grand nombre possible de micropolluants,
- > compatibilité avec les procédés en place,
- > agrandissement aisé des infrastructures existantes,
- > rapport coût/utilité acceptable.

Equiper les STEP existantes d'une étape de traitement supplémentaire (ozonation ou traitement au charbon actif, p. ex.) permettrait d'éliminer une grande partie des micropolluants. La sélection des STEP à doter de cet équipement supplémentaire doit par ailleurs tenir compte des points suivants:

- > *Responsabilité de la Suisse en tant que riverain amont et diminution des flux polluants déversés dans la mer (réduction des flux)*  
L'équipement des plus grandes STEP suisses diminuera nettement le flux total de micropolluants qui se déversent dans les grands cours d'eau frontière.
- > *Amélioration de la qualité de l'eau dans les rivières polluées*  
L'équipement de STEP qui déversent leur effluent dans un milieu récepteur n'assurant pas une dilution suffisante des eaux traitées améliorera sensiblement la qualité de l'eau.
- > *Protection des ressources en eau potable*  
Dans nombre de régions de Suisse, eaux superficielles et eaux souterraines sont exploitées sans subir de conditionnement complexe pour servir d'eau potable. L'équipement de STEP rejetant leur effluent dans des eaux exploitées pour alimenter le réseau d'eau potable (lacs avec d'importants captages d'eau potable, rivières dont l'eau s'infiltre dans les nappes d'eaux souterraines à proximité de captages d'eau potable) améliorera et contribuera à garantir la qualité de l'eau potable.

Nous supposons qu'il faudra adapter l'équipement d'une centaine de STEP de plus de 10 000 équivalents-habitants pour atteindre les objectifs fixés, à savoir réduire le flux

polluant et préserver la qualité de l'eau. Ces mesures visent exclusivement les STEP les plus grandes, les STEP rejetant leur effluent dans un milieu récepteur qui n'en assure pas une dilution suffisante et les STEP déversant leur effluent dans des cours d'eau alimentant directement ou indirectement le réseau d'eau potable. Selon les estimations, les coûts d'investissements nécessaires se monteront à 1,2 milliard de francs et les travaux envisagés augmenteront de 6 % environ les coûts annuels de fonctionnement de l'assainissement en Suisse. Les coûts supplémentaires à prévoir pour l'épuration des eaux usées (investissements et exploitation, y compris une étape de filtration) dans les stations existantes resteraient relativement modestes: ils se situeront entre 5 et 10 % pour les grandes STEP et entre 15 et 25 % pour les STEP plus petites.

5.4

### Autres besoins d'intervention

Les résultats des projets de recherche financés par l'OFEV montrent que les micropolluants engendrent des besoins d'intervention dans maints autres domaines. Voici les principaux travaux à entreprendre:

- > Etablir une liste des micropolluants ayant un impact sur l'environnement et procéder à un relevé systématique de la charge de micropolluants en Suisse,
  - examiner les moyens de collecter les données existantes
  - mettre au point des tests biologiques pour évaluer la qualité de l'eau ou l'impact des micropolluants sur l'environnement
  - élaborer les méthodes d'analyse requises
- > Evaluer des mesures techniques et organisationnelles appropriées pour améliorer l'élimination des micropolluants
  - réaliser des essais à grande échelle appliquant des procédés comme l'ozonation ou le traitement au charbon actif
  - évaluer des procédés de traitement des eaux usées à la source (gros émetteurs),
  - inclure les critères de durabilité dans les évaluations
- > Informer les fabricants et les utilisateurs de produits chimiques sur le problème des micropolluants

Diverses méthodes ont été développées ces dernières années, afin d'évaluer les produits chimiques et déterminer leur impact en tant que micropolluants (méthodes de hiérarchisation; cf. ch. 4.2). Le principal problème auquel on s'est alors heurté résidait dans le manque d'informations, notamment de données sur les effets écotoxicologiques des substances, leur comportement dans le milieu ambiant et sur les quantités utilisées. Il importe dès lors de décider si les quantités des composés utilisés en Suisse doivent être consignées de manière systématique (dans un registre des produits chimiques, p. ex.). Il convient aussi d'examiner les éventuelles synergies à exploiter pour collecter les données requises dans le cadre du règlement de l'UE régissant les substances chimiques (REACH). Les procédés de hiérarchisation existants devraient servir à identifier les micropolluants qui ont un impact sur les eaux suisses et qui devraient ensuite être pris en compte dans les programmes d'observation des eaux. Les critères

Il reste du chemin à parcourir

Accroître la disponibilité des données

requis pour mettre en place un système standardisé d'évaluation devraient être définis d'entente avec l'UE.

