

# Changement de cap dans l'assainissement

Technologie NoMix:  
quel est son degré d'acceptation? **14**



Approches alternatives  
d'assainissement environnemental  
dans les pays en développement **18**



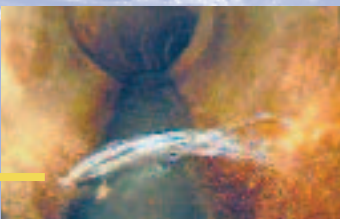
Le projet STORM –  
Rejets d'eaux usées par temps de pluie **21**



Vers une mise en pratique de la  
durabilité en assainissement pluvial **25**



L'étanchéité de nos égouts **29**



## Changement de cap dans l'assainissement

2 Editorial

### Article thématique

3 Du système de transport à l'outil de protection des eaux

### Recherches actuelles

7 Micropolluants – Le traitement des eaux usées face à un nouveau défi?

11 Dynamique des forces de changement dans le domaine de l'évacuation des eaux usées

14 Technologie NoMix: quel est son degré d'acceptation?

18 Approches alternatives d'assainissement environnemental dans les pays en développement

21 Le projet STORM – Rejets d'eaux usées par temps de pluie

25 Vers une mise en pratique de la durabilité en assainissement pluvial

29 L'étanchéité de nos égouts

32 La gestion des réseaux d'assainissement sur la sellette

### Divers

35 Publications (3312–3341)

36 Notes

**Editeur** Distribution et ©:  
EAWAG, Case postale 611, CH-8600 Dübendorf  
Tél. +41-1-823 55 11  
Fax +41-1-823 53 75  
<http://www.eawag.ch>

**Rédaction** Martina Bauchrowitz, EAWAG

**Traductions** Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

**Conseiller linguistique** Fabrice Combes, F-Marseille

**Copyright** Reproduction possible après accord avec la rédaction.

**Figures** Yvonne Lehnhard, EAWAG; Peter Nadler, Künsnacht

**Parution** 3x par an en français, allemand et anglais. Production chinoise en coopération avec INFOTERRA China National Focal Point.

**Crédit photographique** Y. Lehnhard, M. Strauss, V. Krejci, EAWAG; TBS Identity, Zürich; Entsorgung + Recycling Zürich

**Maquette** inform, 8005 Zurich

**Graphisme** Peter Nadler, 8700 Künsnacht

**Impression** sur papier recyclé

**Abonnements et changements d'adresse** Les nouveaux abonné(e)s sont les bienvenu(e)s!  
Le bulletin d'inscription se trouve au milieu de ce numéro.



Willi Gujer, membre de l'équipe directrice de l'EAWAG et professeur de gestion des eaux urbaines à l'EPF de Zurich

Le système d'assainissement tel qu'il existe aujourd'hui constitue l'une des grandes œuvres collectives réalisées par l'ensemble de la société suisse. Dans notre pays, plus de 60 milliards de francs ont été nécessaires à sa réalisation et il accomplit un travail de titan pour la part de 97% des habitants qui en profitent. On pourrait penser que tous les problèmes ont été résolus et que l'on peut maintenant se tourner vers autre chose.

Mais les installations vieillissent, s'endommagent, présentent des défaillances – la société évolue et demande des innovations et souvent une augmentation des capacités – les connaissances scientifiques progressent et révèlent des phénomènes jusque là inconnus – des concepts éprouvés sont optimisés. Ce qui nous sert aujourd'hui demain sera vieilli et devra être modifié, adapté et optimisé.

Ce numéro de l'EAWAG news aborde de nombreuses facettes de l'assainissement urbain qui sont discutées et présentées sous un nouveau jour. Cette démarche fait émerger toute une série de questions dont les réponses pourraient avoir une grande influence sur les systèmes existants. Est-il judicieux de continuer à contrôler les micropolluants et leurs effets sur les écosystèmes par un traitement des symptômes, ne vaut-il pas mieux prendre des mesures à la source? Les consommateurs ont-ils le souhait et la possibilité de prendre à l'avenir davantage de responsabilités ou les concepts d'assainissement décentralisés relèvent-ils de la pure fantaisie? Pouvons-nous dans notre état fédéraliste encore améliorer le contexte institutionnel et raccourcir les processus de prise de décision en renforçant la sécurité à leur niveau ou sommes-nous contraints de miser de plus en plus sur les

structures privées? Quels sont les risques liés à un système d'assainissement défectueux? Comment pouvons-nous au mieux faire profiter les pays du Tiers-monde de notre expérience pour les aider à la décision et au développement? etc.

Le système d'assainissement qui nous procure un grand confort et dont nous usons volontiers et fréquemment depuis de nombreuses années, est de toute évidence beaucoup moins statique qu'il n'y paraît bien souvent ou que nous le percevons en tant que consommateurs ou même en tant que spécialistes. Une évolution se fait sentir: à côté des solutions techniques «end-of-pipe» majoritairement utilisées par le passé, les processus relevant du domaine socio-économique gagnent aujourd'hui du terrain. L'assainissement est de plus en plus perçu comme un système intégré, lequel doit répondre aussi bien à des critères économiques et sociétaux qu'à des critères écologiques et techniques.

Une infrastructure d'une telle importance que l'assainissement doit vivre et évoluer avec la société. C'est ce qui rend le travail dans ce domaine si intéressant et si captivant. Ce qui est considéré aujourd'hui comme une nouveauté qu'il faut apprendre à maîtriser n'appartient bientôt plus qu'à la routine et devra être à son tour complété d'innovations et remis en question.

L'assainissement change de cap et c'est très bien ainsi!



# Du système de transport à l'outil de protection des eaux

**L'assainissement se trouve en plein bouleversement et ce que l'on considérait plutôt comme un système de transport est en train de devenir un instrument important de la protection des eaux. Ce changement de fonction ne se fait cependant pas sans mal car certaines caractéristiques inhérentes au système actuel de traitement des eaux constituent des points faibles fondamentaux. Ainsi, par exemple, la capacité d'épuration du système d'assainissement est limitée par les déversoirs d'orage, par les fuites dans les canalisations et par la trop forte dilution des polluants. Dans un tel contexte, les scientifiques cherchent des solutions visant une optimisation des structures existantes et envisagent de nouvelles stratégies pour un assainissement de haut niveau placé dans une optique de durabilité.**

Le système d'assainissement tel qu'il existe aujourd'hui constitue l'une des grandes œuvres collectives de la société suisse qui fut construite pas à pas au cours des 100 dernières années (Tab. 1 et Fig. 1) [1, 2]. Un peu plus de 95% de la population suisse est raccordée à 40 000 km de canalisation et équipée d'une multitude d'autres installations diverses et variées. L'estimation de 18 milliards de tonnes-kilomètres d'eaux usées transportées place le système d'assainissement au rang des entreprises de transport les plus importantes et les plus performantes de Suisse. A titre de comparaison: l'ensemble du transport de marchandises par route et par rail totalisait en 1997 en Suisse 26,6 milliards de tonnes-kilomètres. La quantité d'eaux usées traitées chaque année dans les 964 stations d'épuration suisses est elle aussi impressionnante. Des 2 milliards de tonnes d'eaux usées annuelles sont entre autre extraites 209 000 tonnes de boues [3], 250 000 tonnes de carbone, 20 000 tonnes d'azote et 4000 tonnes de phosphore.

## L'évacuation instantanée a son prix

Mais ce qui importe encore davantage que ces chiffres bien visibles, ce sont les avantages plus ou moins cachés de ce système:

- Hygiène. Le fait de pouvoir évacuer de manière fiable, efficace et presque illimitée, les fécès et les eaux usées a permis en

Suisse de faire disparaître en très grande partie les maladies transmises par les eaux. Quand il arrive qu'elles se déclarent, c'est en général dû à une défaillance du réseau d'égouts ou de la station d'épuration, comme ce fut le cas en septembre 1998 dans la commune de La Neuveville. Lors de cet incident, des eaux usées avaient contaminé la nappe phréatique à partir d'une station de

pompage et s'étaient retrouvées dans l'eau potable.

- Protection des infrastructures. L'évacuation des eaux pluviales en dehors des zones urbaines permet de limiter la fréquence des inondations et donc les dommages qu'elles peuvent occasionner.

- Protection des eaux. La construction des stations d'épuration s'est suivie d'une amélioration considérable de la qualité des eaux au cours des 40 dernières années. L'interdiction de baignade dans les eaux publiques suisses est devenue plus une exception qu'une règle générale.

- Confort. Dernier aspect et non des moindres, l'assainissement des zones urbaines tel qu'il est pratiqué aujourd'hui procure un confort insoupçonné. Rares sont les services qui soient aussi faciles d'utilisation. Les déchets liquides de toutes sortes disparaissent en l'espace de quelques secondes, les installations n'ont même pas besoin d'être entretenues par les consommateurs, ce qui est un fait sans égal, et les

5000–3000 av. J.C.	Des conduits et des semi-tuyaux en argile cuite servent à l'évacuation des eaux urbaines dans la vallée de l'Euphrate
2500–1500 av. J.C.	Salles de bains, toilettes et égouts dans la civilisation de l'Indus
2000 av. J.C.	Conduites pour l'approvisionnement en eau, bassins de collecte des eaux de pluie et dispositifs destinés aux eaux usées dans le palais de Cnossos
300 av. J.C.	Extension des égouts de Rome
1591	Propositions pour le traitement des eaux usées de Londres
1660	Toilettes fonctionnant avec de l'eau (WC = «water closet») en Angleterre et en France
à partir de 1760	Champs d'épandage des eaux usées
1830	Grave épidémie de choléra à Londres
1840–1850	Construction des égouts de Londres
1848	Premiers égouts modernes à Hambourg
1873	Egouts de Berlin
1884	Epidémie de typhus à Zurich
1888	Loi sur la Pêche en Suisse, premières instructions pour la protection des eaux
1892	Procédé biologique d'épuration des eaux usées en Angleterre
1895	Premier bassin de décantation en Allemagne
vers 1908	Premières études biologiques sur la pollution des rivières et lacs par les eaux usées
1916	Première station d'épuration mécanique-biologique de Suisse (Saint-Gall)
1971	Loi de protection des eaux en Suisse
1975	Ordonnance sur le déversement des eaux usées en Suisse

Tab. 1: Evolution des techniques d'assainissement [d'après 1].

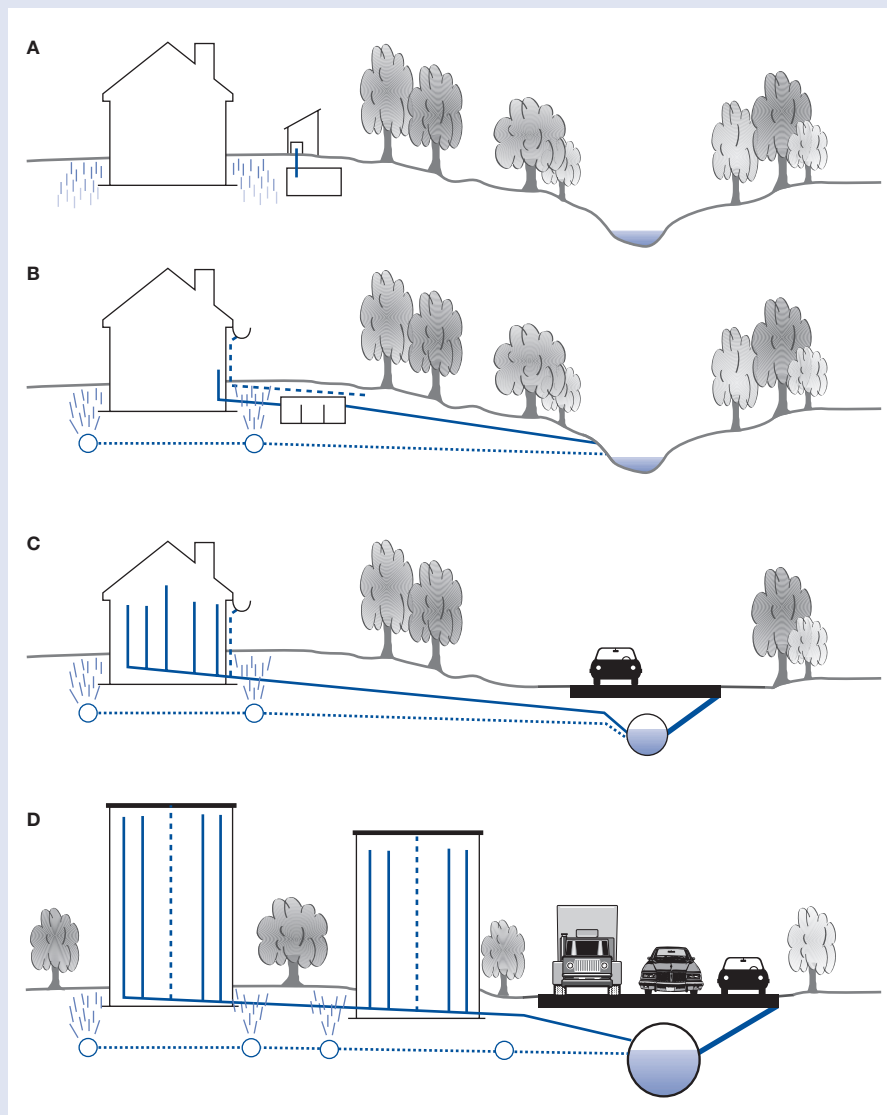


Fig. 1: Evolution historique de l'assainissement [modifié d'après 1].

A: Le système à tinette et à fosses fixes.

B: Le système à fosses fixes doit être abandonné suite à l'apparition de l'eau courante, des salles de bain, des toilettes à chasse d'eau dans les ménages. En plus des eaux usées, les eaux d'infiltration et de drainage sont déversées dans les cours d'eau pour permettre une meilleure utilisation des caves.

C: La quantité d'eaux usées augmente avec la qualité de vie. Certains cours d'eau sont transformés en égouts.

D: La croissance des villes demande encore aujourd'hui une adaptation des capacités de l'assainissement.

mauvaises odeurs sont devenues particulièrement rares.

Cet instrument fantastique a cependant son prix. La valeur de remplacement du système d'assainissement existant est estimée à environ 60 milliards de CHF [4, 5]. Cela représente environ 15% de la valeur estimée de toutes les constructions de génie civil de Suisse, la part du réseau d'égouts étant de 80% et celle des stations de traitement des eaux polluées de 20%. Si l'on considère les frais d'exploitation du système d'assainissement, pas moins de 3 milliards de CHF sont nécessaires tous les ans aux amortissements, au remboursement des intérêts et à l'exploitation proprement dite. Par rapport à la totalité des recettes du secteur public suisse, cette somme représente la part considérable de 2,6%.

Cette infrastructure aussi précieuse que gigantesque doit pouvoir être organisée et gérée de manière efficace. Les consommateurs et consommatrices attendent de la part des gestionnaires du réseau un service sans faille et de haut niveau pour une redevance minimale. Vu la valeur de ses biens immobiliers, l'assainissement fait cependant montré de nombreux déficits au niveau de l'organisation. Ainsi, les processus de planification et d'organisation pourtant indispensables sont souvent insuffisamment élaborés ou totalement absents, les données nécessaires à la prise de décision des investisseurs sont incomplètes, et il est rare que des instruments de planification et de contrôle aient été mis en place au niveau de l'exploitation (p. ex. accords de prestations, controlling périodique). Il est donc néces-

saire de mettre à la disposition des responsables des méthodes simples et adaptées à la pratique permettant l'évaluation et l'optimisation des processus de planification dans les services d'évacuation et de traitement des eaux usées (voir l'article de Binggeli, p. 32).

### Impératif: un système d'assainissement adapté au développement durable

Le système d'assainissement est un système qui s'est mis en place avec le temps. Son objectif initial qui était d'évacuer les eaux usées urbaines de manière rapide et efficace, s'est de plus en plus décalé vers l'objectif actuel de protection des eaux en particulier et de développement durable de la société en général. Force est cependant de réaliser que le but initial des égouts est difficilement conciliable avec les nouvelles priorités et qu'il va même parfois à leur encontre:

**Eaux pluviales.** Pour des raisons de capacités, les réseaux d'égouts unitaires évacuant un mélange d'eaux usées et d'eaux pluviales sont équipés de déversoirs d'orages. Ceux-ci entrent en jeu quand la capacité de transport des canalisations est atteinte lors de fortes pluies. L'eau de pluie mélangée aux eaux usées est alors directement rejetée dans le milieu naturel. De cette manière, entre 5 et 20% des eaux usées contournent les stations d'épuration, ce qui limite fortement le degré d'efficacité de l'assainissement (en matière de protection des eaux). Des constructions supplémentaires chargées de collecter les eaux usées pluviales de façon intermittente ou même de les traiter, peuvent soulager les cours d'eau et les stations d'épuration. Mais les aménagements de ce type doit être dimensionnés de manière à pouvoir recueillir de très grandes quantités d'eau et ne sont donc pas utilisés par temps sec ou lors de pluies faibles (plus de 97% du temps), ce qui les rend relativement onéreux.

Face à ce problème, le projet STORM (voir l'article de V. Krejci, p. 21) a été créé pour élaborer des bases limpides et pratiques pour la planification de mesures techniques de collecte et de traitement des eaux pluviales. Ce que ce concept a de nouveau, c'est qu'il tient compte des caractéristiques locales des eaux superficielles concernées, d'éventuelles incertitudes, de la nature de la pollution des eaux ainsi que d'un éventail assez large de mesures envisageables assorties des coûts qu'elles entraîneraient.

**Infiltration.** Au lieu d'une collecte séparée des eaux pluviales, il est également envisageable de les faire s'infiltrer dans le sous-

sol. De nombreuses études ont cependant révélé que les eaux de pluie n'étaient pas nécessairement exemptes de polluants. Le risque de contamination est particulièrement fort quand ces eaux s'écoulent sur les toits et les routes avant de s'infiltrer. Cette pollution parfois très importante et de toute façon différente de celle des eaux usées ménagères habituelles place l'assainissement devant un nouveau challenge. Dans ce contexte, il faut impérativement disposer de connaissances sur les flux de matière en présence, sur la dynamique des polluants et sur l'efficacité des barrières conçues pour protéger les eaux superficielles, les eaux souterraines et le sol (voir l'article de M. Boller, p. 25).

**Une infrastructure invisible.** L'infrastructure nécessaire à l'assainissement est en majeure partie souterraine et difficilement accessible pour les besoins de contrôle. Seules les fuites de grande importance sont directement visibles. Avec les moyens mis à disposition jusqu'à présent, les défectuosités de petite et moyenne importance ne peuvent être décelées que par des contrôles fréquents et laborieux. Au cours de leur longue durée de vie théorique, les réseaux d'égouts urbains sont soumis à des contraintes constantes dues à la circulation automobile et aux mouvements du sol. S'ajoutant au vieillissement des matériaux, ces contraintes provoquent des dommages qui entraînent aussi bien des fuites d'eau usées que des infiltrations d'eaux souterraines. De nouvelles méthodes de mesure doivent maintenant permettre d'évaluer l'étendue de ces processus indésirables et donc de faciliter la planification des réparations et remplacements nécessaires (voir l'article de J. Rieckermann, p. 29).

