

# news



## **Une eau saine : un numéro d'équilibriste entre homme et environnement**

<b>75 ans de l'Eawag : Recherche et protection des eaux – une mission de tous les instants</b>	<b>4</b>
<b>Qualité de l'eau : Produits de transformation – un risque écologique ?</b>	<b>14</b>
<b>Assainissement : Préparer l'avenir des infrastructures</b>	<b>22</b>
<b>Ecologie aquatique : Penser globalement, agir localement</b>	<b>34</b>



Rik Eggen,  
biologiste moléculaire,  
est directeur adjoint  
de l'Eawag et enseigne  
à l'EPF de Zurich.

## Un numéro de funambule depuis 75 ans

La Suisse est un pays privilégié en ce qui concerne l'eau. Cette ressource n'y est pas rare – même en des périodes aussi peu arrosées que ce printemps exceptionnel. De plus, elle prend très au sérieux sa responsabilité en tant que de château d'eau de l'Europe et pratique une gestion maîtrisée de ses ressources en eau et de ses infrastructures aujourd'hui comme par le passé. Toutefois, malgré cette gestion exemplaire, les activités liées à l'eau ne sont pas sans impacts sur les milieux aquatiques et sur le paysage.

Et la pression exercée dans le monde sur les ressources en eau ne cesse d'augmenter. Que ce soit pour l'eau potable, l'industrie, l'agriculture, la navigation fluviale, l'énergie ou le tourisme: les exigences des différents acteurs de notre société multi-options pour les usages les plus divers ne vont pas en s'amenuisant. D'un autre côté, des efforts sont entrepris pour tenter de préserver ou de restaurer les habitats et paysages aquatiques. Mais cette préoccupation constitue elle aussi une forme d'exigence qui, même si elle est justifiée, n'est formulée que par une partie de la population.

Entre ces différents enjeux, entre l'utilisation raisonnée et durable des eaux et leur protection, entre la production d'électricité et la préservation des services rendus par les écosystèmes aquatiques, il faut un arbitrage qui passe par la définition de priorités consensuelles – un vrai numéro d'équilibriste. Les défis à relever par la recherche ne sont pas moins grands puisqu'il lui incombe de fournir aux responsables des connaissances et bases de décision fiables et étayées.

L'Eawag remplit déjà cette mission délicate depuis 75 ans avec grand succès. L'évolution du simple service de conseil de l'EPF pour l'épuration des eaux et l'approvisionnement en eau potable en un institut de recherche sur l'eau de renommée internationale est l'un des sujets traités dans ce numéro d'Eawag News. L'un des fils conducteurs de ce parcours est certainement la volonté d'aider à la résolution des problèmes pratiques en

créant les bases scientifiques nécessaires par un travail de recherche transdisciplinaire de très haut niveau. Cette approche relève à elle seule de l'équilibrisme: entre les différentes disciplines, entre recherche fondamentale et recherche appliquée. Par ailleurs, l'Eawag est un partenaire fort apprécié de la pratique pour son travail d'expertise et sa contribution à la formation des spécialistes et professionnels.

Ce numéro d'Eawag News souhaite d'autre part livrer un aperçu des sujets qui occupent et préoccupent actuellement les chercheurs et chercheuses de l'Eawag ou autrement dit, des problèmes actuels et futurs du domaine de l'eau. Qu'elles portent sur la surveillance et l'analyse de l'eau destinée à la consommation humaine, la gestion des infrastructures et les cleantech dans l'assainissement, l'hygiène publique dans les pays en développement ou l'écologie de l'évolution dans les milieux aquatiques, les différentes contributions reflètent d'une part la multiplicité des intérêts liés aux ressources en eau dans nos sociétés humaines et d'autre part la diversité des perspectives d'approche de ces problèmes qui caractérise l'esprit de la recherche à l'Eawag. Il n'est pas rare que ce travail volontairement multiple débouche sur des technologies et concepts novateurs en avance sur leur temps.

Une eau saine pour l'homme et l'environnement. Loin d'être une évidence même dans le château d'eau qu'est la Suisse, cette exigence nous met au défi pour l'avenir de trouver un équilibre entre les différents besoins parfois contradictoires liés à cette ressource vitale. En cultivant les approches novatrices et intégrées, la recherche peut contribuer à assurer pour l'avenir la disponibilité de l'eau pour le bien-être humain et la protection des eaux pour la santé des écosystèmes.

Photo de couverture :

Numéro d'équilibriste à quelques mètres au-dessus de l'eau – Freddy Nock traversant le lac de Zurich sur un fil en 2010.

# Sommaire

## 75 ans de l'Eawag

### 4 **Recherche et protection des eaux: une mission de tous les instants**



Même au bout de 75 ans, la protection des eaux est restée centrale de l'Eawag. Les approches anticipatoires et préventives ont été développées en complément des activités curatives de traitement des eaux.

## Qualité de l'eau

### 14 **Produits de transformation: un risque écologique?**

Les produits de transformation des polluants chimiques peuvent eux aussi comporter un risque écotoxicologique. Des méthodes d'analyse chimique et biologique élaborées à l'Eawag permettent d'en estimer l'importance.

### 18 **Microbiologie de l'eau potable: de la théorie à la pratique**



La présence de microorganismes peut altérer la qualité de l'eau potable. De nouvelles méthodes permettent maintenant une meilleure surveillance et une meilleure compréhension des processus en jeu.

## Assainissement

### 22 **Préparer l'avenir des infrastructures**

La planification durable des futures infrastructures de l'eau en Suisse doit tenir compte des besoins et incertitudes à venir. Les solutions intelligentes sont flexibles et visent une performance optimale sur toute la durée de vie.

### 26 **Unis pour l'hygiène et la santé publique**



L'une des causes principales de coliques et de mortalité infantile dans les pays en développement est le manque d'hygiène souvent dû à un assainissement insuffisant. Seule une collaboration entre recherche, ONG, population locale et autorités peut apporter une solution.

### 30 **Cleantech: l'avenir de l'assainissement**

Dans le domaine de l'épuration des eaux, les technologies propres et économes se doivent aussi d'exploiter de façon optimale les ressources contenues dans les eaux usées. Des approches inédites comme la collecte séparée des urines et la récupération des nutriments montrent la voie.

## Ecologie aquatique

### 34 **Penser globalement, agir localement**



La protection et le soutien des populations locales jouent un rôle majeur pour la renaturation des milieux aquatiques et pour assurer la pérennité des services écosystémiques pour les générations futures. Elles sont la base du fonctionnement des écosystèmes.

### 38 **L'avenir de l'eau dans un monde en mutation**

Les multiples services rendus par les écosystèmes aquatiques ne pourront être garantis à long terme qu'en minimisant les atteintes dues aux usages anthropiques de l'eau.

## Notes

### 42 **Alternatives à l'expérimentation animale en écotoxicologie**

### 43 **Des sous-marins dans le Léman**

### 44 **Evaluation de la qualité de l'eau au vu des micropolluants**

**eawag**  
aquatic research

Editeur, Distribution: Eawag, Case postale 611, 8600 Dübendorf, Suisse,  
Tél. +41 (0)58 765 55 11, Fax +41 (0)58 765 50 28, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Rédaction: Andres Jordi

Collaboration: Andri Bryner, Anke Poiger

Traductions: Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Copyright: Reproduction possible après accord avec la rédaction.

Copyright des photos: Eawag (sauf mention contraire)

Parution: 2 fois par ans en français, allemand et anglais. Production chinoise en coopération avec INFOTERRA China National Focal Point.

Maquette: TBS Identity, Zurich

Mise en page, graphisme et iconographie: Peter Nadler, Fällanden

Impression: Sur papier recyclé

Abonnements et changement d'adresse: Les nouveaux abonné(e)s sont les bienvenu(e)s! [eawag.news@eawag.ch](mailto:eawag.news@eawag.ch)

ISSN 1420-3928

# 75 ans de l'Eawag

## Recherche et protection des eaux : une mission de tous les instants

L'histoire de l'Eawag traduit une perception de plus en plus globale de la protection des eaux. Parmi ses activités, l'optimisation des traitements d'épuration et de potabilisation, la résolution des questions d'actualité et les interventions en Suisse se sont respectivement vues complétées d'une détection précoce et d'une anticipation des problèmes, de problématiques de recherche plus fondamentales et d'approches résolument internationales. Même après 75 ans de recherche, d'enseignement et de conseil, la protection des eaux est restée une mission de tous les instants.

Texte : Andri Bryner

Le rejet sans traitement ou presque des eaux usées provenant des villes et bourgades en forte expansion et des effluents industriels dans le milieu naturel se traduisit au début du XX<sup>e</sup> siècle par une dégradation alarmante de l'état des lacs et cours d'eau suisses. Les pêcheurs furent parmi les premiers à s'insurger contre cette situation : ils exigèrent bientôt de la Confédération des mesures visant à juguler cette pollution croissante.

### La Suisse ne disposait pas de spécialistes des eaux usées.

Avant la Deuxième Guerre mondiale, la Suisse ne disposait pratiquement pas de spécialistes de la conception et de la construction des stations d'épuration. Les quelques experts existants venaient d'Allemagne. Pour pallier ce manque, le Conseil fédéral mit donc en place un Service de conseil pour l'épuration des eaux et l'approvisionnement auprès de l'EPF de Zurich qui prit ses fonctions le 1<sup>er</sup> janvier 1936. L'Institut d'hygiène de Willy von Gonzenbach (cf. encadré p. 5) et le Laboratoire d'hydraulique (VAW) dirigé par

Eugen Meyer-Peter et lui-même créé en 1930 assuraient la tutelle de la nouvelle structure. Elle entama ses travaux avec un chimiste, un ingénieur et un biologiste pour tout personnel.

Outre le conseil au niveau cantonal et communal, ses missions étaient la recherche et la formation dans le domaine des technologies d'épuration ainsi que la surveillance de la qualité des eaux en contrôle du bon fonctionnement des nouvelles stations. Dès 1938, le nouveau service mit en place sur le site de la station d'épuration zurichoise de Werdhölzli une station expérimentale dans laquelle il pouvait développer et tester les procédés d'épuration et mener des essais sur la capacité d'autoépuration des rivières. En 1950, cette station fut transférée sur la Tüffenwies voisine où elle resta jusqu'en 2001, date à laquelle elle fut installée sur le site de Dübendorf. Les premiers travaux de l'Eawag ne portaient pas uniquement sur le traitement biologique des eaux usées mais aussi sur les possibilités de désinfection de l'eau de boisson par d'autres moyens que le chlore.

Laboratoires de l'Eawag et conception des essais. Mesure de radioactivité dans des échantillons d'eau de rivière (à gauche) et étude des performances d'une membrane plastique en vue d'une élimination des virus et bactéries présents dans l'eau de boisson sans apport de produits chimiques ni d'énergie de pompage (à droite).



1955



2011

Stefan Kubli

**Les premières approches globales.** En 1946, le Service de conseil et de consultation maintenant fort de 24 personnes devint un institut à part entière, l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux plus connu sous son abréviation allemande Eawag. Les départements de biologie et de chimie se voient alors complétés des départements d'hydrogéologie et de génie civil. Le premier directeur de l'Eawag, en poste jusqu'en 1952, fut le chimiste et ornithologue passionné Ulrich A. Corti. Même si les travaux de l'Eawag se concentraient alors principalement sur les besoins concrets des communes et des cantons en matière d'infrastructures pour la protection des eaux, Corti élaborait déjà des approches durables et écologiques et publia sur la fonction des cours d'eau en tant qu'habitats floristiques et faunistiques. La valeur de ses travaux ne fut cependant reconnue que bien plus tard.

**L'Eawag s'engage en politique.** En 1952, le Professeur Otto Jaag, qui enseignait la botanique cryptogamique, l'hydrobiologie et la limnologie à l'EPF de Zurich, prit la tête de l'Eawag. Il s'était alors déjà fortement engagé pour l'introduction d'un article sur la protection des eaux dans la Constitution. Le peuple adopta cet article en 1953 avec une majorité mémorable de 81,4 pour cent. C'est en grande partie au travail de sensibilisation d'Otto Jaag que l'on doit cet intérêt du peuple suisse pour la protection des eaux.

Un tel engagement était réellement nécessaire. En effet, la consommation croissante d'énergie et de ressources qui suivit la Deuxième Guerre mondiale ne fut pas sans conséquences pour le milieu aquatique. Les offices de protection de l'environnement n'existaient pas. En 1960, à peine dix pour cent de la population étaient raccordés à une station d'épuration. Les déchets s'accumulaient au bord des rivières et les autorités étaient contraintes d'interdire la baignade dans les lacs. Otto Jaag se battit alors pour une révision de la loi sur la protection des eaux qu'il jugeait trop inefficace et notamment pour l'instauration d'un meilleur système de subventionnement. Un nouvel article sur les subventions fut adopté en 1962, suivi en 1971 de la nouvelle loi qui devait enfin provoquer l'essor attendu dans la construction des réseaux d'assainissement et des infrastructures de traitement. Aujourd'hui, près de 97 pour cent des eaux usées suisses sont traitées dans des stations d'épuration modernes.

**Les stations d'épuration ne font pas tout.** Les autorités d'exécution se trouvèrent face à un vide comparable lorsque, sur la base notamment de travaux de l'Eawag, une nouvelle disposition constitutionnelle suivie d'une loi en 1991 vint exiger en 1975 une exploitation raisonnée des cours d'eau et le maintien de débits résiduels suffisants. La Confédération reconnaissait certes par ce biais que l'épuration des eaux usées et une qualité des eaux acceptable ne suffisaient pas à une protection globale des eaux. Mais l'idée d'une prise en compte des aspects quantitatifs dans la protection des eaux passant par la revitalisation des cours d'eau et l'augmentation des débits réservés n'avancait que lentement.

La nouvelle révision de la loi sur la protection des eaux entrée en vigueur début 2011, les devrait promouvoir cette approche. Des moyens supplémentaires vont en effet être mis à disposi-

## Un reflet de l'histoire de la protection des eaux en Suisse

La création de l'Eawag ne s'est pas faite par hasard. Elle fut le résultat de plusieurs évolutions parallèles et le reflet de l'histoire de la protection des eaux en Suisse. Vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les connaissances sur l'origine et la propagation des maladies infectieuses firent d'énormes progrès. En 1894, Otto Roth, un disciple du découvreur du bacille de la tuberculose Robert Koch, créa l'Institut d'hygiène et de bactériologie de l'EPF de Zurich. A l'époque, l'enjeu était la protection de la main-d'œuvre humaine en milieu professionnel contre les dangers émanant de l'environnement, les accidents du travail et les intoxications aiguës ou chroniques. Mais le successeur de Roth à partir de 1920, Willy von Gonzenbach, reconnut bientôt dans la pollution des lacs et cours d'eau une menace pour l'homme et la nature. Parallèlement à cette évolution, la Société Helvétique des Sciences Naturelles créa en 1887 une commission de limnologie dont la mission était l'étude des lacs, de leurs fonctions et de leur faune et flore.

Le captage des sources et des eaux souterraines, le traitement des eaux brutes par filtration sur sable et, à partir de 1910, la désinfection au chlore permirent de freiner la survenue des épidémies en Suisse. Mais l'eau courante dans tous les ménages et les nouveaux équipements sanitaires firent exploser la consommation d'eau. Les problèmes d'évacuation prirent de l'ampleur. La collecte séparée des matières fécales dans les tinettes fut progressivement remplacée par le tout-à-l'égout. Les problèmes d'hygiène dans les villes furent ainsi résolus de façon élégante mais la pollution bien visible des milieux aquatiques augmenta en flèche. En effet, les eaux usées étaient rejetées sans traitement ou presque dans les rivières.

tion pour les projets de valorisation écologique et les cantons sont maintenant tenus d'octroyer davantage d'espace aux cours d'eau pour leur permettre de se développer aussi naturellement que possible et pour améliorer la prévention des dommages liés aux inondations. A travers ses projets de recherche sur la gestion intégrée des eaux et de l'espace fluvial (comme le projet Rhône-Thur de 2005), sur l'appréciation de la qualité des eaux (système modulaire gradué à partir de 1981) ou encore sur la limitation des rejets diffus de polluants, l'Eawag a ici aussi élaboré des procédés et des bases de travail et d'argumentation pour les besoins de la pratique.

**Travail à la commande et activités de conseil.** Jusque dans les années 1960, une grande partie des travaux de l'Eawag étaient réalisés pour des tiers, notamment pour les cantons et les communes. En 1970, 37 pour cent des 3,4 millions de francs de dépenses de l'institut étaient encore couverts par ces mandats. Le directeur de l'époque, Otto Jaag, déplorait ainsi souvent dans son rapport annuel le stress subi par le personnel pour respecter les délais imposés: « En ce qui concerne la charge de travail de

l'institut, force est de constater que dans l'année écoulée comme dans les précédentes, tous les membres du personnel ont travaillé sans relâche jusqu'au bout de leurs forces et que certains d'entre eux ont eu des difficultés à accomplir leur tâche avec tout le soin nécessaire dans les délais imposés.»

En 2010, les «recettes diverses» ne couvraient plus de quelques pour cent des 60 millions de francs de dépenses de l'Eawag. Les travaux à la commande ne sont plus acceptés que lorsqu'ils permettent d'étudier des questions scientifiquement intéressantes. Par ailleurs, près de 15 millions de francs de fonds secondaires ou de tiers ont été obtenus pour divers projets de recherche, notamment en provenance des programmes d'encouragement de l'Union Européenne ou de diverses fondations.

**Engagement dans les pays en développement.** A côté des nombreux mandats extérieurs, la recherche fondamentale avait également sa place à l'Eawag d'Otto Jaag. Des études sur l'eutrophisation des lacs, le pouvoir autoépurateur des cours d'eau et le dimensionnement des stations d'épuration biologiques virent alors le jour. Les disciplines scientifiques se virent renforcées lorsqu'en 1960, l'Eawag reprit le Laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum, au bord du lac des Quatre-Cantons, auparavant géré par la Société des sciences naturelles de Lucerne (voir encadré p. 7). En 1968, l'International Reference Centre for Waste Disposal de l'OMS fut d'autre part créé à l'Eawag – il donna naissance en 1992 au département Eau et assainissement dans les pays en développement.

En 1970, après divers projets de construction avortés et une véritable odyssee sur le campus de Zurich – l'Eawag était présent

à sept adresses différentes en plus de Kastanienbaum et de la Tüffenwies – l'institut peut enfin emménager dans ses nouveaux bâtiments de Dübendorf. Il compte alors déjà 8 départements de recherche et 110 collaborateurs. Au cours des années précédentes, les départements de biologie, de chimie, de géologie et d'ingénierie s'étaient vus renforcés par la limnologie (1952), les déchets solides (1955), la radiologie (1956) et les sciences de la pêche (1969). Cette même année 1970, l'Eawag obtint le statut d'institut annexe de l'EPF de Zurich pour finalement devenir un institut indépendant du domaine des EPF en 1993.

**Un rapport étroit avec l'EPF de Zurich.** Malgré le passage au statut d'institut annexe, le directeur Werner Stumm, chimiste de formation, œuvra à partir de 1970 à un rapprochement entre l'Eawag et les hautes écoles, en particulier l'EPF de Zurich. Il lança un cursus post-grade sur le génie civil des eaux urbaines et la protection des eaux (1979) et participa à la création d'une filière de sciences de l'environnement (1987), fidèle au principe selon lequel la qualité de la formation des spécialistes assurait la meilleure qualité du conseil. Il attira à l'Eawag une nouvelle génération de chercheurs qui apporta un souffle nouveau dans l'institut.

L'un d'entre eux était le physicien Dieter Imboden, aujourd'hui président du Conseil national de la recherche. Parmi les facteurs de réussite de l'Eawag à partir de 1970, il évoque tout comme Ueli Bundi (cf. interview p. 10) l'adoption d'une perception multidisciplinaire des systèmes et processus privilégiée par rapport aux approches de détail prévalant jusqu'alors dans la recherche. Ce changement de perspective a été facilité par l'utilisation des modèles mathématiques qui, grâce au développement de l'infor-

Installations expérimentales sur le site zurichois de la Tüffenwies (à gauche) pour l'étude dans des canaux artificiels de la capacité d'autoépuration biologique des cours d'eau et dans le hall d'essai de Dübendorf (à droite) pour l'optimisation du traitement des boues dans une optique d'amélioration de l'élimination de l'azote et de réduction des besoins énergétiques des stations d'épuration.



Stefan Kubli



1940



2010

Monika Estermann

Le laboratoire d'études lacustres de Kastanienbaum avant sa reprise par l'Eawag (à gauche) et un système de microcosmes utilisés pour l'étude à long terme des processus évolutifs (à droite).

## Kastanienbaum : du laboratoire d'études lacustres au centre de compétence en matière d'écologie, d'évolution et de biogéochimie

C'est en 1916 que la Société des sciences naturelles de Lucerne fonda grâce à des dons privés le Laboratoire d'hydrobiologie de Kastanienbaum, au bord du lac des Quatre-Cantons. Les initiateurs du projet étaient le médecin Fritz Schwyzer et le professeur d'école cantonale Hans Bachmann qui présida la Commission d'hydrobiologie de la Société helvétique des sciences naturelles jusqu'en 1940. De nombreux spécialistes suisses et étrangers utilisèrent le petit laboratoire pour la tenue d'études et de séminaires sur la chimie, le plancton, la végétation aquatique et la faune piscicole du lac des Quatre-Cantons et autres milieux lacustres.

Dès 1920 parut, sur la base des travaux de Kastanienbaum, la « Revue d'Hydrologie » qui devait devenir en 1989 la revue de renom « Aquatic Sciences » et qui est encore aujourd'hui éditée avec une forte participation de l'Eawag. En 1960, le laboratoire devenu Centre de recherche en limnologie passe sous la tutelle de l'Eawag. Le centre se dote de nouveaux locaux par l'acquisition de la propriété voisine de Seeheim en 1968 et la construction de nouveaux bâtiments en 1976. Aujourd'hui, plus d'une centaine de personnes travaillent à Kastanienbaum et le modeste Centre de recherche en limnologie est devenu le Centre de compétence en matière d'écologie, d'évolution et de biogéochimie (CEEB) de l'Eawag.

Les recherches menées à « KB », comme l'appellent les initiés, ont été et sont principalement axées sur les processus physico-

chimiques et biologiques se déroulant dans le lac des Quatre-Cantons et les lacs suisses. Ces travaux ont ainsi livré des connaissances précieuses sur le rôle du phosphore et de l'azote et de leurs transformations dans l'eutrophisation des lacs. Les études menées sur le plancton, les sédiments et les organismes benthiques ont permis de suivre la dégradation de l'état du lac dans les années 1960 et 1970 mais aussi son amélioration après la mise en place d'égouts circulaires et de la déphosphatation dans les stations d'épuration.

Les recherches se sont bientôt tournées vers l'étude du fonctionnement des systèmes environnementaux complexes par le biais de projets multidisciplinaires ; ceux réalisés sur l'impact des métaux lourds ou sur l'intérêt des installations de brassage artificiel pour la restauration des lacs en sont des exemples.

Dans le domaine de la biologie des pêches, les priorités se sont progressivement détournées de la recherche d'une efficacité maximale de la gestion halieutique des lacs pour se concentrer sur la conservation de la diversité des espèces et des habitats dans tous les types de milieux aquatiques. Les questions qui occupent actuellement les chercheurs portent sur la capacité d'adaptation des espèces et des écosystèmes à un environnement en perpétuelle mutation. En résumé, les priorités sont passées de la mortalité massive des poissons dans les années 1970 à l'étude de l'émergence et du déclin des espèces dans des processus évolutifs constants.

matique, étaient capables de livrer des analyses et prévisions de plus en plus précises, comme par exemple sur les phénomènes de brassage dans les lacs.

Imboden évoque également la grande compétence de l'Eawag dans le domaine analytique : ces capacités techniques ont permis

et permettent encore de détecter et d'évaluer précocement les problèmes causés par les polluants émergents. L'une des évolutions les plus marquantes de l'époque Stumm a également été l'internationalisation de la recherche à l'Eawag. D'un côté, cet état de fait a ouvert aux chercheurs des perspectives professionnelles

**Professeurs de l'Eawag** (à l'EPF de Zurich sauf indication contraire), professeurs titulaires, voir p. 13)

	Présence à l'Eawag	Chaire
Willy von Gonzenbach	1936–1945	Hygiène et bactériologie
Eugen Meyer-Peter	1936–1945	Constructions hydrauliques
Otto Jaag	1952–1970	Hydrobiologie, épuration et protection des eaux
Arnold Hörler	1954–1968	Assainissement, épuration des eaux et génie civil des eaux urbaines
Karl Wuhrmann	1946–1980	Microbiologie
Rudolf Braun	1955–1983	Elimination des déchets
Kurt Grob	1974–1985	Chromatographie en phase gazeuse haute résolution (Ecole cantonale de Zurich)
Werner Stumm	1952–1992	Protection des eaux
Heinz Ambühl	1952–1994	Hydrobiologie (prof. extraordinaire)
Jürg Hoigné	1974–1995	Chimie aquatique
Richard Heierli	1968–1970	Génie civil des eaux urbaines (prof. extraordinaire)
Geoffrey Hamer	1980–1992	Biotechnique
Peter Baccini	1974–2004	Bilans de matières et gestion des déchets
James Ward	1995–2002	Ecologie aquatique
Dieter Imboden	1988–1999	Physique de l'environnement
René Schwarzenbach	1977–2004	Chimie de l'environnement
Alexander Zehnder	1992–2004	Biotechnologie de l'environnement
Willi Gujer	1992–2011	Gestion des eaux urbaines
Bernhard Wehrli	depuis 1988	Chimie aquatique
Urs von Gunten	depuis 1989	Traitement des eaux potables (EPFL) et professeur titulaire (ETHZ)
Jukka Jokela	depuis 2005	Ecologie aquatique
Ole Seehausen	depuis 2005	Ecologie aquatique et évolution (Université BE)
Martin Ackermann	depuis 2006	Ecologie microbienne moléculaire (prof. extraordinaire)
Janet Hering	depuis 2007	Biogéochimie de l'environnement (ETHZ), Chimie de l'environnement (EPFL)
Eberhard Morgenroth	depuis 2009	Gestion des eaux urbaines

dans le monde entier, de l'autre côté, le réseau international mis en place et continuellement développé par l'Eawag permet d'établir des coopérations de recherche dans des domaines de moindre compétence de l'institut comme par exemple l'efficacité d'utilisation de l'eau en agriculture, les implications des changements climatiques ou le traitement des effluents industriels.