Les méthodes actuelles ne sont pas à même de fournir une évaluation écotoxicologique exhaustive des eaux. Nous avons en effet besoin de méthodes plus sensibles, qui réagissent à la présence de micropolluants et permettent ainsi d'apprécier concrètement la charge polluante des eaux. Il faudra pouvoir intégrer ces méthodes dans les analyses de routine servant à observer et à évaluer la qualité des eaux, et à mesurer l'efficacité des STEP. (Elles devront donc être standardisées, acceptées et bon marché.) Ces prochaines années, on découvrira sans doute de nouveaux effets écotoxicologiques, dont il faudra également tenir compte. Il importe en outre d'inclure systématiquement les produits de transformation dans l'étude écotoxicologique (p. ex. dans la procédure d'autorisation) de substances biologiquement actives, tels les médicaments, les biocides et les produits phytosanitaires. Enfin, les données actuellement disponibles ne permettent guère d'évaluer l'impact des mélanges de micropolluants sur les organismes aquatiques. Dans ce domaine aussi, il importe de mener des études systématiques et d'élaborer des modèles, afin de mieux comprendre et de mieux prévoir les effets de ces mélanges.

Absence de tests biologiques suffisamment sensibles

L'analyse systématique des eaux suisses devrait être étendue aux micropolluants (p. ex. dans le cadre des réseaux d'observation de la Confédération et des cantons). Les données ainsi réunies serviront à évaluer le rôle de certains groupes de substances, tels les biocides, en tant que micropolluants, mais aussi à valider des modèles existants des flux de substances. Ces analyses devraient d'ailleurs englober les principaux produits de transformation. Pour assurer ce suivi à peu de frais, il faut disposer de méthodes analytiques, simples et efficaces, faciles à appliquer et à intégrer dans les relevés routiniers, et à même d'identifier un maximum de micropolluants nocifs. Outre les analyses chimiques, il importe de recourir aux méthodes écotoxicologiques décrites plus haut, afin d'obtenir une évaluation probante de la charge de micropolluants dans les eaux.

Observation des eaux

Dans le cadre du projet «Micropolluants dans les eaux», l'OFEV met au point, en collaboration avec divers services cantonaux spécialisés, des stations de recherche, des syndicats intercommunaux et l'industrie, les bases nécessaires pour évaluer les innovations techniques à apporter aux STEP. Ces travaux prennent la forme d'essais à grande échelle de procédés d'épuration supplémentaires (ozonation et traitement au charbon actif)<sup>[73]</sup>. L'évaluation des procédés consiste à déterminer la quantité de micropolluants qu'ils permettent d'éliminer, à surveiller l'écotoxicité dans les eaux traitées et à mesurer certains paramètres techniques et propres à l'exploitation. On élabore en outre des critères permettant de contrôler l'efficacité de procédés techniques et d'évaluer l'influence des mesures évoquées ci-dessus sur la qualité des eaux.

Mesures techniques déjà à l'essai

Les connaissances issues des travaux menés jusqu'ici devront servir à informer tous les acteurs qui interviennent dans le cycle de vie des produits chimiques et à les sensibiliser au «problème des micropolluants».