**Dilutions et mélanges.** Le principe du tout-à-l'égout fait que les polluants sont évacués dans une grande quantité d'eau. L'effet de dilution et de mélange des divers résidus qui en résulte rend l'épuration des eaux usées plus difficile et limite l'efficacité des stations d'épuration. Le risque de voir une partie des substances indésirables non éliminées et rejetées dans le milieu naturel s'en trouve augmenté. Le tout-à-l'égout est donc un mauvais système du point de vue de la protection des eaux.

**Micropolluants.** Les progrès réalisés au niveau de la chimie analytique ont permis de plus en plus fréquemment de mettre en évidence la présence de produits pharmaceutiques et de substances à effets endocriniens dans les eaux superficielles. Ces composés sont dangereux d'une part parce qu'ils peuvent s'accumuler dans les organismes, p. ex. dans les tissus adipeux, et

Photos: Entsorgung + Recycling Zürich



Dans les sous-sols de Zurich.

d'autre part parce que leurs effets se font sentir à des concentrations particulièrement faibles, ce qui est surtout le cas des substances à effets endocriniens. Ainsi, le principe actif de la pilule contraceptive, le  $17\alpha$ -éthynylestradiol, a des effets mesurables sur les poissons à des concentrations inférieures à 1 ng/l [6].

Les risques liés à ce genre de polluants sont difficiles à évaluer. Conformément au principe de prévoyance, des mesures prophylactiques peuvent cependant être prises dès maintenant. H.R. Siegrist présente dans son article de la page 7 l'état actuel des recherches ainsi qu'un certain nombre de mesures pouvant être prises à la source et au niveau du traitement des eaux polluées.

**Une infrastructure conservatrice.** Le système d'assainissement est un système très peu flexible. Un nombre incalculable d'éléments d'âges et d'espérances de vie différents doivent y fonctionner comme un tout. Pour pouvoir employer au mieux les sommes élevées investies jusqu'à présent dans ce système, nous sommes contraints de remplacer ses éléments plus ou moins continuellement et donc de conserver sa structure [7]. C'est la raison pour laquelle il paraît aujourd'hui fort improbable que des solutions décentralisées (à petite échelle) puissent s'imposer à court ou à moyen terme; ceci indépendamment du fait qu'elles soient plus judicieuses d'un point de vue écologique ou économique.

Les résultats intermédiaires du projet de recherche allemand «Integrierte Mikrosysteme der Versorgung» (Microsystèmes intégrés

d'approvisionnement) montrent cependant que la structure un peu amorphe de l'économie des eaux urbaines est confrontée à des facteurs qui pourraient mettre en marche une véritable dynamique de changements (voir l'article de D. Rothenberger, p. 11). Ainsi p. ex., de petits déplacements de populations comme le phénomène de rurbanisation ont des conséquences importantes sur les besoins de financement ou d'investissements ainsi que sur la conception technique de l'assainissement. On peut citer d'autres exemples comme les effets de mesures d'économie des ressources en eau ou bien le déficit d'investissement qui se fait sentir à de nombreux endroits. Une action conjuguée de ces facteurs pourrait favoriser l'émergence de solutions à petite échelle dans certains cas particuliers régionaux (caractérisés par une particularité régionale ou par un emploi spécial).

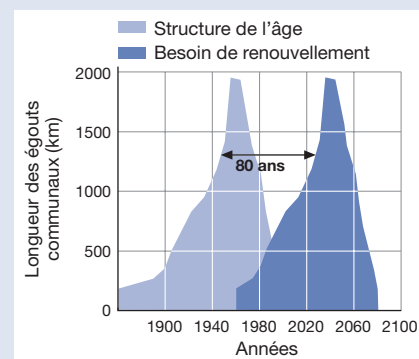


Fig. 2: Structure de l'âge des égouts du canton de Berne [4].



Travaux d'entretien dans les égouts effectués par des employés de «Entsorgung + Recycling Zürich».

## Obligatoire: des concepts innovateurs pour l'assainissement

Comme l'illustre l'exemple de la figure 2, la première génération de canalisations est en cours de remplacement dans de nombreuses régions de Suisse. Etant donné les inconvénients de poids et les coûts élevés de l'assainissement en général, il semble tout indiqué d'envisager, en plus du remplacement proprement dit, de nouveaux concepts qu'il est possible d'intégrer au système existant et qui permettent à l'avenir de nouvelles possibilités d'intervention. A l'EAWAG, le projet NOVAQUATIS consacré à la collecte et au traitement séparés des urines s'inscrit dans ce cadre. L'urine représente moins de 0,5% de la quantité totale des eaux usées. Elle renferme cependant plus de 85% des composés azotés, 50% du phosphore et une grande partie des hormones qui entrent dans les stations d'épuration, et contribue donc fortement à la charge qu'elles ont à traiter [8]. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est que cette technologie est très facile à intégrer dans l'infrastructure existante et qu'elle présente des avantages mêmes pour les systèmes mixtes. Ainsi, une collecte et un stockage transitoire des urines, même partiels, peuvent déjà contribuer à éviter les pics de pollution dans les stations d'épuration [9]. Ce qui importe aux chercheurs de l'EAWAG, ce n'est pas seulement l'application technique de ce concept novateur mais également l'évaluation du degré d'acceptation de cette innovation dans la population. En

effet, de nombreux facteurs décident du succès ou de l'échec d'une nouvelle technologie dans la pratique. Les décisions que les spécialistes du domaine actuel de l'assainissement prennent au niveau technique sont généralement prises sans consultation de la population. Des changements fondamentaux dans le système existant, comme le sont les mesures préconisées à la source, ne peuvent cependant être réalisés qu'avec la participation précoce de tous les acteurs impliqués. C'est pour cette raison que diverses études d'acceptabilité ont été effectuées dans le cadre du projet NOVAQUATIS (voir l'article de J. Lienert, p. 14). Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent que l'introduction de la séparation des urines dans les ménages ne s'opposerait pas à une résistance notable si elle était effectuée dans certaines conditions. Il est ainsi clair qu'il revient aux spécialistes de l'assainissement un rôle décisif, celui de préparer le terrain aux approches novatrices comme la séparation des urines.

Un autre élément révèle que notre système d'assainissement ne répond pas à long terme aux critères du développement durable; il s'agit des difficultés rencontrées lors de l'installation du tout-à-l'égout dans les pays en voie de développement ou récemment industrialisés:

- il n'est pas possible de proposer un concept général pour l'évacuation des déchets,
- la consommation des ressources est trop importante (eau, canalisations),

- la flexibilité du système face à des déplacements importants ou à une croissance importante des populations est insuffisante,
- le besoin d'organisation centralisée est trop important,
- les coûts engendrés sont trop élevés.

Sur la base des Principes de Bellagio formulés en 2000, l'EAWAG a développé, pour la mise en application pratique de concepts intégrés de gestion des déchets dans les pays en voie de développement, un nouveau concept dans lequel le ménage est placé au cœur des processus de planification (voir l'article de A. Morel, p. 18).

Cette «Approche de gestion des eaux urbaines et des déchets centrée sur les ménages» présente également un grand intérêt pour la Suisse. Elle montre en effet comment le concept d'élimination des déchets peut être remodelé de fond en comble et appliqué avec moins de moyens financiers et de ressources en adoptant simplement une vision moderne des problèmes. Si nous parvenons à tirer des leçons de ce type d'approches et à les intégrer dans les structures existantes dont nous avons la charge, alors nous serons en mesure d'assurer à long terme, et dans une optique de durabilité, un assainissement de haut niveau.



Max Maurer, ingénieur chimiste et technicien des procédés, travaille à la division de «Génie de l'environnement» de l'EAWAG dans le domaine du traitement des eaux polluées et de la gestion durable des eaux urbaines.

- [1] Krejci, V., Lange J., Schilling W. (1992): Gewässerschutz bei Regenwetter. GAIA 1, 72-83.
- [2] Illi M. (1992): Von der Schissgrub zur modernen Stadtentwässerung. Hrsg.: Stadtentwässerung Zürich, Verlag: Neue Zürcher Zeitung, 264 S.
- [3] Stadelmann X. F., Külling D., Herter U. (2002): Les boues d'épuration: Engrais ou déchets? EAWAG news 53, 9-11.
- [4] Lehmann M. (1994): Volkswirtschaftliche Bedeutung der Siedlungswasserwirtschaft. Gas, Wasser, Abwasser 74, 442-447.
- [5] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP (2003): Coûts de l'assainissement. Informations concernant la protection des eaux, No 42, OFEFP, Berne, 48 p.
- [6] Petersen G.I., Norrgren L., Holbech H., Lundgren A., Koivisto S. (2001): Suitability of zebrafish as testorganism for detection of endocrine disrupting chemicals. Nordic Council of Ministers. TemaNord 2001, 597 p.
- [7] Larsen T.A., Gujer W. (2001): Waste design and source control lead to flexibility in wastewater management. Water Science and Technology 45, 309-318.
- [8] Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). Water Science and Technology 34, 87-94.
- [9] Abegglen C., Maurer M. (2003): Nitrifikationskapazität der ARA Arosa. EAWAG-Jahresbericht 2002, S. 22-23.

# Micropolluants – Le traitement des eaux usées face à un nouveau défi?

Grâce aux progrès réalisés au niveau de la chimie analytique, la présence de produits pharmaceutiques et de substances à effets endocriniens est de plus en plus fréquemment constatée dans le milieu naturel aquatique. Dans leur grande majorité, ces composés s'incorporent aux eaux usées par le biais des urines. Une partie de ces substances est éliminée dans les stations d'épuration par sorption et par biodégradation. Le reste est déversé dans le milieu naturel avec les eaux traitées. Le présent article fait état de solutions durables appliquées à la source pour tenter d'éliminer ces substances restantes. Comme ces mesures ne peuvent être achevées qu'en l'espace de quelques décennies, il est judicieux de développer en outre pour le court et le moyen terme des procédés plus poussés de traitement physico-chimique des eaux usées.

Aujourd'hui près de 100 000 produits chimiques différents sont enregistrés dans l'Union Européenne (UE), dont 30 000 commercialisés dans une quantité excédant une tonne [1]. Il est inévitable qu'une partie de ces composés se retrouvent dans le milieu naturel, que ce soit lors de la fabrication, de l'élimination ou de l'utilisation.

Les techniques d'analyse chimique en amélioration constante permettent de plus en plus souvent de mettre en évidence, dans les eaux usées, les boues d'épuration ou les eaux naturelles, des substances à des concentrations extrêmement faibles (de l'ordre du microgramme ou du nanogramme par litre) que l'on appelle alors

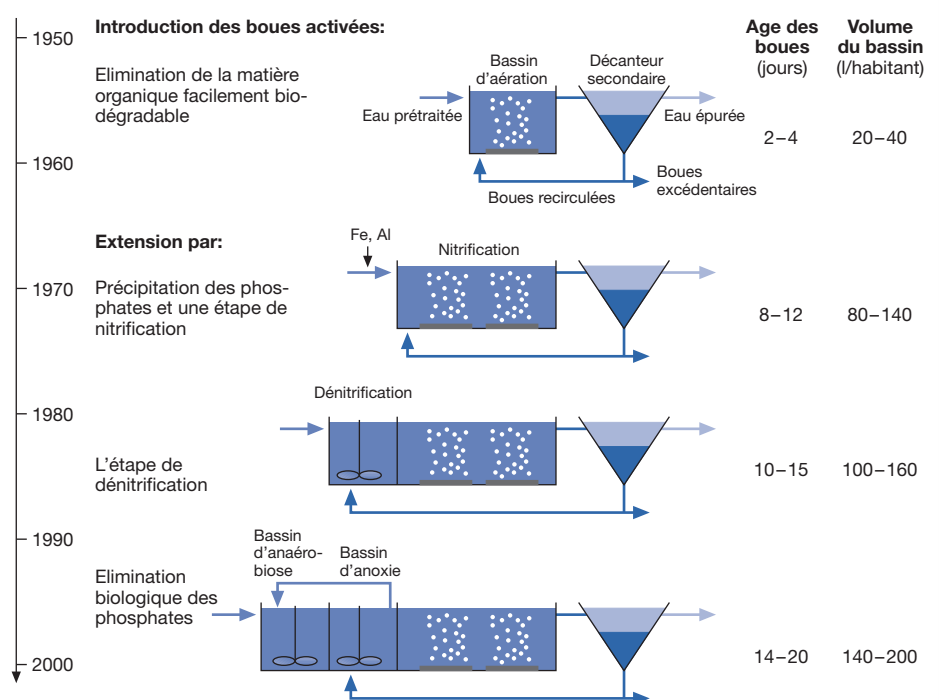
micropolluants. Ce groupe comprend des composés illustres tels que l'atrazine, un pesticide, le bisphénol A, un additif des plastiques, et le méthyle-tert-butyléther (MTBE), un antidétonant. On ne sait que depuis quelques années que cette catégorie comprend également des produits d'hygiène corporelle ou pharmaceutiques. Dans la UE, près de 3300 composés sont actuellement utilisés à des fins médicales. Parmi les groupes les plus importants on peut citer les analgésiques, les antibiotiques, les antidiabétiques, les bêtabloquants, les contraceptifs, les hypolémiantes, les psychotropes et les cytostatiques.

## Les résidus médicamenteux dans l'eau – un danger à ne pas sous-estimer

En général, les médicaments se retrouvent dans les eaux usées par le biais des sécrétions humaines, comme l'urine ou les selles. Mais une part non négligeable est due au

### Historique du procédé des boues activées

Au cours du temps, il a été possible d'intégrer plusieurs procédés dans celui des boues activées: Au début, les stations d'épuration n'étaient prévues que pour le traitement de la pollution organique. Pour réduire la pollution des lacs par les phosphates, la précipitation chimique a été introduit à la fin des années 60. A partir de la fin des années 70, l'azote provenant principalement des urines est traité dans les bassins fluviaux par une étape supplémentaire de nitrification qui assure la transformation de l'ammoniaque toxique pour les poissons en nitrate moins nocif. Les nitrates sont cependant susceptibles de provoquer une fertilisation azotée excessive des cours d'eau côtiers. C'est pourquoi l'étape de nitrification est généralement complétée depuis le milieu des années 80 d'une étape de dénitrification partielle au cours de laquelle les nitrates sont convertis en azote atmosphérique. Les années 90 ont vu l'introduction d'une élimination biologique des phosphates réalisée dans une zone d'anaérobiose placée en amont du bassin à boues activées. Cette étape supplémentaire a pour effet un enrichissement des boues en bactéries accumulatrices de polyphosphates.



de leur effet principal non-hormonal, des effets secondaires de type hormonal. La plupart des médicaments ne présentent cependant aucune activité endocrinienne connue. Mais c'est peut-être dû au fait que ces effets n'ont pas été testés. Il n'est donc pas exclu que le groupe des composés pharmaceutiques à effets endocriniens involontaires soit plus important qu'on ne le pensait jusqu'à présent.

On sait malheureusement encore assez peu de choses sur le comportement des résidus médicamenteux lors du passage des eaux usées dans les stations d'épuration ou sur les processus qui permettraient de les éliminer. De telles informations seraient cependant fort précieuses, d'une part parce qu'elles permettraient de réaliser une évaluation complète des risques pour l'environnement, d'autre part parce qu'elles serviraient de base pour l'élaboration de mesures visant une augmentation de l'efficacité de la dégradation biologique et chimique dans les stations d'épuration. Le présent article donne une vue d'ensemble des processus d'élimination des résidus sur la base d'exemples choisis et soumet à discussion un certain nombre de mesures envisageables.

### Les processus d'élimination dans les stations d'épuration communales

Le fait que des micropolluants soient éliminés ou non lors d'un passage dans une station d'épuration dépend principalement de la modernité du traitement secondaire biologique. Au cours des 40 dernières années, le traitement biologique des eaux usées s'est progressivement adapté à des rejets de plus en plus complexes. Ce phénomène est particulièrement bien illustré par l'évolution du traitement par les boues activées (voir encadré p. 7).

Les principaux procédés d'épuration sont les suivants:

- Sorption des résidus sur des particules en suspension dans les eaux usées qui se déposent dans les bassins de décantation primaire et secondaire sous la forme respective de boues primaires et secondaires;
- Dégradation des substances polluantes par les bactéries contenues dans les boues activées, désignée sous le terme de minéralisation ou transformation biologique;
- Dégazage des substances avec l'air d'aération; ce dernier processus n'entre pas vraiment en ligne de compte pour les micropolluants considérés étant donné qu'il s'agit en général de molécules lipophiles d'assez grande taille, en grande partie chargées et de faible volatilité.

### Sorption

Dans les phénomènes de sorption des micropolluants organiques, on distingue:

- l'absorption: relation hydrophobe entre les groupements aliphatiques et aromatiques d'un composé avec les membranes cellulaires lipophiles des microorganismes et les fractions lipidiques des boues;
- l'adsorption: relation électrostatique entre les groupements à charge positive des produits chimiques et la surface des microorganismes chargée négativement.

La quantité liée par sorption d'une substance donnée ( $C_{liée}$ ) peut être calculée à l'aide d'un simple modèle linéaire. Elle dépend de la constante de sorption  $K_d$ , de la concentration de matières en suspension (MS) auxquelles la substance peut se fixer et de la part de cette substance présente sous forme dissoute ( $C_{dissoute}$ ):

$$C_{liée} = K_d \cdot MS \cdot C_{dissoute}$$

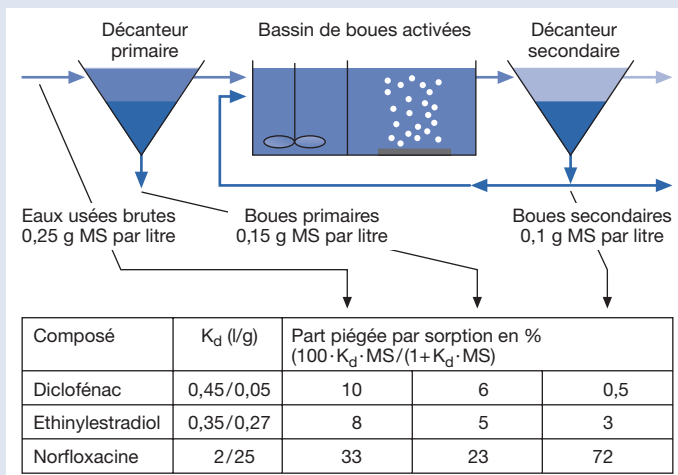
La constante de sorption  $K_d$  s'exprime en l/g. Dans le cas de relations majoritairement hydrophobes, elle peut être estimée à partir du coefficient de partage octanol-eau. Dans le cas de relations électrostatiques, elle doit être déterminée à l'aide d'essais de sorption.

La norfloxacine est un antibiotique qui se fixe assez bien aux matières en suspension (Fig. 1) [3, 4]. Le phénomène de sorption dans lequel il s'engage est principalement dû à des relations électrostatiques entre les groupements amines chargés positivement de la norfloxacine et la surface chargée négativement des microorganismes. Dans une étude menée à la station d'épuration de Zurich Werdhölzli, l'EAWAG a pu montrer que pour une production de boues excédentaires de 0,1 g/l d'eaux usées, jusqu'à 80% de la norfloxacine était fixée aux boues secondaires [4]. La raison en est que les microorganismes de la boue secondaire

déversement direct et tout à fait inepte de médicaments non employés dans les toilettes. Une étude allemande [2] s'est penchée sur la présence de 55 principes actifs de médicaments et de 9 métabolites dans les effluents de 49 stations d'épuration ainsi que dans les cours d'eau récepteurs correspondants. Il s'est avéré que les effluents de stations contenaient 36 principes actifs et 5 métabolites à des concentrations pouvant atteindre plusieurs µg/l. Dans les cours d'eau récepteurs, des pics de concentration dépassant 1 µg/l ont pu être mesurés (pour les bêtabloquants et les médicaments anti-convulsifs p. ex.).