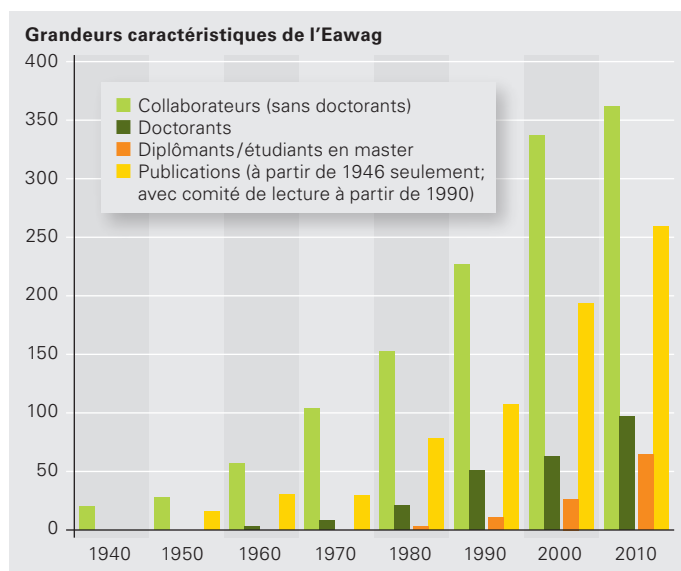
**Une meilleure intégration de la société et de l'économie privée.** En 1992, le biochimiste Alexander Zehnder prit la direction de l'Eawag qui devint un institut indépendant du domaine des EPF en 1993. Face au constat de la grande influence des facteurs sociétaux sur l'ampleur des impacts anthropiques sur l'environnement, il mit en place un groupe spécialisé en écologie

humaine en complément des sciences naturelles et des sciences de l'ingénieur. La compréhension voire la régulation de ces processus sociétaux est en effet indispensable à la définition et à l'adoption de modes de vie et d'économie plus écologiques. C'est dans cette optique que fut créé le département de Recherche sur les innovations dans les industries de réseau en 2005. Alexander Zehnder fit une priorité du développement durable et de la transdisciplinarité, ce qui se traduit par la mise en œuvre de projets réalisés en partenariat avec les autorités publiques, l'économie privée et divers organismes de recherche comme Greenhydro (production hydroélectrique écocpatible, achevé en 2000), Fischnetz (déclin piscicole en Suisse, 2003), Rhône/Thur (gestion durable des cours d'eau, 2005) et Novaquatis (séparation des urines, 2006).

Lorsqu' Alexander Zehnder fut nommé à la tête du Conseil des EPF en 2004, la direction de l'institut fut assurée de façon intérimaire par son directeur adjoint, l'ingénieur du génie rural Ueli Bundi. Ce dernier mit l'accent sur la fonction de jonction entre savoir académique et pratique. En 2004, il mit en place le bureau suisse de conseil sur la pêche Fiber en partenariat avec la Fédération de pêche et l'Office fédéral de l'environnement, lança l'Agenda 21 pour l'eau visant à promouvoir une vision globale et intégrée de la gestion des eaux en Suisse et encouragea les préparatifs du centre Ecotox. Aux côtés de Roland Schertenleib et de l'équipe d'architectes de Bob Gysin & Partner, Ueli Bundi est d'autre part l'un des pères du nouveau bâtiment de l'Eawag et de l'Empa, le Forum Chriesbach, qui a été maintes fois récompensé pour ses concepts novateurs dans le domaine de l'écoconstruction.

**Recherche de pointe et recherche appliquée ne sont pas incompatibles.** A partir de 2007, Janet Hering œuvra à une intensification de la coopération avec les EPF de Lausanne et

L'Eawag compte actuellement 458 personnes (dont 26 en apprentissage) réparties sur 413 postes à temps plein ; la proportion de femmes est de 48,4 pour cent.







1940



2010

Prélèvement de plancton dans le lac des Quatre-Cantons (à gauche) et relevés dans la Sarine pour l'évaluation de la diversité structurale selon la méthode d'appréciation de la qualité des cours d'eau élaborée par l'Eawag (à droite).

de Zurich. En tant que représentante des quatre instituts de recherche au Conseil de EPF (jusqu'en 2010), elle avait en effet une conscience aiguë de l'importance de cultiver l'excellence de la recherche malgré les liens étroits avec la pratique pour permettre à l'Eawag de subsister aux côtés de géants tels que les Hautes écoles. L'écologie aquatique de l'évolution, l'analyse et l'écotoxicologie des micropolluants et de leurs produits de transformation de même que leur élimination dans les eaux usées sont autant de thèmes d'actualité que l'Eawag est tout désigné pour traiter.

Le cas des micropolluants montre aussi de manière éclatante que la recherche de pointe et la recherche de solutions pour la pratique peuvent et doivent être menées en parallèle. Ainsi, les travaux de l'Eawag ont contribué à inciter la Confédération à préparer en 2010 une modification de l'ordonnance sur la protection des eaux prévoyant une élimination des micropolluants au niveau de stations d'épuration clés.

### La demande de technologies propres vient à point nommé.

Le credo de l'Eawag – une mise à disposition de l'eau pour la santé des hommes et une protection des eaux pour la santé des écosystèmes – se reflète totalement dans le développement des technologies propres ou cleantech. Ainsi, les nouveaux projets du domaine de l'assainissement ne visent plus seulement l'élimination des matières nutritives et des polluants contenus dans les eaux usées mais aussi les économies d'énergie, la réduction des émissions et le recyclage des matières réutilisables lors des traitements d'épuration (cf. article p. 30).

D'autre part, les projets de l'Eawag ont toujours été menés dans le souci d'éviter l'émergence de nouveaux problèmes lors de la résolution des questions premières. Ainsi, les essais sur les effets de l'EDTA et du NTA qu'il était question d'utiliser en rem-

placement des phosphates dans les lessives suite à l'interdiction de ces derniers dans les années 1980, la lutte contre la formation de chloramines dangereuses pour la santé lors de la désinfection de l'eau potable ou plus récemment la recherche d'alternatives à l'expérimentation animale par le biais d'échantillonneurs passifs et de modélisation numérique illustrent bien cet état d'esprit.

Les enseignements tirés de ces projets de recherche à caractère anticipatoire sont systématiquement mis à profit pour les activités de conseil, les entreprises demandeuses ne disposant généralement ni du savoir-faire, ni des équipements, ni des moyens ou du temps nécessaires à la réalisation de tels essais. La mise en place et le développement (avec l'EPFL) du Centre d'écotoxicologie appliquée ou la création du Centre de compétence pour l'eau potable sont venus, ces dernières années, renforcer ce rôle de conseil et de consultation de l'Eawag. ○ ○ ○

### Pour en savoir plus

[www.eawag.ch/about/75jahre/index\\_FR](http://www.eawag.ch/about/75jahre/index_FR)

Bryner A., Nast M (2011): Eclairages sur l'Eawag (brochure commémorative parue en allemand, en français et en anglais), Eawag.

Rapports annuels de l'Eawag depuis 1946 sur [lib4ri.ch/InstitutionalBibliography/eawag/eawag-annual-reports.html](http://lib4ri.ch/InstitutionalBibliography/eawag/eawag-annual-reports.html)

Perret P. (2001): Beitrag zur Geschichte der Gewässerforschung in der Schweiz, <http://chy.scnatweb.ch/downloads/GeschichteGewasserforschungCH.pdf>

Mitteilungen der Eawag Nr. 22, 1986 (publication commémorative des 50 ans de l'Eawag).

Boller M. (2005): Eawag – Forschung im Dienste des Wassers (publié à l'occasion des 60 ans de l'Eawag), Gas, Wasser, Abwasser (GWA) 3, 191–202.

Müller R. (1997): Ein Blick zurück – Das Eawag-Forschungszentrum für Limnologie in Kastanienbaum, Eawag.

# Livrer des arguments et replacer les problèmes dans leur contexte

L'ingénieur du génie rural Ueli Bundi a marqué l'Eawag pendant de nombreuses années aussi bien à l'intérieur qu'au niveau de son image extérieure. Venu en 1972 rejoindre les rangs de l'International Reference Centre for Waste Disposal de l'OMS alors installé à l'Eawag, il a intégré l'équipe de direction de l'institut en 1990 pour en devenir directeur adjoint en 2000 puis directeur intérimaire de 2004 à 2006. Ueli Bundi est actuellement membre du groupe de direction du programme national de recherche « Gestion durable de l'eau ». Il passe ces années en revue.

Interview: Andri Bryner

**Ueli, tu as passé plus de 35 ans à l'Eawag. Qu'est-ce que tu en emmènerais sur une île déserte?** L'île ne resterait pas déserte bien longtemps! A l'Eawag, j'ai noué de nombreuses amitiés grâce à la passion de l'eau que nous avons tous en commun. Même si c'est un aspect personnel, c'est ce qui nous a permis au cours de toutes ces années de créer et de maintenir une ambiance de travail très constructive favorable à l'innovation, à l'audace et à l'investissement personnel.

**Les chroniqueurs parlent d'un renouveau sous la direction de Werner Stumm. Est-ce qu'une nouvelle ère a réellement débuté en 1970?** Werner Stumm n'a jamais remis en cause les immenses mérites de son prédécesseur Otto Jaag. Mais il a reconnu que les temps étaient mûrs pour de nouvelles idées. Il propagea le concept d'« intellectualisation de la protection des eaux » qui donnait un rôle nouveau à l'Eawag. Il voyait l'institut comme l'« avocat » scientifique des eaux et renforça sa présence internationale et son engagement dans l'enseignement supérieur.

**Otto Jaag, Werner Stumm et Alexander Zehnder ont-ils été les seuls directeurs marquants de l'Eawag?** L'Eawag a eu la chance d'être diri-

gée tout au long de son histoire par des personnalités de talent qui sont restées en poste de nombreuses années et ont marqué leur temps. Mais ce n'est pas là le seul secret du succès. La compétence et l'engagement des hommes et des femmes qui travaillent à l'Eawag sont tout aussi décisifs. Dans le domaine scientifique et technique, les résultats peuvent être assez facilement jugés à l'aune des publications et des multiples applications trouvées dans la pratique. Au niveau administratif et organisationnel, le mérite est plus discret. Et pourtant, qu'aurait pu faire Werner Stumm sans l'aide de son directeur adjoint Hannes Wasmer? Peut-on aujourd'hui imaginer l'Eawag sans un système informatique opérationnel? Ou encore, prenons l'exemple de la crèche: sans l'énergie d'Arianna Maniglia, elle n'aurait jamais pu être mise en place. Enfin, la qualité et la continuité de la formation continue

et du concept environnemental de l'Eawag doivent énormément à l'engagement d'Herbert Güttinger. Ce ne sont là que quelques exemples mais la liste est longue.

**Quels ont été, pour toi personnellement, les temps forts de l'Eawag?** En tout cas la création dans les années 1980 du groupe interdisciplinaire de recherche sur l'écologie des cours d'eau qui nous a permis très tôt de nous intéresser aux aspects quantitatifs de la protection des eaux. Les travaux du groupe ont préparé le terrain pour la révision de la loi sur la protection des eaux de 1992 et plus tard pour l'appréciation scientifique de l'état des cours d'eau. Ou encore, l'équipe transdisciplinaire « Bilan de l'azote en Suisse » qui rassemblait des chercheurs des hautes écoles, universités et instituts et des membres de bureaux d'études, de l'OFEV, de l'OFAG et de l'Union suisse des paysans. Dans ce groupe, nous avons préparé des bases scientifiques pour l'élaboration des stratégies nationales concernant l'azote. Il nous a par ailleurs fallu beaucoup d'enthousiasme et d'endurance pour aboutir à la construction du Forum Chriesbach, notre nouveau bâtiment principal exemplaire sur le plan écologique. Par ce tour de force,

l'Eawag a montré très clairement qu'en tant qu'institut de recherche environnementale, il n'était pas partisan du « fais ce que je dis, pas ce que je fais ».

**Dans quels domaines l'Eawag a-t-il un peu tourné à vide?** Pas vraiment « tourné à vide » mais disons qu'il y a eu des projets qui ont demandé un certain tribut d'apprentissage. Par exemple, nous avons dû nous y reprendre à plusieurs fois pour mettre en place les sciences sociales et l'écotoxicologie. On peut également parler des nouvelles orientations de recherche fixées au début des années 1990. On attendait alors beaucoup des approches inter- et transdisciplinaires. Avec le recul, il faut bien reconnaître que ces grands projets – comme celui consacré à la gestion intégrée des eaux de la Töss – n'ont pas apporté tout le succès escompté.

## Les victoires de la protection des eaux sont souvent tempé- rées par la croissance et l'apparition incessante de nouveaux polluants.



### **Pourquoi ces projets transversaux sont-ils si difficiles à mener?**

Nous avons sous-estimé la complexité des approches pluridisciplinaires. D'autre part, il est surtout demandé aux chercheurs et chercheuses de s'affirmer dans leur propre discipline. Les mécanismes de soutien à la recherche sont encore principalement organisés par filière. D'un autre côté, l'Eawag a appris à gérer les projets transdisciplinaires avec davantage de professionnalisme. Cela s'est vu avec les projets ultérieurs comme Ökostrom/Courant vert ou Fischnetz. Mais avant tout, des portes se sont ouvertes: là où des fossés existaient comme par exemple entre constructions hydrauliques et protection des eaux, un dialogue et un partenariat se sont progressivement installés. Nous travaillons aujourd'hui main dans la main avec le Laboratoire de constructions hydrauliques de l'EPFL par exemple. Les instituts de recherche comme le notre sont en fait tout désignés pour la recherche inter- et transdisciplinaire. C'est pourquoi il leur incombe une responsabilité particulière.

### **Quels sont les clés du succès de l'Eawag?**

Certainement dans la spécialisation sur l'eau, la continuité et la compétence de tous ceux qui viennent en permanence rejoindre ses rangs. Depuis Werner Stumm, l'Eawag cherche à comprendre les processus au lieu de se perdre dans la résolution au cas par cas des problèmes d'actualité. L'intensification du travail avec l'enseignement supérieur a également contribué à accroître la réputation internationale de l'institut tout en garantissant une relève de qualité. Le troisième atout de l'Eawag est son réseau de relations internationales. Grâce à la grande renommée de Werner Stumm et d'Alexander Zehnder et à leurs nombreux contacts, les gens de l'Eawag étaient accueillis à bras ouverts dans les meilleurs instituts de la planète.

Mais le travail de réflexion sur les stratégies globales de protection et d'utilisation des eaux a également contribué au succès de l'Eawag. En 1980, nous avons travaillé sur ce genre d'approches dans notre projet « Gewässerschutz 2000 ». Il était déjà clair en 1972 que le problème de la qualité des eaux ne pouvait pas être uniquement résolu par la construction des stations d'épuration.

### **Les objectifs ont-ils été aujourd'hui atteints, 30 ans après la parution de l'étude?**

En Suisse, la protection des eaux a fait d'énormes progrès notamment au niveau de l'eutrophisation des lacs, de l'industrie ou de la gestion des eaux par bassin versant. Mais ces victoires sont tempérées par la croissance et par l'apparition incessante de polluants nouveaux. Depuis plus de 30 ans, la gestion des substances chimiques est basée sur des approches

purement scientifiques. Or l'analyse et la caractérisation écotoxicologique des composés sont de plus en plus lourdes et difficiles. Ce qu'il nous faut, ce sont des stratégies visant à éviter les problèmes à l'avance. La régulation de la production et de l'utilisation des produits chimiques devrait s'effectuer selon des critères plus éthiques. Au lieu de cela, on considère aujourd'hui que les problèmes peuvent être résolus par des solutions « end of pipe » – dans le cas des substances chimiques, par l'élimination en station d'épuration.

### **Quel mal y a-t-il à miser sur les stations d'épuration?**

Je ne dis pas que les interventions au niveau des stations d'épuration sont inutiles. Simplement, il ne faut pas penser que tout est résolu si les traitements fonctionnent et que nous pouvons nous reposer sur nos lauriers. Même la station d'épuration la plus moderne est incapable d'éliminer tous les polluants. D'autre part, les métaux lourds et les produits chimiques ont d'autres voies de contamination du milieu naturel que les eaux usées.

### **Des millions de personnes manquent de l'hygiène la plus élémentaire et n'ont pas accès à l'eau potable. Pendant ce temps, l'Eawag travaille à la détection de polluants traces dans le domaine du nanogramme par litre. Est-ce que l'institut passe à côté des vrais problèmes?**

Pour moi, la question ne se pose pas. D'un côté, l'Eawag s'engage à travers le département Sandec pour la résolution des problèmes liés à l'eau dans les pays émergents et en développement. D'un autre côté, la chimie analytique a une grande tradition à l'Eawag et cette force doit être cultivée. C'est également vrai pour d'autres domaines qui, en Suisse, ne sont largement établis que dans notre institut. Je pense notamment à l'hydro-écologie et à la potabilisation des eaux.

### **L'engagement d'Otto Jaag sur la scène politique est souvent cité en exemple. L'Eawag est-il aujourd'hui apolitique?**

Nous avons toujours eu une influence active sur la politique; tout simplement parce que nous avons montré dans quelle direction il convenait d'agir et de quelle manière les problèmes pouvaient être abordés. Prenons par exemple l'étude de 1974 qui attirait l'attention sur la trop forte richesse en phosphates du Greifensee. Notre intervention a immédiatement suscité une forte critique. Les autorités et les associations professionnelles y ont vu une forme d'ingérence. Aujourd'hui, nos relations avec les services de l'Etat sont de l'ordre du partenariat et des liens se sont noués avec les autres acteurs du domaine de l'eau. Cette fonction permanente de « capacity building » est primordiale. L'Eawag doit – indépendamment des intérêts particuliers – mettre en évidence et expliquer les enjeux liés à l'eau: Quels services écologiques rendus par la nature devons-nous à l'eau? Quelle est l'influence de l'eau sur nos sociétés? Pourquoi serons-nous toujours dépendants de certaines qualités des eaux, pour l'eau potable, pour l'irrigation, pour la qualité de vie et pour l'attractivité du paysage? C'est dans la réalisation de cette ambition au meilleur niveau scientifique que réside – même d'un point de vue historique – la véritable raison d'être de l'Eawag. ○ ○ ○

# Une reconnaissance croissante de la valeur de l'eau en tant que ressource

Janet Hering est directrice de l'Eawag depuis 2007, professeure de Biogéochimie environnementale à l'EPF de Zurich et, depuis 2010, de Chimie de l'environnement à l'EPF de Lausanne. Dans un entretien, elle nous explique comment elle applique son principe « Assurer la disponibilité de l'eau pour la santé humaine et la protection de l'eau pour la santé des écosystèmes » à et avec l'Eawag.

Interview: Andri Bryner

**Janet, il y a maintenant quatre ans que tu es directrice de l'Eawag. Quels changements as-tu apportés pendant cette période?** Quand j'ai décidé de venir à l'Eawag, c'est justement le fait qu'aucun changement majeur ne soit nécessaire qui m'a séduite. L'Eawag était et continue d'être reconnu mondialement pour la qualité de sa recherche et de ses infrastructures. Etant donné le haut niveau déjà atteint, j'ai pu me concentrer sur les questions stratégiques comme le renforcement des synergies ou l'amélioration de notre compréhension des systèmes aquatiques ou encore la manière d'aborder et de traiter les thèmes essentiels qui préoccupent notre société. J'espère que j'ai ainsi pu aider à fixer des priorités et à mieux cibler l'utilisation des ressources aussi bien au niveau de l'Eawag dans son ensemble que dans les différentes équipes de recherche.

Un de mes grands sujets de satisfaction est aussi le fait que l'Eawag continue d'attirer des personnalités scientifiques de grande valeur pour diriger les départements de recherche et assumer les chaires d'enseignement mises en place avec les EPF de Zurich et de Lausanne. En effet, ce sont les chercheurs, surtout au niveau senior, qui constituent le véritable moteur de l'Eawag. Mais nous disposons aussi de collaborateurs très compétents au niveau des services organisationnels et techniques sans lesquels le succès de notre structure de recherche serait tout bonnement impossible. Je souhaiterais aussi citer le Centre d'écotoxicologie appliquée que nous avons mis en place avec l'EPFL. Il a été créé pour remplir une mission confiée par le Parlement et je trouve qu'avec nos collègues lausannois, nous nous en acquittons avec grand succès.

**En quoi le contexte de la recherche a-t-il changé?** Comme toute institution, l'Eawag doit réagir aux modifications du contexte sociétal et environnemental s'il veut rester compétitif. Certains de ces changements offrent de nouvelles opportunités en étendant notamment le champ des coopérations internationales possibles, aux nouveaux Etats membres dans le cadre des programmes européens par exemple. Cette grande ouverture exige une définition encore plus claire des priorités d'action. D'un autre côté, nous

devons aussi maintenir l'importance accordée aux préoccupations nationales. Malheureusement, notre engagement dans les programmes européens implique également une bureaucratie plus lourde. Bien sûr, je demande aussi à mes collègues de l'Eawag de me rendre des comptes mais je trouve que cela doit se faire dans un contexte défini par des objectifs et motivations communs plutôt que par le contrôle.

**Qu'est-ce qui te préoccupe particulièrement?** Je suis un peu surprise du fait que la position privilégiée de l'Eawag ne soit pas reconnue par tous ses chercheurs et que nous ne soyons pas encore en mesure d'exploiter totalement notre capital. Contrairement à leurs collègues d'autres pays, les chercheurs de l'Eawag n'ont pas besoin de restreindre leur calendrier de recherche en fonction des financements extérieurs disponibles. Bien entendu, les apports externes sont toujours bienvenus mais nous disposons de nos propres moyens qui nous confèrent une certaine indépendance et une grande liberté en matière d'innovation et de pluridisciplinarité. Nous pouvons aller bien plus loin que ne l'autoriseraient certains commanditaires.

**Maintenant que les lacs et cours d'eau suisses sont propres, l'Eawag a-t-il perdu sa raison d'être?** La recherche des 30 dernières années a fortement élargi le champ de nos connaissances sur l'équilibre des systèmes hydriques. Certains problèmes comme l'eutrophisation ont heureusement pu être résolus, du moins dans les pays industrialisés. Mais même en Suisse, de nombreuses interrogations subsistent: Pourquoi les populations autochtones de poissons déclinent-elles? Quelles sont les meilleures stratégies à adopter pour l'épuration des eaux ou la restauration des systèmes fluviaux? La question de l'impact des micropolluants est également un sujet de préoccupation majeur.

Mais les problèmes sont encore plus urgents dans les zones arides des pays émergents et en développement. Les populations y souffrent directement du manque d'eau et de sa qualité insuffisante. La dégradation croissante de l'environnement compromet la capacité des écosystèmes aquatiques à rendre les

services dont les populations humaines sont dépendantes comme la productivité piscicole ou l'autoépuration des rivières. Pour la recherche, cette situation est à la fois une chance et un mandat. Elle a en effet, dans une certaine mesure, le pouvoir et donc le devoir d'améliorer les conditions de vie dans ces pays.



### Que peut faire la directrice pour l'atteinte de ces objectifs?

De par ma fonction, j'ai le privilège de diriger une communauté importante de chercheurs et professionnels de talent qui travaillent sur ces questions avec beaucoup d'engagement. Je soutiens leurs activités en m'engageant pour leur assurer un environnement de recherche favorable. D'autre part, j'espère que nous allons encore renforcer nos collaborations nationales et internationales. Des pays comme la Chine ou l'Inde qui connaissent actuellement une croissance fulgurante offrent d'excellentes possibilités pour l'application des avancées de la recherche suisse et l'exportation de technologies. Les chercheurs de l'Eawag jouissent depuis longtemps d'une excellente réputation d'experts auprès des administrations et de l'industrie. Avec le Centre Ecotox et le Centre de compétence pour l'eau potable, nous avons renforcé cette capacité d'expertise.

### Comment se passe ce transfert de savoir vers la pratique?

Par une collaboration étroite entre les chercheurs et les acteurs de terrain comme les distributeurs d'eau, les exploitants de stations d'épuration ou les fabricants de produits chimiques et d'appareils. Pour les inventions et les « spin-offs », nous avons un service spécialisé qui s'occupe par exemple des brevets. Mais le transfert de savoir s'effectue aussi par le biais de l'enseignement auquel participent de nombreuses personnes de l'Eawag, que ce soit dans les deux EPF, dans les universités ou dans les hautes écoles spécialisées. Depuis 2008, nous proposons un programme de formation pour les doctorants des pays en développement. Nous organisons d'autre part régulièrement des événements ouverts au public comme la journée d'information de l'Eawag et éditons diverses publications. Enfin, l'Eawag met en œuvre son savoir-faire dans le domaine législatif, pour la définition de seuils de toxicité par exemple.

### Tu travailles actuellement à la planification stratégique de l'Eawag pour la période 2012–2016. Quels en sont les points forts?

Nous voulons conforter et renforcer les atouts de l'Eawag en matière de recherche, d'enseignement et de conseil aussi bien dans les différentes disciplines que dans les projets inter- et transdisciplinaires. Nous souhaitons d'autre part intensifier la coopération au sein du domaine des EPF et avec les universités cantonales, poursuivre l'extension de notre réseau international et veiller au maintien d'un climat favorable afin que l'Eawag conserve son attractivité pour les scientifiques de haut niveau en Suisse comme à l'étranger. Nous devons par ailleurs continuer à développer nos rapports avec la pratique notamment par le biais de la formation continue et de l'expertise, à travers le Centre d'écotoxicologie appliquée et le Centre de compétence pour

l'eau potable par exemple. Dans le domaine des sciences naturelles, sociales et de l'ingénieur, nous voulons poser les bases nécessaires pour pouvoir à la fois respecter les besoins de l'homme en eau et préserver l'environnement aquatique et sa capacité à rendre les services écosystémiques indispensables, soit en résumé pour assurer la disponibilité de l'eau pour la santé humaine et protéger l'eau pour la santé des écosystèmes.

**Qu'est-ce que cela signifie pour l'avenir de l'eau?** La société a depuis longtemps conscience de l'utilité directe de l'eau pour l'homme mais l'importance des services rendus par les écosystèmes aquatiques est reconnue depuis peu. Je crois avec optimisme que nous allons développer une conscience croissante de la valeur de l'eau en tant que ressource et donc de l'importance de sa protection. Nous devons encourager les innovations techniques et les changements dans la société de façon à ce que la pression en grande partie exercée par l'humanité sur les ressources hydriques diminue sans que le bien-être ou la santé des populations soient compromis. J'espère que l'Eawag continuera à jouer un rôle majeur dans cette aventure. ○○○

### Professeurs – titulaires, assistants et chercheurs – à l'Eawag

(Professeurs ordinaires, voir p. 8)

	Domaine	Etablissement
Flavio Anselmetti	Sédimentologie	EPF de Zurich
Jürg Beer	Biogéochimie/ Dynamique des polluants	EPF de Zurich
Rik Eggen	Toxicologie de l'environnement	EPF de Zurich
Thomas Egli	Microbiologie de l'environnement	EPF de Zurich
Juliane Hollender	Chimie de l'environnement	RWTH Aachen, EPF de Zurich
Rolf Kipfer	Eau potable/Ressources en eau	EPF de Zurich
Hans-Joachim Mosler	Psychologie sociale et environnementale	Université de Zurich
Peter Reichert	Analyse des systèmes/ modélisation	EPF de Zurich
Kristin Schirmer	Toxicologie de l'environnement	EPF de Lausanne; Université de Waterloo, Canada
Mario Schirmer	Hydrogéologie	Université de Neuchâtel
Hans-Ruedi Siegrist	Technologie des procédés	EPF de Zurich
Laura Sigg	Toxicologie de l'environnement	EPF de Zurich
Bernhard Truffer	Recherche sur les innovations dans le domaine social	Université de Berne
Christoph Vorburger	Ecologie de l'évolution	Fonds nationale suisse (EPF de Zurich)
Urs von Gunten	Eau potable/ Ressources hydriques	EPF de Zurich (+ prof. ord. EPFL)
Lenny Winkel	Géochimie inorganique de l'environnement	Fonds nationale suisse (EPF de Zurich)
Alfred Wüest	Physique des milieux aquatiques	EPF de Zurich



Kristin Schirmer, biologiste, dirige le département de Toxicologie de l'environnement.