Besoin d'information

## > Index

### Abréviations

---

**CAQ (ou Quats)**

Composés d'ammonium quaternaire

**CIPAIS**

Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (commission internationale pour la protection des eaux italo-suissees)

**CIPEL**

Commission internationale pour la protection des eaux du lac Léman

**CIPR**

Commission internationale pour la protection du Rhin

**COD**

Carbone organique dissous

**CPE**

Concentration prévisible dans l'environnement

**EMEA**

Agence européenne des médicaments

**IGKB**

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (Commission internationale pour la protection du lac de Constance)

**LAWA**

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (groupe de travail de l'Etat fédéral et des Länder pour la protection de l'eau, Allemagne)

**MEC**

Concentration mesurée dans l'environnement (measured environmental concentration)

**NADUF**

Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (www.naduf.ch)

**OFEV**

Office fédéral de l'environnement

**OFSP**

Office fédéral de la santé publique

**OSPAR**

Commission pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (Convention OSPAR et Commission OSPAR)

**PCB**

Polychlorobiphényles

**PNEC**

Concentration prévisible sans effet (predicted no-effect concentration)

**REACH**

Registration, evaluation, authorisation and restrictions of chemicals (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques) – Règlement de l'Union européenne régissant les substances chimiques, entré en vigueur le 1<sup>er</sup> juin 2007

**STEP**

Station d'épuration des eaux usées

### Glossaire

---

**Adsorption**

Phénomène par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent à la surface de particules solides, tels les sédiments ou les boues.

**Androgènes**

Substances hormonales provoquant le développement des caractères sexuels mâles.

**Bioaccumulation**

Concentration dans un organisme d'une substance qui parvient dans cet organisme par absorption à partir du milieu ambiant (l'eau dans le cas des poissons) ou par ingestion.

**Coefficient de transfert**

Le coefficient de transfert indique le pourcentage d'une substance qui passe d'un compartiment environnemental à un autre. Dans le cas des médicaments, par exemple, il s'agit de la part de substance active absorbée qui est éliminée par le corps sans avoir subi de transformation et qui transite par le réseau de canalisations pour parvenir jusqu'à la STEP.

**Composés d'ammonium quaternaire**

Produits chimiques utilisés comme biocides ou tensioactifs.

**Ecomorphologie**

L'écomorphologie décrit la structure d'un cours d'eau et de ses zones riveraines du point de vue écologique. La grande variété et la diversité des éléments de cette structure jouent un rôle aussi décisif pour la valeur écologique d'un cours d'eau que la qualité chimique de ses eaux. Voici quelques exemples d'éléments structurants: banc de gravier, transition rapide entre tronçons à écoulement lent et à

écoulement rapide, végétation riveraine, connectivité (les barrages et les seuils entravant la migration des organismes aquatiques).

**Ecotoxicité**

Par écotoxicité, on entend les effets néfastes des substances chimiques sur les organismes vivants.

**Ecotoxicologie**

L'écotoxicologie est une science interdisciplinaire qui étudie l'impact des substances sur l'environnement.

**Œstrogènes**

Substances hormonales provoquant le développement des caractères sexuels femelles.

**Exposition**

Par exposition, on entend le fait pour un être humain ou l'environnement d'être exposé à une influence (tel le contact avec une substance chimique).

**Limite de détection**

La plus basse concentration dans un échantillon naturel à laquelle les méthodes actuelles permettent encore de déceler une substance (en anglais: LOD, limit of detection). La concentration minimale d'une substance qu'il est possible de déceler dans un échantillon d'eau dépend toutefois de la matrice du milieu (cours d'eau ou eaux usées), des étapes de préparation de l'échantillon et des procédés analytiques mis en œuvre.

**Limite de quantification**

La plus faible concentration dans un échantillon naturel à laquelle les méthodes actuelles permettent encore de quantifier une substance donnée de manière fiable (en anglais: LOQ, limit of quantification).

**Measured environmental concentration (MEC)**

Concentration mesurée dans l'environnement.

**Métabolite**

Voir produit de transformation.

**Persistance**

Capacité de certaines substances à perdurer dans l'environnement sans être altérées par des processus physiques, chimiques ou biologiques.

**Persistant**

Adjectif dérivé de persistance.