De plus, d'autres problèmes environnementaux se manifestent depuis quelques années comme p. ex. la féminisation des poissons. Leur apparition est en partie attribuée au rejet chronique de substances à effets endocriniens dans le milieu aquatique. Il s'agit, en plus des hormones produites naturellement par le corps humain qui sont elles aussi éliminées par voie urinaire, de médicaments utilisés pour leurs propriétés hormonales comme les contraceptifs et les antidiabétiques. Certains autres principes actifs pharmaceutiques comme le β-sitostérol (utilisé pour faire baisser le taux de cholestérol) et le clenbutérol (utilisé dans le traitement de l'asthme) présentent en plus

Fig. 1: Constante de sorption et part de composés donnés piégés par sorption sur les matières en suspension dans les eaux usées brutes et dans les boues primaires (par rapport aux eaux entrant dans le décanteur primaire) et secondaires (par rapport aux eaux sortant du décanteur primaire) [3, 4]. Colonne  $K_d$ : première valeur pour les boues primaires, deuxième pour les boues secondaires.



constituent la majeure partie des particules en suspension, ce qui se traduit par une constante de sorption relativement élevée ( $K_d \sim 25$  l/g). Par contre dans la boue primaire, la constante de sorption de la norfloxacine n'est que d'environ 2 l/g étant donné que, pour une même composition des effluents traités, les boues primaires renferment nettement moins de microorganismes mais présentent une forte fraction lipidique. C'est pourquoi seuls 20% de la norfloxacine se fixent aux boues primaires. Pour d'autres substances, comme le produit anti-inflammatoire diclofénac (principe actif du Voltarene) et les composés appartenant au groupe des estrogènes, la part fixée par sorption est beaucoup plus faible (Fig. 1). Ces substances sont majoritairement engagées dans des relations hydrophobes.

### Biodégradation

Etant donné que les micropolluants dont il est question sont en général présents dans les eaux usées à des concentrations comprises entre  $10^{-5}$  et  $10^{-9}$  g/l, leur biodégradation ne peut se produire que si les bactéries disposent en plus d'un substrat primaire. Au niveau de la biodégradation des polluants-traces, on fait la distinction entre:

- la croissance sur substrat mixte, dans laquelle les bactéries se servent des polluants-traces comme sources de carbone et d'énergie et les minéralisent totalement, et
- le cométabolisme, dans lequel les bactéries ne dégradent ou transforment les polluants que partiellement, ne s'en servant pas comme source de carbone.

La transformation ou la dégradation d'une substance peut se produire en conditions aérobies et/ou anaérobies. Elle est le résultat d'une affinité aléatoire entre un micropolluant et les enzymes bactériennes des boues activées. La probabilité qu'une substance soit dégradée augmente avec l'âge des boues (Fig. 2). Cela est dû au fait que la communauté bactérienne des boues activées se diversifie avec le temps, les bactéries à croissance lente venant s'y intégrer. Ce phénomène est bien visible dans le cas du diclofénac et du  $17\alpha$ -éthinyloestradiol, un contraceptif. On n'observe de dégradation significative de ces deux substances que lorsque les boues activées ont séjourné au moins 8 jours dans la partie aérobie de l'installation. Quand le temps de séjour et donc l'âge des boues augmente, les bactéries se font concurrence pour la dégradation de composés plus complexes et plus difficiles à dégrader. En présence de substrat plus facilement dégradé ou pour

une aggravation temporaire du degré de contamination du substrat, il se peut que la dégradation des polluants-traces se trouve limitée même pour un long temps de séjour des boues.

Les œstrogènes naturels que sont le  $17\beta$ -œstradiol et l'œstrone sont minéralisés aussi bien dans la partie aérobie que dans la zone d'anoxie du traitement biologique. Par contre, le produit de synthèse qu'est le  $17\alpha$ -éthinyloestradiol n'est dégradé qu'en conditions aérobies. La figure 3 illustre les résultats d'une étude sur le devenir du  $17\alpha$ -éthinyloestradiol au cours du traitement biologique [5].

### Mesures à la source

De nombreux principes actifs médicamenteux et leurs métabolites constituent cependant des substances polaires qui sont à peine ou peu biodégradables et qui ne peuvent pas non plus être piégées par sorption. Lors du passage dans une station d'épuration, ils ne sont presque pas éliminés et sont rejetés dans les milieux aquatiques naturels avec les effluents de station. Ce problème ne peut à long terme être résolu qu'avec des mesures à la source.

**Un label «environnement» pour les médicaments.** Un médicament ne sera jamais in-

terdit parce qu'il n'est pas biodégradable. Mais en Suède, un label «environnement» a été créé en collaboration avec l'industrie chimique, permettant au médecin et au patient de choisir entre deux médicaments équivalents celui dont les propriétés sont les moins polluantes [6].

**Amélioration de l'évaluation des risques pour l'environnement.** Jusqu'à présent, l'évaluation écotoxicologique d'un composé chimique était basée sur la détermination de sa toxicité aiguë ou chronique dans certains systèmes naturels. Cependant, les substances utilisées pour leurs propriétés hormonales et celles qui, indépendamment de leur mode d'action principal, sont susceptibles de présenter des effets secon-

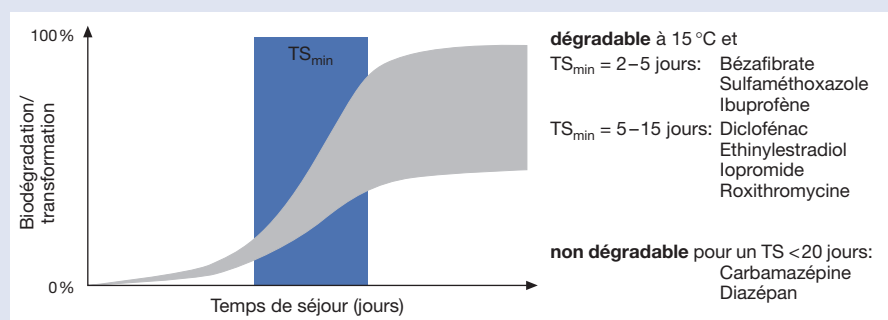


Fig. 2: La biodégradation ou transformation biologique des micropolluants (zone grise) dépend du temps de séjour (TS) des boues dans le bassin de boues activées.

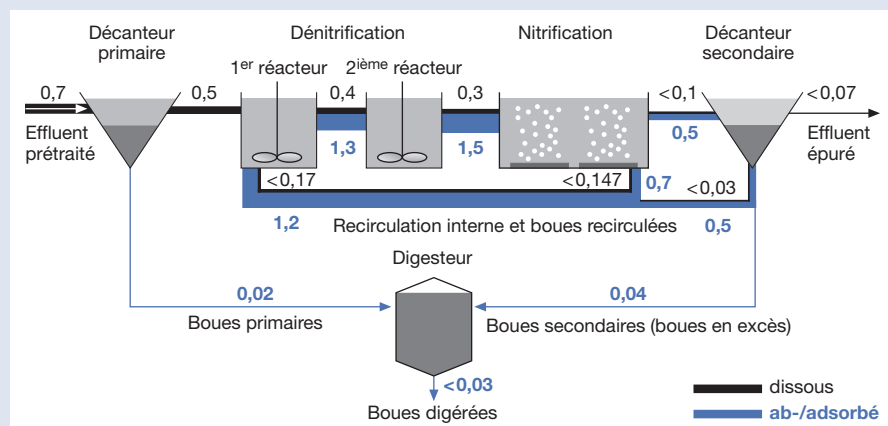


Fig. 3: Flux de matière et évolution de la dégradation du contraceptif  $17\alpha$ -éthinyloestradiol dans la station d'épuration de Wiesbaden en Allemagne [5]. Les valeurs sont données en g par jour. La valeur indiquée pour les effluents bruts correspond aux deux formes dissoute et conjuguée de l'éthinyloestradiol présent.

pollution de fond des eaux usées par les matières organiques dissoutes et des propriétés chimiques des substances restantes [10]. Etant donné la faible pollution de fond des eaux usées suisses, une concentration d'ozone de 5 g/m<sup>3</sup> est généralement suffisante. Cette concentration ne devrait certes coûter que quelques centimes par m<sup>3</sup> mais la consommation d'énergie que demande cette mesure est d'environ 0,1 kWh/m<sup>3</sup>, ce qui n'est pas négligeable par rapport à la consommation d'énergie totale d'une station d'épuration. L'utilisation de cette technique doit donc être limitée aux cas critiques. Avant d'envisager une application à grande échelle, il convient de toute façon d'étudier le devenir des métabolites générés lors de l'ozonation.

Certains procédés plus poussés comme la nanofiltration et l'adsorption sur charbon actif sont très onéreux et ne présentent d'intérêt que si l'effluent doit servir à la réalimentation des nappes souterraines ou s'il doit entrer dans la filière de l'eau potable.

A court terme, l'utilisation de procédés supplémentaires dans les stations d'épuration sera sûrement le moyen le plus rapide de faire face à des conditions environnementales critiques. Elles ne pourront cependant être gérées à long terme que par la mise en place de mesures à la source.



Hansruedi Siegrist, ingénieur environnementaliste, dirige la division de «Génie de l'environnement» de l'EAWAG et se consacre particulièrement à l'étude du traitement des eaux usées communales par des procédés physico-chimiques et biologiques.

**Coauteurs:** Adriano Joss, Alfredo Alder, Christa McArdell-Bürgisser, Anke Göbel, Elvira Keller, EAWAG et Thomas Ternes, Institut fédéral d'hydrologie, D-56068 Coblenze

daïres de type hormonal doivent être considérées avec une attention particulière [7]. Il faut en effet tenir compte du fait que ces substances appelées perturbateurs endocriniens peuvent être actives à des concentrations extrêmement faibles. Pour obtenir une bonne estimation des concentrations de ces substances dans le milieu naturel, il convient d'autre part de tenir compte de leur comportement lors du passage en station d'épuration ainsi que d'éventuelles variations saisonnières au niveau de la consommation en médicaments, ce qui n'est pas toujours facile.

**Prétraitement des effluents hospitaliers.** Les effluents hospitaliers sont en général fortement contaminés par des résidus médicamenteux. D'autre part, ces rejets semblent présenter un risque particulièrement élevé par rapport à la résistance aux antibiotiques chez les bactéries du fait qu'ils renferment de grandes quantités de ces médicaments [8]. Il serait donc judicieux d'envisager un traitement préalable des effluents hospitaliers comprenant p. ex. un traitement à membranes pour la rétention des germes suivi d'une ozonation du filtrat pour une oxydation des résidus médicamenteux persistants.

**Collecte séparée des urines.** Etant donné que les médicaments et les hormones sont en majeure partie éliminés par l'organisme par le biais des urines, leur collecte et leur traitement séparés permettraient assurément de réduire fortement la charge en résidus médicamenteux des eaux usées (voir aussi l'article de J. Lienert, p. 14).

## Des mesures complémentaires au niveau du traitement des eaux usées communales

Etant donné que la mise en application des mesures à la source décrites plus haut demande beaucoup de temps et ne peut être achevée qu'en l'espace de quelques décennies, il est judicieux de développer pour le court et le moyen terme des procédés plus poussés de traitement physico-chimique des eaux usées. Ces améliorations

techniques ne sauraient cependant remplacer ou exclure les mesures à la source.

**Augmentation du temps de séjour des boues.** Les micropolluants organiques sont beaucoup mieux dégradés quand l'âge des boues activées est de 8 jours ou plus (Fig. 3). Mais cette condition n'est pas remplie par toutes les stations d'épuration suisses, loin s'en faut. Il serait donc souhaitable de réaliser dans les stations de moyenne et de grande importance les aménagements nécessaires à la prolongation du temps de séjour des boues jusqu'à une valeur de 10 à 15 jours en prévoyant une combinaison des étapes de nitrification et de dénitrification (voir encadré p. 7).

**Ozonation de l'effluent du traitement biologique.** Lorsqu'un risque écotoxicologique est à redouter (dilution insuffisante de l'effluent de station dans le cours d'eau récepteur, sensibilité et passif du cours d'eau, infiltration directe d'eaux usées dans le sous-sol), il est indiqué de procéder à une ozonation de l'effluent à la sortie du traitement biologique avant son déversement dans le milieu naturel. Après traitement avec 5 à 10 mg d'ozone par m<sup>3</sup> d'effluent, les résidus médicamenteux se trouvent en général en dessous du seuil de détection [9]. Seuls les produits de contraste iodés pour la radiologie provenant des effluents hospitaliers n'ont pu être totalement oxydés. L'efficacité de l'ozone dépend de la

- [1] Giger W. (2002): Produits chimiques: Facteurs de risque pour l'environnement et la santé. EAWAG news 53, 3–5.
- [2] Ternes T. (1998): Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research* 32, 3245–3260.
- [3] EU-Project Poseidon (2002/2003): Periodic Reports. [www.eu-poseidon.com](http://www.eu-poseidon.com).
- [4] Golet E., Xifra I., Siegrist H., Alder A., Giger W. (2003): Environmental exposure assessment of fluoroquinolone antibacterial agents from sewage to soil. *Environmental Science & Technology* 37, 3243–3249.
- [5] Andersen H., Siegrist H., Halling-Sorensen B., Ternes T. (2003): Fate of estrogens in a municipal sewage treatment plant. *Environmental Science & Technology*, 37, 4021–4026.
- [6] Wennmalm A. (2003): A proposed environmental classification system for medicinal products. *Envirpharma conference*, Lyon, France.
- [7] Knacker T. (2003): Preliminary Environmental risk assessment for pharmaceuticals and personal care products (PPCPs). *Envirpharma conference*, Lyon, France.
- [8] Giger W., Alder A., Golet E., Kohler H., McArdell C., Molnar E., Pham Thi N., Siegrist H. (2003): Antibiotikaspuren auf dem Weg von Spital- und Gemeindeabwasser in die Fliessgewässer: Umwelanalytische Untersuchungen über Einträge und Verhalten. *Tutzung Symposium*, Deutschland.
- [9] Ternes T., Stüber J., Herrmann N., McDowell D., Ried A., Kampmann M., Teiser B. (2003): Ozonation: a tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater? *Water Research* 37, 1976–1982.
- [10] Huber M., Canonica S., Park G., von Gunten U. (2002): Oxidation of pharmaceuticals during ozonation and advanced oxidation processes. *Environmental Science & Technology* 37, 1016–1024.

# Dynamique des forces de changement dans le domaine de l'évacuation des eaux usées

**Quelles sont les répercussions d'éventuels changements dans le contexte économique et social sur les développements techniques futurs du domaine de l'évacuation des eaux usées? Le groupe de recherche CIRUS («Center for Innovation Research in the Utility Sector») de l'EAWAG est chargé de répondre à cette question dans le cadre de l'étude allemande sur les microsystèmes intégrés d'approvisionnement («Integrierte Mikrosysteme der Versorgung»).**

Des innovations techniques prometteuses, comme p. ex. la séparation des flux d'eaux usées ou la réutilisation des eaux industrielles peu polluées, sont depuis quelques années au centre des débats dans le domaine de l'évacuation des eaux usées. De telles innovations sont susceptibles d'améliorer, du moins en partie, les systèmes actuels de canalisations et d'épuration [1]. Mais étant donné que les réseaux d'évacuation des eaux usées ont une longue durée de vie et sont caractérisés par des cycles d'investissement à long terme, il est difficile de les mettre en œuvre. D'un autre côté, il semble aujourd'hui que certaines forces de changement pourraient avoir une incidence sur l'importance accordée aux solutions alternatives et donc sur les possibilités de développement du secteur de l'évacuation des eaux usées.

L'objectif du groupe de recherches sociologiques CIRUS de l'EAWAG est d'effectuer une analyse détaillée de ces forces de changement et de leur influence. Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'un projet de recherche financé par le Ministère fédéral allemand de l'éducation et de la recherche et intitulé «Integrierte Mikrosysteme der Versorgung» (microsystèmes intégrés d'approvisionnement), projet basé sur la collaboration de chercheurs de l'EAWAG avec des chercheurs allemands spécialistes de l'électricité, du gaz et des télécommunications.

Les résultats d'une importante recherche bibliographique et d'une vingtaine d'interviews réalisées auprès du personnel de sociétés d'approvisionnement et d'évacuation, d'associations, de fabricants d'installations, d'autorités de régulation ainsi que

d'acteurs des domaines de la recherche et de la protection des consommateurs ont permis d'identifier environ deux douzaines de facteurs de changement auxquels on a accordé plus ou moins d'importance en fonction de leur potentiel réformatriceur et de leur champ d'action éventuel [2]. Quelques résultats sont présentés dans cet article.

## Taxes, redevances et structure des redevances

En Allemagne, les redevances de déversement sont calculées selon le principe de la couverture des frais. Les communes ont le droit de reporter la totalité de leurs coûts sur les usagers, mais ne doivent pas dégager de bénéfices par des suppléments quelconques. En 2002, la redevance de déversement moyenne était de 2,24 €/m<sup>2</sup> et les coûts s'élevaient en moyenne à 117 € par habitant [3].

De 1988 à 1996, la redevance a augmenté de 55 % [4]; un ralentissement de l'augmentation est observable entre 1997 et 2002. Mais le prix de l'eau potable constitue lui aussi un facteur de changement étant donné qu'il influe indirectement sur la quantité d'eau usée produite à travers la consommation en eau. Entre 1992 et 2001, le prix de l'eau potable a augmenté de près de 28 %. Du point de vue des sociétés de traitement des eaux usées, le caractère réciproque de la relation entre la structure des coûts et celle des prix est très important. Les frais fixes liés à court terme au traitement des eaux polluées, c'est-à-dire les frais qui ne se modifient pas suite à un changement de la demande, sont d'environ 75 % des frais totaux [5]. La figure 1 donne une vue d'ensemble de la structure des coûts dans

le domaine des eaux usées. A l'opposé, la structure des prix présente pour des raisons de politique environnementale une part fixe particulièrement faible, de l'ordre de 10 à 30 %. Cet état de choses fait qu'une baisse de la demande induit une économie beaucoup plus sensible du côté du consommateur que de la société des eaux. Il est donc nécessaire d'augmenter les prix pour couvrir les frais fixes d'une infrastructure centralisée très demandeuse en capitaux.

## Une accumulation d'investissements différés

La manière dont les investissements sont effectués dans les installations et infrastructures devrait elle aussi avoir un caractère décisif pour la réalisation de futurs développements. Comme le montre la figure 2, 31 % des égouts publics ont plus de 50 ans. Pour une durée de vie moyenne de 70 ans, il est facile de calculer que le besoin de renouvellement du réseau d'égouts allemand dont la longueur totale est de 450 000 km est actuellement de 20 à 30 %. D'après

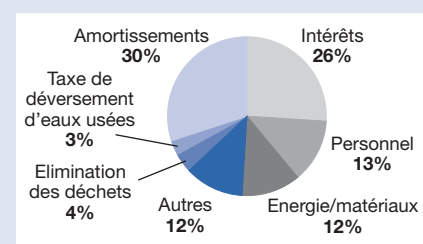


Fig. 1: Répartition des coûts du traitement des eaux usées [5].