## Produits de transformation : un risque écologique ?

En milieu aquatique, les produits chimiques peuvent subir des transformations sous l'effet de processus naturels ou techniques comme l'exposition au rayonnement ultraviolet. Mais cette dégradation implique-t-elle nécessairement une réduction du risque environnemental ? En s'appuyant sur sa connaissance des processus de transformation chimique et sur diverses techniques d'analyse chimique et biologique, l'Eawag travaille à l'élaboration de stratégies ayant trait à cette question.

Les processus oxydatifs et photochimiques jouent un rôle essentiel dans la dégradation des composés organiques dans les milieux aquatiques naturels ou dans le traitement des eaux. En général, les substances ne sont cependant pas directement transformées en eau et en gaz carbonique (minéralisation totale) mais en une variété plus ou moins importante de produits de transformation. Les connaissances disponibles sur l'identité de ces composés et *a fortiori* sur le risque potentiel qu'ils représentent pour l'environnement sont cependant très limitées.

Une analyse des données disponibles sur la distribution, le comportement et la toxicité de certains pesticides et de leurs produits de transformation semble indiquer que les rapports entre ces derniers et leur molécule mère présentent une certaine similitude avec les relations parents-enfants. Ainsi, l'étude en question à laquelle avait également participé la chimiste Kathrin Fenner du département de Chimie de l'environnement de l'Eawag [1] montre

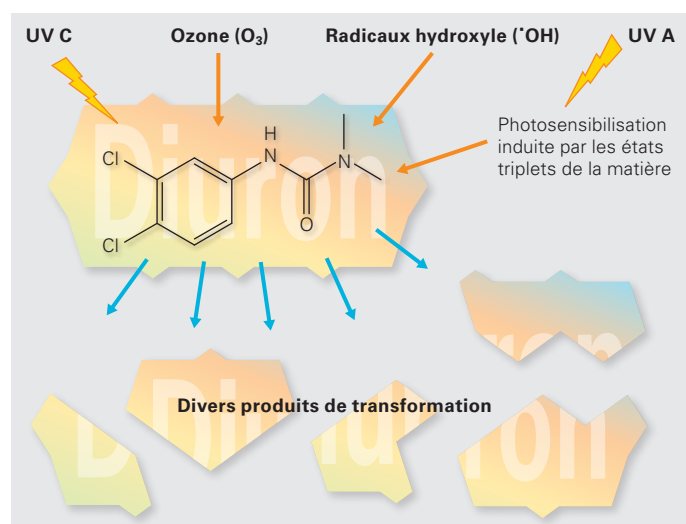
que les produits de transformation sont beaucoup plus fréquents que les composés parentaux et qu'ils pourraient également s'avérer plus persistants. Ils semblent d'autre part plus mobiles, c'est-à-dire qu'ils présentent une moindre tendance à se lier à la matière organique, dans les sédiments par exemple. Enfin, les produits de transformation sont souvent moins toxiques que leurs « parents ».

**Evaluation basées sur l'exposition.** Dans certains cas, toutefois, la toxicité des produits de transformation peut s'avérer de 10 à 100 fois supérieure à la substance d'origine. C'est par exemple le cas des produits d'oxydation du diclofénac, un antalgique fréquemment rencontré dans le milieu aquatique. Sous l'effet du rayonnement solaire, le diclofénac se transforme en composés dont le mélange produit une inhibition de la reproduction des algues vertes unicellulaires beaucoup plus élevée que le diclofénac lui-même [2]. Il ne fait donc aucun doute que les produits de transformation sont susceptibles de contribuer à la pollution chimique des eaux et qu'une évaluation du risque qu'ils représentent s'impose. Mais, étant donné la multitude de réactions et de mélanges potentiels résultants, comment estimer si des substances écotoxicologiquement préoccupantes se sont effectivement formées ?

L'évaluation du risque lié aux produits de transformation peut se faire selon deux approches respectivement basées sur l'un des éléments définissant le risque : l'exposition et les effets. Un risque environnemental n'existe en effet que si les organismes sont au contact des produits de transformation dans l'environnement (exposition) et si ces mêmes produits provoquent une réaction dans les organismes exposés (effets). L'évaluation de l'exposition reposera donc sur la nature des produits de transformation formés et sur leurs concentrations respectives dans l'environnement. Celle de la dangerosité des effets se basera quant à elle sur une évaluation de la toxicité du produit de transformation par rapport à la substance d'origine.

Selon les priorités de l'évaluation, deux approches sont donc possibles : l'une basée sur l'exposition, l'autre sur les effets. L'exposition et les effets sont étroitement liés dans les deux

Fig. 1 : Processus de transformation pris en compte dans l'approche d'évaluation basée sur les effets (le diuron est pris ici à titre d'exemple d'une molécule parentale).



démarches mais les méthodes adoptées et le degré de détail des informations obtenues diffèrent [3].

L'évaluation basée sur l'exposition vise une identification par analyse chimique des produits de transformation dans les échantillons environnementaux. Si les résultats des analyses indiquent la présence de produits de transformation à des concentrations significatives, un fractionnement et des analyses complémentaires sont effectués pour les identifier. Dans le meilleur des cas, un profil des effets biologiques des substances identifiées ou de substances similaires a déjà été établi. Le plus souvent, cependant, ces informations ne sont pas disponibles. Il est alors nécessaire de procéder à une détermination des effets par des essais biologiques effectués avec les produits de transformation isolés ou synthétisés à cet effet.

**Evaluation basée sur les effets.** L'évaluation basée sur les effets repose sur la toxicité de la substance parentale et du mélange de ses produits de transformation déterminée par essais biologiques. Si le potentiel toxique du mélange de substances diminue proportionnellement à la dégradation de la molécule mère au cours des processus de transformation, on peut considérer que la substance d'origine est responsable de la majeure partie de la toxicité et qu'elle est donc l'élément décisif à prendre en compte pour l'évaluation du risque environnemental. Ce n'est que si le mélange de produits de transformation s'avère plus toxique que celle attendue de la substance d'origine qu'une identification des substances toxicologiquement actives est entreprise. La combinaison d'une technique de fractionnement, d'essais biologiques et d'analyses chimiques peut être utilisée à cette fin [4].

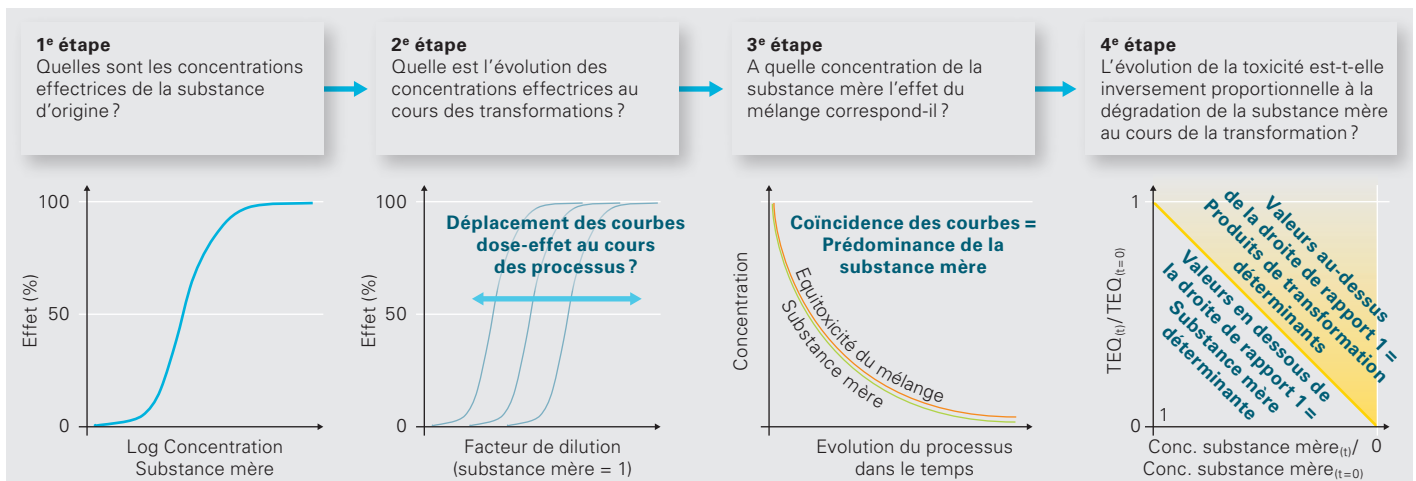
Il apparaît clairement que l'approche basée sur l'exposition demande un fort investissement de temps et de moyens mais qu'elle livre en échange des informations détaillées sur l'identité et la toxicité des produits de transformation. L'approche basée sur les effets est de son côté plus pragmatique et moins lourde puisqu'elle ne prévoit d'étude détaillée de l'identité et de la toxicité des produits de transformation que si les effets produits diffé-

rent de ceux attendus de la substance d'origine. Pour que le travail d'analyse chimique et biologique livre des résultats, les deux approches exigent l'une comme l'autre une première estimation grossière de la nature des produits de transformation potentiels. Les prédictions effectuées à partir d'expertises et de modèles informatiques portant sur la nature et le mode d'action biologique des produits de transformation attendus constituent alors des outils indispensables [5, 6].

**Evaluation en quatre étapes.** Etant donné la multitude de substances préoccupantes et de processus de transformation oxydatifs et photochimiques possibles, les chercheurs de l'Eawag Nadine Bramaz et Kristin Schirmer du département de Toxicologie de l'environnement et Hana Mestankova, Urs von Gunten et Silvio Canonica du département Ressources aquatiques et eau potable de même que Beate Escher du Centre national de recherche australien en toxicologie environnementale (Entox) étudient actuellement l'approche d'évaluation basée sur les effets. La démarche actuellement privilégiée s'intéresse principalement aux effets biologiques spécifiques comme par exemple l'inhibition d'une activité enzymatique précise ou encore de la photosynthèse [7]. Ces effets spécifiques sont généralement provoqués à des concentrations de polluant largement inférieures à la toxicité dite « base-line » qui correspond à un impact non spécifique sur l'intégrité des membranes cellulaires. Dans l'approche basée sur les effets, l'évolution de la toxicité du mélange substance parentale / produits est étudiée pour quatre processus de transformation (Fig. 1): la photolyse directe par rayonnement UV, la photosensibilisation induite par les états triplets suite à l'excitation des molécules organiques par le rayonnement solaire, l'oxydation par les radicaux hydroxyle et l'oxydation par l'ozone.

Les chercheurs ont ainsi étudié l'action du diuron sur l'algue verte unicellulaire *Pseudokirchneriella subcapitata* à l'aide de l'approche basée sur les effets. Le diuron [3-(3,4-dichlorophényle)-1,1-diméthylurée] est un herbicide agissant spécifiquement sur les végétaux par une inhibition de la photosynthèse et de la

Fig. 2: La méthode d'évaluation basée sur les effets se déroule en quatre étapes.



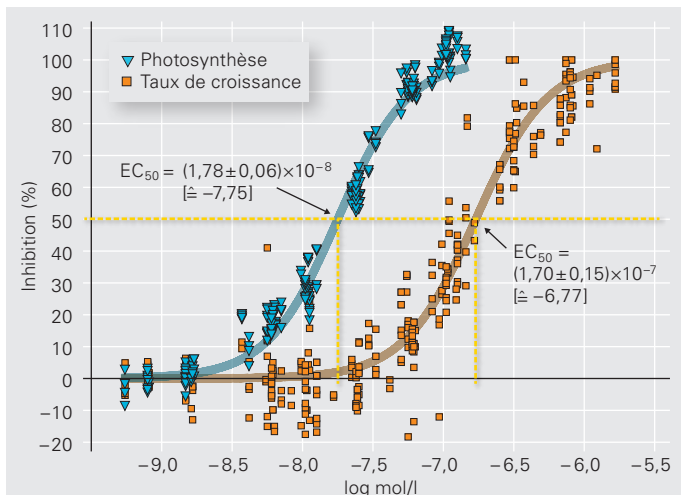


Nadine Bramaz et Hana Mestankova discutant des résultats sur la toxicité des mélanges de produits de transformation et de substance mère obtenus sur plaques de microtitration. En arrière-plan, le chromatographe utilisé pour déterminer la concentration de substance d'origine dans le mélange au cours de la transformation.

croissance. Cette algue a été choisie par les scientifiques comme modèle d'organisme photosynthétique suite à sa représentativité écotoxicologique et à sa facilité de culture et de manipulation.

La méthode d'évaluation basée sur les effets se déroule en quatre étapes (Fig. 2). Dans un premier temps, les concentrations effectrices de la substance d'origine sont déterminées – dans notre cas, les concentrations auxquelles le diuron provoque une inhibition de la photosynthèse et de la croissance chez les algues exposées. Ces concentrations serviront plus tard de référence pour l'appréciation de la toxicité du mélange (3<sup>ème</sup> étape). Pour le

Fig. 3: Relations dose-effet pour l'inhibition de la photosynthèse et de la croissance chez l'algue verte *Pseudokirchneriella subcapitata* dans un test algues combiné [8].



diuron, la concentration effectrice EC<sub>50</sub> pour laquelle la quantité de quanta de lumière captés par l'appareil photosynthétique de *Pseudokirchneriella subcapitata* est réduite de 50 pour cent au bout de deux heures d'exposition est de  $1,78 \pm 0,06 \times 10^{-8}$  moles par litre (mol/l); pour l'inhibition de la croissance sur 24 heures, l'EC<sub>50</sub> était de  $1,7 \pm 0,15 \times 10^{-7}$  mol/l (Fig. 3).

La deuxième étape consiste ensuite à étudier les quatre processus de transformation tels qu'ils ont été présentés dans la figure 1. Pour ce faire, les effets du mélange formé – dans notre cas, le diuron et ses produits de transformation – sont analysés à différents moments au cours des processus. La figure 4a présente l'évolution des courbes dose-effet pour l'inhibition de la photosynthèse au cours de la dégradation directe du diuron par photolyse. Etant donné que les concentrations ne peuvent plus être attribuées à des composés précis, l'EC<sub>50</sub> est indiquée sous la forme d'un facteur de dilution (la valeur 1 correspondant à la concentration de départ du diuron). La figure montre bien que les courbes dose-effet évoluent vers des concentrations plus élevées au cours de la photolyse, ce qui indique une atténuation de l'effet inhibiteur du mélange sur le photosystème au cours du processus.

### Les produits de transformation jouent-ils un rôle toxique majeur?

Pour pouvoir comparer les effets des mélanges à ceux de la substance mère, la troisième étape fait appel au principe des équivalents toxiques (TEQ) [8, 9]. Le rapport entre les valeurs d'EC<sub>50</sub> du composé de référence (dans notre cas, le diuron) et celles des différents mélanges est calculé: La concentration d'équivalents diuron (DEQ) résultante indique la concentration de diuron à laquelle correspond l'effet mesuré avec le mélange. Si la toxicité du mélange est uniquement dominée par la substance mère, les concentrations d'équivalent diuron livrées par les essais biologiques doivent correspondre à celles mesurées par analyse chimique sur toute la durée du processus considéré. Une telle évolution a ainsi été observée pour la phototransformation directe du diuron (Fig. 4b).

Dans la quatrième étape, les quotients des teneurs en DEQ déterminées biologiquement et de la teneur en DEQ de départ sont mis en relation avec les quotients des concentrations de diuron déterminées par analyse chimique et de la teneur d'origine en diuron sur la durée du processus de transformation. Dans le cas où le diuron est seul responsable de l'effet biologique du mélange, on obtient une diminution de la teneur en DEQ proportionnelle à celle de la teneur en diuron dans un rapport de 1. Si le mélange de produits de transformation est plus toxique que la substance de référence, les valeurs de DEQ se situent au-dessus de la droite de rapport 1 (Fig. 2, 4<sup>e</sup> étape). La figure 4 montre que la photolyse du diuron se déroule selon le premier cas de figure. Au cours de ce processus de transformation, le diuron reste bien le principal responsable aussi bien de l'inhibition de la photosynthèse que de celle de la croissance chez les algues exposées. Il en découle que pour la combinaison et les bioessais utilisés, il ne sera pas nécessaire d'effectuer des analyses complémentaires pour l'évaluation écotoxicologique des produits de transformation. Les travaux menés sur les trois autres processus (photo)-oxydatifs ont abouti au même type de conclusions.



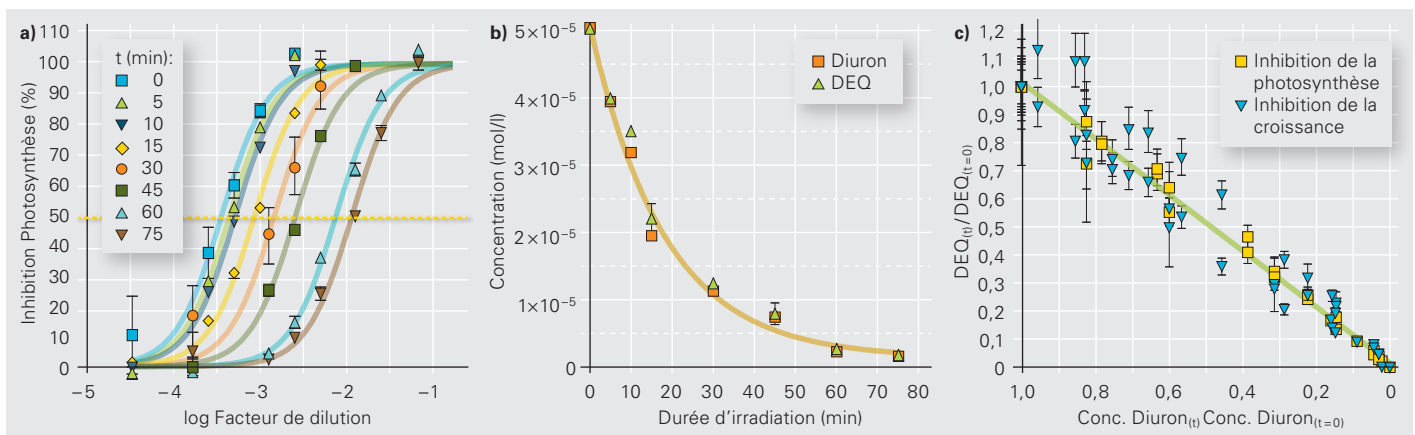


Fig. 4: Effets du diuron et de ses produits de transformation par photolyse sur l'algue verte unicellulaire *Pseudokirchneriella subcapitata*.  
a) La photo-oxydation directe du diuron (50  $\mu\text{mol/l}$ , pH = 8) donne lieu à un mélange de produits de transformation et de substance d'origine dont l'action inhibitrice sur la photosynthèse diminue au cours de la réaction.  
b) La diminution de la concentration d'équivalents diuron (DEQ) au cours de la photolyse coïncide avec celle de la concentration de diuron.  
c) La relation de proportionnalité entre les effets biologiques (inhibition de la photosynthèse et inhibition de la croissance) et la concentration de diuron indique le rôle prédominant de la substance d'origine dans la toxicité du mélange avec les produits de transformation.

**Poursuivre l'optimisation de la méthode.** Etant donné la multiplicité et la complexité des mélanges possibles de produits de transformation dans l'environnement, il semble judicieux de procéder par étapes pour l'analyse du risque écotoxicologique. Nous proposons d'appliquer la méthode d'évaluation présentée ici pour estimer avant toute analyse plus poussée si les produits de transformation formés présentent une toxicité supérieure à celle de la substance mère ou si le risque écotoxicologique peut être évalué à partir du seul polluant d'origine.

Après le diuron, la méthode présentée est actuellement appliquée à l'étude des produits de transformation de la dégradation (photo)-oxydative du triclosan (bactéricide) et de l'oseltamivir (substance active du médicament antiviral Tamiflu). Dans un autre projet financé par l'American Water Research Foundation, nous travaillons avec l'Université du Colorado à l'étude de composés de la liste de substances prioritaires établie par l'Agence environnementale américaine pour la contamination de l'eau destinée à la consommation humaine. Ces études vont permettre une évaluation mieux fondée des limites et des potentialités réelles des processus de dégradation oxydative ou photochimique pour assurer la qualité de l'eau potable et la protection des milieux aquatiques. Dans le même temps, elles vont contribuer à optimiser et à valider notre méthode d'évaluation. La principale difficulté dans cette entreprise consiste à identifier les effets biologiques potentiels en les déduisant de la structure chimique de la substance d'origine ou de mécanismes d'action connus. ○ ○ ○

- [1] Boxall A.B.A., Sinclair C.J., Fenner K., Kolpin D., Maund S.J. (2004): When synthetic chemicals degrade in the environment. *Environmental Science & Technology* 38, 368A–375A.
- [2] Schmitt-Jansen M., Bartels P., Adler N., Altenburger R. (2007): Phytotoxicity assessment of diclofenac and its phototransformation products. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 387, 1389–1396.
- [3] Escher B.I., Fenner K. (2011): Recent advances in environmental risk assessment of transformation products. *Environmental Science & Technology* 45, 3835–3847.
- [4] Brack W. (2003): Effect-directed analysis: A promising tool for the identification of organic toxicants in complex mixtures? *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 377, 397–407.
- [5] Kern S., Fenner K., Singer H.P., Schwarzenbach R.P., Hollender J. (2009): Identification of transformation products of organic contaminants in natural waters by computer-aided prediction and high-resolution mass spectrometry. *Environmental Science & Technology* 43, 7039–7046.
- [6] Escher B.I., Baumgartner R., Lienert J., Fenner K. (2009): Predicting the ecotoxicological effects of transformation products, in: *Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 2, Reaction and Processes*, ABA, Springer, Berlin/Heidelberg.
- [7] Mestankova H., Escher B., Schirmer K., von Gunten U., Canonica S. (2011): Evolution of algal toxicity during (photo)oxidative degradation of diuron. *Aquatic Toxicology* 101 (2), 466–473.
- [8] Escher B.I., Bramaz N., Müller J.F., Quayle P., Rutishauser S., Vermeirssen E. (2008): Toxic equivalent concentrations (TEQs) for baseline toxicity and specific modes of action as a tool to improve evaluation of ecotoxicity tests on environmental samples. *Journal of Environmental Monitoring* 10, 612–621.
- [9] Villeneuve D.L., Blankenship A.L., Giesy J.P. (2000): Derivation and application of relative potency estimates based on in-vitro bioassays. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19, 2835–2843.

# Microbiologie de l'eau potable : de la théorie à la pratique



Frederik Hammes, microbiologiste de l'environnement, travaille au sein d'un groupe de Microbiologie de l'eau potable et d'écophysiologie du département de Microbiologie de l'environnement.

L'eau de boisson renferme naturellement une grande variété de microorganismes et les processus microbiens jouent même un rôle central dans la potabilisation des eaux. Toutefois, la présence de bactéries indésirables peut compromettre la qualité de l'eau. De nouveaux procédés permettent maintenant une meilleure surveillance de l'eau potable et une meilleure compréhension des processus microbiens dans ce milieu.

Les bactéries sont une composante naturelle de l'eau potable. La plupart des consommateurs et consommatrices sont toutefois peu enclins à accepter la présence de ces organismes invisibles et pour la plupart inconnus. Cette mauvaise presse est en partie due au fait que certains germes véhiculés par l'eau de boisson peuvent provoquer des maladies. Ainsi, ces dernières années, des milliers de personnes ont péri en Haïti et au Zimbabwe suite à des épidémies de choléra dues à la bactérie *Vibrio cholera*. Un développement incontrôlé de bactéries peut d'autre part affecter la coloration ou les propriétés organoleptiques de l'eau potable ou en causer la turbidité.

Mais la grande majorité des microorganismes de l'eau potable sont inoffensifs. Les processus microbiens sont bien au contraire

un élément majeur des traitements de potabilisation des eaux. De nombreuses usines de production d'eau potable recourent ainsi à la filtration biologique dans laquelle des bactéries (fixées par exemple dans un filtre à charbon actif ou à sable) assurent l'élimination de composés organiques indésirables [1].

**L'équilibre bactérien.** Il est donc indispensable de disposer d'une connaissance suffisante de la diversité des microorganismes, de leur écologie et des processus microbiologiques qui se déroulent dans l'eau de boisson pour continuer d'améliorer la gestion de l'eau potable et livrer aux consommateurs et consommatrices un produit sûr et de bonne qualité. L'objectif n'est pas uniquement de produire une eau potable de qualité irréprochable

Les processus microbiologiques fondamentaux qui se déroulent dans les systèmes d'alimentation en eau potable sont encore mal connus.

Photo : Diversité des microorganismes intervenant au niveau d'un filtre biologique utilisé pour la potabilisation des eaux.

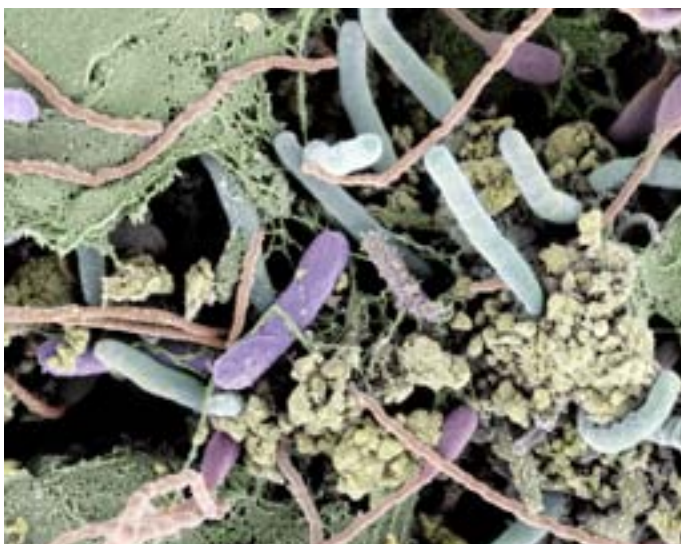
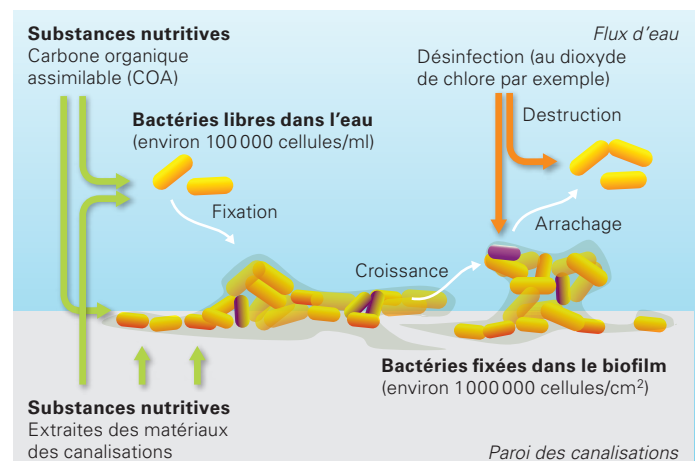


Fig. 1 : Equilibre dynamique dans une conduite d'eau potable. Les microorganismes se nourrissent principalement de carbone organique assimilable (COA). On appelle COA la partie du carbone dissous dans l'eau qui est immédiatement utilisable par les microorganismes et qui joue un rôle décisif pour leur prolifération. Le COA est donc un paramètre clé pour le contrôle du nombre de bactéries dans l'eau potable et donc de sa stabilité microbiologique.