**Perturbateurs endocriniens (substances à effet hormonal)**

Une hormone est un messenger biochimique qui, circulant dans un organisme vivant, transmet des informations d'un organe ou d'un tissu à un autre et règle ainsi le fonctionnement des organes ou le métabolisme. Les substances à effet hormonal regroupent toutes les substances qui déploient un tel effet. Outre les hormones produites par l'organisme lui-même, on rencontre dans l'environnement des

substances qui ont, elles aussi mais par hasard, un effet endocrinien (certains adoucissants produits à partir de substances synthétiques ou des résidus de médicaments dans les eaux usées, p. ex.). Agissant de l'extérieur sur un organisme vivant, ces substances peuvent, même en concentrations infimes, perturber son développement ou son métabolisme.

**Predicted environmental concentration (PEC)**

Concentration prévisible dans l'environnement (CPE).

**Predicted no-effect concentration (PNEC)**

Concentration prévisible sans effet.

**Prioriser**

Arranger en ordre de priorité.

**Produit de transformation**

Un produit de transformation est un composé chimique qui apparaît lors du processus de transformation chimique et/ou biologique d'une substance de départ. Un produit de transformation peut être issu d'une réaction (conjugué) ou d'une dégradation. Le conjugué d'un composé résulte de la réaction avec une autre molécule (biologique, p. ex.). Si le produit de transformation est issu d'une transformation biologique (= métabolisation), on le nomme **métabolite**.

**Q<sub>347</sub>**

Débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé pendant 347 jours par année, dont la moyenne est calculée sur une période de dix ans et qui n'est pas influencé sensiblement par des retenues, des prélèvements ou des apports d'eau (cf. art. 4, let. h, loi sur la protection des eaux).

**Seuils de toxicité**

Un seuil de toxicité est l'effet spécifique ou non spécifique d'une substance sur un organisme, tels des troubles hormonaux ou la mort.

**Figures**

<b>Fig. 1</b>	Voies d'apport de micropolluants dans les eaux	37
<b>Fig. 2</b>	Exportations suisses d'eaux usées	43
<b>Fig. 3</b>	Application du modèle des flux à une substance donnée sur la base des quantités moyennes utilisées dans l'ensemble du pays	49
<b>Fig. 4</b>	Facteur de dilution pour les STEP suisses	51
<b>Fig. 5</b>	Carbamazépine et diclofénac dans les cours d'eau	53

<b>Fig. 6</b> Concentrations de carbamazépine (à gauche) et de diclofénac (à droite) – substance de base seule (en haut) et risque potentiel total y compris les métabolites (en bas)	54
--	----

<b>Fig. 7</b> Exploitation des valeurs de débit mesurées durant 20 ans dans l'Ergolz à la hauteur de Liestal	55
---	----

Durée théorique de dépassement de la valeur PNEC <sub>DCF</sub> dans 20 stations de mesure du débit	55
---	----

<b>Fig. 8</b> Hiérarchisation de biocides en Suisse	65
--	----

<b>Fig. 9</b> Taux d'élimination de médicaments anticancéreux (cytostatiques) par les voies urinaires	68
--	----

<b>Fig. 10</b> Persistance de seize produits phytosanitaires	71
---	----

<b>Fig. 11</b> Vue d'ensemble des tests biologiques	73
--	----

<b>Fig. 12</b> Test YES – test de l'activité hormonale	75
---	----

<b>Fig. 13</b> Zones de collecte des STEP suisses	78
--	----

<b>Fig. 14</b> Produits de contraste radiologique – comparaison des charges moyennes mesurées et des quantités utilisées à l'hôpital cantonal de Winterthour	81
---	----

<b>Fig. 15</b> Système décentralisé d'assainissement	84
---	----

<b>Fig. 16</b> Répartition des habitants entre les zones de collecte des STEP – en 2006 (en noir) et selon la Vision 2050	86
--	----

## Tableaux

<b>Tab. 1</b> Quelques valeurs tirées de la banque de données consacrée aux micropolluants organiques	46
--	----

<b>Tab. 2</b> Données initiales utilisées pour le diclofénac et la carbamazépine	52
---	----