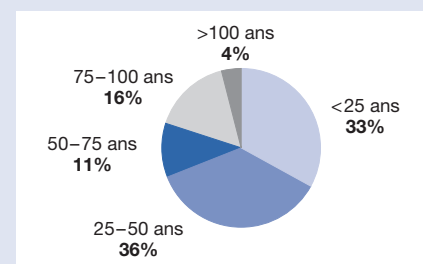


Fig. 2: Structure des âges du réseau d'égouts allemand (réseau public uniquement) [10].

**Interview d'une personne issue du domaine de la recherche:**

«En tant que personne privée, je cherche à consommer le moins d'eau possible, non pas parce que l'eau potable est une denrée rare, mais parce que je veux payer le moins possible pour l'eau potable et les égouts. Alors je m'équipe de toilettes, d'un lave-linge et d'un lave-vaisselle à faible consommation en eau. D'un point de vue économique, ces préoccupations sont contraires à celles des gestionnaires des systèmes centralisés – et ne se trouvent même plus dans leur domaine d'action.»

**Interview d'une personne issue du milieu associatif:**

«... le marché n'a aucun égard pour les systèmes centralisés ... les sociétés d'évacuation des eaux usées ne regardent que leur réseau d'égouts et considèrent que comme il y a une obligation de raccordement, tout va bien finir par y déboucher. Mais si maintenant des fabricants comme Matushita au Japon ou Technics ou Miele, Bosch ou Siemens sortent sur le marché un lave-linge qui ne produit pas d'effluents, qui va dire que les déchets produits ne peuvent pas être tout simplement récupérés à la balayette et mis à la poubelle? Quel politicien va oser dire qu'un tel lave-linge n'a pas le droit d'être produit? ... Tout cela a des conséquences dramatiques pour tous ces systèmes centralisés. Et pendant ce temps, ils s'acharnent sur quelques récupérateurs d'eau de pluie. Ils ne réalisent même pas ce qui se passe ailleurs et de toute façon, ils n'ont rien à dire dans ce domaine.»

Stein [6], la part de canalisations à rénover serait même de 50% dans les nouveaux Länder. Les planifications tiennent en général compte d'un taux de renouvellement annuel de 1,5%.

La grande différence qui existe entre le taux de renouvellement théorique et le besoin de renouvellement réel est le résultat d'investissements continuellement différés pendant des années par les communes. Etant donné leur budget de plus en plus limité, les communes ont renoncé pendant de nombreuses années aux remplacements qui s'imposaient. Ainsi, au cours de l'an-

née 2000, les investissements réalisés ne constituaient qu'environ 50% de la somme annuelle nécessaire, car les amortissements inclus dans les redevances étaient employés dans d'autres domaines [7]. Pour des frais de rénovation estimés à 500 € par mètre de canalisation et un taux de renouvellement annuel de 1,5% du réseau total, il faut compter sur des dépenses de l'ordre de 3,4 milliards d'euros par an. Si, par contre, on rénove d'un seul coup les 20% de canalisations âgées de plus de 75 ans, les coûts s'élèveraient à 45 milliards d'euros. Cela correspondrait à une dépense de 562 € par habitant uniquement pour la réalisation des investissements différés jusqu'à présent. Cette somme est cinq fois plus élevée que la facture d'eau annuelle moyenne de chaque habitant.

### Le déclin démographique

Etant donné la baisse du nombre de naissances, les déplacements de population au sein de l'Allemagne ainsi que des villes vers les banlieues, le secteur de l'assainissement se trouve confronté à de nouveaux défis. D'après les spécialistes de statistiques démographiques, seules quelques villes d'Allemagne auront un nombre d'habitants stable en 2015. Les pronostics pour l'Est du pays annoncent même qu'un appartement sur quatre pourrait être inoccupé à ce moment-là [8].

Une forte régression des populations peut entraîner une sous-utilisation des systèmes d'approvisionnement et d'évacuation des eaux, ce qui pourrait être lié à des problèmes sanitaires et techniques. Il faut ainsi s'attendre à des contaminations bactériologiques de l'eau potable si celle-ci stagne trop longtemps dans les canalisations. Une vidange et un rinçage régulier des conduites et canalisations pourraient certainement aider à résoudre le problème mais entraîneraient une augmentation des coûts qui devraient être assumés par un nombre de plus en plus restreint d'usagers.

### Une baisse de la consommation d'eau

Au cours des dernières années, on a observé une réduction sensible de la consommation d'eau. La consommation moyenne a baissé de 15% entre 1990 et 2001, passant de 150 à 128 litres par habitant et par jour. Ces chiffres concernent les ménages et les petites entreprises. D'après les personnes interviewées, cette baisse s'explique par un souci grandissant de protection des ressources naturelles et par l'augmentation du prix de l'eau potable et des redevances de déversement des eaux usées.

Mais cette réduction a d'autre part été rendue possible par l'apparition sur le marché d'innovations technologiques permettant de limiter la consommation en eau des appareils et installations utilisés dans les ménages. Les têtes de douche, robinets et chasses d'eau économes en eau sont déjà très largement répandus étant donné que pour quelques euros de plus à l'achat, ils permettent de réaliser des économies relativement importantes. A partir du moment où les fabricants d'appareils électroménagers se sont aperçus que les lave-linge et les lave-vaisselle à faible consommation d'eau constituaient une innovation porteuse sur le marché, la demande en eau qui leur est imputable n'a cessé de baisser (Fig. 3). On voit maintenant émerger une nouvelle génération d'appareils, encore au stade de prototypes, qui recyclent une partie de l'eau qu'ils utilisent [9].

### Les progrès des technologies membranaires

Les progrès réalisés dans le domaine des technologies membranaires jouent un rôle important dans la réduction de la consommation en eau. Il s'agit de technologies dites de type «enabler», c'est-à-dire qu'elles facilitent le développement de systèmes alternatifs dans la mesure où elles mettent en jeu des appareils de très petite taille par rapport à leur capacité d'épuration, ap-

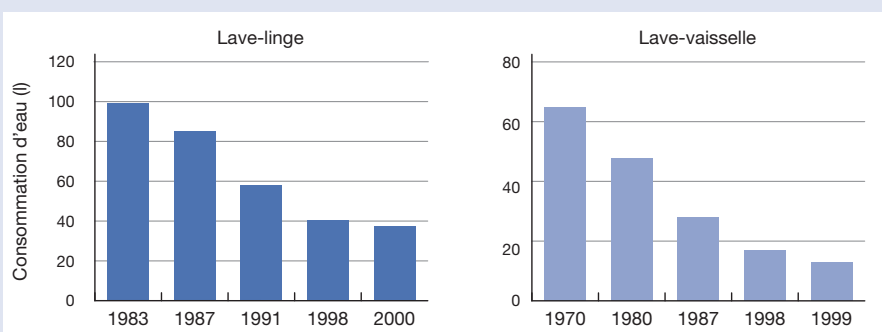


Fig. 3: La consommation en eau des lave-linge et des lave-vaisselle a nettement baissé au cours des 20 à 30 dernières années [11].

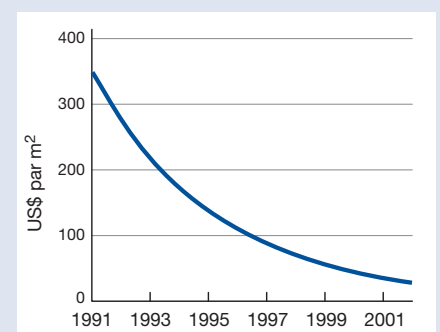


Fig. 4: Evolution du prix des membranes d'ultrafiltration [12].

pareils particulièrement bien adaptés aux unités d'épuration décentralisée. Certaines personnes interviewées considèrent même que le développement des technologies membranaires est une condition indispensable à une bonne diffusion des technologies décentralisées. Ainsi, le recours aux procédés membranaires peut p. ex. permettre de concevoir des installations plus petites et plus efficaces pour la réutilisation des eaux peu polluées issues des douches et lavabos, ce qui rendrait cette démarche plus accessible aux ménages et petites entreprises. Ce fait doublé de la baisse constante du prix du m<sup>2</sup> de surface filtrante (Fig. 4) devrait entraîner une percée sur le marché des technologies membranaires dans le créneau des ménages et des petites entreprises.

### La fin des solutions centralisées?

Les interviews réalisées révèlent que l'assainissement urbain est considéré comme un secteur très stable, visant le long terme et peu enclin aux innovations. L'étude des facteurs de changement potentiels permet cependant de dégager des scénarios qui pourraient être à l'origine de profondes réformes. D'un côté, la plupart des gestionnaires communaux sont confrontés à un mauvais rapport coûts-prix et à un fort besoin d'investissements dans un contexte de pénurie financière. D'un autre côté, la quantité d'eaux usées à traiter a fortement baissé au cours des 15 dernières années, baisse qui va probablement se poursuivre dans les décennies qui viennent étant donné l'évolution démographique, l'augmentation des redevances et le développement de nouvelles technologies qui se produiront certainement. Ces deux processus se superposent et se renforcent mutuellement et échappent presque totalement à l'influence des sociétés d'évacuation et de traitement des eaux usées [2].

La figure 5 illustre la dynamique que pourrait générer la combinaison de certains facteurs de changement et qui pourrait constituer un défi de taille pour les systèmes centralisés en place actuellement. Un nouveau marché de services pourrait émerger pour répondre aux besoins de gestion, de maintenance et d'entretien des systèmes alternatifs, ce qui pourrait entraîner une mutation des gestionnaires actuels du statut de sociétés d'approvisionnement et d'évacuation des eaux à celui de sociétés de services.

Il semble cependant fort improbable que les systèmes centralisés d'approvisionnement et d'évacuation des eaux soient remplacés à court ou à moyen terme par des solutions

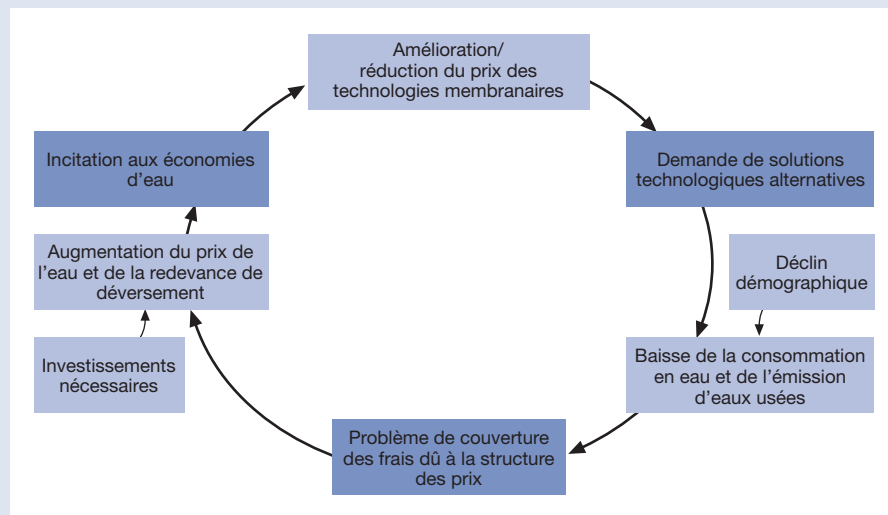


Fig. 5: Effets des facteurs de changement.

décentralisées. Par contre, il n'est pas inconcevable que les systèmes décentralisés trouvent une possibilité d'implantation dans certains domaines particuliers, comme p. ex. dans les zones urbaines ou les régions concernées à la fois par un fort besoin d'investissements et une forte baisse de la demande en eau. Ce serait p. ex. le cas de nouveaux lotissements qui n'auraient plus à être raccordés au réseau d'égouts mais qui ne produiraient pratiquement plus d'eaux usées grâce à la mise en place de tout un système de mesures (petites stations d'épuration communes, séparation des flux d'eaux pluviales, utilisation des eaux industrielles). La question que doivent se poser les décideurs est celle de savoir s'il est judicieux d'un point de vue économique et technique de continuer à investir dans le système centralisé, notamment dans certaines régions de l'Est de l'Allemagne.

Personne ne peut dire aujourd'hui avec certitude quels sont les changements qui

vont se produire. La mise en évidence des divers scénarios possibles doit cependant permettre, aux sociétés prévoyantes du domaine de l'approvisionnement et de l'évacuation des eaux, de réfléchir à différentes possibilités d'évolution. Notre projet va entrer à la fin de l'automne 2003 dans une nouvelle phase consacrée à la formulation détaillée de scénarios évolutifs, concernant les futurs secteurs d'équipement ainsi que des conséquences auxquelles doivent s'attendre les responsables de la régulation, les sociétés et les clients.



**Dieter Rothenberger, économiste de l'environnement, se consacre au sein de l'équipe du CIRUS de la division «Ecologie appliquée des milieux aquatiques» à la transformation et la dérégulation durables des secteurs d'équipement ainsi qu'aux stratégies envisageables par les sociétés d'approvisionnement et les autorités.**

Pour plus d'informations:  
[www.cirus.eawag.ch](http://www.cirus.eawag.ch), [www.mikrosysteme.org](http://www.mikrosysteme.org)

- [1] ATV-DVWK (2002): Überlegungen zu einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft. Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe GB-5.1. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK), Hennef, 40 S.
- [2] Rothenberger D. (2003): Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser. Bericht zum Projekt «Integrierte Mikrosysteme der Versorgung», Bundesministerium für Bildung und Forschung, Deutschland, 124 S. [www.mikrosysteme.org/documents/Report\\_Wasser.pdf](http://www.mikrosysteme.org/documents/Report_Wasser.pdf)
- [3] ATV/DVWK/BGW (2003): Marktdaten Abwasser 2002. Ergebnisse einer ATV-DVWK/BGW-Umfrage. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK), Hennef, 12 S.
- [4] Rudolph K.-U., Kraemer A.R., Hansen W., Staffell U. (1999): Vergleich der Abwassergebühren im europäischen Rahmen. Umweltbundesamt, Berlin, 172 S.
- [5] Bundesverband Gas und Wasser (2002): Trinkwasser-Marktdaten. [www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw](http://www.bundesverband-gas-und-wasser.de/bgw)
- [6] Stein D. (2001): Sanierung der Kanalisationen. Eine finanzielle und technische Herausforderung. [www.ruhr-uni-bochum.de/rubin/rbin2\\_95/rubin7.htm](http://www.ruhr-uni-bochum.de/rubin/rbin2_95/rubin7.htm)
- [7] bbr Fachmagazin für Wasser und Leitungstiefbau (2003): Aus den Augen, aus dem Sinn? 54, 10-12.
- [8] Pfeiffer U., Simons H., Porsch L. (2000): Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern. Bericht der Kommission im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Berlin, 89 S.
- [9] Lange J., Otterpohl R. (2000): Abwasser. Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Mallbeton, Donaueschingen, 301 S.
- [10] Esch B., Thaler S. (1998): Abwasserentsorgung in Deutschland – Statistik. Korrespondenz Abwasser 45, 850-864.
- [11] Miele (2003): Information der Öffentlichkeitsarbeit der Miele & Cie. KG.
- [12] Gimbel, R. (2003): Membraneinsatz in der Trinkwasserversorgung. Vortrag im Rahmen des Workshops «Forschung in Deutschland – Wasserforschung im bmb+f» anlässlich des Kongresses «Wasser Berlin» am 9.4.2003. Berlin.

# Technologie NoMix: quel est son degré d'acceptation?

**Le fait qu'une innovation technologique soit adoptée ou non dans la pratique dépend de nombreux facteurs. En plus de présenter des avantages techniques certains par rapport aux technologies en cours, elle doit impérativement répondre aux besoins des groupes de population concernés. Nous avons cherché à savoir si le marché était prêt à accepter l'arrivée de la technologie NoMix, basée sur un concept de collecte et de traitement séparé des urines qui révolutionnerait le système actuel d'assainissement. Les sondages effectués auprès des consommateurs et des agriculteurs ont montré que l'opinion était plutôt favorable. Les fabricants d'articles sanitaires sont en mesure et prêts à développer les toilettes NoMix si les professionnels de l'assainissement font preuve d'un engagement important pour cette technologie. C'est ainsi à ces derniers que revient la tâche importante et décisive de préparer le terrain à la technologie NoMix.**

Notre système d'assainissement a tout d'abord été conçu comme un système de transport des eaux et son principe a peu évolué au cours des cent dernières années. Les professionnels de l'assainissement sont de plus en plus conscients du fait qu'il est difficile de remplir les objectifs modernes de protection des eaux avec un système de

conception si ancienne. D'un côté, le système d'évacuation des eaux présente encore des lacunes dues p. ex. aux habitations non raccordées au réseau, aux nombreuses fuites que présentent les égouts ou aux pertes par les déversoirs d'orage, ce qui fait que des eaux usées peuvent s'infiltrer dans le sous-sol et contaminer les nappes.

D'un autre côté, les stations d'épuration ont à faire face à des exigences croissantes; p. ex., on ignore encore si ce que l'on appelle les micropolluants, au nombre desquels on compte les médicaments et les perturbateurs endocriniens qui sont en majeure partie éliminés par voie urinaire, peuvent être traités efficacement dans les stations d'épuration avec la mise en œuvre de moyens raisonnables. Des mesures prises à la source, comme la collecte séparée des urines, pourraient constituer un moyen valable de sortir de cette situation. D'autant plus que les urines représentent moins de 0,5% du volume total des eaux usées domestiques mais sont responsables de la majeure partie des éléments nutritifs contenus dans les eaux usées. Les urines contribuent ainsi fortement à la charge à traiter par les stations d'épuration. La collecte et le traitement séparés des urines offrent ainsi de nouvelles possibilités pour réaliser un traitement plus efficace des eaux polluées [1].

## La séparation des urines par la technologie NoMix

A l'aide des WC NoMix, des toilettes de construction particulière, il est possible de collecter les urines de manière assez facile pour les stocker dans un réservoir spécial et les acheminer vers la station d'épuration au moment le plus propice, que ce soit par les égouts existants ou par un camion spécial. La technologie NoMix peut d'autre part être complétée de dispositifs spéciaux de traitement des urines (Tab. 1). De tels dispositifs seraient particulièrement intéressants car ils permettraient une élimination plus facile des micropolluants. De plus, les urines brutes pourraient être transformées en fertilisant qui pourraient être utilisés en agriculture à la place des engrais chimiques. La version A de la technologie NoMix, c'est-à-dire la collecte séparée des urines et l'épandage des urines stockées à des fins de fertilisation, est déjà employée à l'heure actuelle. Les versions B et C sont, quant à elles, nouvelles mais elles peuvent être facilement



Y. Lehnhard, EAWAG

Seriez-vous prêt à acheter ces légumes tout en sachant qu'ils ont été cultivés avec un engrais à base d'urine?

intégrées au réseau d'égouts existant et présentent des avantages pour les stations d'épuration (Tab. 1). La technologie NoMix permet donc un fonctionnement plus efficace des stations d'épuration, un progrès dans la voie de la protection des eaux, et un recyclage des nutriments. Dans le cadre du projet de recherche interdisciplinaire NOVA-QUATIS, l'EAWAG se consacre à la technologie NoMix [2] et se penche non seulement sur les problèmes de technologie sanitaire, de stockage, de transport et de traitement des urines et de fabrication de fertilisants, mais aussi sur le degré d'acceptation de

cette technologie auprès des divers acteurs concernés. Jusqu'à présent, les nouvelles technologies appliquées dans le domaine de l'assainissement ont été développées sans consultation de la population. Il n'est pas pensable d'agir de cette façon dans le cas de la séparation des urines dans les ménages. C'est pourquoi le projet NOVA-QUATIS intègre très tôt dans le processus de recherche les différents acteurs impliqués, c'est-à-dire les personnes sensées utiliser les toilettes NoMix, les agriculteurs sensés épandre l'engrais à base d'urines, de même que les fabricants de sanitaires et les professionnels de l'assainissement chargés de la mise en œuvre technique. Le présent article fait état des résultats d'une analyse théorique ainsi que des différents sondages effectués.