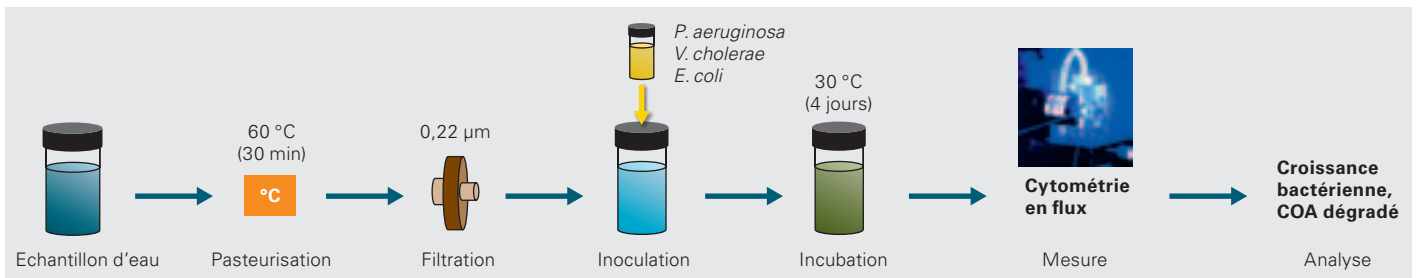


Fig. 2: Principe de fonctionnement de la méthode PGP (d'après [4]).

mais aussi d'en garantir la qualité à l'arrivée chez le consommateur. Pour éviter une croissance bactérienne trop importante lors du transport et du stockage de l'eau potable, des produits désinfectants tels que le chlore ou le dioxyde de chlore lui sont ajoutés dans certains pays. Cette mesure peut cependant s'accompagner d'effets secondaires étant donné qu'en plus d'éliminer les germes pathogènes, le chlore peut réagir avec la matière organique encore contenue dans l'eau potable et former des sous-produits toxiques [2].

La Suisse et de nombreux pays européens comme l'Allemagne, l'Autriche et les Pays-Bas souhaitent éviter les ajouts de produits chimiques dans l'eau potable et misent déjà dans de nombreux réseaux de distribution, en plus de la chloration, sur une stabilisation biologique de l'eau. Cette idée est le fruit d'observations et connaissances scientifiques et techniques et de l'expérience acquise sur le terrain. L'objectif est d'empêcher la croissance bactérienne dans les conduites par une limitation des apports de nutriments. En effet, l'abondance des bactéries dépend de la quantité de substances nutritives présentes dans l'eau sous forme de carbone organique (sucre, acides aminés, acides organiques, etc.). La compétition entre les microorganismes pour cette nourriture limite de son côté la prolifération des différentes espèces et contribue à un équilibre stable dans la communauté (Fig. 1).

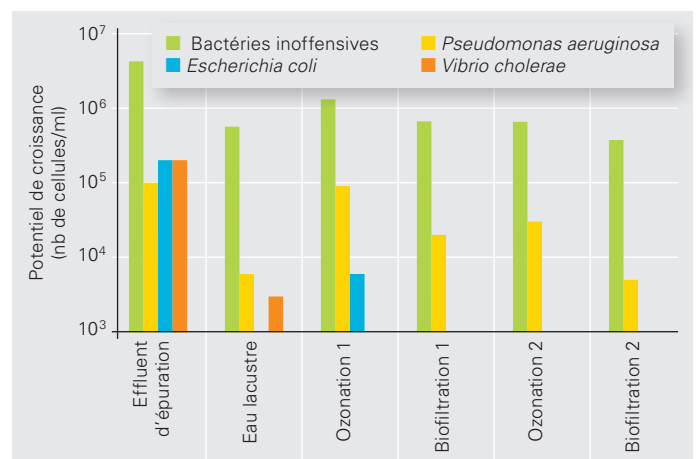
Pour pouvoir contrôler la qualité microbiologique de l'eau potable avec fiabilité, il est donc besoin de méthodes d'analyse permettant de mesurer des paramètres tels que l'offre alimentaire ou la biomasse bactérienne.

**Evaluation du potentiel de croissance des pathogènes.** Le dosage des substances nutritives disponibles est une bonne méthode pour estimer le nombre de bactéries pouvant se développer dans l'eau potable. Étant donné que le carbone organique constitue normalement le facteur limitant, presque tous les services des eaux effectuent un dosage du carbone organique dissous (COD) dans leurs analyses de routine. La teneur en COD de l'eau considérée comme potable est en moyenne de 0,5 à 2 milligrammes par litre. Les microorganismes n'en consomment toutefois que de 1 à 10 %. Cette partie, le carbone organique assimilable (COA), correspond donc à la fraction déterminante pour la potabilisation des eaux [3]. Les moindres traces de COA peuvent induire une croissance bactérienne indésirable. Ainsi, 0,001 milligrammes suffisent à nourrir 10 000 000 de cellules bactériennes.

Pour pouvoir évaluer la qualité hygiénique de l'eau, il ne suffit cependant pas de mesurer la quantité de COA. Il importe bien davantage de détecter avec fiabilité la présence de germes pathogènes éventuels. Au cours des dix dernières années, l'Eawag a donc travaillé à l'élaboration d'une méthode permettant de doser spécifiquement la part du COA dont se nourrissent les bactéries pathogènes [4]. Cette méthode repose sur la constatation de préférences nutritionnelles très marquées chez les différentes espèces de bactéries et de grandes différences dans leur capacité à dégrader les nutriments. La technique appelée « pathogen growth potential (PGP) assay » permet ainsi d'estimer directement si et à quel degré un échantillon d'eau est favorable au développement de bactéries spécifiques comme *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* ou *Pseudomonas aeruginosa* (Fig. 2).

Le fait que la méthode PGP puisse être appliquée à d'autres milieux que l'eau potable a été démontré par de nombreux tests réalisés avec des effluents et de l'eau prélevée dans le milieu naturel. La figure 3 montre par exemple comment le potentiel de croissance des bactéries pathogènes et inoffensives évolue au cours des traitements de potabilisation d'une eau lacustre en comparaison avec un effluent de station d'épuration. La filtration biologique produit ainsi un abattement presque total du PGP – mis à part un potentiel résiduaire pour *Pseudomonas aeruginosa* – du

Fig. 3: Evolution du potentiel de croissance des pathogènes et des bactéries inoffensives dans une eau en cours de potabilisation par rapport à un effluent d'épuration (d'après [4]).



fait de la consommation du carbone organique assimilable par les bactéries du filtre au détriment des pathogènes.

La méthode PGP permet non seulement d'évaluer la qualité de l'eau pour la consommation humaine mais aussi de contrôler l'efficacité des traitements de potabilisation. Elle livre d'autre part des informations précieuses sur les exigences nutritionnelles des différentes espèces de bactéries et sur la compétition pour la nourriture entre les pathogènes et les bactéries inoffensives.

**Comptage des bactéries viables et non viables.** Un millilitre d'eau potabilisée renferme entre 20 000 et 200 000 cellules bactériennes selon l'origine de l'eau brute et les techniques de potabilisation employées. Le nombre de bactéries présentes dans l'eau potable est un paramètre crucial aussi bien pour les scientifiques que pour les responsables sur le terrain. En effet, toute modification de la concentration en bactéries est révélatrice de processus microbiens susceptibles de modifier la qualité de l'eau.

En complément de la méthode PGP, certaines techniques permettent une détermination directe des concentrations de cellules. Ainsi par exemple, la dégradation du carbone organique assimilable peut être suivie par l'augmentation du nombre de bactéries. De telles mesures sont particulièrement intéressantes pour contrôler la stabilité microbiologique de l'eau potable pendant son séjour dans le réseau de distribution.

Avec la cytométrie en flux et le dosage de l'adénosine triphosphate (ATP), l'Eawag a développé ces dernières années des outils d'analyse capables de remplacer les méthodes traditionnelles de culture sur milieu gélosé qu'elles surpassent par leur exactitude et leur rapidité [5 et 6]. Ces deux approches complémentaires nous permettent de déterminer la qualité microbiologique d'une large gamme d'échantillons d'eau (eau souterraine, eau potable, eaux minérales, eaux de surface, eaux usées, etc.) (Fig. 4).

Pour contrôler de l'efficacité des mesures de désinfection (par ozonation ou chloration par exemple), les laboratoires ont toutefois besoin de techniques permettant de dénombrer les cellules vivantes ou viables.

La cytométrie en flux combinée à des méthodes de coloration livre également des informations sur l'activité ou la viabilité des microorganismes présents dans l'eau. Ainsi, grâce à cette méthode, Maaik Ramseier a pu démontrer l'efficacité de différents oxydants pour la désinfection de l'eau (ozone, chlore, dioxyde de chlore, monochloramine, ferrate et permanganate) dans sa thèse de doctorat [7]. Les oxydants attaquent en effet les parois

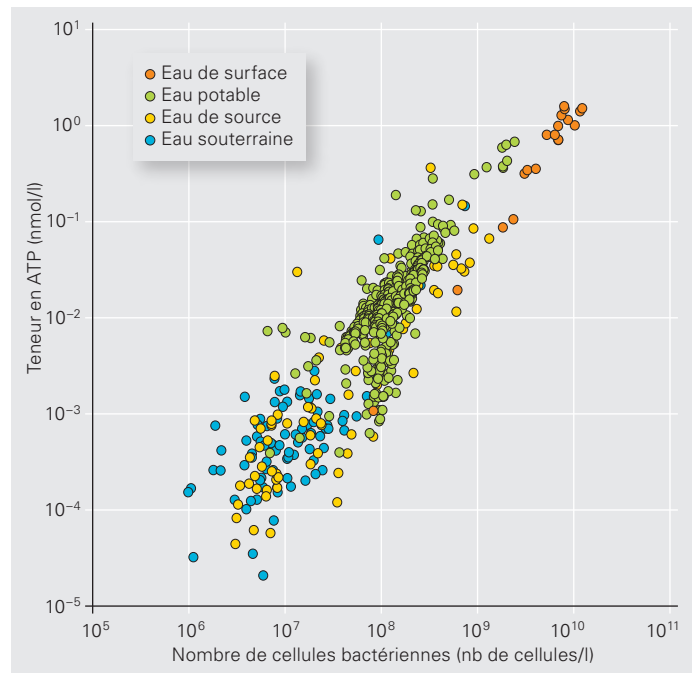


Fig. 4 : Corrélation entre le nombre de cellules bactériennes (mesuré par cytométrie en flux) et la teneur en ATP de divers échantillons d'eau. Les échantillons présentent des rapports différents en fonction de leur origine (données tirées de [6] ou fournies par Stefan Kötzsch).

cellulaires de bactéries et les affectent ainsi gravement. L'iodure de propidium permet une coloration sélective des cellules aux membranes endommagées et donc de les distinguer des cellules intactes lors du comptage par cytométrie en flux. Dans un échantillon d'eau du robinet traitée au dioxyde de chlore, la progression de la neutralisation des bactéries au cours du traitement a pu être suivie (Fig. 5).

Par la caractérisation de propriétés spécifiques des cellules (dans ce cas, l'intégrité de la paroi cellulaire), il est non seulement possible d'évaluer l'efficacité d'une méthode de désinfection mais aussi d'expliquer en partie les mécanismes en jeu lors du processus. En combinant méthodes de coloration et cytométrie en flux, les scientifiques ont ainsi élaboré un outil d'analyse permettant d'étudier et de comprendre la cinétique d'élimination des bactéries.

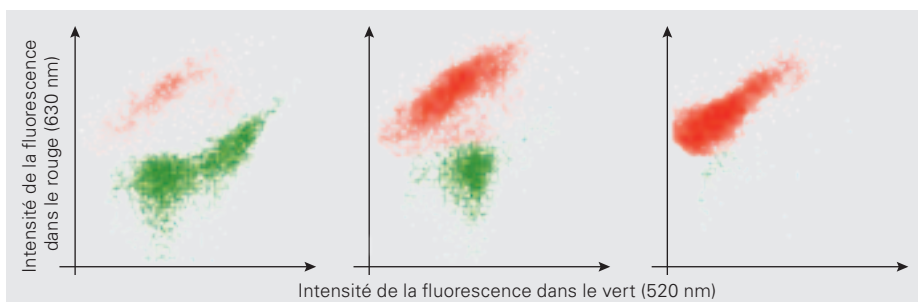


Fig. 5 : Distinction entre cellules bactériennes viables et non viables par cytométrie en flux après coloration à l'iodure de propidium. Les cellules colorées en rouge sont endommagées, les vertes intactes (sans coloration spécifique). De gauche à droite, le degré d'atteinte des bactéries augmente suite à la prolongation de l'exposition au désinfectant (d'après [7]).

Les producteurs et distributeurs d'eau potable disposent de leur côté d'un procédé leur permettant de vérifier directement sur le terrain l'efficacité des techniques de désinfection employées. Ce contrôle en temps réel leur permet de réagir immédiatement aux dysfonctionnements éventuels et aux modifications de la qualité microbiologique de l'eau. Ainsi, la distinction entre bactéries blessées et intactes permet une surveillance des réseaux distribuant de l'eau chlorée : étant donné que la chloration détruit totalement les bactéries, la présence de cellules intactes dans les conduites est révélatrice d'une croissance bactérienne et donc d'une défaillance de la protection chimique. Pour la Suisse, cette approche est particulièrement intéressante étant donné que de plus en plus de producteurs d'eau potable envisagent de passer du traitement chimique à la stabilisation biologique pour garantir l'innocuité microbiologique de l'eau distribuée.

Les services des eaux des villes de Bâle, de Zurich, de Riga et d'Amsterdam ont déjà testé cette méthode avec succès dans des études de cas et l'utilisent, adaptée à leurs besoins, dans le domaine de la recherche et de la surveillance.

**Une meilleure compréhension des processus.** La diversité du monde microbien est bien documentée : on recense 52 souches bactériennes rassemblant au total de un à dix millions d'espèces. Celles-ci présentent une très grande diversité de propriétés physiques, d'exigences nutritionnelles et d'états physiologiques [8]. Or pendant de nombreuses années, les scientifiques ne disposaient pas réellement d'outils performants pour appréhender et décrire en détail toute cette diversité.

Les récents progrès réalisés dans le domaine du séquençage haut-débit du génome bactérien permettent aujourd'hui d'identifier des milliers de microorganismes dans un minuscule échantillon d'eau. En partenariat avec l'University of Illinois, l'Eawag a ainsi étudié par pyroséquençage la diversité microbienne de l'eau potable non chlorée. Cette méthode permet une caractérisation détaillée des communautés bactériennes *via* l'analyse d'un certain type de gènes (gènes codant pour l'ARNr 16S), ce qui nous a permis d'identifier les différents groupes de microorganismes présents et de déterminer leur fréquence respective.

En plus de livrer une longue liste de noms de bactéries, cette étude a montré que le pyroséquençage était une méthode adaptée à l'évaluation de la stabilité de l'eau potable dans le réseau de distribution [3]. Elle nous a en effet permis de détecter les moindres changements dans la flore microbienne, suite par exemple à des épisodes de croissance ou à une contamination extérieure, et d'identifier les organismes responsables.

Nous avons d'autre part constaté que lorsqu'elle était de bonne qualité, l'eau potable présentait une grande stabilité au niveau de la concentration de cellules bactériennes et de la composition des communautés microbiennes de son lieu de production jusqu'au robinet de l'utilisateur.

De telles méthodes nous permettront à l'avenir de mieux comprendre les mécanismes intervenant dans les communautés microbiennes des systèmes d'approvisionnement en eau potable et donc d'en estimer la valeur fonctionnelle. Pour le moment, nous savons par exemple que les filtres biologiques fonctionnent

parfaitement, mais nous ignorons presque tout de la composition et des propriétés de leur flore bactérienne. Il est plus que probable qu'une meilleure compréhension des processus microbiens aboutira à une optimisation de la conception et de la conduite des filtres biologiques.

Le développement de la population mondiale et l'augmentation consécutive des besoins en eau dans un contexte de changements environnementaux et en particulier climatiques vont accentuer la sollicitation des ressources en eau et rendre l'approvisionnement en eau potable de plus en plus difficile. Pour pouvoir faire face aux difficultés à venir, il est besoin d'une planification prévoyante et d'une bonne connaissance des processus microbiologiques intervenant dans les systèmes de production et d'adduction d'eau potable.

L'élaboration d'une large gamme de méthodes nouvelles est d'une part profitable à la recherche en lui permettant de mieux comprendre ces processus fondamentaux. Mais ces méthodes et le savoir qu'elles permettent d'acquérir fournissent aussi aux responsables de l'approvisionnement en eau potable des instruments leur permettant d'optimiser les systèmes de potabilisation et d'assurer la durabilité et la qualité de l'alimentation en eau potable dans l'avenir. ○ ○ ○

- [1] Hammes F., Berger C., Köster O., Egli T. (2010): Assessing biological stability of drinking water without disinfectant residuals: A case-study of the Zurich water supply system. *Journal of Water Supply: Research and Technology, Aqua* 59 (1), 31–40.
- [2] Sedlak D.L., von Gunten U. (2011): The chlorine dilemma. *Science* 331, 42–43.
- [3] Lautenschlager K., Boon N., Wang Y., Egli T., Hammes F. (2010): Overnight stagnation of drinking water in household taps induces microbial growth and changes in community composition. *Water Research* 44 (17), 4868–4877.
- [4] Vital M., Stucki D., Egli T., Hammes F. (2010): Evaluating the growth potential of pathogenic bacteria in water. *Applied and Environmental Microbiology* 76 (19), 6477–6484.
- [5] Hammes F., Vital M., Stucki D., Lautenschlager K., Egli T. (2009): Advances in microbiological methods for drinking water analysis: Flow cytometry, assimilable organic carbon and pathogen growth potential. *TECHNEAU: Safe drinking water from source to tap*. IWA Publishing, Alliance House, London.
- [6] Hammes F., Goldschmidt F., Vital M., Wang Y., Egli T. (2010): Measurement and interpretation of microbial adenosine tri-phosphate (ATP) in aquatic environments. *Water Research* 44 (13), 3915–3923.
- [7] Ramseier M.K., von Gunten U., Freihofer P., Hammes F. (2011): Kinetics of membrane damage to high (HNA) and low (LNA) nucleic acid bacterial clusters in drinking water by ozone, chlorine, chlorine dioxide, monochloramine, ferrate(VI), and permanganate. *Water Research* 45 (3), 1490–1500.
- [8] Schloss P.D., Handelsman J. (2004): Status of the microbial census. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68, 686–691.



Max Maurer, ingénieur chimiste et technicien des procédés, dirige le département de Gestion des eaux urbaines, enseigne à l'EPF de Zurich et fait partie du comité directeur de l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA).

## Réussir la planification des futures infrastructures

Une planification durable des systèmes d'adduction et d'évacuation des eaux doit impérativement prendre en compte les besoins et incertitudes qui marqueront l'avenir. Les meilleures solutions ne sont alors pas nécessairement les moins coûteuses mais celles qui garantissent la meilleure performance pour toute la durée de vie des installations et qui sont adaptées aux particularités locales. Il n'existe pas de solution universelle pour toute la Suisse.

L'approvisionnement en eau potable et l'évacuation des eaux usées sont considérées en Suisse comme deux prestations fondamentales du Service public. Grâce aux investissements ciblés réalisés par le passé, le pays dispose aujourd'hui sur tout son territoire d'une infrastructure de l'eau sûre, fiable et efficace livrant des prestations de haut niveau qualitatif. Le système d'assainissement comprend à lui seul un réseau de collecte de 87 000 kilomètres de long, 759 stations d'épuration de grande taille et 3500 de petite taille et environ 30 000 stations de prétraitement. La valeur économique de remplacement des systèmes suisses d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement est estimée à 218 milliards de francs. A cela s'ajoute un coût prévisionnel annuel d'environ 8 milliards de francs [1].

**Préparer l'avenir dès aujourd'hui.** Pour pouvoir investir à long terme avec la meilleure efficacité possible les ressources disponibles dans le domaine de l'eau potable et de l'assainissement, il convient dès aujourd'hui de préparer l'avenir et de prendre des décisions stratégiques pour le développement futur du secteur de la gestion des eaux urbaines. Pour en être capable, il est important de connaître avec le maximum de précision possible les facteurs opérationnels et politiques qui auront une influence sur ce système de gestion. Il convient en particulier d'évaluer les

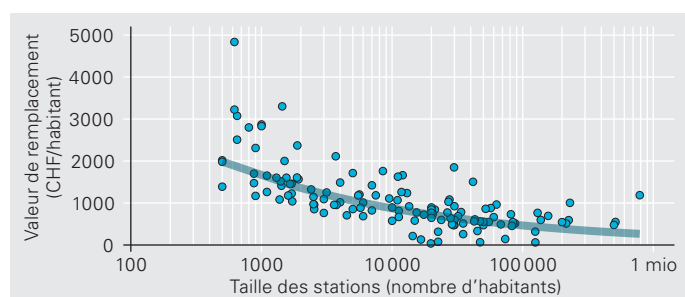
incertitudes nécessairement liées à cette démarche prévisionnelle et à les intégrer de façon transparente dans la prise de décision. La contribution des scientifiques consiste notamment à proposer des méthodes adaptées à l'élaboration de scénarios réalistes et à l'évaluation de la pertinence des solutions envisagées.

Pour une planification réaliste des coûts, il est par exemple nécessaire de savoir si une installation donnée s'inscrit dans une logique d'économie d'échelle, c'est-à-dire si le coût unitaire décroît (ou éventuellement croît) avec la taille du système ou si au contraire les coûts restent proportionnels (ou inversement proportionnels) à la taille. D'autre part, il est important d'estimer les coûts liés aux incertitudes prises en compte dans la planification.

**Les grandes installations sont-elles réellement moins chères?** A première vue, les stations d'épuration et les usines de production d'eau potable semblent obéir aux principes de l'économie d'échelle : un doublement de la taille des installations ne fait augmenter les coûts que de 60 à 70 pour cent. Les grandes unités semblent donc plus rentables. Ainsi, les coûts de remplacement des stations d'épuration suisses dimensionnées pour 100 000 habitants sont en moyenne 3,5 fois plus faibles par personne que ceux des stations conçues pour 1000 habitants (Fig. 1). Des effets de masse comparables ont également été observés pour les stations d'épuration à l'étranger et pour les usines de potabilisation des eaux [3]. La baisse des coûts unitaires due aux économies d'échelle est l'un des principaux arguments avancés à l'heure actuelle pour le regroupement des stations d'épuration en des systèmes centralisés.

Il se trouve cependant que les grandes stations d'épuration nécessitent également un réseau de collecte plus étendu que les petites. Les économies d'échelle sont-elles encore perceptibles si l'on considère l'ensemble du système d'assainissement? Pour trancher sur la question, nous avons développé un modèle mathématique qui utilise les données communales de la statistique de la superficie de l'Office fédéral de la statistique pour représenter le dimensionnement des réseaux d'assainissement unitaires du pays [4]. Le modèle permet à partir de la densité de population, de la surface d'habitat et d'infrastructure et du nombre de bâtiments

Fig. 1 : Economies d'échelle concernant la valeur de remplacement des stations d'épuration suisses. Le graphique indique pour 128 stations la valeur de remplacement en francs par habitant en fonction de la taille. Plus la station est grande, plus le coût par habitant est faible. [2]



d'une agglomération d'évaluer la longueur et la valeur de remplacement du réseau d'égouts. Il permet d'autre part de déterminer les facteurs ayant la plus grande influence quantitative sur les coûts de construction des réseaux unitaires.

En gros, trois facteurs interviennent: le diamètre des collecteurs, l'imperméabilisation des sols et la densité de construction et de population. Les grandes agglomérations ont des réseaux de collecte très étendus qui exigent des canalisations de grand diamètre et donc des frais de construction plus importants. D'autre part, elles présentent en général une plus forte imperméabilisation des sols et un coefficient de ruissellement plus faible. Leurs égouts doivent donc collecter davantage d'eaux pluviales, ce qui implique un plus grand dimensionnement et une majoration des coûts. De son côté, la densité de construction et de population fait baisser ces coûts puisqu'ils peuvent être répartis sur davantage de ménages.

**Pas d'indice probant d'économies d'échelle.** Alors que le diamètre des canalisations et le degré d'imperméabilisation des sols produisent indubitablement un effet de masse inverse et induisent des coûts relatifs de plus en plus importants à mesure que le réseau s'étend, la densité de construction et de population induit des économies d'échelle. En Suisse, ces deux groupes de facteurs s'équilibrent, ce qui signifie que, statistiquement parlant, la valeur de remplacement n'est pas plus élevée (ou plus faible) dans une grande agglomération. De ce fait, aucune économie d'échelle ne peut être constatée si on considère l'ensemble du réseau de collecte suisse (Fig. 2).

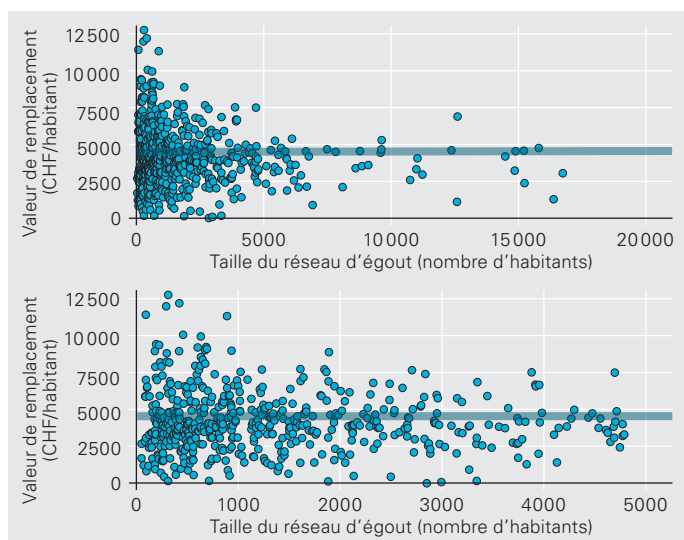
Etant donné que les frais de construction d'une station d'épuration ne représentent que 10 à 20 pour cent de ceux d'un réseau d'égout, on peut considérer que les économies d'échelle ne s'appliquent pas de façon probante au réseau d'assainissement suisse pris dans son ensemble (égouts et stations d'épuration): il est



Le maintien en l'état des infrastructures est actuellement au cœur des préoccupations des responsables de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement. Mais il faut aussi pouvoir prévoir les évolutions futures et anticiper sur les exigences à venir.

possible que des réseaux plus importants s'avèrent moins chers à la construction mais il ne s'agit pas d'une règle générale. Cette analyse indique donc qu'une centralisation de la gestion des eaux usées sur un nombre restreint de grandes stations ne permet pas avec certitude de faire baisser les coûts. Lors de la planification de nouvelles installations, il est donc important de faire la part des choses. Il faudra notamment tenir compte de l'évolution possible de la structure de l'habitat comme la croissance des villes ou la dispersion de l'habitat. En effet, les zones faiblement peuplées à l'avenir démographique incertain demandent des infrastructures particulièrement coûteuses. Dans ces régions, les solutions décentralisées constitueraient certainement la meilleure option d'assainissement.