<b>Tab. 3</b> Substances pour lesquelles le modèle est applicable	57
--	----

<b>Tab. 4</b> Diverses stratégies et leurs effets	59
--	----

<b>Tab. 5</b> Projets de recherche MicroPoll1	62
--	----

<b>Tab. 6</b> Comparaison des méthodes de hiérarchisation	63
--	----

<b>Tab. 7</b> Mesures destinées à réduire la charge de micropolluants dans les eaux et effets escomptés	93
--	----

<b>Tab. 8</b> Efficacité escomptée des mesures à réduire les émissions de certains groupes de substances	94
---	----

## Bibliographie

- [1] Müller S. 2007: Herausforderungen beim Management der Ressource Wasser und der Gewässer. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 11/2007: p. 829–830.
- [2] Müller E. 2007: Als die Bäche noch schäumten. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 9/2007: p. 717–719.
- [3] Hollender J. 2007: Mikroverunreinigungen – Vorkommen in Gewässern der Schweiz und Bewertung. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 11/2007: p. 843–852.
- [4] Aerni H.R., Kobler B., Rutishauser B.V., Wettstein F.E., Fischer R., Giger W., Hungerbühler A., Marazuela M.D., Peter A., Schonenberger R., Vogeli A.C., Suter M.J.F., Eggen R.I.L. 2004: Combined biological and chemical assessment of estrogenic activities in wastewater treatment plant effluents. Anal. Bioanal. Chem. 378: p. 688–696.
- [5] Kidd K.A., Blanchfield P.J., Mills K.H., Palace V.P., Evans R.E., Lazorchak J.M., Flick R.W. 2007: Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS). 104(21): p. 8897–8901.
- [6] Siegrist H. 2007: Mikroverunreinigungen – Technische Verfahren zur Elimination. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 11/2007: p. 861–867.
- [7] Schärer M. 2007: Mikroverunreinigungen – Erarbeitung einer Strategie. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 11/2007: p. 835–841.