### Un écho favorable du côté des consommateurs et des agriculteurs

L'attitude des consommateurs par rapport à la technologie NoMix a été étudiée à l'aide de groupes de réflexion [3]. Cette méthode est basée sur des débats animés menés au

sein de groupes de citoyens préalablement informés et consacrés à des thèmes bien précis. Les 44 personnes qui y ont participé se sont informées sur le sujet à l'aide d'un système d'information assisté par ordinateur [4] et ont eu le loisir d'utiliser des WC NoMix. 71% des hommes et 89% des femmes sont satisfaits ou très satisfaits de ces toilettes. 88% des hommes seraient prêts à loger dans un appartement équipé de toilettes NoMix mais seuls 42% d'entre eux en feraient eux-mêmes l'acquisition. Chez les femmes, 79% pourraient envisager de louer un appartement à WC NoMix et même 63% d'entre elles seraient prêtes à acheter ce type de toilettes. Ce qui importait aux consommateurs, c'était avant tout de conserver leur niveau de confort et de ne pas avoir de coûts supplémentaires. Fait intéressant, 16% des hommes avouent ne pas s'asseoir pour uriner, ce qui est une condition préalable au bon fonctionnement des toilettes NoMix dans leur conception actuelle. La majorité des consommateurs interrogés, soit 72%, seraient prêts à acheter des aliments cultivés avec des engrais à base d'urines et même 80% d'entre eux

	Version de la technologie NoMix		
	A	B	C
<b>Durée de stockage</b>	6 mois Stockage local des urines à fin d'hygiénisation	3 à 7 jours Stockage local temporaire des urines	1 à 2 jours WC NoMix à réservoir intégré
<b>Transport</b>	Camion citerne	Egouts Déversement sous contrôle centralisé des urines dans les égouts existants lors de nuits sans pluie (peu d'autres eaux usées dans les égouts) Dérivation des urines peu avant la station d'épuration à fin de traitement centralisé	Egouts Déversement des urines dans les égouts existants sous contrôle centralisé (comme dans la version B)
<b>Traitement des urines</b>	Non	Oui Dans des stations centrales de traitement des urines Elimination des micropolluants et préparation du fertilisant	Oui En même temps que les eaux usées dans les stations d'épuration
<b>Recyclage des nutriments</b>	Oui Utilisation directe des urines stockées comme fertilisant agricole	Oui Engrais synthétisé pour l'agriculture (éventuellement par l'industrie)	Non
<b>Objectif principal</b>	Recyclage des nutriments Amélioration de l'épuration et fonctionnement simplifié des stations d'épuration	Recyclage des nutriments Amélioration de l'épuration et fonctionnement simplifié des stations d'épuration	Solution temporaire Ecrêtement des pics de charge en nutriments dans les stations d'épuration («peak-shaving») et donc augmentation de leur capacité Eviter par le stockage transitoire que les urines ne soient déversées directement dans les cours d'eau par les déversoirs d'orage lors de fortes pluies
<b>Références bibliographiques</b>	Johansson, 2001 [6]	Larsen et Gujer, 1996 [1]	Rauch et al., 2003 [12]

Tab. 1: Caractéristiques des trois versions de la technologie NoMix [7]. Les trois versions comprennent des toilettes NoMix et un réservoir à urines.

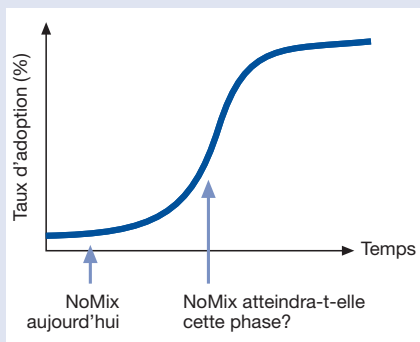


Fig. 1: La diffusion des innovations [10]. Après un départ hésitant, une innovation qui a réussi «décolle» subitement.

préfèreraient un engrais à base d'urines à un engrais chimique conventionnel. Toutes les personnes interrogées ont cependant insisté sur le fait que tout risque de contamination par des bactéries ou par des micropolluants devait être exclu.

Un sondage effectué par courrier auprès de 467 agriculteurs de Suisse alémanique a donné des résultats similaires [5]. Malheureusement, cette étude n'est pas représentative; d'une part, parce que seuls 27 % des formulaires nous ont été renvoyés, d'autre part, parce qu'il existe une différence significative entre les réponses des agriculteurs pratiquant la production intégrée et ceux

qui pratiquent l'agriculture biologique. Le sondage a cependant livré des informations intéressantes. Pour 57 % des agriculteurs, la séparation des urines est une bonne ou même une très bonne idée et 42 % d'entre eux seraient disposés à acheter un engrais à base d'urine. Les chances de commercialisation d'un engrais à base d'urine sont probablement les plus grandes là où un achat de fertilisant supplémentaire est de toute façon pratiqué, c'est-à-dire tout particulièrement dans la production intégrée ou la culture maraîchère. Pour les agriculteurs comme pour les consommateurs, il est absolument indispensable que l'engrais ne présente aucun risque: 30 % d'entre eux craignaient que le fertilisant ne renferme des micropolluants. Leur préférence irait à un fertilisant azoté inodore en granulés.

Ces premiers sondages permettent de conclure à une bonne acceptabilité potentielle de la technologie NoMix à condition qu'elle soit bon marché, sûre et garante du même confort que la technologie actuelle.

### Les fabricants de sanitaires: encore trop peu de débouchés pour les WC NoMix

La séparation des urines est une technologie connue depuis des millénaires qui a été remise au goût du jour dans les pays

scandinaves il y a une trentaine d'années. En Suède, la production de WC NoMix modernes a été lancée en 1990 et environ 3000 d'entre eux ont été installés dans plus de 15 projets pilotes entre 1992 et 1996 [6, 7]. Un modèle attrayant et techniquement optimisé de WC NoMix est maintenant disponible sur le marché [8]. Des recherches et développements sont cependant encore nécessaires dans le domaine sanitaire étant donné que certains problèmes ne sont pas encore résolus, comme p. ex. celui de la formation de dépôts de cristaux d'urine qui peuvent provoquer une obturation des conduits d'évacuation et être à l'origine d'odeurs désagréables [9].

Depuis ses débuts, le projet NOVAQUATIS est en contact étroit avec les fabricants de sanitaires. Les grands fabricants sont persuadés du fait qu'il est possible de développer des dispositifs NoMix modernes. Le marché n'est cependant pas encore prêt à accueillir cette nouvelle technologie et les fabricants de sanitaires hésitent en conséquence à réaliser de gros investissements.

### Le rôle clé des professionnels de l'assainissement

Mais comment peut-on aider la technologie NoMix à accéder à un plus grand degré d'acceptation et à une diffusion plus importante? Les professionnels de l'assainissement ont très probablement un rôle décisif à jouer. Pour mieux comprendre leur point de vue et pour définir les points sur lesquels il serait nécessaire d'intervenir pour faire avancer la technologie NoMix, nous avons utilisé la théorie classique de la diffusion de Rogers [10]. Elle présuppose d'une part que cinq attributs principaux décident de la vitesse à laquelle une innovation va être adoptée; il s'agit de son avantage relatif, de sa compatibilité avec les valeurs du groupe d'appartenance, de sa complexité, de la possibilité de la tester et de sa visibilité (voir définitions Tab. 2). Elle montre d'autre part que le taux d'adoption d'une innovation en fonction du temps suit en général une courbe en S. Après un départ hésitant, l'innovation «décolle» littéralement (Fig. 1). Il apparaît que la technologie NoMix est considérée par les professionnels de l'assainissement comme déficiente au regard de ces cinq attributs (Tab. 2) [7]. Dans le passage qui suit, nous allons traiter de deux attributs particulièrement importants:

■ **L'avantage relatif** d'une innovation par rapport aux technologies existantes est souvent évalué à l'aide d'une analyse coûts-bénéfices consistant p. ex. à considérer les avantages écologiques en fonction des dépenses financières. Il est difficile de réaliser

Définition des attributs (d'après Rogers, 1983 [10])	Attitude éventuelle des professionnels de l'assainissement
<b>L'avantage relatif</b> décrit dans quelle mesure une innovation est perçue comme supérieure à la technologie ou à l'idée en place (avantage économique, augmentation de statut, etc.)	Une grande incertitude: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Avantages d'un point de vue écologique certainement considérables mais difficilement quantifiables</li> <li>■ Hauteur des coûts mal définie pour la phase de lancement</li> </ul>
Le critère de <b>compatibilité</b> décrit dans quelle mesure une innovation est perçue comme étant compatible avec les valeurs et considérations socioculturelles et les expériences des adoptants ainsi que pouvant correspondre à leurs besoins.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La technologie NoMix doit prouver sa supériorité dans la pratique</li> <li>■ Un changement de paradigme est nécessaire, passant du concept de traitement centralisé des eaux usées dans les stations d'épuration à celui de traitement décentralisé à la source</li> <li>■ En opposition avec la manière traditionnelle de résoudre les problèmes</li> </ul>
Le critère de <b>complexité</b> décrit dans quelle mesure une innovation est perçue comme étant difficile à comprendre et à mettre en œuvre (ne pas confondre avec la notion scientifique de complexité).	La séparation de résidus liquides: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Peut être difficile à comprendre (mais principe bien connu pour les résidus solides)</li> <li>■ Représente un défi technologique</li> </ul>
La <b>possibilité de tester l'innovation</b> indique si celle-ci se prête à la réalisation de tests à petite échelle ou sur des stations pilotes.	Possibilité limitée de tester NoMix, notamment pour les versions B et C (Tab. 1)
Le critère de <b>visibilité</b> indique si les effets ou les avantages d'une innovation sont visibles pour des personnes extérieures.	Une visibilité limitée due: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Au caractère préventif des mesures</li> <li>■ A la longue durée d'application</li> <li>■ Au caractère abstrait des concepts en jeu</li> </ul>

Tab. 2: Les cinq attributs qui sont très souvent décisifs pour la vitesse de diffusion d'une innovation [10] et leur application à l'attitude des professionnels de l'assainissement vis-à-vis de la technologie NoMix [7].

une telle analyse pour la technologie NoMix étant donné qu'elle comporte dans sa phase de lancement encore trop d'incertitudes notamment en ce qui concerne les coûts susceptibles d'être entraînés. Une technologie assez bon marché, comme p. ex. la version C (Tab. 1) qui permet d'amortir les investissements effectués dans le système, a donc le plus de chances d'être acceptée sur ce point.

■ La **compatibilité** de NoMix avec les technologies existantes est considérée comme faible. Les professionnels de l'assainissement sont persuadés, et à juste titre, que le système existant est tout à fait performant au niveau de l'hygiène et du confort. Il faut donc qu'une nouvelle technologie démontre tout d'abord qu'elle est capable d'en faire autant. Un autre élément s'oppose à la mise en œuvre de la technologie NoMix: c'est le fait qu'elle nécessite un changement de paradigme en demandant d'abandonner le traitement centralisé des eaux usées dans les stations d'épuration pour passer à la collecte et au traitement décentralisé des urines. De nombreux professionnels de l'assainissement ne voient probablement pas la nécessité de se détourner radicalement du système en fonctionnement. Jusqu'à présent, les problèmes qui se sont posés ont pu être résolus en ajoutant des étapes supplémentaires dans les stations d'épuration. Le fait de rechercher des idées d'un concept entièrement nouveau pour résoudre un grand nombre de problèmes à la fois ne correspond donc pas au mode de pensée traditionnel. De ce point de vue, il semble donc que les versions d'une technologie qui soient intégrables au système existant aient les plus grandes chances de succès.

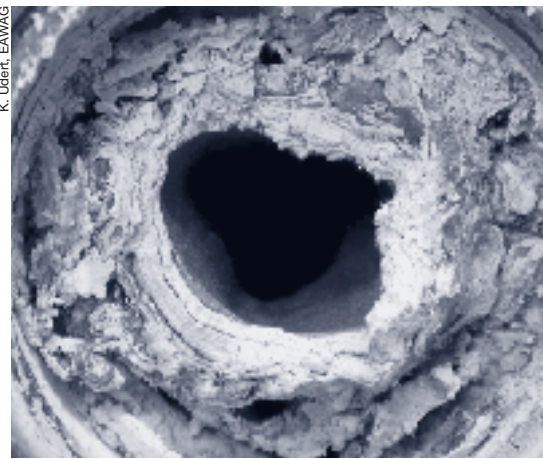
Cette première analyse [7] pourrait expliquer pourquoi la technologie NoMix a du mal à faire son chemin chez les professionnels de l'assainissement. Il est besoin d'autres études pour caractériser avec plus de précision les facteurs qui permettraient de faire «décoller» la technologie NoMix. Le recours à des projets pilotes faisant la démonstration d'une application pratique réussie de cette technologie est un élément important de cette démarche [11].

### La première installation pilote équipée de la technologie NoMix: la bibliothèque cantonale de Liestal

La bibliothèque cantonale de Bâle-Campagne à Liestal est le premier bâtiment de Suisse à être entièrement équipé de la technologie NoMix. Le dispositif de séparation des urines comprend, en plus des WC

NoMix et du réservoir d'urines, un système de vidange du réservoir assisté par ordinateur. L'installation pilote doit être terminée au milieu de l'année 2005. Il offrira des conditions optimales pour la mise à l'essai de notre nouvelle technologie étant donné que les toilettes seront fréquentées par un public varié et intéressé appartenant à toutes les classes de la société. A la suite de cette phase de test, il est prévu de mettre à profit l'expérience acquise pour définir des instructions pour la construction et l'implantation de futures installations [11]. D'un autre côté, la technologie NoMix est actuellement testée dans plusieurs projets de moindre envergure. Ainsi, quatre appartements d'une assez grande ville suisse sont équipés de toilettes NoMix et plusieurs WC NoMix ont été installés il y a déjà quelques années dans les toilettes de l'EAWAG et de la «Fachhochschule beider Basel» (Haute Ecole Spécialisée, Bâle). Ces projets ont une importance capitale car ils permettent d'identifier les points faibles de la nouvelle technologie sanitaire et de déterminer son degré d'acceptation auprès des usagers interrogés par sondage. L'expérience acquise est utilisée pour émettre des recommandations pour le développement des toilettes NoMix par l'industrie du sanitaire. Dans l'ensemble, la société est assez ouverte à cette nouvelle technologie NoMix bien que peu conventionnelle et les fabricants de sanitaires eux-mêmes seraient prêts à fournir l'effort de développement encore nécessaire. Il semble donc que le problème qui s'oppose à une bonne diffusion de cette technologie soit plutôt à chercher du côté des professionnels de l'assainissement qui ont du mal à l'accepter. Il faudra donc sans doute adopter de façon temporaire des solutions de compromis qui sont compa-

K. Ubert, EAWAG



Tuyau d'évacuation de l'urine obturé par des cristaux d'urine.

tibles avec une certaine utilisation du système existant (version C, Tab. 1) et qui ont les meilleures chances d'être acceptées par l'ensemble des acteurs, y compris les professionnels de l'assainissement.



Judit Lienert, biologiste, est coordinatrice et directrice adjointe du projet NOVAQUATIS. Elle s'intéresse particulièrement aux aspects de recherche interdisciplinaire et transdisciplinaire et à l'interface science/pratique.



Tove A. Larsen, ingénieur chimiste, dirige le projet NOVAQUATIS. Elle étudie les possibilités d'adoption d'une gestion durable des eaux urbaines.

Pour plus d'informations:  
[www.novaquatis.eawag.ch](http://www.novaquatis.eawag.ch)

- [1] Larsen T.A., Gujer W. (1996): Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Science and Technology* 34, 87–94.
- [2] Lienert J., Larsen T.A. (2002): Urinseparierung – eine Alternative für die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft? *gwa – Gas Wasser Abwasser* 11, 819–826.
- [3] Pahl-Wostl C., Schönborn A., Willi N., Muncke J., Larsen T.A. (2003): Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation. *Water Science and Technology* 48, 57–65.
- [4] [www.novaquatis.eawag.ch/english/NoMixtool\\_e.html](http://www.novaquatis.eawag.ch/english/NoMixtool_e.html)
- [5] Lienert J., Haller M., Berner A., Stauffacher M., Larsen T.A. (2003): How farmers in Switzerland perceive fertilizers from recycled anthropogenic nutrients (urine). *Water Science and Technology* 48, 47–56.
- [6] Johansson M. (2001): Urine separation – closing the nutrient cycle. Final report on the R&D project «Source-separated human urine – a future source of fertilizer for agriculture in the Stockholm region?» Stockholm Water Company, Stockholm, 40 p.
- [7] Larsen T.A., Lienert J. (2002): Societal implications of re-engineering the toilet. Proceedings of the IWA Leading Edge Conference Series «Sustainability in the Water Sector», Venice, p. 29. *Water Intelligence Online*, submitted.
- [8] [www.roevac.com](http://www.roevac.com)
- [9] Udert K., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Estimating the precipitation potential in urine-collecting systems. *Water Research* 37, 2571–2582.
- [10] Rogers E.M. (1983): *Diffusion of Innovations*. Collier Macmillan Publishers, London, 453 p.
- [11] Kühni M., Koch G., Ott E. (2002): Zukunftsweisende Sanitär- und Abwassertechnik – Erstes Pilotprojekt der Schweiz für Urinseparierung, -speicherung und -steuerung im technischen Massstab. *gwa – Gas Wasser Abwasser* 11, 827–835.
- [12] Rauch W., Brockmann D., Peters I., Larsen T.A., Gujer W. (2003): Combining urine separation with waste design: an analysis using a stochastic model for urine production. *Water Research* 37, 681–689.

# Approches alternatives d'assainissement environnemental dans les pays en développement

**La moitié de la population mondiale n'a pas accès à la moindre installation d'assainissement. Les approches conventionnelles conçues sous forme «descendante» sont souvent inefficaces. Face à cette situation, l'EAWAG a développé en collaboration avec un groupe d'experts international une nouvelle approche qui place les ménages au centre des processus de planification, l'«approche d'assainissement environnemental axée sur les ménages».**

Malgré les gros efforts fournis au niveau international, le nombre de personnes qui, de par le monde, n'ont pas accès à des structures d'approvisionnement en eau potable et à des installations d'assainissement adéquates est encore très élevé (voir encadré). Ce fait montre combien les approches conventionnelles utilisées jusqu'à présent sont inefficaces pour remédier à cette situation alarmante. En même temps, les réserves naturelles d'eau potable font l'objet d'une pression écologique et économique croissante suite à l'augmentation incessante de la population mondiale et des besoins en eau par habitant.