Fig. 2: Valeurs de remplacement des réseaux unitaires des communes suisses. Un agrandissement du réseau n'induit pas nécessairement de baisse du coût par habitant. Aucun effet de masse n'est observable. [2]



**Prendre en compte les incertitudes dans l'estimation des coûts.** Les infrastructures sont des constructions réalisées pour durer et doivent donc être conçues de manière à pouvoir encore répondre aux exigences qui leur seront posées dans un futur relativement lointain. Ainsi, les usines de potabilisation des eaux sont dimensionnées en fonction des besoins en eau potable pronostiqués pour les 30 ans à venir. Dans l'approche déterministe habituellement utilisée pour la conception des installations, on considère que la charge à traiter augmente régulièrement à un certain taux et l'installation est dimensionnée de manière à ce que son taux d'utilisation soit de 100 % en fin de vie. De cette manière, la capacité de l'installation est supposée rester supérieure à la charge pendant toute la durée de vie.

Il se trouve cependant que toute prédiction s'accompagne d'un certain nombre d'incertitudes. Suite à ce risque d'erreur, il peut arriver que la capacité maximale des installations soit atteinte avant la fin de leur durée de vie ou au contraire que la charge n'atteigne jamais le niveau pronostiqué. Ces deux types de digression sont sources de coûts supplémentaires se manifestant non pas au niveau des frais de fabrication (totalité des frais liés à

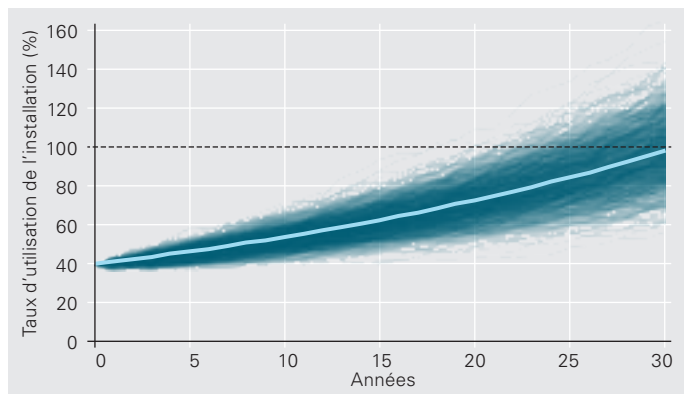
la construction des ouvrages) mais à celui des coûts par habitant générés tout au long de la durée de vie.

Nous avons développé une méthode permettant d'appréhender et de quantifier les effets monétaires des incertitudes prévisionnelles [5]. Elle nous permet de simuler diverses évolutions possibles de la charge à traiter et de calculer les coûts engendrés par habitant. D'autre part, la probabilité d'occurrence des différents scénarios peut être évaluée. L'exemple hypothétique de la figure 3 montre à quel point la charge attendue peut varier suite à la prise en compte des incertitudes.

D'après notre modèle, les facteurs décisifs pour les coûts par habitant sont le mode de progression de la charge à traiter et l'incertitude prévisionnelle : par exemple, plus la durée pendant laquelle la charge est inférieure à la capacité maximale de l'installation est longue et plus cette différence est importante, plus le taux moyen d'utilisation de l'installation sur sa durée de vie est faible. Ainsi, le taux moyen d'utilisation de l'installation de la figure 3 est de 66 pour cent. Par rapport à une solution n'ayant pas à tenir compte d'accroissement de la charge, les coûts de l'installation sur toute sa durée de vie sont donc de 34 pour cent plus élevés qu'une installation correspondant à la capacité moyenne nécessaire.

Notre méthode permet d'autre part d'évaluer la probabilité avec laquelle les coûts pourraient s'avérer nettement plus élevés que ceux escomptés. Dans l'exemple de la figure 3, elle montre ainsi que l'installation reviendra plus de 34 pour cent plus cher que prévu dans 80 pour cent des cas et plus de 49 pour cent plus cher dans 10 pour cent des cas (non visible sur la figure). Les coûts sont toujours calculés en référence aux frais moyens de construction par habitant pour la capacité maximale et sans incertitudes.

Fig. 3: Taux attendu d'exploitation de la capacité d'une installation hypothétique compte tenu des incertitudes. La ligne épaisse représente l'évolution du taux d'utilisation estimée par modélisation déterministe en considérant un taux d'accroissement de la charge de 3 % par an. D'après ce modèle, la capacité de l'installation serait exploitée à 100 % au bout de 30 ans. Si le taux d'utilisation reste inférieur à la courbe prévisionnelle sur toute cette durée, cela signifie que l'installation a été surdimensionnée et que des coûts supplémentaires sont générés. Si au contraire la capacité maximale est dépassée avant la fin de la durée de vie escomptée, l'installation est sous-dimensionnée et revient également plus cher que prévu. Les lignes finement tracées correspondent à différents scénarios d'évolution du taux d'utilisation compte tenu des incertitudes prévisionnelles. [5]



De ce point de vue, les solutions flexibles pouvant être adaptées de façon modulaire aux besoins croissants de la population peuvent s'avérer plus intéressantes et finalement moins coûteuses que celles dégagées par une simple comparaison des coûts ne tenant compte ni de l'évolution de la demande ni des incertitudes prévisionnelles.

**Une stratégie régionale pour le développement infrastructures.** Pour assurer un développement durable des infrastructures d'eau potable et d'assainissement, les décisions concernant les investissements doivent s'appuyer sur une approche globale et intégrée de planification. Les meilleures solutions ne sont pas nécessairement les moins coûteuses mais celles qui garantissent le meilleur niveau de prestation pour toute la durée de vie des installations. Pour prêter son expertise à ces processus de planification, l'Eawag s'est impliqué dans les deux programmes de recherche du Fonds national suisse « Développement durable de l'environnement construit » (PNR 54) et « Gestion durable de l'eau » (PNR 61).

Dans le projet « Regional Infrastructure Foresight » (RIF) récemment achevé, nous avons élaboré une stratégie participative pour le développement régional de la gestion des eaux urbaines en collaboration avec les principaux décideurs du secteur [6]. Nous avons identifié les principaux éléments sur lesquels une décision concrète doit s'appuyer. En gros, la méthode RIF comporte deux composantes majeures :

- Des scénarios prévisionnels décrivant différentes possibilités d'évolution des facteurs déterminants pour la gestion des eaux urbaines. Ils donnent une représentation de l'avenir pour différentes évolutions possibles de la situation économique du pays – de la croissance à outrance à la pire récession – et servent d'instrument pour l'évaluation de la pertinence des différentes options envisageables.

- Options de gestion ou d'adaptation des infrastructures: Par une démarche systématique, les différentes options de développement pour les systèmes locaux d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement sont mises en évidence et évaluées. Les options envisagées peuvent être aussi bien d'ordre technique qu'organisationnel, comme par exemple l'agrandissement du bassin versant technique ou le choix de solutions décentralisées de traitement des eaux usées.

A partir des objectifs que se sont fixés les décideurs, plusieurs solutions peuvent être évaluées de façon indépendante pour les différents scénarios prévisionnels. Toutes les options correspondant aux attentes des décideurs et suffisamment robustes face aux évolutions possibles du contexte pendant la durée de vie des installations peuvent être retenues.

Dans une étude de cas menée dans la vallée de l'Aar et de Kiesen dans le canton de Berne, la solution retenue pour la gestion des eaux usées a été un regroupement des syndicats et des communes de la région dans un système d'organisation et de planification commun. La stratégie choisie correspondait moyennement ou fortement aux attentes des responsables dans la totalité des scénarios prévisionnels et constituait donc la solution la plus robuste. Toutes les autres options étaient moins bien



notées pour au moins l'un des scénarios et présentaient donc une moindre robustesse.

**Planification d'infrastructures durables d'eau potable et d'assainissement.** Le projet « Planification d'infrastructures durables de distribution et de traitement de l'eau » (SWIP) vise une quantification des implications des options concrètes de transformation ou de gestion et une comparaison de ces effets avec les objectifs des différents acteurs du secteur. Par exemple, un effort d'investissement dans la réfection des canalisations permettrait de réduire la probabilité de rupture des tuyaux et donc d'éviter les interruptions du service. La question qui se pose est alors de savoir si les responsables souhaitent réaliser les investissements nécessaires ou s'ils préfèrent accepter une multiplication des pannes.

A partir d'études de cas menées dans différentes communes, le projet doit permettre de réaliser une optimisation de la démarche de planification et proposer un plan de mesures concret pour la gestion et de développement des infrastructures d'adduction et de traitement de l'eau. Les différents aspects économiques (prévision des coûts), écologiques (effets sur les écosystèmes) et sociaux (priorités des acteurs) doivent être pris en compte de façon équilibrée.

Le projet tient particulièrement compte du fait que, dans de nombreuses communes suisses, les données exactes sur les infrastructures ne sont pas toujours disponibles et que l'évolution future ne peut être prédite avec certitude. Le projet SWIP s'appuie sur les instruments de planification existants que sont les plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) et les plans généraux d'alimentation en eau (PGA) qui permettent d'identifier les défauts dans les infrastructures d'une commune et de proposer des plans d'investissement.

Parallèlement aux approches régionales des projets RIF et SWIP, nous étudions également actuellement les tendances prévisibles et lacunes existantes au niveau national. L'étude « Eau potable 2025 » récemment achevée conclut à une bonne stabilité de l'approvisionnement de la Suisse en eau potable pour l'avenir. Elle met toutefois en évidence des besoins dans le domaine de la recherche, portant notamment sur les effets des changements climatiques sur la qualité de l'eau et sur les améliorations structurelles à apporter pour garantir la pérennité du système d'approvisionnement. Les rapports et recommandations issus de cette étude sont publiés (en allemand) sur le site de l'Eawag [7]. Les travaux réalisés dans le cadre de l'étude « Eaux usées 2025 » s'achèveront à l'automne 2011 et seront également publiés sur l'Internet.

**Il n'existe pas de solution universelle.** Alors que les préoccupations actuelles de la pratique portent principalement sur le maintien de la valeur des infrastructures existantes, les gestionnaires ont besoin de méthodes permettant d'évaluer les demandes auxquelles elles auront à répondre dans l'avenir. Seule une telle approche basée sur la prévoyance et l'anticipation peut garantir le maintien durable et l'optimisation des performances du système de gestion des eaux urbaines en Suisse.

Pour faire face à ces enjeux, des aides à la décision doivent être mises à la disposition des responsables de manière à ce qu'ils puissent choisir les technologies et stratégies de gestion les mieux adaptées à leurs besoins actuels et futurs. Dans le cadre de ce travail de réflexion, les solutions innovantes comme les systèmes décentralisés ne doivent pas être laissées à l'écart. En effet, ces derniers ont été fortement améliorés ces dernières années et ils constituent aujourd'hui des technologies d'avenir particulièrement attrayantes [8]. L'article de la page 30 en présente quelques exemples.

Contrairement au maintien d'un statu quo qui fait essentiellement appel à des compétences techniques, la planification d'infrastructures durables pour l'avenir demande de traiter de questions stratégiques et de prendre en compte les attentes et besoins des différents acteurs impliqués. Faut-il par exemple confier le traitement des eaux usées à la commune voisine ou transformer le service des eaux municipal en société anonyme? Telles sont les questions qui se posent au quotidien. Ainsi, dans le cadre d'une étude de cas portant sur le Klettgau dans le canton de Schaffhouse, la question d'origine concernant les possibilités de transformation de la station d'épuration s'est bientôt vue complétée d'idées totalement nouvelles comme de traiter les eaux en commun avec les voisins allemands ou d'opter pour une décentralisation totale de l'assainissement.

En résumé, la planification d'infrastructures durables pour la gestion des eaux urbaines en Suisse consiste à combiner le « vers où » et le « comment ». Comment pouvons-nous développer les structures existantes et où ce développement doit-il mener? Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent très nettement qu'il n'existe pas de réponse universelle à cette question mais que les solutions doivent être définies au cas par cas en tenant compte des particularismes locaux. ○ ○ ○

- [1] Schalcher H.-R., Boesch H.-J., Bertschy K., Sommer H., Matter D., Gerum J., Jakob M. (2011): Was kostet das Bauwerk Schweiz in Zukunft und wer bezahlt dafür? VDF Hochschulverlag, Zürich.
- [2] Maurer M., Herlyn A. (2006): Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der schweizerischen Abwasserentsorgung. Schlussbericht für das Bundesamt für Umwelt.
- [3] Maurer M. (2009): Specific net present value – An improved method for assessing modularisation costs in water services with growing demand. *Water Research* 43 (8), 2121–2130.
- [4] Maurer M., Wolfram M., Herlyn A. (2010): Factors affecting economies of scale in combined sewer systems. *Water Science and Technology* 62 (1), 36–41.
- [5] Hug T., Dominguez D., Maurer M. (2010): The cost of uncertainty and the value of flexibility in water and wastewater infrastructure planning. Proceedings 1<sup>st</sup> WEF-IWA Cities of the future conference, Boston, 487–500.
- [6] Störmer E., Klinke A., Maurer M., Ruef A., Truffer B. (2008): Regional infrastructure foresight. Partizipative Strategientwicklung für eine nachhaltige regionale Abwasserwirtschaft. *GWA* 88 (11), 843–850.
- [7] [www.eawag.ch/forschung/sww/schwerpunkte/infrastrukturen/uebersichtsstudie\\_2025/index](http://www.eawag.ch/forschung/sww/schwerpunkte/infrastrukturen/uebersichtsstudie_2025/index)
- [8] Bauchowitz M. (2010): Dezentrale Abwasserreinigung – Modell der Zukunft? *Eawag News* 68d, 17–21.

# Unis pour l'hygiène et la santé publique



Christian Zurbrugg, géologue, dirige le département Eau et assainissement dans les pays en développement (Sandec) et enseigne à l'EPF de Zurich.

L'une des causes principales des affections diarrhéiques et de la mortalité infantile dans les pays en développement est le manque d'hygiène souvent dû à un assainissement insuffisant. Dans ce contexte, la recherche appliquée a pour mission d'élaborer des solutions techniques et stratégiques adaptées aux conditions locales. Seule une étroite collaboration avec les organisations non gouvernementales, la population et les autorités locales permet de la mener à bien.

Alors que le sida, la malaria et la tuberculose sont au centre des préoccupations des experts internationaux de la santé publique, une maladie apparemment anodine tue tous les ans davantage d'enfants que ces trois fléaux réunis: la diarrhée. Si l'assainissement et l'accès à l'eau potable étaient correctement assurés, près de 2,4 millions de décès pourraient être évités chaque année dans le monde. En général, la diarrhée peut être mortelle pour les enfants en bas âge lorsqu'elle s'accompagne de malnutrition et d'un affaiblissement dû à d'autres maladies [1].

De ce fait, un système efficace d'évacuation des matières fécales et de manière générale, une amélioration des conditions

d'hygiène et d'assainissement constitueraient donc des moyens de lutte efficaces contre la propagation des germes pathogènes et des affections diarrhéiques dont ils sont responsables (Fig. 1). Pour une majeure partie de la population mondiale, l'assainissement est donc l'objectif prioritaire de la gestion des eaux urbaines et plus particulièrement des eaux usées.

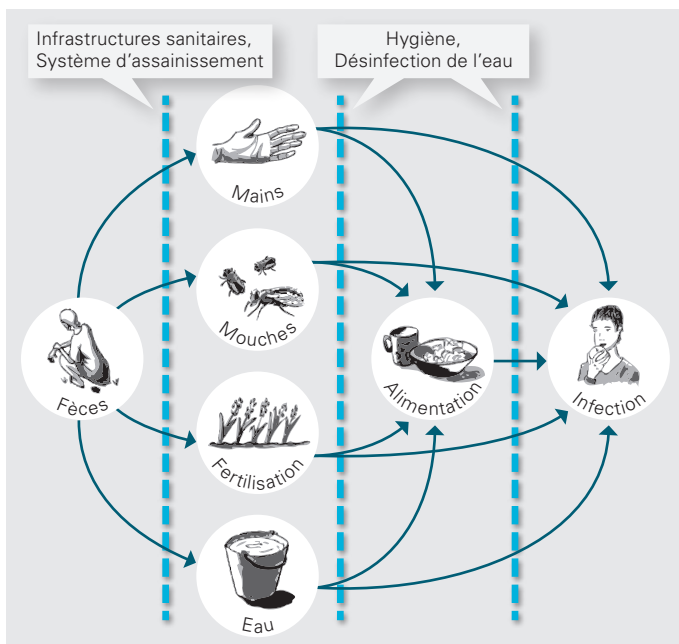
**Travailler avec la population, pas seulement pour elle.** En l'an 2000, les Etats membres de l'ONU ont signé un pacte mondial de lutte contre la pauvreté sous la forme des objectifs du millénaire. Celui défini dans le domaine de l'assainissement et de l'eau potable est de réduire de moitié, d'ici à 2015, la part de la population mondiale privée d'accès durable à l'eau potable et à des services d'assainissement de base.

Bien que facile à formuler, cette décision est très difficile à mettre en œuvre. La population mondiale devrait atteindre plus de 9 milliards de personnes en 2050, la population urbaine se développe deux fois plus vite que la moyenne mondiale, 30 à 50 % de la population des villes des pays émergents et en développement est concentrée dans les bidonvilles. Un tel contexte exige des solutions innovantes, non seulement au niveau technologique mais aussi en matière de planification, de financement, de mise en œuvre et d'exploitation et entretien des systèmes. La recherche appliquée a un rôle important à jouer en élaborant des solutions adaptées aux conditions et exigences locales pouvant être utilisées par les décideurs et acteurs sur le terrain.

Dans le processus de conception des infrastructures d'assainissement des pays en développement, les ingénieurs et planificateurs décident généralement du type d'infrastructures et de services devant être mis en place. Ils proposent en général au niveau technique un réseau de collecte à l'occidentale relié à une station d'épuration sans tenir réellement compte des possibilités et exigences locales. La population n'est généralement pas intégrée au processus de planification mais est contrainte d'accepter passivement le système mis en place par le gouvernement.

Pour les services d'assainissement des pays en développement dont les moyens financiers et humains sont particulièrement limités, il est toutefois très difficile d'exploiter et d'entretenir

Fig. 1 : Voies de propagation des germes fécaux et interventions permettant de les interrompre. Des infrastructures sanitaires et un système d'assainissement adéquats interviennent à la source ; la désinfection de l'eau et l'hygiène au quotidien limitent les risques d'infection de la population.



convenablement un réseau d'assainissement tel que ceux dont nous disposons en Europe. De plus, il est quasiment impossible d'étendre le réseau à une vitesse adaptée à celle de l'urbanisation et les capacités des collecteurs principaux et des stations d'épuration finissent par être dépassées.

Que faire, d'autre part, lorsque l'eau est une denrée rare et chère et que l'approvisionnement en eau est loin d'être ni régulier ni assuré? Un réseau d'égout dans lequel les eaux usées et les fèces sont évacuées dans de grands volumes d'eau ne semble pas constituer la solution la plus efficace.

Pour pouvoir tout de même assurer l'assainissement et l'hygiène publique dans les différents quartiers, il faut donc de plus en plus souvent faire appel à des solutions alternatives et flexibles – en concertation avec la population et l'artisanat local. La précédente décennie internationale de l'eau proclamée par les Nations Unies (1981–1990) avait en effet déjà montré que les infrastructures sanitaires ainsi que celles d'approvisionnement en eau et d'assainissement ne pouvaient en général conserver leur efficacité à long terme que si elles étaient conçues et planifiées avec la participation des utilisateurs [2].

**Apprendre à planifier de façon participative à partir d'exemples concrets.** Dans ce contexte, l'Eawag a élaboré il y a déjà quelques années une stratégie visant à assurer la participation des ménages dans les processus de planification. L'idée centrale de ce concept est que la participation directe de la population crée un sentiment collectif de propriété et de responsabilité vis-à-vis des systèmes mis en place, ce qui en garantit une meilleure pérennité. Dans un travail commun avec des organisations et autorités locales, Christoph Lüthi et ses collaborateurs ont appliqué cette stratégie dans des études pilotes menées dans sept quartiers urbains au Kenya, en Tanzanie, au Laos, au Népal et au Costa Rica et ont assuré un suivi scientifique des projets.

Le quartier de Hatsady Tai, par exemple, est un quartier pauvre typique de la périphérie de la capitale laotienne Vientiane : de nombreuses habitations y ont été construites sans autorisation sur terrain public ; 14,5 pour cent de la population y souffre d'affections diarrhéiques suite, principalement, aux déficiences des

Une grande partie de la population d'Hatsady Tai a participé très activement au processus de planification du nouveau système d'assainissement.



Les habitants de Hatsady Tai, un quartier pauvre de la capitale laotienne Vientiane, travaillent eux-mêmes à la mise en place et à l'entretien de leur système d'assainissement.

infrastructures sanitaires. En collaboration avec le Public Works and Transportation Institute du Ministère des travaux publics et des transports et avec la population locale, nous avons élaboré en 18 mois une stratégie générale pour améliorer l'hygiène publique à Hatsady Tai. Elle prévoyait notamment une appréciation de la qualité des services d'évacuation assurés par la municipalité et de l'état des infrastructures, une évaluation des besoins prioritaires des usagers, une identification des possibilités d'amélioration du système, une évaluation concertée des différentes options envisageables et l'élaboration de plans d'assainissement.

La mise en œuvre concrète de cette stratégie a elle-même duré quatre mois. Les travaux ont consisté à assainir les fosses septiques en les transformant en des fosses bicamérales permettant une collecte séparée de la part solide des effluents. Un réseau d'égouts ne transportant plus que la partie liquide des effluents relie ensuite les fosses septiques à un système de lagunage qui en assure le traitement anaérobie. La collecte des boues fécales restées dans les fosses septiques a été confiée à un sous-traitant privé qui en assure le transport vers la station d'épuration de la ville.

A côté des eaux usées, il était également important dans cette zone en cuvette à la topographie peu accidentée d'améliorer l'évacuation des eaux de pluie et la collecte des ordures ménagères. Le système proposé était notamment basé sur un tri sélectif au niveau des ménages et un ramassage séparé des différentes sortes de déchets.

Les habitants de Hatsady Tai ont très activement participé à toutes les phases du processus de planification. Une grande partie de la population a assisté aux réunions et consultations et trois ménages ont mis une partie de leurs terres à disposition du projet pour la construction de l'installation de traitement anaérobie des eaux usées. Divers propriétaires se sont également déclarés prêts à transformer leur maison pour permettre la construction des canaux.

Le projet a permis une nette amélioration de l'hygiène publique dans le quartier de Hatsady Tai. Ainsi, la fréquence des inondations a nettement décliné grâce aux nouveaux canaux d'évacuation et l'incinération privée des ordures dans le quartier n'est pratiquement plus pratiquée. Suite à ce changement de comportement, les gênes et maladies respiratoires dues aux fumées ont reculé. Cette expérience a permis aux habitants de comprendre que leur bien-être ne dépendait pas uniquement de la bonne volonté des autorités mais qu'ils pouvaient également prendre les choses en main pour améliorer leurs conditions de vie [3].

Nous avons réunis les enseignements tirés des différents projets pilotes dans un manuel intitulé « Community-Led Urban Environmental Sanitation » destiné aux responsables de planification des pays en développement. Ce guide propose une véritable « boîte à outils » et de nombreuses recommandations et instructions pour chaque étape du processus de planification. L'accent a été mis sur les zones à faible niveau de revenu dans lesquelles l'amélioration de l'hygiène publique et de l'assainissement pose encore des problèmes complexes.

**Privilégier les solutions décentralisées.** Dans les grandes agglomérations asiatiques et africaines, moins de 20 % des ménages sont raccordés à un réseau d'égout. Les villes plus modestes en sont souvent totalement dépourvues [4]. Par contre, presque chaque ménage urbain dispose d'une solution décentralisée pour la gestion des fèces et des eaux usées : les latrines ou les fosses septiques sont généralement utilisées pour la collecte

Grâce aux nouveaux canaux d'évacuation des eaux pluviales, les inondations sont moins fréquentes à Hatsady Tai.



des matières fécales. Elles sont régulièrement vidées et les boues fécales éliminées. Ces structures bien implantées doivent être intégrées aux nouveaux concepts d'assainissement.

Dans les pays en développement, les infrastructures décentralisées présentent également un avantage économique. C'est ce que montre une étude menée au Sénégal. Pour la capitale, des chercheurs de l'Eawag et de l'Université Cheik Anta Diop de Dakar ont comparé les coûts d'un réseau d'égouts traditionnel avec station d'épuration centrale et ceux d'une collecte décentralisée des boues fécales suivie de leur traitement dans une installation centrale : les frais d'investissement étaient 11 fois plus élevés pour la première solution que pour la seconde. D'autre part, les coûts d'entretien du réseau d'égout sont deux fois plus importants. Pour pouvoir utiliser un tel système, le service des eaux de la ville prélève une taxe d'assainissement sur l'ensemble de la population – c'est-à-dire également auprès des ménages non raccordés. La contribution des habitants raccordés ne permettrait en effet de financer que 20 % des coûts d'exploitation.

Bien que l'élimination décentralisée des boues de vidange soit nettement moins onéreuse, elle n'est pas non plus pratiquée de façon rentable à Dakar. La collecte est en effet souvent assurée par des entrepreneurs privés qui vidant les fosses moyennant paiement à l'aide de camions aspirants. Mais étant donné la faible solvabilité des habitants, cette redevance est si basse qu'elle permet à peine de couvrir les frais occasionnés par la vidange et le transport des boues. Pour minimiser ces coûts, les entrepreneurs les éliminent souvent de façon sauvage ou illégale dans les champs, les décharges ou les rivières sans se soucier de l'impact sur l'environnement.

**Les boues de vidange sont aussi une matière première.** Bien que l'élimination des boues fécales soit largement pratiquée dans le monde, la recherche en matière d'assainissement s'est étonnamment peu intéressée à leur traitement ou valorisation. Les systèmes bien étudiés de traitement par boues activées ou d'épuration par lagunage (waste stabilization ponds) mieux adaptés aux pays en développement sont rapidement dépassés par l'arrivée de grandes quantités de boues fécales extrêmement concentrées et ne sont donc pas utilisables pour le traitement de ce type d'effluent.

Face à ce problème, l'Eawag travaille depuis plus de dix ans avec des universités et instituts de recherche des pays en développement et émergents pour mettre au point des technologies adaptées au traitement des boues de vidange. Différentes techniques telles que les étangs de décantation, le co-compostage ou les lits de séchage plantés ou non ont été testées et étudiées au Ghana, au Sénégal, au Cameroun, en Thaïlande et au Viêt Nam. La dernière option semble particulièrement prometteuse mais ses qualités réelles ne peuvent être évaluées que sur place dans le contexte local.

Au-delà des possibilités techniques de traitement, les études ont également montré que les boues fécales méritaient attention en tant que matières premières. Notamment dans les zones agricoles surexploitées des périphéries urbaines, elles pourraient constituer une source de matière organique et de nutriments



Création de richesses : les boues de vidange séchées peuvent être utilisées comme substrat pour cultiver une plante fourragère locale qui peut être vendue comme aliment pour le bétail.

particulièrement précieuse et demandée. Si les produits du traitement des boues de vidange deviennent commercialisables, le secteur de l'assainissement gagne en attrait pour les entreprises privées et les approches raisonnées de gestion des rejets urbains peuvent se généraliser.

Certaines pistes existent. Ainsi, des chercheurs de l'Eawag et de l'Université de Yaoundé au Cameroun ont montré dans un projet réalisé à Yaoundé qu'il était possible de cultiver la plante fourragère locale *Echinochloa pyramidalis* sur des lits de boues de vidange séchées. Cette graminée est très appréciée des éleveurs pour sa richesse en nutriments nettement supérieure à celle de l'herbe sauvage [5].