- [8] Schluep M., Thomann M., Häner A., Gälli R. 2006: Organische Mikroverunreinigungen und Nährstoffe – Eine Standortbestimmung für die Siedlungswasserwirtschaft Schriftenreihe Umwelt. Office fédéral de l'environnement. Berne.
- [9] Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP): entrée en vigueur en Suisse le 17 mai 2004, état le 24 décembre 2007: 47 p.
- [10] Conseil de l'Union européenne: Directive du Conseil, du 27 juillet 1976, concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses (76/769/CEE). 2006: 202 p.
- [11] Conseil fédéral suisse: Ordonnance du 18 mai 2005 sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim; état le 1<sup>er</sup> mars 2008). 2008: 114 p.
- [12] Parlement européen 2007: Règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n° 793/93 du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission; 278 p.
- [13] Assemblée fédérale de la Confédération suisse 1991: Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux) (état le 1<sup>er</sup> janvier 2008): 32 p.
- [14] Conseil fédéral suisse 2008: Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux) (état le 1<sup>er</sup> janvier 2008): 60 p.
- [15] Conseil de l'Union européenne 2007: Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau et modifiant la directive 2006/60/CE. Conseil de l'Union européenne: 20 p.
- [16] Jahnel J., Neamtu M., Schudoma D., Frimmel F.H. 2006: Bestimmung von Umweltqualitätsnormen für potenziell gewässerrelevante Stoffe. Acta hydrochim. hydrobiol. 34: p. 389–397.
- [17] Commission internationale pour la protection du Rhin (CIPR) 2007: Mikroverunreinigungen aus der Siedlungswasserwirtschaft – Zusammenfassung der Ergebnisse des Workshops: 4 p.
- [18] Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG). Système modulaire gradué. A consulter à l'adresse: [www.modul-stufen-konzept.ch/f/index-f.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/f/index-f.htm).
- [19] Commission internationale pour la protection du Rhin (CIPR) 2007: Liste des substances Rhin 2007: 15 p. [www.iksr.org/index.php?id=190&L=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=266&no\\_cache=1&sword\\_list\[0\]=liste&sword\\_list\[1\]=de&sword\\_list\[2\]=substances](http://www.iksr.org/index.php?id=190&L=1&tx_ttnews[tt_news]=266&no_cache=1&sword_list[0]=liste&sword_list[1]=de&sword_list[2]=substances).
- [20] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 2007: Arzneimittel in der Umwelt – Stellungnahme. Berlin: 51 p. [www.umweltrat.de](http://www.umweltrat.de).
- [21] Brorström-Lundén E., Svenson A., Viktor T., Woldegiorgis A., Remberger M., Kaj L., Dye C., Bjerke A., Schlabach M. 2008: Measurements of Sucralose in the Swedish Screening Program 2007; PART I; Sucralose in surface waters and STP samples. Swedish Environmental Research Institute. Stockholm. 26 p. [www.naturvardsverket.se/upload/02\\_tillstandet\\_i\\_miljon/Milj%c3%b6gifter/sukralos\\_ivl\\_08.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/Milj%c3%b6gifter/sukralos_ivl_08.pdf).
- [22] Lubick N. 2008: Artificial sweetener persists in the environment. Science News, Environmental Science & Technology. 42(9): p. 3125–3126.
- [23] Gälli R., Braun C. 2008: Integrative Risk Assessment of Endocrine Disruptors in Switzerland. Chimia (mai 2008).
- [24] PNR50 – Perturbateurs endocriniens: Importance pour les êtres humains, les animaux et les écosystèmes. Voir à l'adresse [www.pnr50.ch/](http://www.pnr50.ch/).
- [25] Trachsel M. 2008: Plateforme de consensus «Perturbateurs endocriniens dans les eaux usées et dans le milieu aquatique. Programme national de recherche «Perturbateurs endocriniens». Bâle: 15 p.
- [26] Suter M.J.F., Holm P. 2004: Sur la trace du déclin piscicole. EAWAG, OFEFP, cantons, SSIC, FSPP, FIWI, Université de Bâle. [www.fischnetz.ch](http://www.fischnetz.ch).
- [27] Office fédéral de l'environnement (OFEV). Surveillance nationale continue des cours d'eau suisses (NADUF). Voir à l'adresse: [www.naduf.ch](http://www.naduf.ch).
- [28] Bürgi D., Giger W., Knechtenhofer L., Meier I. 2007: Biozide als Mikroverunreinigungen in Abwasser und Gewässern – Teilprojekt 1: Priorisierung von bioziden Wirkstoffen. FRIEDLIPARTNER AG. Zurich. p. 189.
- [29] Ort C., Siegrist H., Hosbach H., Morf L., Scheringer M., Studer C. 2007: Mikroverunreinigungen – Nationales Stoffflussmodell. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 11/2007: p. 853–859.