Face à cette situation, l'EAWAG a développé en collaboration avec des experts internationaux de renom une nouvelle approche pour la planification et la réalisation de mesures d'assainissement environnementale\* qui d'un côté se réfère davantage aux usagers et aux ménages, d'un autre côté accorde une plus grande importance à la valorisation des ressources.

- 1,1 milliards de personnes n'ont pas accès à de l'eau potable.
- 2,4 milliards de personnes n'ont pas accès à des installations d'assainissement appropriées.
- 50% de l'ensemble des déchets solides ne sont pas collectés.
- Personne ne sait combien de personnes sont déportées chaque année à cause des crues.
- 3 milliards de personnes vivent avec moins de 2 US\$ par jour.

Source [4]

## Un nouveau paradigme et de nouvelles stratégies sont nécessaires

L'expérience des dernières années a montré que le mode de pensée conventionnel devait être remis en question si on souhaitait vraiment résoudre les problèmes d'assainissement en zone urbaine:

■ Il s'est avéré que la stratégie du «business as usual» ne permettait pas d'améliorer les conditions d'insalubrité, d'indigence et d'indignité humaine dans lesquelles vivent les classes les plus démunies.

■ Le «business as usual» n'est pas non plus une solution de durabilité dans les pays industrialisés où il est synonyme de gaspillage (utilisation de l'eau potable comme vecteur d'évacuation des excréments humains; pas de récupération systématique des éléments nutritifs contenus dans les eaux usées et les déchets).

■ Le mode traditionnel de planification et de mise en place de systèmes centralisés qui ne prévoit pas la participation et la consultation des intéressés débouche généralement sur des solutions inacceptables à long terme.

■ Une meilleure coordination entre la gestion des eaux usées et donc des excréments humains et celle des déchets permettrait de profiter de synergies et de réaliser des économies importantes.

■ Dans un souci de protection de l'environnement et de préservation des ressources en eau potable, il devient impératif de valoriser plus systématiquement les eaux usées et les déchets et d'en exploiter les ressources nutritives.

A la lumière de ces arguments de poids qui plaident pour un changement radical de

mode de pensée, un groupe international d'experts a récemment défini de nouveaux principes pour la planification et l'application de mesures visant une amélioration de l'assainissement urbain: les «principes de Bellagio» (voir encadré) [1]. L'«approche d'assainissement environnemental axée sur les ménages» présentée ici doit permettre une application des principes de Bellagio et comprend une composante de planification et une composante de gestion des ressources. La planification se conforme aux besoins et possibilités des intéressés, c'est-à-dire des ménages; la gestion des ressources fait l'objet d'une optimisation à tous les niveaux (dans toutes les zones).

## Les principes de Bellagio

Lors d'un colloque tenu en 2000 à Bellagio en Italie, un groupe d'experts réuni sur l'initiative du groupe de travail «Assainissement environnemental» du Conseil de Concertation pour l'Approvisionnement en Eau et l'Assainissement (WSSCC) a abouti à la conclusion que la politique et les pratiques de gestion des déchets actuellement adoptées constituaient une menace pour la santé humaine tout en étant inacceptables d'un point de vue économique et écologique. Ils ont alors formulé les principes suivants [1]:

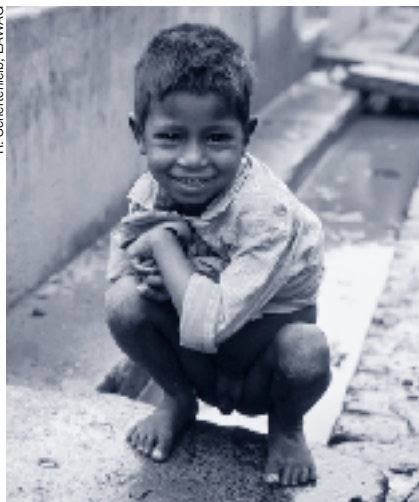
1. La dignité humaine, la qualité de vie et la protection de l'environnement au niveau des ménages doivent être placés au centre de toute nouvelle approche.

2. En accord avec les principes de bonne gestion publique, tous les intéressés doivent être représentés dans les processus de prise de décision, en particulier les utilisateurs et les fournisseurs de services.

3. Les déchets doivent être considérés comme des ressources. La gestion des déchets doit être holistique et s'inscrire dans des processus intégrés de gestion des ressources en eau, des flux de nutriments et des déchets.

4. La zone dans laquelle les problèmes d'assainissement environnemental doivent être résolus doit être aussi peu étendue que possible (ménage, village, commune, région, bassin versant, agglomération) et les déchets doivent être aussi peu dilués que possible.

\* Le terme d'assainissement environnemental comprend le traitement des eaux usées, la gestion des boues de vidange, des déchets et des eaux pluviales.



## Intégration des parties intéressées à tous les niveaux

L'approche axée sur les ménages est radicalement différente des anciens concepts de planification centralisée (Fig. 1). En effet, elle place les intéressés au centre du processus de planification et vise à répondre directement aux besoins et exigences des usagers. Cette approche est basée sur les principes suivants:

- Les parties intéressées sont rattachées à une «zone» donnée et agissent en tant que telles (les zones s'étagent du niveau du ménage à celui de la nation). Leur participation se fait conformément à la forme d'organisation de ces zones.

- Les zones peuvent être définies par des limites politiques (p. ex. limites de villes ou de communes) ou être le reflet d'intérêts publics (p. ex. bassins versants ou cours de rivières).

- Les décisions sont prises après consultation de toutes les personnes concernées à l'aide des méthodes choisies dans les zones en question (p. ex. référendums au niveau national, réunions de conseils municipaux au niveau local ou discussions informelles au niveau du voisinage).

- Les problèmes doivent être résolus le plus près possible de l'endroit où ils ont été créés. Ils ne doivent être «exportés», c'est-à-dire reportés au niveau suivant, que si la zone concernée n'est pas en mesure de les résoudre elle-même.

- Les décisions et la responsabilité de leur application partent des ménages et vont jusqu'au niveau du gouvernement central en passant successivement par le niveau de la communauté et celui de la ville. Chaque ménage décide du type d'installation d'assainissement qu'il souhaiterait utiliser sur place; il décide ensuite en commun avec d'autres ménages du système d'adduction d'eau pour la communauté; les communautés décident alors en commun de la manière dont leur ville doit traiter et évacuer les eaux usées qu'elles produisent. Le gouvernement central promulgue ensuite les directives et réglementations dont l'appli-

Près de 40% de la population mondiale n'ont pas accès à des installations d'assainissement appropriées.

cation est déléguée au niveau des zones concernées, jusqu'à celui des ménages.

## Importance fondamentale du recyclage et de la valorisation

L'objectif du système circulaire de gestion des ressources (Fig. 2) est de minimiser le

transfert de résidus au-delà des zones en réduisant dans chacune d'elles la production de déchets et en y développant les activités de recyclage ou de valorisation. Contrairement au système linéaire classique, il met l'accent sur la préservation et le recyclage ou la valorisation des ressources

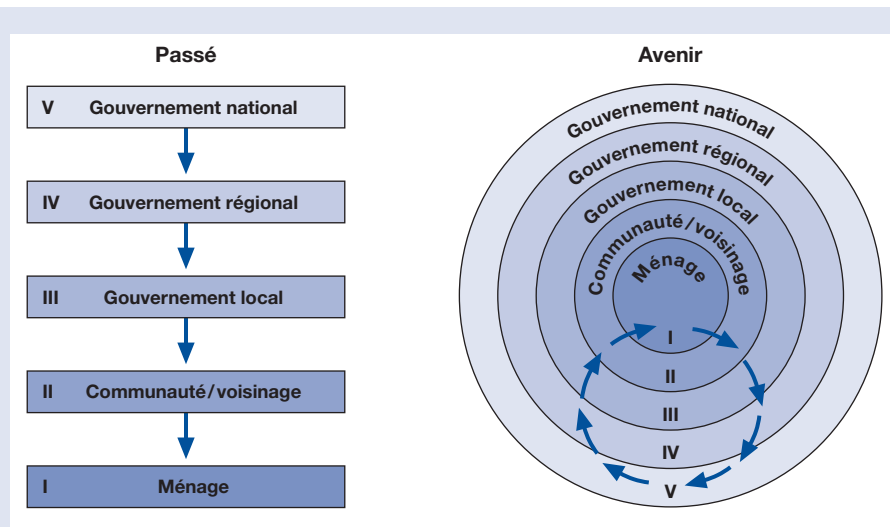


Fig. 1: Le ménage au centre du processus de planification. L'approche axée sur les ménages tente d'éviter les problèmes générés par les approches du type «descendant» ou du type «ascendant», dans la mesure où elle se sert des deux dans un réseau intégré.

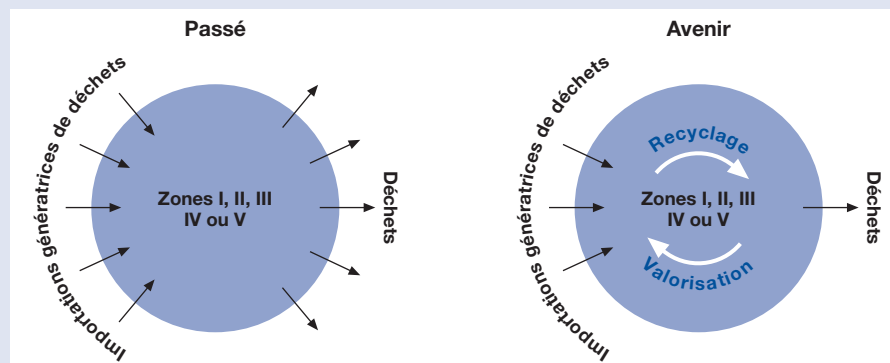


Fig. 2: Le système circulaire de gestion des ressources. Minimisation de l'importation et développement du recyclage et de la valorisation dans des zones délimitées. Zones voir Fig. 1.

(en particulier l'eau et les éléments nutritifs). Il met donc en pratique l'adage bien connu des économistes: les déchets sont des ressources mal placées.

## Effets de la mise en pratique de l'approche axée sur les ménages

L'application systématique d'une approche axée sur les ménages qui prévoit la participation des parties intéressées de la zone respective peut avoir les conséquences suivantes [2]:

- l'infrastructure et les prestations de services sont adaptées aux besoins et aux possibilités des usagers et donc applicables à long terme;
- utilisation plus durable de la ressource «eau» afin de minimiser sa consommation et de réduire la production d'eaux usées;
- recyclage et valorisation des eaux usées et des déchets solides (récupération de substances nutritives);
- amélioration de la gestion des eaux pluviales (diminution du flux grâce à des mesures locales comme des bassins de rétention, un traitement et une réutilisation);
- développement de technologies décentralisées qui permettent une réutilisation individuelle sans danger (préservation des ressources et économie de frais);
- développement d'institutions et de mesures de sensibilisation et de participation de la population et du secteur privé à la prise de décision et aux actions menées dans le domaine public;
- équilibrage des bilans financiers (par des redevances dans les zones I et II et par la perception d'impôts dans les autres zones).

## Directive pour l'application de l'approche axée sur les ménages

Pour que cette nouvelle approche puisse être appliquée avec succès, il est indispensable que les personnes responsables de l'amélioration des services et des infrastructures reçoivent l'information et le soutien nécessaires. Pour ce faire, une directive provisoire a été développée à l'intention des urbanistes et des responsables administratifs, c'est-à-dire en général à celle des maires et chefs des services techniques [3]. Ce sont en effet les personnes qui décident en premier lieu de l'application ou non de la nouvelle approche et, si oui, de quelle manière, qui vont l'introduire et la soutenir et qui seront en fin de compte responsables de ses résultats aux yeux de leurs concitoyens. La directive doit les aider à comprendre l'approche axée sur les ménages, à l'adapter aux conditions locales et à l'ex-

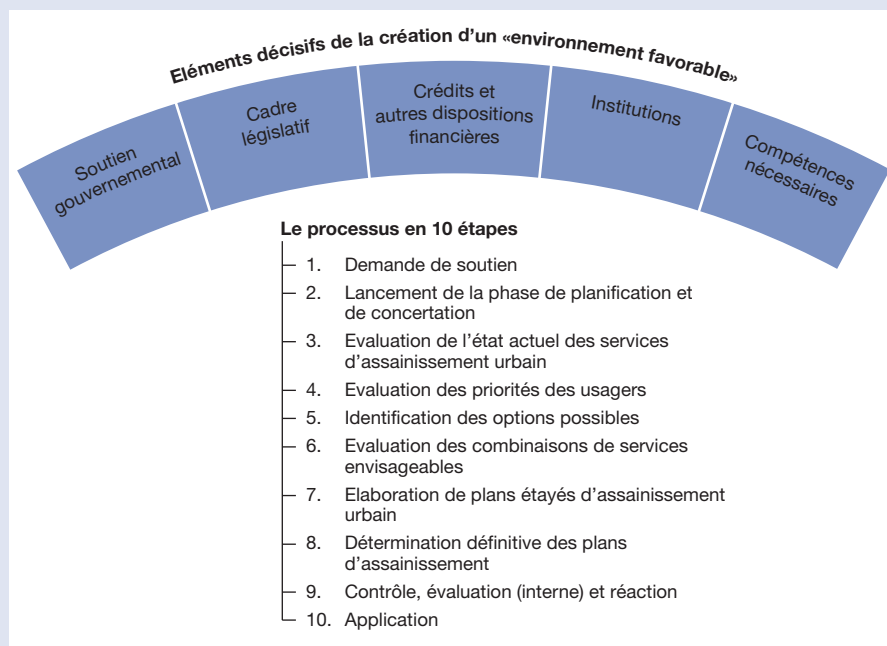


Fig. 3: Les deux composantes principales de la directive provisoire pour l'implémentation de l'approche axée sur les ménages: l'environnement favorable et le processus en 10 étapes.

pliquer aux communautés d'usagers. Elle constitue une aide spécifique au développement et à l'application de la nouvelle approche. La directive est composée de deux parties, la première consacrée à la création d'un «environnement favorable», la seconde traitant de la marche à suivre qui comprend 10 étapes.

Un environnement favorable est en définitive souhaitable pour n'importe quel programme d'investissements, mais il est particulièrement important pour la mise en œuvre d'une approche totalement novatrice comme c'est le cas de celle présentée ici (Fig. 3).

Les dix étapes proposées pour l'application pratique de l'approche axée sur les ménages sont présentées sous la forme d'un processus linéaire (Fig. 3), cependant il est parfois nécessaire de les répéter de manière itérative.

La prochaine étape de notre projet consistera à tester la directive provisoire sur la base d'un certain nombre de projets concrets. Il ne s'agira pas uniquement d'étudier sa pertinence mais également de mettre en

évidence les aspects qu'il faudra considérer avec une attention particulière lors de l'application.

Il ne fait aucun doute que la planification et la réalisation de projets basés sur l'approche axée sur les ménages prendront plus de temps que celles de projets traditionnels de type «descendant» qui ne couvrent toujours qu'un aspect particulier de l'assainissement urbain. Les efforts exigés sont cependant justifiés si le résultat aboutit à un assainissement urbain plus durable.



Antoine Morel, ingénieur du génie rural, travaille à la division «Eau et assainissement dans les pays en développement» depuis 2001 dans le domaine de la gestion décentralisée des eaux usées et de l'élaboration de plans stratégiques d'assainissement dans les pays en développement.

Coauteurs: Roland Schertenleib, Chris Zurbrügg

Pour plus d'information:  
[www.sandec.eawag.ch](http://www.sandec.eawag.ch)  
[www.wsscc.org](http://www.wsscc.org)

[1] EAWAG/SANDEC and Water Supply and Sanitation Collaborative Council – WSSCC (2000): Bellagio expert consultation on environmental sanitation in the 21<sup>st</sup> century. Report of the Bellagio Workshop, February 2000. [www.sandec.ch/Publications/PublicationsHome.htm](http://www.sandec.ch/Publications/PublicationsHome.htm)

[2] Schertenleib R. (2001): The Bellagio principles and a household centred approach in environmental sanitation. In: C. Werner, J. Schlick, G. Witte, A. Hildebrandt (eds.) Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Symposium on Ecological Sanitation – Closing the loop in wastewater management and sanitation, October 2000, Bonn, Germany. Publisher: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, p. 52–57.

[3] Schertenleib R., Morel A., Kalbermatten J., Saywell D. (2003): Guidelines for the implementation of the Bellagio principles and the household-centred environmental sanitation approach (HCES). In: C. Werner, J. Schlick, G. Witte, A. Hildebrandt (eds.) Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Ecological Sanitation, April 2003, Lübeck, Germany. Publisher: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany, in press.

[4] WHO, UNICEF, WSSCC (2000): Global water supply and sanitation assessment 2000 Report. Geneva, Switzerland, 80 p.