Une autre approche intéressante de valorisation économique des boues de vidange a émergé d'un projet portant originellement sur la gestion des déchets urbains organiques. Stefan Diener du département Eau et assainissement dans les pays en développement de l'Eawag a pu montrer sur une installation pilote au Costa Rica que les déchets organiques pouvaient être valorisés par l'action des larves de la mouche soldat (*Hermetia illucens*). Les larves dégradent rapidement la matière organique et se transforment en prénymphe. A ce stade de développement, elles renferment 40 % de protéines et 30 % de lipides et constituent une alternative écologique aux farines de poisson actuellement utilisées pour la fabrication des aliments pour animaux. D'autre part, les larves sont très faciles à collecter étant donné qu'elles rejoignent la surface des résidus dès qu'elles atteignent le stade intéressant de prénymphe. Dans le contexte actuel de renchérissement de la farine de poisson, un tel produit pourrait de plus devenir une source de revenus de plus en plus intéressante [6].

De premières études menées par l'Eawag et l'Asian Institute of Technology de Bangkok indiquent que ce système fonctionnerait aussi avec les boues de vidange séchées. Les chercheurs ont nourri des larves de mouche soldat avec des boues tirées de fosses septiques présentant un taux d'humidité de 63 pour cent mélangées dans différentes proportions à des déchets ménagers organiques. Bien que les larves nourries avec davantage de boues

de vidange présentent une croissance plus faible et plus lente que les autres, leur développement a été jugé satisfaisant et s'est accompagné d'une bonne élimination des boues. D'autres études doivent maintenant montrer si l'action des larves permet d'éliminer les germes pathogènes contenus dans les boues et si oui, dans quelle proportion.

**De la recherche à l'application, le chemin peut être long.** En matière d'assainissement et d'hygiène publique, la recherche développe de plus en plus de solutions techniques et stratégiques alternatives spécialement adaptées aux besoins des pays en développement. Mais ces efforts restent vains sans la volonté et la possibilité des acteurs sur le terrain – qu'il s'agisse des entrepreneurs, des professionnels, des planificateurs ou des décideurs au niveau des services municipaux – de s'approprier ou du moins d'exploiter ce savoir pour l'adapter au contexte local et l'appliquer au quotidien.

Ce transfert de savoir n'est pas chose aisée. L'Eawag tente d'un côté d'intégrer les acteurs locaux le plus tôt possible dans la conception et la réalisation des projets. D'un autre côté, il mise sur un important travail de communication et cherche à atteindre les politiques et les acteurs de terrain par le biais des spots d'information, de manuels et de matériel pédagogique émis en complément des publications scientifiques habituelles. Au lieu d'aborder les acteurs locaux directement, il est souvent plus efficace de passer par un partenariat avec les organisations clés du pays concerné ou avec des ONG internationales d'aide au développement comme la Direction suisse du développement et de la coopération (DCC). Cette dernière soutient la recherche et utilise ses résultats dans ses propres projets ou les diffuse par le biais de ses bureaux de coordination installés dans différents pays. Grâce à une telle stratégie, la recherche peut assurer le relais entre innovation et pratique et remplir son rôle dans la lutte contre la pauvreté et le manque d'hygiène et de santé publique. ○ ○ ○

- [1] Bartram J., Cairncross S. (2010): Hygiene, sanitation, and water – forgotten foundations of health. PLoS Medicine 7 (11), e1000367, doi: 10.1371/journal.pmed.1000367.
- [2] Lewis W.J., Foster S.S.D., Read G.H., Schertenleib R. (1981): The need for an integrated approach to water supply and sanitation in developing countries, Science of the Total Environment 21 (Nov), 53–59.
- [3] Lüthi C., Morel A., Kohler P., Tilley E. (2009): People's choice first. A 4-country comparative validation of the HCES planning approach for environmental sanitation. NCCR North-South Dialogue, No. 22.
- [4] Strauss M., Larmie S.A., Heinss U., Montangero A. (2000): Treating faecal sludges in ponds, Water Science and Technology, 42 (10–11), 283–290.
- [5] Kengne I.M., Amougou A., Soh E.K., Tsama V., Ngoutane M.M., Dodane P.H., Koné D. (2008): Effects of faecal sludge application on growth characteristics and chemical composition of *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitch. and Chase and *Cyperus papyrus* L. Ecological Engineering 34 (3), 233–242.
- [6] Diener S., Zurbrugg C., Tockner K. (2009): Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. Waste Management & Research 27 (6), 603–610.

# Cleantech : l'avenir de l'assainissement

Dans le domaine de l'épuration des eaux, les technologies propres et économes se doivent d'exploiter de façon optimale les ressources contenues dans les eaux usées. Des approches inédites comme la collecte séparée des urines et la fabrication de fertilisants à partir de cette matière première augurent d'un avenir prometteur loin des sentiers battus de l'assainissement traditionnel.



Tove A. Larsen, ingénieur chimiste, travaille au sein du département de Gestion des eaux urbaines et a dirigé le projet Novaquatis aux côtés de Judit Lienert.

Par la mise en œuvre du Masterplan Cleantech en Suisse, la Confédération souhaite renforcer les technologies contribuant à la préservation des ressources naturelles et de l'environnement. En plus de ces aspects écologiques, ce plan poursuit des objectifs économiques visant à promouvoir les capacités d'exportation et d'innovation de la Suisse. Au niveau de la recherche, le Masterplan demande une sécurisation de la base de savoir dans le domaine des cleantech et une amélioration du transfert de savoir et de technologie entre les hautes écoles et les entreprises ([www.cleantech.admin.ch/cleantech](http://www.cleantech.admin.ch/cleantech)).

L'Eawag s'interroge depuis longtemps sur les caractéristiques d'une épuration des eaux respectueuse des ressources naturelles et énergétiques et sur les débouchés pour des technologies propres et efficaces dans ce domaine. Nous avons maintenant commencé à développer de telles technologies et à chercher des partenaires industriels pour les lancer sur le marché.

**Les ressources dans le domaine de la gestion des eaux urbaines.** Ces dernières années, les recherches de l'Eawag concernant la préservation des ressources dans le domaine de la gestion des eaux urbaines se sont surtout concentrées sur les grandes préoccupations d'ordre planétaire étant donné que la Suisse se situe déjà à un excellent niveau international pour la performance de ses systèmes d'assainissement et d'approvisionnement en eau potable et pour la qualité de ses eaux. En dehors de ces considérations, l'objectif n'en reste pas moins de dégager

des solutions qui soient non seulement positives sur le plan mondial mais également profitables à la Suisse [1].

Les préoccupations principales du Masterplan Cleantech que sont la disponibilité des matières premières, l'efficacité des procédés, la pollution et la rentabilité sont en tous points applicables au domaine de la gestion des eaux urbaines. Par contre, les exigences posées aux technologies environnementales durables sont plus complexes que dans le domaine de la production de biens marchands : l'enjeu ne se limite pas à l'efficacité d'utilisation des ressources pour l'épuration des eaux et à la rentabilité des procédés mais vise aussi une exploitation optimale des richesses contenues dans les eaux usées et la protection des ressources naturelles telles que l'atmosphère et les milieux aquatiques (Fig. 1). Jusqu'à présent, la plupart des approches se limitent malheureusement à une petite partie du système Eaux usées et ignorent les autres aspects du problème. Il est pourtant grand temps de nous défaire de ce mode de pensée sectoriel pour développer des approches globales visant une optimisation simultanée dans tous les domaines et pour tous les types de ressources. Ce n'est qu'à partir de là que nous pourrions prétendre développer des technologies réellement durables.

**Une mauvaise efficacité d'élimination des nutriments.** La solution «end of pipe» classique qui consiste à collecter les effluents domestiques et industriels dans des réseaux d'égouts et à les traiter de façon centralisée dans les stations d'épuration présente des failles. C'est ce qu'ont révélé de nombreux travaux effectués ces dernières années dans le domaine de l'assainissement. Ainsi, la recherche s'est longtemps concentrée sur l'élimination des nutriments dans les stations d'épuration afin de lutter contre l'eutrophisation des eaux provoquée par les rejets d'azote et de phosphore dans le milieu naturel. Une nouvelle étude montre maintenant qu'à l'échelle globale, ces efforts d'élimination ont un effet limité et que seule une faible partie de ces deux nutriments est ôtée des eaux usées (Fig. 2) [2]. Cette situation ne devrait pas évoluer positivement au cours des prochaines décennies. Bien que les auteurs estiment que la capacité d'élimination des nutriments dans les stations d'épuration sera quatre fois plus élevée en 2050 qu'en 2000, cette progression ne devrait

Fig. 1 : Lors du développement de technologies durables dans le domaine de la gestion des eaux urbaines, différents types de ressources doivent être pris en compte.

<b>Dans les eaux usées</b> Eau Energie Nutriments, etc.	<b>Dans l'épuration des eaux</b> Energie Substances chimiques, etc.
<b>Naturelles</b> Milieux aquatiques Sols Atmosphère, etc.	<b>Anthropiques</b> Capital Institutions Acceptation, etc.



Toilette sèche avec dispositif de séparation des urines: le caractère novateur de cette latrine installée à Durban, en Afrique du Sud, n'apparaît que lorsqu'on y regarde de plus près.



eThekweni Water Services

pas suffire à endiguer l'augmentation concomitante des rejets dus à la croissance démographique et à l'amélioration du niveau de vie. Ils ont ainsi pronostiqué par modélisation un doublement des émissions d'azote et de phosphore venant des eaux usées à cette échéance. La construction des réseaux de collecte et des stations d'épuration est une entreprise de longue haleine et particulièrement onéreuse – et elle est souvent irréalisable dans les agglomérations en forte expansion.

**Les pénuries d'eau devraient s'intensifier.** Le Masterplan Cleantech part du principe que, suite aux changements climatiques, de nombreuses ressources pourraient venir à manquer. Ce problème concerne tout particulièrement l'eau. Selon les scénarios d'évolution du climat, les experts estiment ainsi que dans le monde de 3,2 à 4,6 milliards de personnes pourraient souffrir de pénurie sévère d'eau en 2020 (< 1000 m<sup>3</sup>/personne/an) et que

ce chiffre pourrait passer à 4,9–6,9 milliards en 2050 [3]. A titre de comparaison: aujourd'hui, près d'1,6 milliards de personnes vivent dans une telle précarité tandis que le Suisse moyen peut encore disposer de 6500 mètres cubes d'eau par an.

Les experts s'interrogent dès à présent sur l'attitude à adopter face à la pénurie d'eau à venir. Une étude australienne portant sur les conséquences de cette moindre disponibilité sur les besoins énergétiques pour l'approvisionnement en eau potable à l'horizon 2030 est particulièrement parlante [4]: Si l'augmentation de la demande en eau douce liée à l'accroissement de la population mondiale devait être couverte par des moyens techniques (comme par exemple le dessalement de l'eau de mer ou le recyclage des eaux usées traitées), la consommation en énergie primaire pour les besoins de l'approvisionnement en eau douce augmenterait dans le pire des cas d'un facteur 5 et dépasserait 200 Watts par personne en régime permanent. Une telle perspective n'est

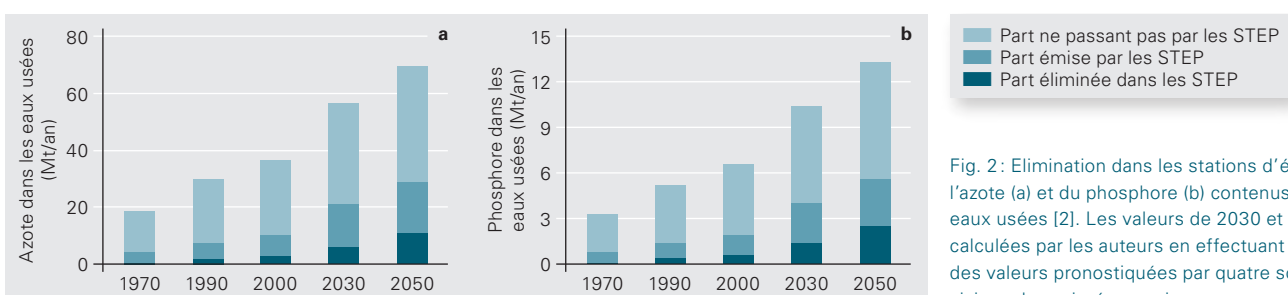


Fig. 2: Elimination dans les stations d'épuration de l'azote (a) et du phosphore (b) contenus dans les eaux usées [2]. Les valeurs de 2030 et 2050 ont été calculées par les auteurs en effectuant la moyenne des valeurs pronostiquées par quatre scénarios prévisionnels socio-économiques.

naturellement pas compatible avec les objectifs de la société à 2000 Watts que s'est par exemple fixés la ville de Zurich.

Les économies d'eau semblent donc constituer le mot d'ordre du moment. Ainsi, si l'Australie diminuait de moitié sa consommation actuelle d'eau en la ramenant à 150 litres par personne et par jour, elle pourrait encore s'auto-suffire en 2030. Et différents projets montrent que c'est effectivement possible. Des progrès édifiants ont déjà été réalisés, en Suisse aussi, au niveau de l'efficacité hydrique dans les ménages et l'industrie.

**Problèmes de corrosion suite au manque d'eau.** Le système classique de gestion des eaux usées, tel qu'il est utilisé dans les pays industrialisés, est cependant très consommateur d'eau. En effet, les égouts ont besoin d'un certain débit pour remplir leur fonction d'évacuation vers les stations d'épuration.

Une situation vécue à Phoenix, Arizona, montre de façon édifiante ce qui nous attend si les débits deviennent insuffisants dans les collecteurs d'eaux usées [5]. Pour faire face à une pénurie d'eau, des volumes importants ont été directement prélevés dans les égouts en laissant toutefois la majeure partie des matières dans les eaux usées restées dans le réseau. Suite à cette intervention, les effluents concentrés développèrent un milieu anaérobie qui provoqua la formation de sulfure d'hydrogène telle qu'elle se produit dans les conduites sous pression. Cet hydrogène sulfuré gazeux réagit alors avec l'oxygène de l'air sur les parois non humectées des canalisations pour donner de l'acide sulfurique qui provoqua des dommages importants par corrosion.

Pour assurer le bon fonctionnement des réseaux d'évacuation même à débit réduit et éviter les perforations dues à la corrosion, des ajouts de nitrate sont parfois pratiqués dans les eaux usées. Cette pratique aggrave toutefois l'impact environnemental des effluents en venant accroître les rejets d'azote déjà importants en provenance de l'assainissement et de l'agriculture et peut être à l'origine de difficultés non escomptées (par exemple au niveau de la dénitrification en station) [6].

On peut alors se demander s'il est réellement judicieux de mettre en place des réseaux d'égouts dans les zones géographiques amenées à connaître des difficultés d'approvisionnement en eau étant donné que leur fonctionnement risque d'être compromis suite à une insuffisance des débits.

**Des urines aux fertilisants.** Existe-t-il d'autres solutions? A travers le projet Novaquatis, l'Eawag travaille depuis un certain temps à l'élaboration de nouveaux concepts de gestion et de traitement des eaux usées répondant aux préoccupations liées à la perspective d'une pénurie de ressources [7]. Les approches développées se fondent sur une séparation des flux d'eaux usées à la source (cf. encadré). Cette démarche première crée des conditions plus favorables que le système classique à la mise en place de différents types de dispositifs permettant d'économiser les ressources comme par exemple la récupération des matières nutritives ou la réduction des volumes d'eau consommés.

Comme dans tous les systèmes établis, un changement radical de concept nécessite un certain temps d'adaptation. Pour l'heure, la demande émane principalement de zones déjà confron-

tées à une limitation de leurs ressources et ne pouvant envisager de se doter d'un réseau d'assainissement à l'Européenne, comme par exemple certains quartiers de Durban en Afrique du Sud.

Dans le cadre du projet Vuna ([www.eawag.ch/vuna](http://www.eawag.ch/vuna)) qui s'appuie sur les résultats de Novaquatis, l'Eawag y travaille en collaboration avec le service des eaux local eThekweni et avec l'Université de KwaZulu-Natal. Dans la région de Durban, une partie fortement représentée et en rapide progression de la population n'est pas raccordée au réseau d'assainissement communal et à la station d'épuration. Le système envisagé pour cette partie de la population est basé sur l'installation de toilettes sèches et la collecte séparée des urines. Il est d'autre part prévu de récupérer l'azote, le phosphore et le potassium des urines dans des mini-réacteurs et d'utiliser ces nutriments pour la fabrication de fertilisants. Actuellement, l'urine s'infiltrerait directement dans le sous-sol où elle peut compromettre la qualité des eaux du lac voisin utilisé pour l'approvisionnement en eau potable.

La technologie développée dans le projet Vuna dirigé par Kai Udert consiste en une transformation de l'ammonium contenu dans l'urine en nitrate d'ammonium par nitrification biologique partielle suivie d'une concentration par évaporation. Le produit obtenu est un engrais à base d'urine constitué de nitrate d'ammonium et d'autres éléments fertilisants tels que le phosphore et le potassium. Bien que le projet n'en soit qu'à ses débuts, il est déjà avéré que cette technologie fonctionne en laboratoire et que la production d'un tel engrais est théoriquement possible. La suite du projet montrera ce qu'il en est dans la pratique.

Le processus envisagé présente déjà un bilan énergétique satisfaisant même s'il doit encore être optimisé avant de pouvoir rivaliser avec les grandes installations de traitement (Tab. 1). Par ailleurs, ces dernières sont de toute façon mal adaptées aux possibilités financières des régions pauvres. De plus, les petites installations décentralisées se prêtent davantage à une utilisation de l'énergie solaire.

**Le succès d'un procédé dépend de sa rentabilité.** En fin de compte, ce sont bien les considérations économiques qui

#### Séparation des urines et récupération des nutriments

La collecte séparée des urines au niveau des toilettes répond à un concept technologique assez simple. Ainsi, l'urine peut être interceptée à l'aide d'un dispositif spécial comme le WC NoMix et être évacuée séparément. Etant donné que la plupart des nutriments jouant un rôle au niveau de l'épuration des eaux proviennent des urines, un traitement séparé de ce fluide permet de remplacer les traitements d'abattement de la charge nutritive dans les stations. De plus, la collecte du liquide concentré permet une valorisation des substances nutritives par la production de fertilisants et contribue donc à boucler les cycles de nutriments. Les risques et opportunités de cette technologie ont été étudiés de près dans le projet Novaquatis de l'Eawag. [www.novaquatis.eawag.ch](http://www.novaquatis.eawag.ch)



	Azote (N)	Phosphore (P)	N + P
Valeur énergétique de l'engrais	-5,2	-0,34	-5,5
Energie/Epuration des eaux (grande station)	-5,2	-0,57	-5,8
Energie/Nitrification (petite installation)	2,1		9,0
Energie /Evaporation (récupération de 85 % de l'énergie)			20,0
<b>Total (Watts/personne)</b>			<b>17,7</b>

Tab. 1: Bilan énergétique de la nitrification et de l'évaporation de l'urine (énergie primaire en Watts/personne) établi en considérant qu'une personne produit chaque jour 1,5 litre d'urine contenant 10 g d'azote et 1 g de phosphore [8]. L'énergie économisée est indiquée en valeurs négatives.

décident du succès ou de l'échec d'une nouvelle technologie dans la pratique. Conscients de cette réalité, les chercheurs de Vuna ont cherché à savoir si les matières nutritives récupérées dans les urines avaient un intérêt économique suffisant pour motiver une utilisation et un entretien des nouvelles infrastructures sanitaires. L'évaluation grossière de la valeur monétaire des nutriments extraits des urines donne à première vue un résultat assez modeste mais il est loin d'être négligeable comparé aux coûts du traitement des eaux dans les pays en développement (Tab. 2). Cette estimation s'accompagne cependant d'une grande incertitude due aux fluctuations du marché mondial. Alors que les prix étaient encore stabilisés à très bas niveau au début de la dernière décennie, l'époque actuelle est marquée par de fortes fluctuations qui sont principalement le reflet d'une demande en progression. L'azote a d'autre part deux fois plus de valeur sous forme de nitrate d'ammonium que d'ammoniaque. Enfin, suite au manque de données africaines concernant les rejets de nutriments par la voie des excréments, l'estimation a été faite à partir de données européennes.

Sur le plan technique, le projet Vuna se concentre actuellement sur l'obtention d'un produit sûr. Des mesures effectuées au Fraunhofer-Institut à Pfinztal ont en effet montré que le fertilisant présentait à peu près les mêmes propriétés que le nitrate d'ammonium pur. Or ce composé est thermiquement instable. De plus, les résidus de chlorure de sodium et les traces de composés organiques accroissent cette instabilité. Néanmoins, étant donné

Tab. 2: Estimation grossière de la valeur monétaire de l'azote, du phosphore et du potassium des urines en US cents par personne et par jour en Afrique. Les calculs se basent sur une excrétion urinaire quotidienne de 10 g d'azote, 1 g de phosphore et 2,5 g de potassium par personne. Le prix de vente représente 2,7 fois le prix sur les marchés internationaux [9].

	2000 (plancher)	2011 (1 <sup>er</sup> trimestre)	2008 (maximum)
Azote (N)	0,97	2,3	5,8
Phosphore (P)	0,16	0,58	1,0
Potassium (K)	0,14	0,51	1,1
<b>Total (US cents)</b>	<b>1,3</b>	<b>3,4</b>	<b>7,9</b>

que le fertilisant obtenu à partir de l'urine contient moins de 28 pour cent d'azote, il correspondrait déjà aux normes suisses et européennes. Pour parfaire son produit, l'Eawag travaille tout de même à un accroissement de sa stabilité thermique par élimination des résidus de substances organiques et éventuellement de chlorure de sodium. Cette amélioration permettrait d'accroître les facilités de stockage du fertilisant et d'éviter son impact éventuel sur l'agriculture par apport de résidus pharmaceutiques ou de chlorure.

Que ce soit pour l'étape de nitrification ou d'évaporation, des contacts ont été établis avec des entreprises qui seraient intéressées par le développement et la fabrication de réacteurs appropriés. Cet intérêt de la part des industriels révèle que le potentiel de la collecte séparée des urines et du recyclage consécutif des nutriments finit par être reconnu dans la pratique. Pour le moment, c'est sur les marchés internationaux que la demande en solutions novatrices dans le domaine de l'assainissement est la plus forte. Mais ces nouveaux concepts pourraient également bientôt connaître un regain d'intérêt en Suisse. Pour l'heure, notre pays attend encore la production de toilettes NoMix perfectionnées qui pourraient être utilisées dans les ménages dans le cadre de projets pilotes de grande envergure. L'industrie du sanitaire est actuellement engagée dans un projet de recherche et développement visant une telle optimisation. ○○○

- [1] Larsen T.A., Gujer W. (1999): Intervenir à la source, dans les ménages aussi, Eawag News 48f, 6-7.
- [2] Van Drecht G., Bouwman A.F., Harrison J., Knoop J.M. (2009): Global nitrogen and phosphate in urban wastewater for the period 1970 to 2050. Global Biogeochemical Cycle 23, GB0A03, doi:10.1029/2009GB003458.
- [3] Alcamo J., Flörke M., Märker M. (2007): Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. Hydrological Sciences Journal 52 (2), 247-275.
- [4] Kenway S.J., Priestley A., Cook S., Seo S., Inman M., Gregory A., Hall M. (2008): Energy use in the provision and consumption of urban water in Australia and New Zealand. Water for a healthy country national research flagship, CSIRO Australia and Water Services Association of Australia.
- [5] Ablin R.L., Kinshella P. (2004): DUDE, where's my pipe – Accelerated corrosion rate threatens Phoenix sewers. In Proceedings of the ASCE Pipeline Division Specialty Congress – Pipeline Engineering and Construction, 843-850.
- [6] Larsen T.A. (in press): Redesigning wastewater infrastructure to improve resource efficiency. Water Science and Technology.
- [7] Larsen T.A., Lienert J. (2007): NoMix unter der Lupe. Eawag News 63d, 4-7.
- [8] Maurer M., Schwegler P., Larsen T.A. (2003): Nutrients in urine: Energetic aspects of removal and recovery. Water Science and Technology 48 (1), 37-46.
- [9] Hofstetter A. (2010): Life cycle assessment of processes for nitrogen removal and recovery from source separated urine. Masterarbeit Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETHZ.
- [9] Gregory D.I., Bumb B.L. (2006): Factors affecting supply of fertilizer in Sub-Saharan Africa. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington.



Jukka Jokela est membre de l'état-major de l'Eawag et professeur d'écologie aquatique à l'EPF de Zurich.  
Co-auteur : Kirstin Kopp

## Penser globalement, agir localement

Les sciences environnementales aquatiques doivent aujourd'hui relever le défi de la restauration des habitats des eaux continentales pour assurer la pérennité des services écosystémiques pour les générations futures. Le rôle des populations locales est alors déterminant puisqu'elles constituent la base du fonctionnement de tout écosystème.

Les milieux aquatiques continentaux sont les écosystèmes les plus fortement menacés de la planète. C'est également le cas en Suisse où les corrections fluviales, l'agriculture intensive et la pollution ont si fortement modifié le caractère des systèmes d'eau douce que l'état naturel n'existe pratiquement plus. Aujourd'hui, le changement climatique et l'augmentation probable des températures moyennes, les pénuries d'eau saisonnières et la multiplication des extrêmes climatiques qui l'accompagnent créent de nouveaux problèmes.

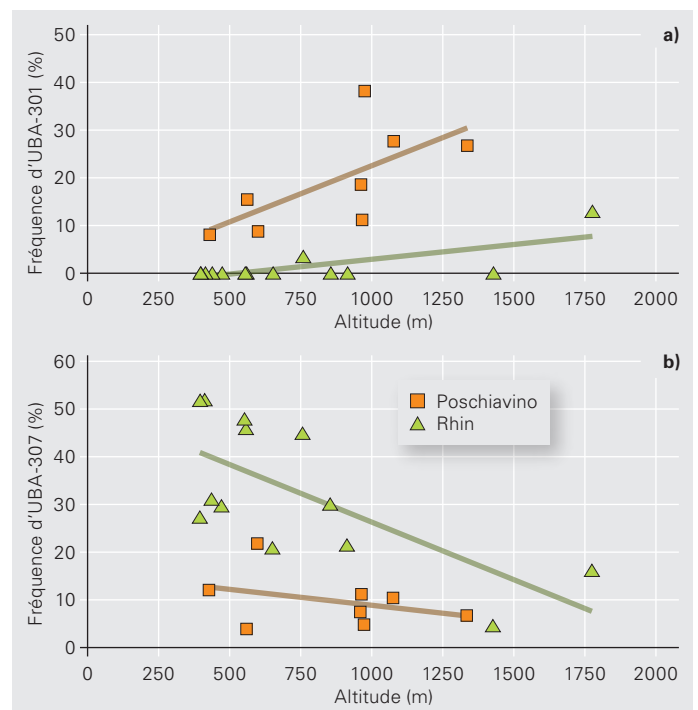
**Quand diversité rime avec adaptabilité.** Concernant la protection et la valorisation des habitats et paysages aquatiques, l'écologie des eaux se trouve confrontée aux questions suivantes : Quelle est la capacité d'adaptation et de compensation des écosystèmes face aux changements actuels et futurs de l'environnement ? Dans quelle mesure l'effet des renaturations locales peut-il s'étendre aux milieux voisins ? En combien de temps un état quasiment naturel peut-il être atteint après une renaturation ? Comment fixer des priorités d'action étant donné le caractère limité des ressources disponibles ? Pour pouvoir répondre à ces questions, nous devons nous pencher tout particulièrement sur les processus qui se déroulent à l'échelle des populations locales. Elles constituent en effet la base du fonctionnement des écosystèmes, tous les processus importants d'un point de vue écologique et évolutif se déroulant en leur sein. Même si une population est par définition un groupe d'individus capables de se reproduire entre eux, il est souvent difficile de faire la distinction entre deux groupes différents. La génétique écologique livre aujourd'hui des méthodes permettant d'identifier et d'analyser les différences.