- [30] Herlyn A., Maurer M. 2007: Status quo der Schweizer Abwasserentsorgung – Kosten, Zustand und Investitionsbedarf. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 3/2007: p. 171–176.
- [31] Lienert J., Güdel K., Escher B. 2007: Screening Method for Ecotoxicological Hazard Assessment of 42 Pharmaceuticals Considering Human Metabolism and Excretory Routes. *Environmental Science & Technology*. 41(12): p. 4471–4478.
- [32] Ternes T., Joss A. 2006: Human Pharmaceuticals, Hormones and Fragrances: The challenge of micropollutants in urban water management, IWA Publishing.
- [33] Staub E., Blardone M., Droz M., Hertig A., Meier E., Soller E., Steiner P., Zulliger D. 2003: Angelfang, Forellenbestand und Einflussgrößen: Regionalisierte Auswertung mittels GIS. Publication du projet Fischnetz OFEFP/EAWAG Dübendorf. (Projet 02/03)
- [34] Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2008: Fließzeiten in Schweizer Flüssen (Abschätzung, interner Bericht). Berne.
- [35] Buser H.R., Poiger T., Müller M.D. 1998: Occurrence and fate of the pharmaceutical drug diclofenac in surface waters: Rapid photodegradation in a lake. *Environmental Science & Technology*, 32(22): p. 3449–3456.
- [36] Giger W., Schaffner C., Kohler H.P.E. 2006: Benzotriazole and tolyltriazole as aquatic contaminants. 1. Input and occurrence in rivers and lakes. *Environmental Science & Technology*, 40(23): p. 7186–7192.
- [37] IMS Health GmbH 2005: Verkaufszahlen zu Pharmawirkstoffen.
- [38] Ort C., Siegrist H., Hollender J.: Model-Based Evaluation of Reduction Strategies for Micropollutants from Wastewater Treatment Plants in Complex River Networks. *Environmental Science & Technology*, 43(9): p. 3214–3220.
- [39] Commission européenne 2006: Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau et modifiant la directive 2006/60/CE.
- [40] Communauté de travail internationale des services d'eau du bassin rhénan (IAWR) 2003: IAWR – Rhein – Memorandum 2003. D-50823 Köln. [www.iawr.org](http://www.iawr.org).
- [41] Umweltbundesamt 2003: Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*. 46(3): p. 249–251.
- [42] Chèvre N., Loepfe C., Fenner K., Singer H., Escher B.J., Stamm C. 2006: Pestizide in Schweizer Oberflächengewässern – Wirkungsbasierte Qualitätskriterien. GWA (Gaz, eaux, eaux usées) 4/2006, p. 297–307.
- [43] Escher B., Vermeirssen E. 2008: Mikroverunreinigungen in Schweizerischen Fließgewässern. Konzepte zur Beurteilung von Mischungen und Einbezug von Mischungen in die Ableitung von toxikologisch begründeten Qualitätskriterien für östrogenartig wirkende Stoffe. Rapport établi à l'attention de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), Stratégie MicroPoll, Eawag, Dübendorf, Suisse.
- [44] Commission internationale pour la protection du Rhin (CIPR): Ableitung von Umweltqualitätsnormen für die Rhein-relevanten Stoffe. Squa(1)08–04d.doc.
- [45] Lepper P. 2005: Manual on the Methodological Framework to Derive Environmental Quality Standards for Priority Substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC). Fraunhofer-Intitute Molecular Biology and Applied Ecology. Schmallenberg (Allemagne).
- [46] Ferrari B., Paxeus N. et al. 2003: Ecotoxicological impact of pharmaceuticals found in treated wastewaters: study of carbamazepine, clofibrac acid, and diclofenac. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56(3): p. 450.
- [47] Ferrari B., Mons R. et al. 2004: Environmental risk assessment of six human pharmaceuticals: Are the current environmental risk assessment procedures sufficient for the protection of the aquatic environment? *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(5): p. 1344–1354.
- [48] Yamashita N., Yasojima M., Nakada N., Myaima K., Komori K., YSuzuki Y., Tanaka H. 2006: Effects of antibacterial agents, levofloxacin and clarithromycin, on aquatic organisms. *Water Science and Technology*, 53(11): p. 65–72.
- [49] Hunziker 2008: Massnahmen in ARA zur weitergehenden Elimination von Mikroverunreinigungen. Société Hunziker sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Winterthur. 74 p. [www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/03720/04348/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/03720/04348/index.html?lang=de).
- [50] Morf L., Buser A., Gubler A. 2007: Biozide als Mikroverunreinigungen in Abwasser und Gewässern – Teilprojekt 2: Stoffflussanalyse für die Schweiz: Quartäre Ammoniumverbindungen. GEO Partner AG. Zurich. 128 p.
- [51] Parlement européen 1998: Directive 98/8/CE du parlement européen et du Conseil, du 16 février 1998, concernant la mise sur le marché des produits biocides, 63 p.