# Le projet STORM – Rejets d'eaux usées par temps de pluie

**Par temps de pluie, seule une partie des eaux usées parvient aux stations d'épuration. Le reste est rejeté dans le milieu naturel soit directement soit après un traitement sommaire. La planification des installations prévues à cet effet est actuellement basée sur une approche empirique et non spécifique aux problèmes à résoudre. Pour améliorer la protection des eaux et l'efficacité des coûts engendrés par les mesures engagées, il est prévu de tenir davantage compte des facteurs écologiques et des incertitudes dans les processus de planification et de prise de décision.**

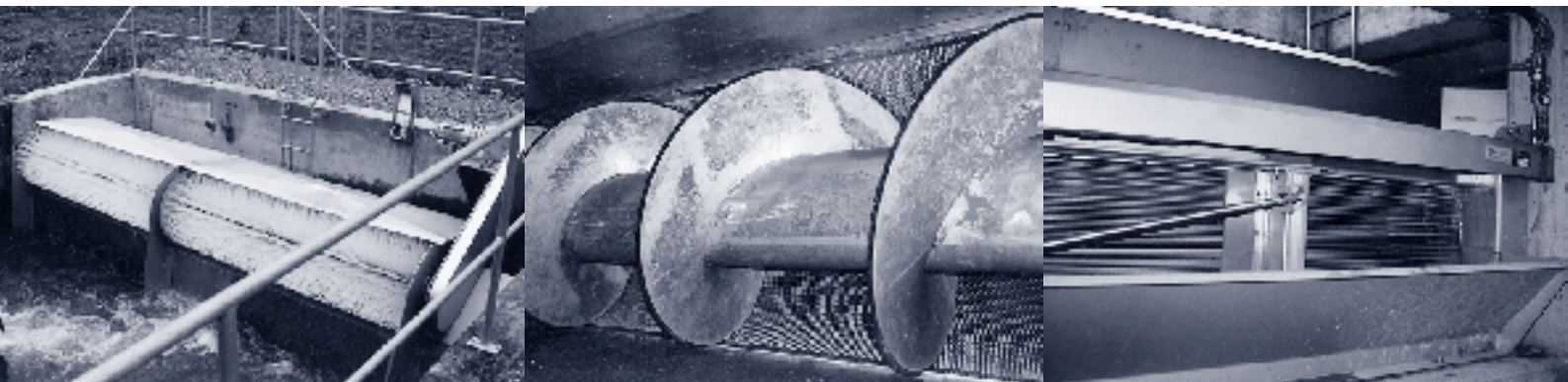
Dans le domaine de la protection des eaux, il existe peu de problématiques qui soient aussi délicates et qui se comportent de ma-

nière aussi complexe, dynamique et aléatoire que celle de la pollution des eaux de surface par temps de pluie. C'est particuliè-

rement le cas de l'évacuation des eaux pluviales urbaines qui n'ont pas la possibilité de s'infiltrer et doivent donc être transportées par les égouts. Dans un réseau unitaire, système le plus courant en Suisse, les eaux pluviales sont acheminées vers les stations d'épuration en même temps que les eaux usées et sont traitées avec elles avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Lors de pluies importantes, les stations ne sont cependant pas en mesure d'accueillir la totalité du flux à évacuer. Cette situation est due au fait que, pour différentes raisons, les stations d'épuration sont en général di-

Localisation/ nature du problème et des effets potentiels	Causes potentielles	Exemples de mesures envisageables		
		en zone urbaine	au niveau de l'assainissement	dans les lacs et cours d'eau
<b>Bassin versant, réseau de canalisation</b>				
Déversements fréquents et prolongés d'eaux usées pluviales	Présence d'eaux claires parasites et d'effluents peu pollués dans le réseau unitaire	Collecte et transport séparé des eaux pluviales, infiltration	Lutte contre l'entrée d'eaux claires parasites dans le système	
Déversements fréquents et prolongés d'eaux usées pluviales	Mauvais fonctionnement du déversoir d'orage		Réglage du débit de fuite	
<b>Milieu aquatique récepteur</b>				
Nuisance esthétique: désagrément pour la population humaine	Rejet de matériaux grossiers (issus des toilettes p. ex.), odeurs, colorants	Rétention d'eaux polluées	Dégrillage	
Colmatage du fond de la rivière: manque d'oxygène dans le lit de la rivière au niveau interstitiel	Matières en suspension dans les eaux usées, rejet de particules polluantes facilement biodégradables	Prévention de la formation de dépôts dans les canalisations	Prévention, traitement (p. ex. sédimentation, séparateur hydrocyclone), optimisation du fonctionnement des dispositifs en place	
Risque accru d'infections	Rejet de bactéries et de germes pathogènes dans le milieu		Déplacement du point de déversement, stockage, contrôle des débits	Alerte, interdiction temporaire de baignade
Perturbation hydraulique: drift ou disparition de certains organismes	Erosion et fortes vitesses d'écoulement suite au déversement massif d'eaux par temps de pluie	Perméabilisation des surfaces; utilisation, rétention et infiltration des eaux pluviales	Déplacement du point de déversement, stockage, contrôle des débits	Remodelage du profil, amélioration du substrat (création de refuges)
Problèmes aigus (toxicité, NH <sub>3</sub> , O <sub>2</sub> ): perturbation/disparition d'organismes	Rejet de substances toxiques, étiage artificiel, pH et température élevés dans le cours d'eau	Rétention d'eaux polluées	Déplacement du point de déversement, stockage, contrôle des débits, épuration	Plantations de rive pour la création d'ombrages, amélioration du régime hydrologique
Eutrophisation: perturbation des organismes	Rejet de substances nutritives	Mesures à la source	Stockage, contrôle des débits	Plantations de rive pour la création d'ombrages
Toxicité chronique: perturbation des organismes	Rejet de métaux lourds, de pesticides, de substances à effets endocriniens, etc.	Mesures à la source	Épuration (p. ex. filtration à travers une couche de sol, traitement physico-chimique, station d'épuration)	

Tab. 1: Rapports entre les problèmes causés par les rejets pluviaux, leur origine potentielle et les mesures envisageables pour y remédier. Le tableau fait état d'exemples choisis.



Mesures envisageables (de gauche à droite): Brosses rotatives – crible à racloir hélicoïdal – dégrilleur d'orage – bassin enterré de rétention des eaux pluviales – bassin de rétention des eaux pluviales superficiel et intégré dans le paysage (en bas).

mencionnées pour traiter le double du débit escompté par temps sec (= débit par pluie faible). C'est pourquoi lors de pluies plus importantes, une partie des eaux pluviales et usées est directement déversée dans les eaux superficielles, c'est-à-dire sans traitement préalable.

### Protection des eaux superficielles contre les rejets d'eaux usées

Un des moyens permettant de protéger le milieu aquatique des rejets d'eaux usées qui sont déversés par temps de pluie des égouts unitaires consiste à séparer les eaux pluviales des eaux usées et à les acheminer dans une conduite spéciale vers les lacs et cours d'eau. Bien que cette solution paraisse judicieuse, elle n'est cependant pas sans risque pour l'environnement. En effet, les eaux pluviales issues des zones urbaines sont en général polluées du fait de leur ruissellement sur les toitures et les voiries. C'est pour cette raison que le réseau unitaire a été équipé de bassins de rétention [1] destinés à stocker temporairement le trop plein du mélange d'eaux usées et d'eaux pluviales jusqu'à ce qu'elles puissent être acheminées vers une station à la

fin de la pluie. De cette manière, on évite surtout le déversement incommode de déchets solides dans les eaux superficielles qui gardent pendant des mois la trace de cette pollution inesthétique et insalubre (Tab. 1). Jusqu'à présent, la Suisse a investi environ 2 milliards de francs suisses dans la construction et l'exploitation de tels bassins de rétention. Dans les réseaux séparatifs, il n'existe en général pas de dispositifs de traitement des eaux pluviales. Cependant, étant donné que de nombreux lacs et cours d'eau subissent encore la nuisance occasionnée par les eaux pluviales polluées issues du réseau unitaire comme du réseau séparatif, il faut s'attendre à moyen terme à devoir engager des dépenses du même ordre de grandeur pour les traiter.

En vue d'une meilleure protection des eaux de même que d'une utilisation plus efficace des moyens financiers disponibles, il convient d'appliquer de nouveaux critères pour la planification des mesures d'évacuation des eaux pluviales. C'est à leur élaboration qu'est consacré le projet «STORM – Rejets d'eaux usées par temps de pluie» dans lequel sont impliqués l'Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage (OFEP), l'Association suisse des pro-

fessionnels de la protection des eaux (VSA) et l'EAWAG. Cet article présente les premiers résultats de ce projet.

### Les nouveaux principes de la planification des mesures compensatoires

#### Une approche axée sur le milieu récepteur.

Jusqu'à présent, le rejet des eaux pluviales se faisait selon une approche considérant principalement les émissions, c'est-à-dire la nature et la quantité des polluants rejetés dans le milieu naturel. L'état et les caractéristiques du milieu récepteur n'étaient pris en compte que de façon rudimentaire. C'est pourquoi nous proposons, quand l'état actuel des connaissances le permet, de remplacer l'ancienne méthode de planification par une approche centrée sur le milieu récepteur et les nuisances qu'il subit (voir encadré) de manière à prendre également en compte les propriétés des divers lacs et cours d'eau concernés.

#### Des solutions sur mesure grâce à la prévision des effets.

L'ancienne planification des rejets par temps de pluie ne prévoyait malheureusement pas de contrôle de l'efficacité écologique des mesures engagées. Il n'est donc pas possible d'estimer dans

Type de lac ou de cours d'eau	Esthétique	Hygiène (pathogènes)	Température	Stress d'ordre mécanique et hydraulique	Paramètres chimiques			
					Ammoniac <sup>1</sup>	MES <sup>2</sup>	Éléments nutritifs	Autres substances <sup>3</sup>
Ruisseau alimenté par des sources	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Pas encore de données fiables disponibles
Ruisseau de plaine	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	
Ruisseau préalpin	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	
Rivière de plaine	Oui	Oui	Eventuellement <sup>4</sup>	Eventuellement <sup>4</sup>	Oui	Oui	Non	
Rivière préalpine	Oui	Oui	Eventuellement <sup>4</sup>	Eventuellement <sup>4</sup>	Oui	Non	Non	
Fleuves et grandes rivières	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	
Petit lac (étang)	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	
Lac	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	

<sup>1</sup> Toxicité aiguë due à l'ammoniaque/ <sup>2</sup> MES = matières en suspension / <sup>3</sup> perturbateurs endocriniens, hydrocarbures aromatiques et polychlorés, etc./ <sup>4</sup> selon la nature du problème

Tab. 2: Importance pour différents types de milieux récepteurs des problèmes liés au déversement d'eaux issues de déversoirs d'orages en réseau unitaire ou d'eaux de ruissellement issues d'un réseau séparatif. L'indication «non» signifie que l'aspect concerné n'a pas d'importance pour le type milieu récepteur impliqué; p. ex., les problèmes sanitaires n'ont pas d'importance pour les petits ruisseaux parce que la baignade n'y est généralement pas pratiquée.



Photos: V. Kráľci, EAWAG

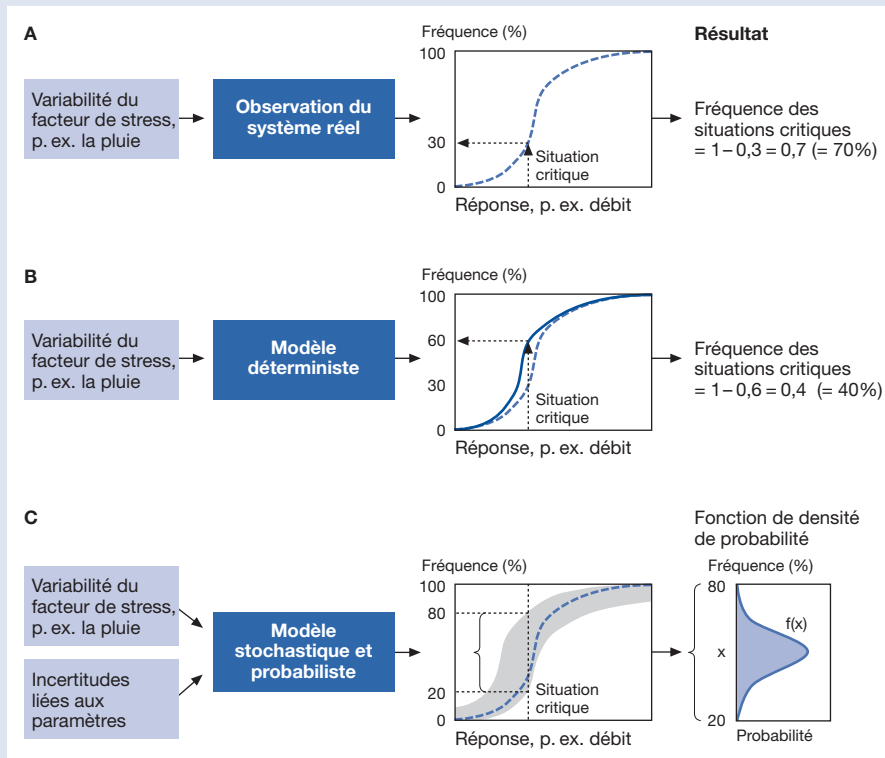


Fig. 1: Instruments de planification pour l'évaluation de la fréquence de situations critiques par temps de pluie. La définition d'une situation critique se fait par rapport aux normes de rejet fixées et tient p. ex. compte du débit à partir duquel un phénomène de charriage se produit dans le cours d'eau récepteur.

A: La fréquence des situations critiques est déterminée par observation du système réel. Ligne pointillée = courbe cumulative des situations observées. Cette courbe est également représentée à titre d'exemple dans les parties B et C.

B: La fréquence des situations critiques est calculée à l'aide d'un modèle déterministe qui tient compte de la variabilité des précipitations. Etant donné la non prise en compte des incertitudes, la courbe obtenue par modélisation n'est pas identique à la courbe réelle (A).

C: Le nouveau modèle stochastique et probabiliste permet la prise en compte supplémentaire de la probabilité avec laquelle une fréquence donnée de situations critiques est atteinte. Les simulations tiennent compte de la variabilité des précipitations ainsi que des incertitudes liées aux autres paramètres. La fréquence à laquelle les situations critiques se produisent se situe dans un intervalle donné, ici entre 20 et 80%. Toutes ces valeurs  $x$  = fréquence des situations critiques sont prises en compte dans la fonction de densité de probabilité  $x = f(x)$ .

quelle mesure la mise en place des bassins de rétention a permis de protéger la faune et la flore lors de situations critiques. Il nous semble donc tout indiqué d'établir à l'avenir une prévision détaillée des effets escomptés lors de toute démarche de planification de mesures de protection. Cet effort devrait permettre d'élaborer des solutions sur mesure adaptées aux conditions locales.

**Tenir compte des incertitudes de planification.** Quand on veut modéliser un système aussi complexe que celui de l'assainissement urbain, il est toujours nécessaire de faire appel à des simplifications. Cette démarche entraîne un certain nombre d'incertitudes. Etant donné que la planification doit en plus tenir compte de paramètres concernant le milieu récepteur, les incertitudes vont encore augmenter. Elles résultent notamment des aspects suivants:

- la structure du modèle: le modèle utilisé peut-il décrire le système avec suffisamment d'exactitude? Les normes calculées pour le rejet des eaux usées par temps de pluie sont-elles judicieuses/réalistes?

- les paramètres de modélisation déterminés de façon empirique (p. ex. concentrations de polluants, température, etc.) sont toujours mesurés avec une certaine incertitude;
- la variabilité de certains facteurs, comme p. ex. l'importance des pluies ou le débit des cours d'eau.

Ces incertitudes doivent être identifiées lors de l'établissement de la prévision des effets produits, ce qui se fait par modélisation stochastique ou probabiliste (Fig. 1). Il est alors possible soit de tenir compte des incertitudes dégagées soit d'élaborer une solution dynamique pour les diminuer. Cela pourrait signifier concrètement que dans ces cas-là,

### L'approche basée sur le milieu récepteur (Immissions)

Contrairement à la stratégie de type émissions qui ne tient compte que des polluants rejetés avec les eaux usées pour l'élaboration de mesures, le principe de type immission part d'une attitude intégrative qui consiste à considérer l'ensemble des nuisances subies par le milieu récepteur de même que ses caractéristiques intrinsèques. Cette approche accorde une importance particulière aux paramètres qui permettent une bonne évaluation des situations critiques subies par le milieu récepteur concerné. Il s'agit notamment:

- de la nature de la nuisance (Tab. 1);
- de l'intensité de la nuisance, p. ex. les concentrations de polluants (aspect chimique), la concentration des germes pathogènes (aspect sanitaire), les variations de température (aspect physique), le débit ou la force érosive (aspect mécanique);
- de la durée d'exposition de la pollution ou nuisance;
- de la fréquence de l'épisode perturbateur;
- des écarts saisonniers;
- des propriétés du milieu aquatique (Tab. 2) comme sa nature (ruisseau alimenté par des sources, rivière de plaine, lac), ses caractéristiques (débit, teneur en nutriments, faune et flore), son état (proche de l'état naturel / artificiel ou endigué, sensible / peu sensible).

on opérerait tout d'abord pour une mesure de petite envergure qui engagerait des dépenses limitées et qui serait mise à l'essai pendant un certain temps. Les enseignements tirés de cette phase de test seraient alors mis à profit pour réaliser une nouvelle prévision des effets obtenus, pour aboutir à la définition de la solution optimale. Cette démarche correspond à un souci d'économie des moyens financiers.

**Extension de la palette de mesures envisageables.** Jusqu'à présent, les mesures proposées se limitaient principalement à l'installation de bassins de rétention pour résoudre les problèmes posés. Il existe cependant toute une gamme de solutions qui sont parfois même moins onéreuses (Tab. 1) et mériteraient d'être envisagées.

Pour que ces principes soient appliqués lors des processus futurs de planification des mesures, STORM souhaite mettre les instruments suivants à la disposition des décideurs et urbanistes:

- une récapitulation des conditions à remplir pour pouvoir procéder au rejet d'eaux usées par temps de pluie, définies sur la base des caractéristiques du milieu récepteur (Tab. 2);
- un concept méthodologique de planification des mesures;
- un programme de simulation qui permet de pronostiquer les incertitudes liées au processus de planification [2, 3].

Ces instruments doivent par la suite permettre de formuler de nouvelles directives pour les rejets urbains par temps de pluie en Suisse.

## Comment fonctionne le nouveau concept de planification?

La manière dont les nouveaux principes peuvent être intégrés à un processus de planification est illustrée par un exemple simple. Considérons une petite rivière déjà

protégée d'éventuels déversements indésirables d'eaux usées par un bassin de rétention. La taille de ce bassin est cependant insuffisante, ce qui fait que des eaux usées sont déjà rejetées dans le cours d'eau lors d'épisodes pluvieux d'assez faible importance. Lors de pluies faibles, la rivière subit surtout une pollution chimique et bactériologique alors que les fortes pluies causent plutôt des nuisances d'ordre hydraulique. Dans le cadre du Plan général d'évacuation des eaux (PGEE), on procède tout d'abord à une identification des problèmes puis à une définition des points d'intervention. Il s'avère alors que la pollution liée à l'ammoniacque et le charriage de matériaux du fond de la rivière augmentent considérablement lors du déversement massif d'eaux usées et pluviales. D'après les recommandations de la VSA [4], les conditions à remplir pour les rejets sont alors les suivantes:

- la dose critique d'ammoniacque ne doit tout au plus être dépassée qu'une fois tous les 5 ans,
- le débit critique (d'un point de vue écomorphologique) ne doit être dépassé que 10 fois par an au maximum.

Dans notre exemple, trois variantes différentes peuvent être modélisées:

- scénario 0 = état initial avec un bassin d'un volume de 120 m<sup>3</sup> et des coûts de 12 000 CHF par an,
- scénario 1: bassin d'un volume de 520 m<sup>3</sup> et coûts de 29 000 CHF par an,
- scénario 2: bassin de 1320 m<sup>3</sup> et coûts de 47 000 CHF par an.

Utilisons un modèle stochastique ou probabiliste. Etant donné notre souci de prise en compte des incertitudes, les paramètres de modélisation ne sont pas décrits, comme c'est généralement le cas, par une seule valeur, mais par un intervalle de valeurs, ainsi que par une fonction de distribution au sein de cet intervalle. Exemples: le pH varie de 7,8 à 8,3 et suit une distribution log-normale; le coefficient de ruissellement varie de manière aléatoire dans un intervalle compris entre 80 et 120% de la valeur initiale. Tous les paramètres du modèle sont décrits de cette façon (à la rare exception de ceux pour lesquels on dispose de valeurs bien définies). Pour préparer la simulation de type Monte Carlo, un échantillonnage aléatoire de valeurs est généré sur la base des distributions des différents paramètres. Pour chaque échantillon, une simulation à long terme a ensuite été réalisée en considérant une série de précipitations identiques sur une période de dix ans (Fig. 1).

La simulation indique que la condition de rejet concernant le charriage n'est remplie dans le scénario 0 qu'avec une probabilité

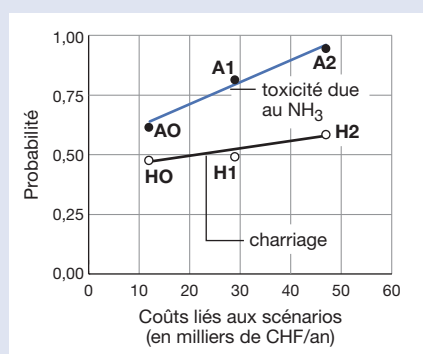
de 48% et que cette probabilité ne monte qu'à 60% dans le scénario 2 (Fig. 2). Par contre, ce dernier scénario permet de remplir la condition par rapport à l'ammoniacque avec une probabilité de 100%. L'indication de la probabilité avec laquelle les conditions de rejet peuvent être remplies étend la marge de manœuvre lors de la prise de décision. Les urbanistes et décideurs ont ainsi p. ex. la possibilité d'opter pour une mesure assez onéreuse qui leur permet d'augmenter la probabilité de remplir les conditions fixées. Mais ils risquent un surinvestissement. D'un autre côté, ils peuvent aussi choisir d'investir dans des études complémentaires ou bien dans un dispositif de moindre envergure et ainsi réduire peu à peu les incertitudes dans le cadre d'un processus de choix de solutions itératif et dynamique.