La diversité écologique et génétique des populations locales leur permet, dans une certaine limite, de s'adapter aux modifications des conditions environnementales et de compenser les effets des facteurs de stress. Elles participent ainsi à la stabilité du milieu et à la pérennité des services rendus par les écosystèmes. Le maintien de la biodiversité locale doit donc être l'une des missions centrales de la biologie de la conservation d'aujourd'hui. Cette approche s'oppose toutefois au principe selon lequel la protection des écosystèmes consisterait en une conservation sta-

tique du passé. Elle vise au contraire un soutien de la dynamique évolutive, seule garante d'une bonne adaptabilité à des conditions environnementales en mutation.

**Des poissons adaptés aux différentes altitudes.** Lors de la détermination de la structure génétique des populations de plusieurs groupes d'organismes dulçaquicoles de Suisse, les scientifiques de l'Eawag ont découvert que les populations pouvaient présenter de très grandes différences génétiques même sur de courtes distances. En d'autres termes : La Suisse abrite pour de nombreuses

Fig. 1 : Adaptations locales de la truite de rivière (*Salmo trutta*) à l'altitude dans deux bassins fluviaux suisses. Dans les populations du Rhin et du Poschiavino, la fréquence de la variante génique UBA-301 augmente avec l'altitude (a) tandis que celle de la variante UBA-307 diminue (b).





Le Val Roseg dans les Grisons constitue un espace de vie typique du trichoptère alpin (*Allogamus uncatus*). Les populations occupent aussi bien les milieux permanents que temporaires du cours supérieur des cours d'eau alpins.

espèces clés toute une variété de races locales – une observation surprenante et en partie inédite.

La dérive génétique et la sélection naturelle (cf. glossaire) sont deux mécanismes évolutifs à l'origine de différences génétiques entre les populations. Des adaptations génétiques locales peuvent se surimprimer sur ces effets suite à des variations localisées des conditions environnementales et à des interactions écologiques. Les chercheurs de l'Eawag Irene Keller, Andreas Taverna et Ole Seehausen ont observé un exemple remarquable d'adaptation locale à l'occasion de leurs études sur la truite de rivière (*Salmo trutta*) en Suisse [1]. Ils découvrirent en effet que les populations

vivant aux altitudes les plus élevées possédaient des variantes géniques leur conférant apparemment un avantage pour la vie en altitude et dont les populations de basse altitude étaient dépourvues. Ce phénomène a ensuite pu être observé dans d'autres bassins fluviaux en Suisse. Ces observations semblent indiquer que la truite de rivière s'est adaptée à des paramètres environnementaux évoluant avec l'altitude (Fig. 1).

Cet exemple montre que l'environnement immédiat peut induire des variations génétiques nouvelles de façon localisée. Il est donc primordial que les efforts de renaturation visent également à préserver cette diversité génétique étant donné que celle-ci constitue la matière première à partir de laquelle les adaptations à de nouvelles conditions environnementales vont pouvoir s'effectuer. La différenciation génétique des populations locales devrait également être prise en compte dans les mesures d'alevinage.

Grâce aux techniques de génétique modernes, il est maintenant possible de visualiser cette biodiversité cachée. Nous pouvons supposer que les études menées dans ce domaine sur diverses autres espèces révéleront également l'existence d'adaptations locales du même type. Ces informations devraient servir à améliorer les protocoles de gestion dans les programmes de protection de la nature.

### Recolonisation des milieux grâce aux populations locales.

Chaque espèce est constituée d'une multitude de populations locales qui, en contact les unes avec les autres, forment des réseaux dans lesquels des échanges plus ou moins actifs se produisent. Ainsi, les différentes populations de poissons d'un même bassin fluvial ont tendance à appartenir à un même réseau dont les populations d'un autre bassin versant seraient plutôt exclues. Ces réseaux sont appelés métapopulations.

Lisa Shama, Karen Kubow et Chris Robinson de l'Eawag ont étudié les métapopulations du trichoptère alpin *Allogamus uncatus* [2, 3]. Ces trichoptères vivent dans les zones de faible courant des têtes de bassin, alpines, des cours d'eau. L'espèce étudiée

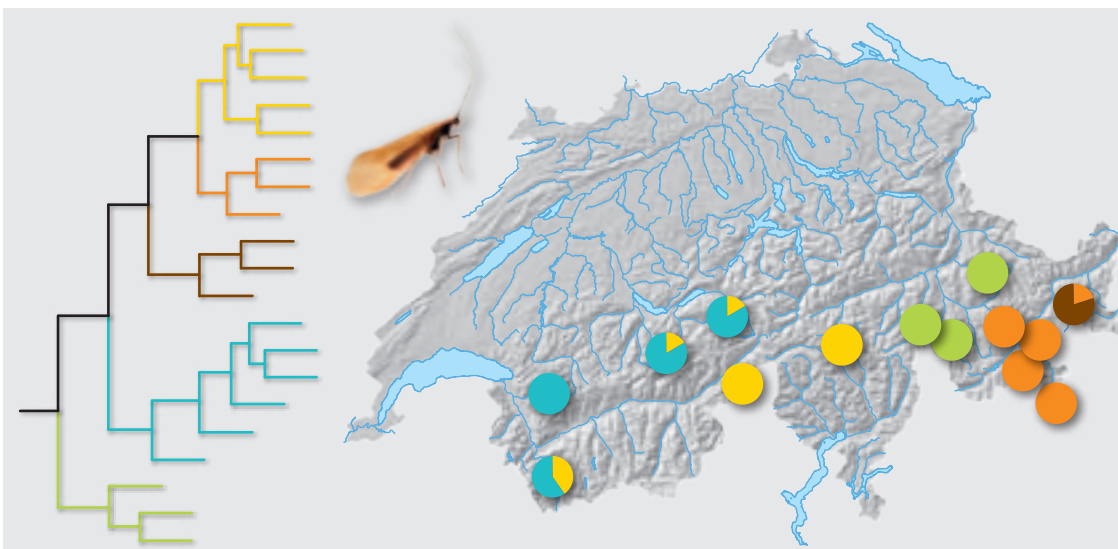


Fig.2: Différenciation génétique du trichoptère alpin (*Allogamus uncatus*) révélée par une séquence génétique à évolution lente. La répartition géographique des cinq groupes suggère qu'après les dernières glaciations, les vallées alpines ont été recolonisées à partir de refuges glaciaires distincts. L'arbre dichotomique indique les relations de parenté génétique entre les populations; les diagrammes en secteurs indiquent la fréquence relative des variantes génétiques rencontrées dans le groupe correspondant.

passé l'hiver sous la forme de larves et traverse plusieurs stades larvaires au cours de la première année jusqu'à l'émergence à l'automne des adultes ailés capables de coloniser activement de nouveaux espaces. Chaque vallée alpine peut ainsi abriter des dizaines de populations plus ou moins isolées dans des zones temporaires ou permanentes du cours des ruisseaux. A partir d'analyses génétiques, l'équipe de scientifiques a étudié l'histoire récente et lointaine de diverses métapopulations venant de différentes vallées grisonnes et valaisannes dans le but de comprendre les effets génétiques de l'été caniculaire de 2003 au cours duquel même des cours d'eau permanents s'assèchent.

L'étude d'une séquence génétique ayant la particularité de s'être très peu modifiée au cours de l'évolution (séquence conservée) a montré que les vallées abritaient cinq groupes d'*Allogamus* nettement distincts. La répartition géographique et les caractéristiques génétiques de ces métapopulations laissent à penser qu'après les dernières glaciations, les vallées ont été recolonisées par des populations isolées venant de différents refuges glaciaires, ce qui aurait conduit à une forte individualité génétique des différentes vallées (Fig. 2).

Pour retracer l'évolution démographique plus récente, les scientifiques ont utilisé ce que l'on appelle des marqueurs génétiques neutres étant donné que, contrairement aux séquences conservées, ils livrent pour ainsi dire une image de plus grande résolution. Cette étude a révélé qu'avant l'été exceptionnel de 2003 les différentes métapopulations avaient connu des échanges génétiques alors que certaines des vallées étudiées étaient espacées de 165 kilomètres.

La sécheresse de 2003 mit fin à cette situation. Les effectifs de nombreuses métapopulations furent décimés et seul un

faible nombre d'individus parvint à survivre. Une telle réduction, massive, de la population induit ce que l'on appelle un goulot d'étranglement génétique : suite à la perte de la plupart des individus, une grande partie de la diversité génétique de la population disparaît. Sous l'effet amplificateur de la dérive génétique, les populations résultant du goulot d'étranglement se distinguent fortement les unes des autres. Les données recueillies par l'équipe de l'Eawag après la canicule de 2003 reflètent parfaitement cette situation. Les différentes métapopulations se distinguaient alors plus fortement entre elles tout en présentant une moindre variabilité génétique en leur sein [3].

Les scientifiques ont ensuite comparé au sein d'une même vallée les populations locales vivant dans les zones permanentes et les zones temporaires du lit du cours d'eau et ont constaté que la sécheresse n'avait pas altéré leur proximité génétique. Cette observation indique qu'après un assèchement qui bien souvent cause leur destruction, les habitats temporaires et leurs populations sont réalimentés par des individus provenant des populations voisines [3]. L'effondrement ponctuel d'une partie des populations locales fait donc partie du cours normal de la dynamique des écosystèmes naturels. Suite aux perturbations d'origine anthropique, ces crises voient cependant leur fréquence et leur gravité souvent s'accroître.

**Le maintien de taches d'habitats intacts ne suffit pas.** La viabilité d'une métapopulation dépend toutefois de façon décisive de ses populations locales, lesquelles assurent la recolonisation des habitats temporaires ou détruits à l'occasion d'un événement catastrophique. Si ces événements dévastateurs se multiplient suite par exemple au changement climatique, les populations locales sont amenées à faire l'objet d'effondrements plus fréquents et à subir un appauvrissement régulier de leur diversité génétique. Cette érosion conduit à une réduction du potentiel génétique permettant aux populations et donc aux métapopulations de s'adapter aux modifications des conditions environnementales.

La dégénération des populations locales entraîne à plus ou moins longue échéance le collapse de la métapopulation. Des mesures de conservation doivent donc être mises en œuvre dès qu'une disparition et une fragmentation des habitats adaptés aux populations locales se produisent. L'objectif ne doit pas alors consister à protéger un petit nombre d'habitats adéquats mais bien davantage d'assurer le maintien d'un réseau suffisamment étendu d'habitats reliés entre eux puisque seule la présence en nombre et en taille suffisante de populations locales connectées entre elles peut assurer la stabilité et la résistance des métapopulations. Les programmes de conservation doivent donc se concentrer sur les métapopulations saines de certaines espèces clés. Cette stratégie constitue probablement la solution la plus économique permettant de garantir le maintien durable des services rendus par les écosystèmes.

**Connecter les populations – une arme à double tranchant.** L'intensité des échanges entre populations dépend de la distance et de la perméabilité des barrières éventuelles qui les séparent. Les populations rapprochées et bien connectées échangent

**Glossaire**

<i>Adaptation locale</i>	Evolution de caractères par sélection naturelle aboutissant à une meilleure capacité de survie et de reproduction dans des conditions environnementales spécifiques (biotiques et abiotiques).
<i>Dérive génétique</i>	Processus causant de façon aléatoire une modification des fréquences alléliques se manifestant principalement dans les petites populations non influencées par la sélection naturelle.
<i>Espèces clés</i>	Espèces ayant une influence particulièrement importante sur leur environnement (comparée à leur biomasse) et jouant un rôle déterminant dans la conservation et la définition des écosystèmes.
<i>Flux génique</i>	Diffusion de gènes d'une population à une autre.
<i>Goulot d'étranglement génétique</i>	Appauvrissement massif de la diversité génétique suite à une forte réduction du nombre d'individus dans une population.
<i>Processus écologiques</i>	Interactions des organismes entre eux et avec leur environnement.
<i>Processus évolutifs</i>	Au sens du processus micro-évolutif : Modifications de la fréquence allélique à l'échelle de la population provoquées par flux génique, dérive génétique, mutation ou sélection naturelle.
<i>Refuges glaciaires</i>	Régions retirées dans lesquelles des espèces autrefois très répandues se sont réfugiées pendant les dernières glaciations.

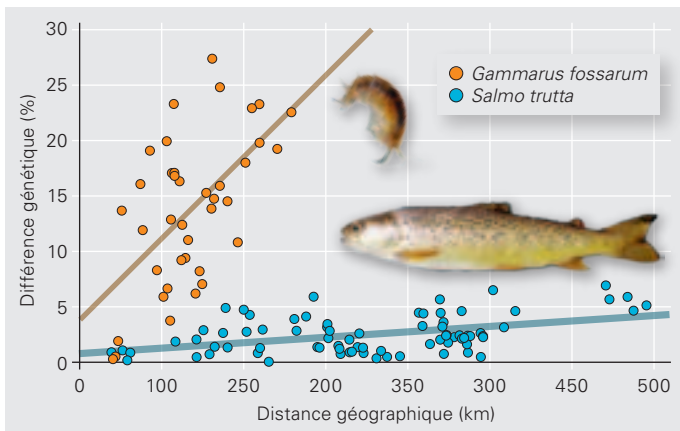


Fig. 3: Relations entre connectivité et différences génétiques locales présentées à titre d'exemple chez la truite de rivière (*Salmo trutta*) et le gammare (*Gammarus fossarum*). Chaque point correspond au couple différence génétique–distance géographique pour une paire de populations. Les différences génétiques sont plus marquées chez le gammare car les échanges de gènes entre ses populations sont moins importants.

davantage d'individus et partagent un flux génique plus important que celles qui sont très éloignées ou séparées par des barrières infranchissables telles que des ouvrages hydrauliques ou des chutes d'eau. Les populations retirées ou inaccessibles peuvent donc présenter une identité génétique très marquée qui peut par exemple comporter des variantes nouvelles et très intéressantes. Lors de la planification des projets de revitalisation fluviale, il sera donc très important de ne pas établir de connexions entre ces populations isolées et les autres. La connexion des populations peut certes soutenir les populations affaiblies par une intensification du flux génique mais elle peut aussi ouvrir grand les portes à la dissémination d'espèces invasives ou de maladies.

La relation entre le degré de connexion des populations et la différenciation génétique est particulièrement bien illustrée par l'étude des populations de la truite de rivière (*Salmo trutta*) et du gammare (*Gammarus fossarum*) dans le bassin rhénan. Les populations de l'animal très mobile qu'est la truite sont fortement connectées entre elles. Elles présentent donc des différences génétiques assez faibles. Une nette corrélation peut toutefois être observée entre distance géographique et différences génétiques. Les échanges génétiques sont donc limités malgré les connexions existantes, ce qui permet à des différences locales entre populations de persister [1]. Chez le gammare nettement moins mobile, la relation entre distance géographique et distance génétique est toutefois beaucoup plus forte [4]. Les populations présentent des différences génétiques très marquées malgré un moindre éloignement, ce qui trahit un flux génique très limité favorable au développement des adaptations locales (Fig. 3).

Ces phénomènes doivent être pris en compte dans la planification des mesures de protection des milieux et des espèces. Ainsi, si l'objectif poursuivi est le maintien de populations vitales de truites et que les effectifs soient soutenus par le biais d'alevinages, l'introduction de poissons peut, selon leur origine,

accroître le flux génique et conduire à une homogénéisation des populations locales. Dans le cas du gammare, l'objectif prioritaire est la conservation des races locales. Il conviendra alors d'empêcher le déplacement actif des populations. Les mesures viseront donc en priorité à consolider la métapopulation régionale par la restauration des habitats. De telles renaturations seront à leur tour profitables aux prédateurs du gammare, les truites de rivière, et rendront éventuellement les alevinages inutiles.

**Vers une planification plus précise des restaurations.** Dans l'idéal, les projets régionaux de renaturation doivent être conçus de façon à assurer un maintien maximal de la diversité génétique locale. Une telle approche exige toutefois une cartographie préalable de la structure génétique des populations locales. Celle-ci permettrait alors d'identifier les populations à soutenir ou les habitats à restaurer ou à recréer. Il serait ainsi possible d'éviter que des populations isolées présentant des variantes génétiques uniques soient diluées par un flux génique involontaire. De ce point de vue, la renaturation des milieux est un numéro d'équilibre entre valorisation des métapopulations existantes et préservation des différences génétiques entre populations.

Dans les eaux continentales, l'écologie de la restauration se concentre traditionnellement sur le retour à une hétérogénéité naturelle des habitats, la renaturation hydrologique du paysage fluvial et le rétablissement de la connectivité dans les milieux fragmentés. La nouvelle priorité accordée à la valeur des populations locales n'est pas incompatible avec cette conception classique. Elle demande toutefois une plus grande précision dans la planification du lieu et de la nature des interventions. Les objectifs d'une renaturation doivent avoir une justification biologique et se concentrer sur des espèces clés porteuses d'une nouvelle variabilité génétique et jouant un rôle fonctionnel prédominant dans l'écosystème. Cette nouvelle approche exige toutefois aussi de nouvelles compétences de la part des spécialistes chargés des projets. ○○○

- [1] Keller I., Taverna A., Seehausen O. (2011): Evidence of neutral and adaptive genetic divergence between European trout populations sampled along altitudinal gradients. *Molecular Ecology* 20, 1888–1904, doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05067.x.
- [2] Kubow K.B., Robinson C.T., Shama L.N.S., Jokela J. (2010): Spatial scaling in the phylogeography of an alpine caddisfly, *Allogamus uncutus*, within the central European Alps. *Journal of the North American Benthological Society* 29 (3), 1089–1099.
- [3] Shama L.N.S., Kubow K.B., Jokela J., Robinson C.T. (2011): Bottlenecks drive temporal and spatial genetic changes in metapopulations of alpine caddisfly metapopulations. (eingereicht).
- [4] Westram A.M. (2011): Evolutionary Ecology of cryptic amphipod species. PhD-Dissertation 19650, ETH Zürich, Switzerland.

# L'avenir de l'eau dans un monde en mutation

Notre société est dépendante aussi bien des usages de l'eau – allant de l'approvisionnement en eau potable à l'irrigation en passant par l'évacuation des eaux usées, la production d'énergie et la navigation fluviale – que des services rendus par les écosystèmes aquatiques. Pour assurer la pérennité de ces derniers, nous devons apprendre à minimiser les effets néfastes des activités anthropiques liés aux premiers.

En matière de gestion des ressources hydriques ainsi que de développement et d'entretien des infrastructures de l'eau, la Suisse peut s'enorgueillir d'une longue histoire pavée de nombreuses réussites. Les Alpes suisses étant le berceau de plusieurs fleuves européens, il lui incombe d'autre part une responsabilité de dimension internationale vis-à-vis de ses lacs et cours d'eau et de la qualité de leurs eaux. Pourtant, les activités et aménagements liés à l'exploitation de la force hydraulique et à la nécessaire protection des biens et des populations contre les inondations ont fortement modifié l'environnement aquatique de ce pays.

En Suisse, les décisions concernant les stratégies futures de gestion des eaux devront désormais être prises dans un contexte de plus en plus marqué par des conditions environnementales et sociétales en perpétuelle évolution (changements climatiques, valeurs sociales) et de moins en moins défini par la seule qualité des infrastructures existantes. Les enseignements tirés du passé et de l'expérience acquise partout dans le monde laissent augurer de la situation future de la Suisse dans ce domaine.

**La responsabilité fondamentale de toute société.** La gestion des ressources en eau et des infrastructures correspondantes

Une infrastructure conçue pour la durée : les bisses, canaux d'irrigation traditionnels du Valais, sont vieux de plus de 1000 ans et sont en partie encore utilisés aujourd'hui.



Keystone



Janet Hering, directrice de l'Eawag, est une spécialiste des méthodes de potabilisation des eaux et du comportement biogéochimique des métaux traces. Elle enseigne aux EPF de Zurich et de Lausanne.

fait depuis toujours partie des responsabilités fondamentales de toute société civile. L'importance capitale de l'eau est attestée par tous les vestiges d'infrastructures d'adduction, d'assainissement et d'irrigation retrouvés sur presque tous les continents et dont certains datent de plusieurs milliers d'années. L'Europe est ainsi parsemée des restes d'aqueducs, de thermes ou de latrines datant des Romains. Les bisses, les fameux canaux d'irrigation traditionnels du Valais dont l'origine remonte à près de 1100 ans, sont en partie encore utilisés.

Les sociétés humaines tirent depuis toujours un profit direct et multiple de l'eau et des milieux aquatiques. L'importance de l'eau pour la santé et l'hygiène publique était déjà reconnue dans l'Antiquité et les Nations Unies ont récemment déclaré l'accès à une eau salubre comme faisant partie des droits de l'homme.

L'eau alimente aussi bien les écosystèmes terrestres, et donc les terres agricoles, que les écosystèmes aquatiques importants notamment pour la pêche. Elle sert au transport de l'homme et des marchandises, à la production d'électricité, aux loisirs et contribue à l'agrément du paysage. Une grande partie de ces usages nécessite la construction d'infrastructures spécialisées allant du simple canal d'irrigation jusqu'au mur de barrage le plus monumental. Ces infrastructures exigent des investissements parfois très importants de la part des sociétés concernées (cf. article p. 22).

Beaucoup de ces infrastructures constituent des interventions massives dans l'environnement aquatique qui modifient très fortement – que ce soit volontairement ou par nécessité – les caractéristiques originelles du milieu comme la morphologie ou le régime d'écoulement des rivières. Le développement des infrastructures suisses au XIX<sup>e</sup> siècle était ainsi axé sur la protection des biens et des populations contre les inondations et le gain de terres pour l'habitat et l'agriculture.

**Atteintes à l'environnement aquatique.** La déviation des cours d'eau et la modification des conditions d'écoulement font partie des interventions les plus dommageables pratiquées dans le cadre de la construction d'infrastructures ou d'usages de l'eau. L'anéantissement écologique de la mer d'Aral à la frontière de l'Ouzbékistan et du Kazakhstan a par exemple été provoqué par

le détournement des eaux l'alimentant pratiqué pendant des décennies par les deux pays pour l'irrigation de leurs terres agricoles. Dans plusieurs pays, même les grands fleuves comme le Colorado aux Etats-Unis n'atteignent plus leur embouchure suite à l'exploitation dont ils font l'objet sur leur cours, ce qui conduit à un effondrement des écosystèmes de ces régions.

En Suisse, la correction et la chenalisation des fleuves et rivières et la construction des barrages constituent les atteintes les plus importantes à l'intégrité des systèmes hydrologiques. Ainsi, le réseau hydrographique du pays compte aujourd'hui près de 88 000 barrières artificielles de plus d'un mètre de haut; dans le canton de Zurich, leur densité s'élève à onze obstacles par kilomètre de linéaire. Sur les 65 300 kilomètres de cours d'eau que compte la Suisse, près de 15 800 kilomètres, soit 24 pour cent, sont dans un état morphologique insuffisant [1]. Les fleuves et grandes rivières de plaine sont surreprésentés dans cette catégorie. En d'autres termes: sur la totalité des cours d'eau suisses, 50 pour cent de ceux situés à moins de 600 m d'altitude et 48 pour cent de ceux de largeur inférieure à cinq mètres sont concernés.

L'équilibre hydrologique de nombreux cours d'eau alpins est compromis soit par une insuffisance des débits résiduels qui leur sont laissés par près de 1400 prises d'eau, soit par le fonctionne-

ment par éclusées des centrales hydroélectriques. D'autre part, beaucoup de rivières, notamment en plaine, sont coupées de leur lit naturel. Dans ses « Idées directrices – cours d'eau suisses » publiées en 2003, l'Office fédéral de l'environnement définit des objectifs d'attribution ou de maintien d'un espace suffisant, d'une quantité d'eau suffisante et d'une qualité de l'eau suffisante dans ces systèmes. Mais pour les cours d'eau déjà fortement altérés dans leur morphologie, ces objectifs apportent peu.

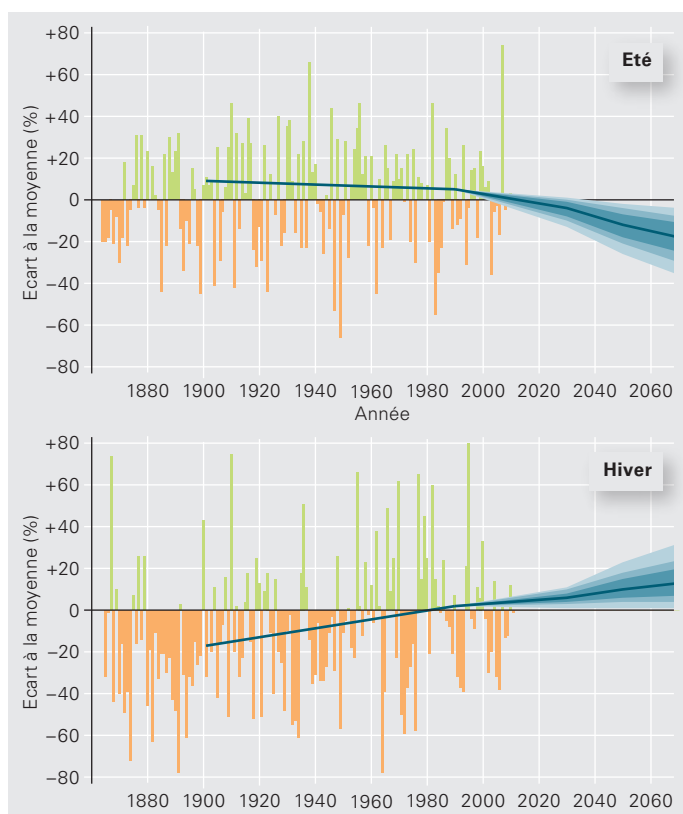
Les atteintes portées aux cours d'eau en Suisse et de manière encore plus dramatique dans d'autres pays ont généralement des implications limitées au niveau local ou régional. Mais alors que la zone d'influence des activités humaines sur l'environnement aquatique était d'ordre régional, elle a souvent pris aujourd'hui une dimension internationale.

**Changement global et gestion de l'avenir.** Le quatrième rapport sur le climat publié par le GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) en 2007 attire particulièrement l'attention sur les conséquences possibles du changement climatique sur l'environnement aquatique [2]. Pour la Suisse, les modèles ne prévoient pas de modification de la quantité moyenne de précipitations annuelles mais bien de leur répartition dans l'année (Fig. 1). Alors que les étés devraient être plus secs, des précipitations hivernales plus abondantes et se manifestant davantage sous forme de pluie que de neige devraient faire augmenter le risque d'inondations dans cette partie de l'année. Le recul des glaciers suisses qui ont perdu en moyenne 50 pour cent de leur surface entre 1850 et 2000 suite au réchauffement de l'atmosphère est par contre avéré.