- [52] Lienert J., Escher B. 2007: Verringerung der Schadstoffbelastung durch Pharmaka mittels Urinseparierung und ökotoxikologische Relevanz. Eawag. Dübendorf. 18 p.
- [53] Lienert J., Bürki T., Escher B. 2007: Reducing Micropollutants with Source Control: Substance Flow Analysis of 212 Pharmaceuticals in Feces and Urine. *Water Science and Technology*, 56(5): p. 87–96.
- [54] Escher B., Bramaz N., Richter M., Lienert J. 2006: Comparative Ecotoxicological Hazard Assessment of Beta-Blockers and Their Human Metabolites Using a Mode-of-Action-Based Test Battery and a QSAR Approach. *Environmental Science & Technology*, 40(23): p. 7402–7408.
- [55] Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG). Novaquatis. Voir à l'adresse: [www.novaquatis.eawag.ch](http://www.novaquatis.eawag.ch).
- [56] Keil F 2006: Medikamentenentsorgung in deutschen Haushalten – Erste repräsentative Umfrage zur Entsorgung von Arzneimitteln. Voir à l'adresse: [www.isoe.de/ftp/presse/PM0906.pdf](http://www.isoe.de/ftp/presse/PM0906.pdf).
- [57] European Medicines Agency (EMA) 2006: Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use (EMA/CHMP/SWP/4447/00). 12 p.
- [58] Ankley G.T., Brooks B.W., Huggett D.B., Sumpter J.P. 2007: Repeating history: pharmaceuticals in the environment. *Environmental Science & Technology*, 41(24): p. 8211–8217.
- [59] Scheringer M., Fenner K. 2007: Priorisierung von Umwandlungsprodukten von Mikroverunreinigungen. EPF Zurich, Eawag. Zurich. 16 p.
- [60] Gasser L., Fenner K., Scheringer M. 2007: Indicators for the Exposure Assessment of Transformation Products of Organic Micropollutants. *Environmental Science & Technology*, 41(7): p. 2445–2451.
- [61] Schweigert N. 2006: Comment détecter l'effet des polluants sur les cours d'eau? *Eawag News* n° 51: p. 10–12. (Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux). [www.modul-stufen-konzept.ch/download/en51f\\_schweig.pdf](http://www.modul-stufen-konzept.ch/download/en51f_schweig.pdf).
- [62] Escher B.I., Quayle P., Muller R., Schreiber U., Mueller J.F. 2006: Passive sampling of herbicides combined with effect analysis in algae using a novel high-throughput phytotoxicity assay (Maxi-Imaging-PAM). *Journal of Environmental Monitoring*, 8: p. 456–464.
- [63] Hertzberg R.C., MacDonell M.M. 2002: Synergy and other ineffective mixture risk definitions. *The Science of The Total Environment*, 288(1–2): p. 31–42.
- [64] Arrhenius A., Backhaus T., Grönvall F., Junghans M., Scholze M., Blanck H. 2006: Effects of Three Antifouling Agents on Algal Communities and Algal Reproduction: Mixture Toxicity Studies with TBT, Irgarol, and Sea-Nine. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 50: p. 335–345.
- [65] Fernandez-Alba A.R., Guil M.D. H., Lopez G.D., Christi Y. 2002: Comparative evaluation of the effects of pesticides in acute toxicity luminescence bioassays. *Analytica Chimica Acta*. 451: p. 195–202.
- [66] Knauer K. 2007: Methodenentwicklung zum Effektmonitoring in aquatischen Ökosystemen. Universität Basel. Bâle. p. 15.
- [67] Holm P. 2008: Methodenentwicklung zum Effektmonitoring in aquatischen Ökosystemen. Universität Basel. Bâle. p. 17.
- [68] Maurer M., Herlyn A. 2006: Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der schweizerischen Abwasserentsorgung. Eawag. Dübendorf. p. 63.
- [69] Moser R. 2007: Microverunreinigungen – Vorbehandlung von Spitalabwasser. *GWA (Gaz, eaux, eaux usées)* 11/2007: p. 869–875.
- [70] Sprecher K., Wieser M. 2007: Chancen für den Wandel zu einer regenerativen Abwasserwirtschaft. GEO Partner AG, Jauslin + Stebler Ingenieure AG. Zurich. p. 194.
- [71] Chaix O. 2007: Assainissement en Suisse – Régionalisation et professionnalisation. *GWA (Gaz, eaux, eaux usées)* 11/2007: p. 877–886.
- [72] Parlement européen 2004: Règlement (CE) n° 648/2004 du Parlement européen et du Conseil du 31 mars 2004 relatif aux détergents: 35 p.
- [73] Office fédéral de l'environnement (OFEV). Projet «Stratégie MicroPoll»: réduction des apports de micropolluants provenant de l'évacuation des eaux urbaines. Voir à l'adresse: [www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/03720/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/03720/index.html?lang=fr).