Les experts estiment que dans le monde, près d'un cinquième de la population mondiale souffre déjà de pénurie d'eau [3]. D'après la définition, une pénurie d'eau se manifeste lorsque plus de 75 pour cent des réserves d'eau renouvelables sont utilisées pour les besoins humains. Une part encore plus importante de la population humaine souffre, suite au manque d'eau, de malnutrition et de maladies dues à l'insalubrité ambiante, au manque d'infrastructures sanitaires et au manque d'eau potable. Il semble bien que l'objectif du millénaire des Nations Unies visant à réduire de moitié d'ici 2015 le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'eau potable et aux installations sanitaires de base ne puisse être atteint à l'échéance fixée (voir aussi l'article p. 26).

Il est urgent pour des raisons humanitaires d'apporter une solution rapide aux problèmes liés à l'eau, en particulier dans de nombreux pays en développement et émergents. Dans le domaine de l'assainissement et de l'approvisionnement en eau potable, des approches et technologies novatrices offrent une perspective prometteuse. Ainsi, les réseaux d'égouts et stations d'épuration nécessitant de grandes quantités d'eau pour le transport des matières fécales sont parfaitement inadaptés aux conditions des zones arides et semi-arides confrontées à une pénurie d'eau chronique. Dans ces régions, les solutions décentralisées telles que celles développées et étudiées par l'Eawag constituent une alternative économe en eau. De plus, certaines méthodes de séparation des flux d'eaux usées permettent une récupération des nutriments pour l'agriculture (cf. article p. 30).

Fig. 1: Influence du changement climatique sur les précipitations prévues en Suisse. Le diagramme montre l'évolution des précipitations moyennes mesurées de 1864 à 2010 et prédites jusqu'en 2070 par rapport à la moyenne de la période 1961–1990. A l'avenir, les précipitations devraient être plus abondantes en hiver et plus rares en été (d'après Météo Suisse/EPFZ).



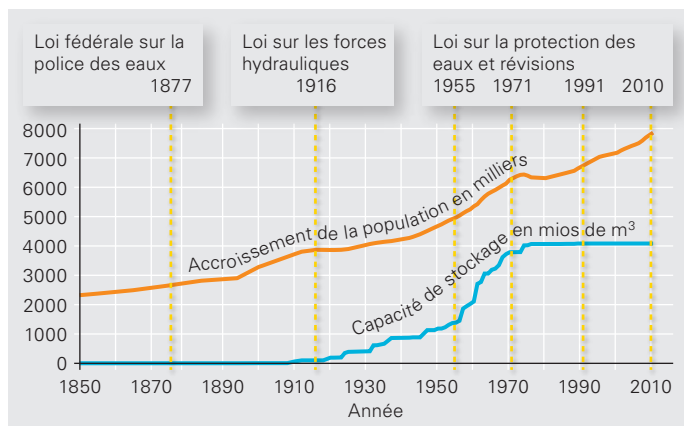


Fig. 2: Evolutions concomitantes de la population, de la législation fédérale et de la capacité de stockage des barrages en Suisse. Alors que les deux premières versions de la loi sur la protection des eaux (LEaux) de 1955 et 1971 étaient essentiellement axées sur la lutte contre la pollution (aspects qualitatifs), la révision de 1991 impose le maintien de débits résiduels minimaux dans les cours d'eau (aspects quantitatifs). La révision de 2010 vise à promouvoir les revitalisations et à réduire les impacts négatifs des éclusées hydroélectriques (sources : Wikipedia, [www.swissdams.ch](http://www.swissdams.ch)).

Suite aux évolutions globales comme le changement climatique et l'accroissement de la population, mais aussi aux changements de nos habitudes de consommation, nous ne pouvons plus recourir aux méthodes du passé pour envisager la gestion des eaux du futur. Nous devons au contraire développer de nouveaux concepts qui tiennent non seulement compte des mutations de l'environnement et de la société, mais aussi des incertitudes concernant les réactions de l'environnement aux mesures mises en place.

**Evolutions dans le domaine de la protection des eaux.** Etant donné la complexité croissante des problèmes qui attendent la Suisse dans le domaine de l'eau, des stratégies de gestion plus flexibles et plus intégrées que par le passé devront être adoptées. Toutefois, les prises de décision ne pourront faire abstraction des choix antérieurs en matière d'infrastructure et devront s'appuyer sur les systèmes existants (cf. article p. 22). Les infrastructures du domaine de l'eau sont généralement conçues pour une durée d'utilisation d'environ 80 ans et des changements importants peuvent se produire pendant cette période relativement longue. La figure 2 illustre bien cet état de fait en retraçant pour la période 1850–2010 l'évolution de la capacité totale des lacs de retenue des barrages en relation avec l'accroissement de la population et l'évolution de la législation en matière de protection des eaux.

L'exemple de la production d'électricité illustre parfaitement la façon dont les impacts environnementaux peuvent influencer sur les infrastructures de l'eau. L'exemple de la construction du barrage de Rossens dans le canton de Fribourg est particulièrement parlant. En retenant les eaux de la Sarine et d'autres cours d'eau, le mur achevé en 1947 provoqua la formation du lac de la Gruyère qui, en s'étendant sur 960 hectares, engloutit de précieux milieux alluviaux (Fig. 3). Autrefois, la société considérait la destruction des habitats comme un mal nécessaire, un compromis inévitable à accepter pour la réalisation de ces grands travaux.

Depuis, les choses ont bien changé. A la fin des années 1980, un projet de barrage dans les Grisons devant noyer le haut-plateau de la Greina et sa grande diversité de biotopes put être empêché grâce à la détermination de citoyens et citoyennes engagés. Depuis la révision de la loi sur la protection des eaux de 1991, des valeurs minimales devant être appliquées par les cantons d'ici 2012 ont été définies pour les débits résiduels dans les cours d'eau (protection quantitative des eaux). Mais les progrès sont

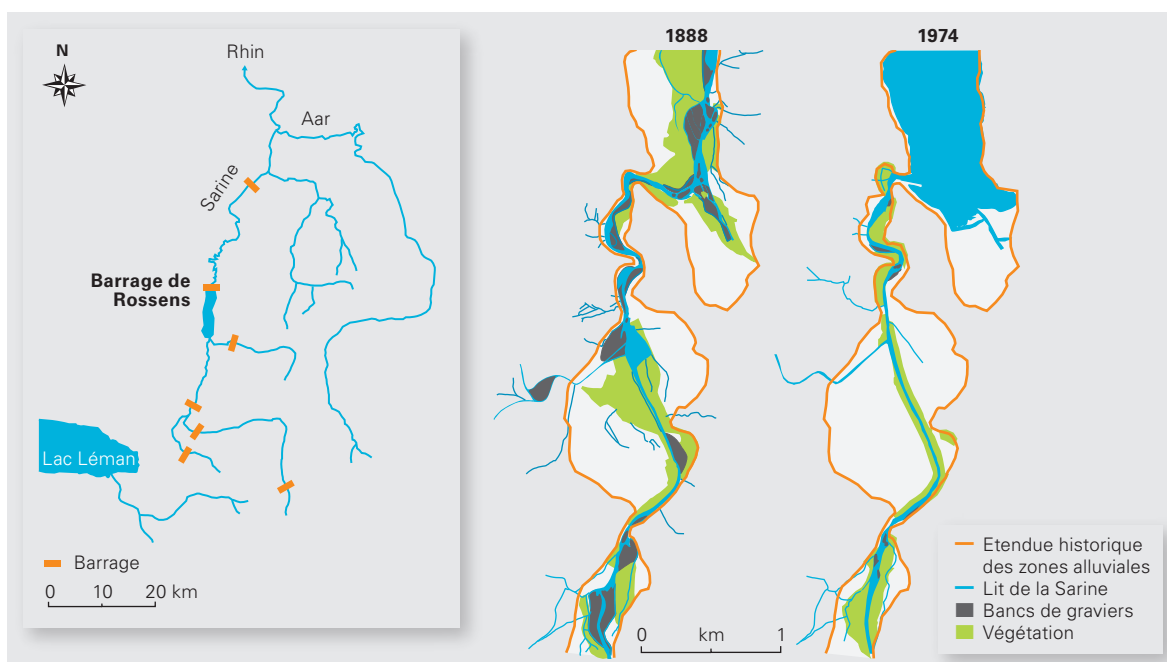


Fig. 3: Modifications de la morphologie fluviale suite à la construction du barrage de Rossens (FR) [4].



hésitants. En effet, la difficulté d'obtention de dédommagements pour les pertes de production électrique subies par exemple suite à l'augmentation des débits résiduels faisait jusqu'à présent obstacle à une restauration de régimes d'écoulement plus naturels. Grâce à la nouvelle révision de 2010, de nouveaux moyens financiers sont mis à disposition par la Confédération pour la revitalisation des eaux et pour l'atténuation des atteintes dues au fonctionnement par éclusées des centrales hydroélectriques et à la fragmentation des systèmes fluviaux.

**Des solutions flexibles et intégrées.** Les décisions à prendre pour et dans l'avenir pour la gestion des ressources et des infrastructures dans le domaine de l'eau concernent des intérêts multiples et souvent divergents de nos sociétés et devront opérer un arbitrage transparent entre les différents besoins demandant à être satisfaits. Des problèmes émergents comme celui des micropolluants présents dans les eaux de surface et souterraines exigent des solutions sur mesure (cf. article p. 14). En même temps, les connaissances actuelles sont souvent insuffisantes pour prévoir avec précision l'efficacité des différentes mesures envisageables.

Il est donc particulièrement important de progresser dans les différentes disciplines scientifiques concernées, au niveau par exemple de la compréhension des effets des substances chimiques sur le vivant (allant du niveau subcellulaire à celui des écosystèmes) ou l'influence de la biodiversité sur la résistance des écosystèmes aux changements et perturbations et donc sur les biens et services potentiellement rendus par la nature (cf. article p. 34). D'un autre côté, il est primordial que les décideurs aient bien conscience des incertitudes liées aux prévisions scientifiques utilisées dans la prise de décision.

Pour identifier les problèmes liés aux ressources et infrastructures dans le domaine de l'eau et élaborer des solutions robustes respectant de façon équitable les divers intérêts et impératifs sociétaux en jeu, une approche intégrée dépassant le cadre des politiques sectorielles doit être adoptée. C'est selon ce principe que fonctionne par exemple l'Agenda 21 pour l'eau ([www.wa21.ch](http://www.wa21.ch)). Ce réseau rassemblant les principaux acteurs de la gestion des eaux en Suisse a entre autres élaboré des stratégies de gestion à l'échelle du bassin versant compatibles avec les programmes internationaux de gestion intégrée des ressources en eau [5].

Mais les approches intersectorielles de planification ont aussi leurs limites et ne sont pas d'une grande utilité lorsque des intérêts absolument incompatibles sont en présence. Seul un arbitrage pragmatique définissant leurs degrés d'intégration respectifs peut alors aboutir. Par ailleurs, il semble opportun de veiller à ce que les synergies obtenues soient à la hauteur des efforts fournis pour les atteindre suite à la grande complexité des projets multisectoriels.

Lors de la planification concrète des investissements à fournir pour les infrastructures et des stratégies de gestion à adopter, une formulation claire et structurée des objectifs visés contribue à accroître la transparence du processus décisionnel et à distinguer les différents types de mesures à mettre en œuvre. Elle constitue

également une base d'intervention pour engager des mesures correctives dans le cas où les premières initiatives ne portent pas leurs fruits ou qu'une évolution des valeurs sociales exige la définition de nouveaux objectifs. L'adoption de solutions flexibles permet une meilleure capacité d'adaptation aux évolutions du contexte sociétal et environnemental. Les méthodes basées sur la théorie de la décision offrent des perspectives intéressantes pour la mise en place de processus décisionnels transparents et consensuels. L'Eawag a déjà élaboré et utilisé de telles approches avec grand succès pour la planification des projets de revitalisation fluviale [6].

### **Pesée des intérêts de protection et d'utilisation des eaux.**

Le fait que l'exploitation des ressources en eau par l'homme puisse avoir un impact dramatique sur l'environnement aquatique n'est un secret pour personne. Par contre, la reconnaissance de l'importance des services écosystémiques rendus par les milieux aquatiques et de la nécessité de les préserver correspond à une prise de conscience assez nouvelle.

La pesée des intérêts et impératifs des différents acteurs impliqués dans la protection ou l'utilisation des eaux est indispensable à la prise de décisions robustes pour l'avenir et doit donc pouvoir s'appuyer sur des bases scientifiques fiables. En Suisse, un approfondissement des connaissances est notamment nécessaire dans le domaine de la biodiversité, du contrôle des espèces invasives et de la réduction de l'impact environnemental des micropolluants et de l'activité hydroélectrique.

La Suisse peut d'autre part faire partager son savoir et son expérience dans la gestion des ressources en eau, des eaux et des infrastructures qui leurs sont liées pour le bien de l'environnement et des sociétés humaines dans les pays émergents et en développement. En même temps, cet échange lui permet de profiter d'expériences d'application pratique de ses innovations conceptuelles et technologiques. ○ ○ ○

- [1] Notter B., Aschwanden H., Klausner H., Staub E., von Blücher U. (2005): Ökomorphologischer Zustand der Schweizer Fliessgewässer: Zwischenauswertung aufgrund der Erhebungen aus 18 Kantonen, [www.bafu.admin.ch/umwelt/status/03979](http://www.bafu.admin.ch/umwelt/status/03979).
- [2] Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC (2008): Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz, <http://proclimweb.scnat.ch/portal/ressources/524.pdf>.
- [3] Molden D. (2007): Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in Agriculture. Earthscan, London.
- [4] Guex D., Weber G., Musy A., Gobat J.-M. (2003): Evolution of a Swiss alpine floodplain over the last 150 years – Hydrological and pedological considerations. International Conference «Toward natural flood reduction strategies», Warschau, <http://levis.sggw.waw.pl/ecoflood/contents/articles/PS/html/Guex.pdf>.
- [5] Jönch-Clausen T. (2004): Integrated water resources management (IWRM) and water efficiency plans by 2005 – Why, what, and how? TEC Background Papers (10), Global Water Partnership, Stockholm.
- [6] Reichert P., Borsuk M., Hostmann M., Schweizer S., Spörri C., Tockner K., Truffer B. (2007): Concepts of decision support for river rehabilitation. *Environmental Modelling & Software* 22, 188–201.

## Départ à la retraite de Willi Gujer

Willi Gujer, ancien professeur de gestion des eaux urbaines à l'EPF de Zurich et membre de l'état-major de l'Eawag, est professeur émérite depuis janvier 2011. Il a dirigé le département de Sciences de l'ingénieur de l'Eawag de 1976 à 1994. En 1992, il est devenu professeur de gestion des eaux urbaines à l'EPF de Zurich où il a également assumé des fonctions de direction. Par ses travaux, Willi Gujer a fortement influencé le



développement des techniques d'épuration des eaux en Europe. Il a toujours attaché une très grande importance à la formation des spécialistes dans le domaine de la gestion des eaux urbaines. Son engagement pour la qualité de l'enseignement à l'école polytechnique fut récompensé en 2006 par la « chouette d'or » de l'association des étudiants de l'EPF de Zurich et le Credit Suisse Award for Best Teaching. Un symposium sera organisé en l'honneur de Willi Gujer le 21.10.2011 à l'Académie Empa à Dübendorf. [www.eawag.ch/medien/veranstaltungen/20111021](http://www.eawag.ch/medien/veranstaltungen/20111021)

## La Fondation Gates soutient un projet sur les urines

La Fondation Bill & Melinda Gates apporte un soutien de trois milliards de francs à un projet commun de l'Institut suisse de recherche sur l'eau Eawag et du service des eaux d'eThekwini à Durban, Afrique du Sud. Ses axes prioritaires sont la collecte séparée des urines et l'élaboration de solutions novatrices pour l'amélioration de l'hygiène publique et le recyclage de l'azote, du phosphore et du potassium. Le projet est dirigé à l'Eawag par Kai Udert du département de Technologie des procédés. [www.eawag.ch/vuna](http://www.eawag.ch/vuna)

## Production de méthane à partir du bois

La production de méthane à partir du bois – une forme de production de gaz naturel synthétique issu de la biomasse ou Bio-SNG – constitue un bon complément aux technologies établies dans

le domaine des énergies renouvelables. Comme le montre une étude de l'Eawag, cette technique peut être utilisée en Suisse dans certaines conditions. L'étude conseille notamment d'implanter les installations de Bio-SNG à proximité des grandes unités industrielles du secteur bois pour minimiser les coûts de transport et d'énergie. Elle montre d'autre part que les différentes technologies de production d'énergie-bois se font concurrence. La nouvelle technologie de Bio-SNG pourrait bien être désavantagée étant donné que les installations de combustion déjà en place présentent une durée de vie de 15 à 20 ans. Les unités de production de Bio-SNG doivent probablement attendre leur remplacement pour être construites. Contact : [steffen.wirth@eawag.ch](mailto:steffen.wirth@eawag.ch)

## La nouvelle directrice du Centre Ecotox

Inge Werner a pris la direction du Centre Ecotox de l'Eawag et de l'EPF de Lausanne en septembre 2010. Cette binationale germano-américaine d'aujourd'hui 53 ans s'est engagée dans la recherche environnementale à partir 1996 à l'University of



California à Davis, USA, où elle a enseigné en qualité d'Adjunct Professor et dont elle a dirigé l'Aquatic Toxicology Laboratory (ATL) au cours des cinq dernières années. L'ATL est un laboratoire d'Etat certifié chargé d'étudier la qualité des eaux et l'état des écosystèmes aquatiques dans toute la Californie. La zoologue y a effectué divers projets d'écotoxicologie aquatique appliquée en partenariat avec les services de l'Etat et l'administration locale. [www.oekotoxzentrum.ch](http://www.oekotoxzentrum.ch)

## Alternatives à l'expérimentation animale en écotoxicologie

L'Eawag est depuis peu associé au réseau européen EuroEcotox qui cherche à imposer des alternatives



à l'expérimentation animale dans le domaine de l'écotoxicologie. EuroEcotox est soutenu par le 7<sup>e</sup> programme-cadre de recherche de l'UE. [www.euroecotox.eu](http://www.euroecotox.eu)

## Des sous-marins dans le Léman

Depuis fin mai, deux sous-marins russes de type MIR sont à l'œuvre au Bouveret sur le Léman. Une équipe internationale de recherche menée par l'EPF de Lausanne compte les utiliser dans

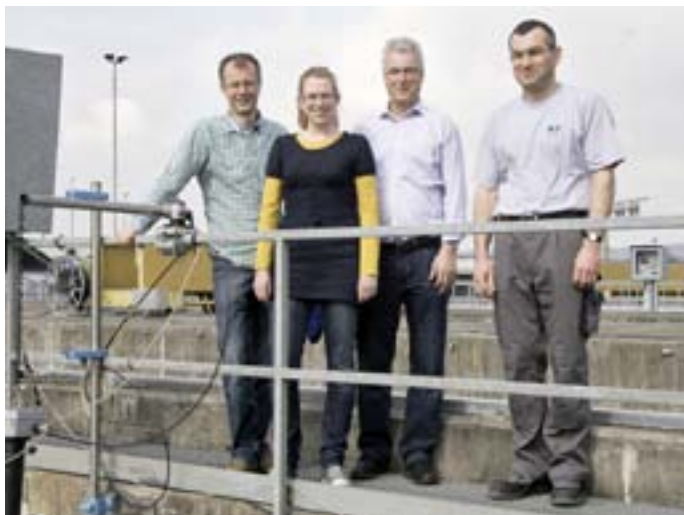


les prochains mois pour étudier les fonds du lac. Quatre des projets prévus sont dirigés par l'Eawag et se concentrent sur la zone du delta du Rhône. Au cours des millénaires, de grandes quantités de sédiments s'y sont accumulés, formant de véritables canyons sous-lacustres. Les chercheurs comptent utiliser les sous-marins pour étudier le comportement de ces dépôts, la stabilité de la topographie

sous-lacustre et les échanges entre eau et sédiments. Des carottes sédimentaires horizontales prélevées dans les parois des canyons révéleront par exemple la stabilité des talus du delta. L'effondrement de grandes masses de sédiments dans les lacs et les mers peuvent en effet non seulement provoquer des raz-de-marée dévastateurs mais aussi causer des modifications structurales dans et sur les fonds en dehors du delta ainsi que le transport à longue distance des matériaux mis en suspension.

## Un prix climatique pour le stripping de l'azote

La société Zurich a récompensé le projet de l'Eawag « Récupération de l'azote par stripping à la station d'épuration de Kloten/Opfikon ». Le projet réalisé par l'équipe de la STEP de Kloten/Opfikon et celle de Marc Böhler et financé par l'Awel (Office des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air du canton de Zurich) s'est



vu décerner un prix spécial dans le cadre de la remise du prix climatique Zurich. Le projet de Marc Böhler (à gauche), Hansruedi Siegrist (absent sur la photo), Sandra Büttner du département de Technologie des procédés et leurs partenaires pose de nouveaux jalons dans bien des domaines. Le stripping permet dans les stations d'épuration de récupérer l'azote des eaux putrides sous la forme de sulfate d'ammonium utilisable comme engrais et de boucler ainsi le cycle de l'azote. Un prétraitement supplémentaire des eaux putrides permet d'autre part de réduire les besoins en énergie du procédé. Ce projet correspond à la première application du procédé à l'échelle industrielle en Suisse. Un essai à la même échelle est également prévu pour le traitement concomitant des urines collectées séparément dans les bâtiments de l'Eawag pour tenter de trouver une solution rentable et économe en énergie pour la fabrication d'un produit commercialisable à partir des urines.

[www.eawag.ch/forschung/eng/schwerpunkte/abwasser/luftstrippung](http://www.eawag.ch/forschung/eng/schwerpunkte/abwasser/luftstrippung)

## Un deuxième mandat pour Janet Hering

A la demande du Conseil des EPF, le Conseil fédéral a réélu Janet Hering à la tête de l'Eawag pour un deuxième mandat se poursuivant jusqu'en 2014. Janet Hering est directrice de l'Institut de recherche sur l'eau du domaine des EPF depuis début 2007 et assume depuis mai 2010 une double fonction de professeure à



l'EPF de Zurich et à l'EPF de Lausanne. Elle travaille actuellement avec l'état-major de l'Eawag aux derniers détails de la planification stratégique 2012-2016. La question majeure sera celle de savoir comment respecter les besoins des sociétés humaines en rapport à l'eau tout en préservant l'environnement aquatique et les services écosystémiques qu'il fournit. Photo: Le président du Conseil des EPF Fritz Schiesser, Janet Hering et le président de l'EPF de Zurich Ralph Eichler lors de l'apéro organisé pour la réélection.

# Notes

## Nouvelles parutions

A l'occasion du jubilé de l'Eawag, la brochure «**Eclairages sur l'Eawag**» est parue en avril 2011. Elle livre en six chapitres un aperçu informatif, vivant et parfois amusant sur le passé, le présent et le futur de la recherche sur l'eau à l'Eawag. Tirer les leçons du passé, agir au présent et préparer l'avenir, telle a toujours été la force de l'Eawag, écrit sa directrice Janet Hering dans l'éditorial. La brochure est disponible en allemand, en français et en anglais et peut être commandée gratuitement à l'adresse [info@eawag.ch](mailto:info@eawag.ch) ou téléchargée sur [www.eawag.ch/75jahre](http://www.eawag.ch/75jahre).



Le manuel «**Chimie des milieux aquatiques**» de Laura Sigg, Philippe Behra et Werner Stumm paraîtra dans sa cinquième édition en 2012. Il vient d'ores et déjà de sortir en allemand (vdf-Hochschulverlag, ISBN: 9783825284633). Ce manuel traite des bases de la chimie aquatique, de la chimie des solutions aqueuses et de leur application à l'étude des eaux naturelles et autres systèmes aquatiques. Ces bases sont indispensables à la compréhension des processus chimiques dans les milieux aquatiques naturels et les systèmes techniques intervenant dans l'épuration et la potabilisation des eaux.



Le livre «**Mensch Klima! Wer bestimmt die Zukunft?**» de René Schwarzenbach est sorti au mois de juin (Lars Müller Publishers, ISBN: 9783037782446). Sa parution en anglais est prévue pour septembre 2011 sous le titre «**For Climate's Sake! Who's in Charge of the Future?**» chez le même éditeur. Cet ouvrage aborde le thème du changement climatique par le biais de reportages, d'études de cas et de séquences photos édifiantes. Après plusieurs chapitres sur l'histoire de la Terre et de son climat et sur les moteurs du climat que sont le rayonnement solaire, les gaz à effet de serre et le réchauffement de la Terre, il traite des conséquences du changement climatique et des options de politique climatique.



## Publications de l'Eawag

Toutes les publications des chercheurs et chercheuses de l'Eawag ainsi que les résumés des différents articles sont disponibles à la bibliothèque de l'Eawag Lib4RI. Les publications en accès libre («**open access**») peuvent d'autre part être téléchargées gratuitement:

[www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html](http://www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html)

En cas de difficultés: [info@lib4ri.ch](mailto:info@lib4ri.ch)

## Agenda

### Cours

4–15 juillet 2011, Eawag Kastanienbaum

**Académie d'été de doctorat:**

**Sediments as archives of environmental change** (en anglais)

6–7 septembre 2011, Eawag Dübendorf

**Evolutionsökologie im Gewässerschutz** (en allemand)

29–30 septembre 2011, Eawag Dübendorf

**Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern mit Schwerpunkt hormonaktive Substanzen** (en allemand)

6–7 octobre 2011, Eawag Dübendorf

**Erfolgreiche Revitalisierung von Fließgewässern** (en allemand)

2–4 novembre 2011, Emmetten

**Séminaire de formation continue du VSA: Mikroverunreinigungen und Aspekte zu Energie und Stickstoff** (en allemand)

16–17 novembre 2011, Eawag Dübendorf

**Bewertung von Oberflächengewässern: Konzepte und Implementation** (en allemand)

7–8 décembre 2011, Eawag Dübendorf

**Sanitation planning tool in developing countries** (en anglais)

### Visites guidées

22 septembre 2011, Eawag Kastanienbaum

**Visite guidée du site de Kastanienbaum**

### Colloques

11–15 septembre 2011, EPF de Zurich

**Emerging issues in environmental chemistry: from basic research to implementation** (en anglais)

21 octobre 2011, Eawag Dübendorf

**Symposium en l'honneur du Professeur Willi Gujer**

3 novembre 2011, Landhaus Soleure

**4<sup>ème</sup> Journée technique ChloroNet**

Pour en savoir plus: [www.eawag.ch/veranstaltungen](http://www.eawag.ch/veranstaltungen)

## Evaluation de la qualité de l'eau au vu des micropolluants

Les micropolluants issus de l'assainissement communal portent atteinte à la qualité de l'eau dans les milieux aquatiques suisses. Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, l'Eawag et le Centre Ecotox ont élaboré un guide pour faciliter la prise de décision quant à la poursuite d'études ou la mise en œuvre de mesures destinées à réduire les rejets de micropolluants. Le «**Système d'évaluation pour les composés traces organiques issus de l'assainissement communal**» propose une méthodologie détaillée pour l'identification des milieux contaminés, l'appréciation de la qualité de l'eau, la détermination des sources de pollution et l'évaluation des mesures envisageables.



[www.eawag.ch/forschung/uchem](http://www.eawag.ch/forschung/uchem)