Cet exemple montre bien que l'adoption d'une approche stochastique et probabiliste pour la planification demande une autre forme de communication que les approches classiques, notamment en ce qui concerne les incertitudes. Mais elle est également porteuse d'un plus grand nombre d'informations et exige pour cela davantage d'efforts de la part des personnes impliquées.



**Vladimir Krejci**, ingénieur en protection de l'environnement et en constructions hydrauliques, a été chercheur à l'EAWAG jusqu'en 2001. Il occupe depuis la fonction d'ingénieur-conseil. Il est d'autre part enseignant à la Fachhochschule de Zurich et membre de différentes commissions de spécialistes de la VSA et du Deutscher Verein für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall ATV-DVWK.

Coauteurs: Simon Kreikenbaum, Luca Rossi, Rolf Fankhauser



**Fig. 2:** Efficacité des coûts des mesures engagées (scénario 0 = état initial: AO/HO, scénario 1: A1/H1, scénario 2: A2/H2; description plus détaillée des scénarios dans le texte). A: ammoniacque, H: perturbation hydraulique (charriage).

- [1] Eidgenössisches Amt für Umweltschutz AfU (1977): Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken. AfU, Bern, 9 S.
- [2] Kreikenbaum S., Krejci V., Rauch W., Rossi L. (2002): Probabilistic modeling as a new planning approach to stormwater management. 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Portland, USA.
- [3] Rauch W., Krejci V., Gujer W. (2000): REBEKA – Ein Simulationsprogramm zur Abschätzung der Beinträchtigung der Fließgewässer durch Abwasser-einleitungen aus der Siedlungsentwässerung bei Regenwetter, EAWAG, Dübendorf.
- [4] Verband Schweizer Abwasser und Gewässerschutzfachleute VSA (2000): Zustandsbericht Gewässer – Teil Gewässerschutz, Empfehlungen für die Bearbeitung des Zustandsberichts Gewässer im Generellen Entwässerungsplan (GEP). VSA, Zürich, 23 S.

# Vers une mise en pratique de la durabilité en assainissement pluvial

La décision prise dans les années 90 d'évacuer les eaux pluviales urbaines par des canalisations séparées va être source de changements importants dans le domaine de l'assainissement pour les années et les décennies à venir. En outre, il devient de plus en plus évident que les eaux pluviales sont elles aussi chargées de pollutions diverses. Pour pouvoir envisager des mesures de protection de l'environnement adaptées, il est impératif de bien connaître les sources de pollution ainsi que les concentrations et les flux de polluants. Ci-après sont présentés divers instruments de limitation de la pollution des eaux pluviales ainsi que des premiers cas concrets d'application.

En Suisse, les eaux pluviales sont principalement évacuées par les canalisations du réseau unitaire. Dans ce système, elles sont mélangées avec les eaux usées domes-

tiques et industrielles, puis transportées vers les stations d'épuration dans lesquelles le mélange est traité avant d'être rejeté dans le milieu naturel. Au début des années 90, on commença à remettre cette approche en question, considérant en effet qu'il était inutile aux eaux pluviales généralement peu polluées de faire le détour par les stations d'épuration. Au lieu de cela, il fut proposé de les faire s'infiltrer sur place ou bien de les transporter dans un réseau séparatif. On sait depuis que les eaux pluviales ne sont pas exemptes de polluants et que la vision de l'époque était trop optimiste. Le problème de pollution concerne tout particulièrement les eaux qui ruissellent sur des surfaces stabilisées telles que les toitures ou les voiries. Pour pouvoir prendre des mesures compensatoires, il faut cependant tout d'abord déterminer la nature, la quantité et le comportement des substances transportées par les eaux de pluie. L'EAWAG s'est lui aussi engagé dans le domaine de l'assainissement pluvial durable. Cet article donne une vue d'ensemble des projets de recherche en cours et présente un certain nombre de mesures compensatoires envisageables.

## Tout dépend de la surface

Les eaux pluviales qui entrent dans le réseau peuvent avoir ruisselé sur une multitude de surfaces différentes, composées des matériaux les plus divers. Il est donc impensable d'évaluer les propriétés des eaux pluviales dans chaque cas de figure. Pour pouvoir tout de même tenir compte de la plupart des situations, on classe les surfaces urbaines dans différentes catégories présentant divers degrés de pollution potentielle (Tab. 1). C'est la seule façon de rendre le système utilisable. Dans cet esprit, les autorités et les associations de professionnels ont élaboré toute une série de directives et de guides pratiques, dont notamment le guide de «Protection des eaux

Tab. 1: Evaluation de la pollution des eaux ruisselant sur différentes surfaces stabilisées.

Surface	Informations sur la pollution potentielle des eaux de ruissellement	Degré de pollution
<b>Toitures et espaces verts</b>		
Espaces verts, toits verts sans matériaux renfermant des pesticides	Bon effet tampon sur l'écoulement et bonne rétention de polluants sur le toit.	faible
Toitures en matériaux inertes non métalliques, toits en verre, terrasses	Même degré de pollution que la pluie elle-même. Accumulation lente de polluants dans le sol dans le cas d'une infiltration.	faible
Toitures composées principalement de matériaux inertes avec une part normale d'équipements métalliques: cuivre, zinc, étain, plomb	Accumulation rapide de métaux lourds dans les sols de dispositifs d'infiltration. Adsorbant conseillé pour des surfaces métalliques de 20 à 50 m <sup>2</sup> .	moyen
Toits à forte proportion d'éléments métalliques sans revêtement protecteur en cuivre, en zinc, en étain ou en plomb	Un traitement des eaux de ruissellement est nécessaire à la protection des eaux et des sols. Les surfaces suivantes sont considérées comme fortement polluantes: a) si infiltration, surfaces >50 m <sup>2</sup> b) si déversement, surfaces >500 m <sup>2</sup> .	élevé
<b>Parkings et surfaces de circulation</b>		
Entrées de maisons, auvents, parkings privés, trottoirs, pistes cyclables, chemins ruraux, parkings publics à faible rotation de stationnement	Faible pollution des sols ou des eaux souterraines pour une utilisation normale. Dégradation possible des composés organiques dans les surfaces perméables.	faible
Places de transbordement, de transvasement et de stockage de substances polluantes	Pertes par égouttement à partir des véhicules. Les polluants émis lors des travaux d'entretien, le transbordement ou transvasement des substances peuvent contaminer les sols et les eaux souterraines.	moyen
Parkings publics à forte rotation de stationnement (centres commerciaux)	Pollution assez importante des sols et des nappes. Dégradation partielle des polluants organiques dans les couches superficielles du sol des surfaces perméables.	moyen à fort
Routes	La pollution due à la circulation dépend de la fréquence de passage, de la composition du flux de véhicules, du mode de conduite et de l'entretien des véhicules. On observe en général une baisse exponentielle de la pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) du centre de la chaussée vers son accotement.	dépend de l'intensité de la circulation

Source	Polluant
<b>Toitures</b>	
Revêtements avec métaux lourds, ferblanterie, façades	cuivre, zinc, plomb, étain
Lessivage atmosphérique	pesticides (p. ex. atrazine)
Isolation de toits plats	pesticides (p. ex. mécoprop)
<b>Chaussées</b>	
Essences, pots catalytiques	plomb, nickel, cobalt, platine, palladium, rhodium, HAP, MTBE
Freins	cuivre, chrome, nickel, plomb, zinc, fer
Pneus	zinc, plomb, cuivre, chrome, nickel, cadmium
Revêtement des routes	nickel, manganèse, plomb, chrome, zinc, arsenic, HAP
Entretien des voiries	pesticides, sels

Tab. 2: Polluants contenus dans les eaux de ruissellement de toiture et de voirie.

lors de l'évacuation des eaux des voies de communication» et la directive sur l'«Evacuation des eaux pluviales» [1, 2].

Les voies de communication (routes, aéroports, voies ferrées) représentent près de 60% et les toitures environ 30% des surfaces stabilisées de la Suisse. C'est donc sur les polluants véhiculés par ces supports qu'il convient de se concentrer (Tab. 2). Le tableau 3 indique les concentrations moyennes en polluants provenant de différents types de routes et de toits.

Dans le flux total qui s'écoule des zones urbaines, l'entraînement de métaux lourds en provenance des toitures occupe la place prédominante. Ainsi, le cuivre des toitures peut représenter selon les bassins versants entre 30 et 60% de la charge totale en cuivre des eaux usées communales. Une étude portant sur la nature des métaux actuellement employés dans la couverture

Paramètre	Unité	Toits végétalisés	Toit plat avec gravier	Toit à tuiles avec équipements métalliques	Toits métalliques en Cu, Zn, Pb	Auto-routes	Routes régionales
Référence		EAWAG	EAWAG	EAWAG	EAWAG	EAWAG	Xanthopoulos & Hahn [10]
pH		6,7–7,5	5,5–7,9	5,5–7,5	–	7,0–7,5	6,4
COT	mg C/l	4–20	5–10	5–15	–	10–20	–
COD	mg C/l	–	3–10	2–14	–	5–10	12
MEST	mg/l	–	2–5	15–40	–	150–250	560
NO <sub>3</sub>	mg N/l	1–2	2–5	0,3–0,7	–	6	0,6
Ca	mg/l	20–60	10–25	1,5–2,5	–	–	–
Pb	µg/l	6–15	2–10	10–70	5000–7000	300	311
Cd	µg/l	i.s.d.	0,05–0,1	0,1–0,5	–	4,5	6,4
Cu	µg/l	5–10	15–25	100–300	800–2000	150	108
Zn	µg/l	i.s.d.	10–40	50–200	1000–4000	500	603
HAP	µg/l	–	–	–	–	3	3,1
Atrazine	ng/l	–	100	100–1600	–	–	–
Mécoprop	ng/l	–	1500–5000	–	–	–	–

Tab. 3: Concentration moyenne rapportée à la charge des eaux de ruissellement de toiture et de voirie. COT = Carbone organique total, COD = Carbone organique dissous, MEST = Matières en suspension totales, HAP = Hydrocarbures aromatiques polycycliques, i.s.d. = inférieur au seuil de détection, – = paramètre non mesuré.

des toitures a révélé que 30% des parties métalliques sont réalisées en zinc et 70% en cuivre. Cela correspond à 2,9 m<sup>2</sup> de tôle de cuivre par habitant.

### Les polluants des toitures et voiries

L'EAWAG étudie en ce moment, en collaboration avec le Laboratoire de protection des eaux du canton de Berne et la TH de Burgdorf, le comportement de différentes toitures modèles par temps de pluie. L'expérimentation porte sur huit formes de toitures: le toit plat avec gravier comme référence, quatre formes de toits plats végétalisés, un toit à couverture de tuiles équipé de ferblanteries en cuivre et deux toits métalliques, l'un en alliage cuivre-titane-zinc, l'autre en cuivre étamé (Fig. 1). L'étude teste également un filtre d'adsorption sur lequel sont dirigées les eaux de ruissellement des toi-

tures. Comme on pouvait s'y attendre, les toits métalliques ou à ferblanterie présentent les taux les plus élevés d'entraînement de cuivre et de zinc (Fig. 2). Le filtre permet cependant une rétention de 97% de ces métaux.

Dans le cadre de deux autres projets, l'équipe de Burgdorf analyse l'entraînement par ruissellement et le devenir des polluants d'une route très fréquentée (Fig. 3). Le premier projet se penche sur l'efficacité de trois types de filtres adsorbants qui reçoivent les eaux de ruissellement de la route. Les premiers résultats montrent que le meilleur de ces filtres retient plus de 95% du cuivre et du zinc contenus dans ces eaux. Le deuxième projet étudie les accotements qui subissent depuis 30 ans les effets d'une circulation importante pour obtenir des informations sur le transport et l'accumulation dans le sol de polluants spécifiques de la

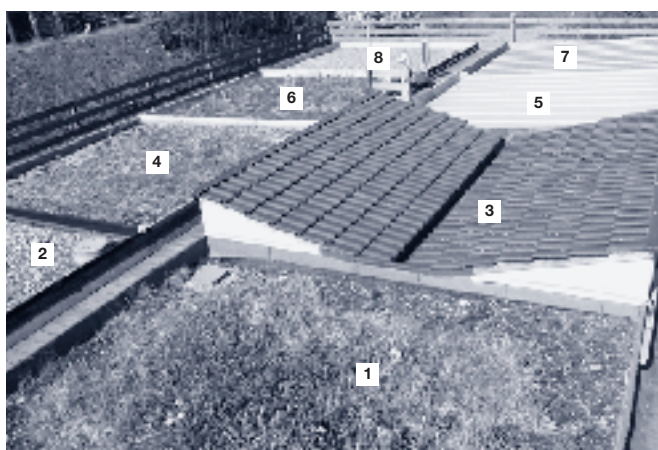


Fig. 1: Les toitures modèles étudiées.

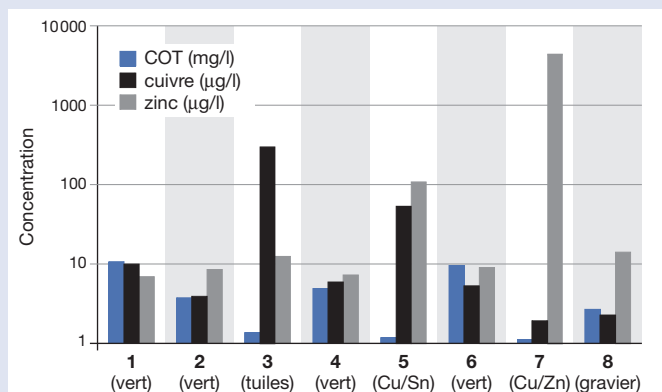


Fig. 2: Concentrations moyennes en cuivre, en zinc et en carbone organique total (COT) dans les eaux de ruissellement des toitures étudiées.



Fig. 3: Raccordement du dispositif expérimental au captage des eaux de ruissellement de la route.

circulation automobile. Les enseignements tirés de cette étude doivent contribuer à une meilleure conception des accotements routiers.

Selon la nature de la surface sur laquelle elle s'écoule et la durée de l'épisode pluvieux, l'eau de pluie peut renfermer des concentrations de polluants très variables. Au début de l'épisode pluvieux, ces concentrations sont particulièrement élevées (Fig. 4), on parle alors du «premier flot» ou «first flush» [3]. Il existe cependant un certain nombre de substances qui ne sont entraînées qu'au bout d'un certain temps. C'est le cas du mécoprop, un pesticide utilisé dans l'isolation des toits plats et qui ne se dissout que lorsque le toit est suffisamment humide (Fig. 4).

### Effets du nouveau concept d'assainissement pluvial

Les nouvelles voies d'évacuation des eaux pluviales sont clairement définies dans les instructions et directives suisses. Les priorités sont définies comme suit:

1. Infiltration sur place, 2. déversement direct dans une masse d'eau superficielle et

seulement 3. déversement dans le réseau unitaire. De plus, la réutilisation des eaux pluviales fait l'objet d'un intérêt grandissant [4].

Mais, quelle que soit la voie par laquelle les eaux pluviales atteignent le milieu naturel ou le lieu d'un quelconque usage, les polluants qu'elles renferment causent une contamination progressive des eaux, des sols et des sédiments. Si l'on considère par exemple la concentration en cuivre des sédiments du lac Léman dans la zone de Lausanne, on comprend vite que les déversements d'effluents issus d'un réseau unitaire ou séparatif peuvent constituer une réelle menace pour l'environnement (Fig. 5) [5]. A leur point de déversement, on mesure en effet des concentrations de plus de 500 mg de cuivre par kg de sédiment. Une étude parallèle révèle que le plancton subit lui aussi les effets délétères de cette pollution [5].

Etant donné que la nouvelle définition des priorités d'action dans le domaine de l'assainissement pluvial ne trouve d'application que dans le cadre de réfections et de nouvelles constructions, le changement d'orientation mettra des décennies à se traduire par un changement d'état. Il reste donc suffisamment de temps pour travailler à une conception novatrice des mesures compensatoires de manière à obtenir une minimisation de la pollution due au rejet des eaux pluviales dans le milieu naturel. Nous disposons pour ce faire de deux moyens: la lutte contre les sources de pollution («source control») et l'édification de barrières à la pollution («barrier systems»).

### Lutte contre les sources de pollution

La clé d'une attitude durable vis-à-vis de l'eau consiste à éviter la production de rejets polluants. Cette action peut se faire par la voie d'instruments législatifs, d'inci-

tations économiques ou de restrictions volontaires et conduit généralement à une solution durable. Mais étant donné que les polluants s'accumulent très lentement dans les sols et les sédiments, il ne faut pas attendre de résultats avant des dizaines d'années. Ce problème est donc loin d'être explosif d'un point de vue politique, ce qui fait que des mesures légales, sous la forme d'interdictions par exemple, auraient peu de chances de succès. Il faut davantage chercher des possibilités de lutte contre les sources de pollution du côté de l'information et de la formation des acteurs impliqués sur les nuisances écologiques et écotoxicologiques, de directives, d'aides à l'utilisation de matériaux non polluants dans le bâtiment, la construction de routes et l'industrie automobile, ainsi que de la sensibilisation de la population à certains problèmes d'environnement par le biais des médias. La recommandation de la Coordination des services fédéraux de la construction et de l'immobilier sur les «Métaux pour toitures et façades» à l'intention des architectes et maîtres d'œuvre en est un exemple bienvenu, puisqu'elle informe sur la possibilité d'utilisation écologique des matériaux métalliques pour l'extérieur des bâtiments. Tout en présentant le cuivre, le zinc et le plomb comme les métaux les plus nuisibles à l'environnement, elle propose une série de solutions alternatives [6].

### Edification de barrières à la pollution

Malgré les efforts fournis pour limiter les pollutions à la source, il n'en reste pas moins que des quantités considérables de matériaux indésirables sont intégrées à des constructions et qu'il faudra des décennies pour qu'ils soient remplacés par des matériaux plus écologiques. Pendant ce temps, la pollution due à la corrosion des métaux et au rejet de micro-polluants organiques

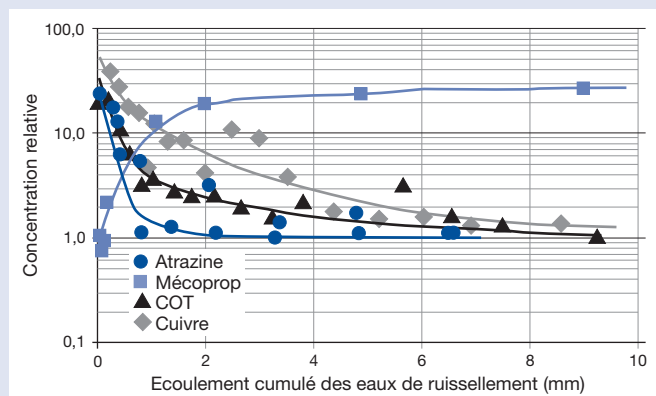


Fig. 4: «Premier flot» de différents polluants des eaux de ruissellement de toiture. L'atrazine et le mécoprop sont des pesticides. COT = Carbone organique total.

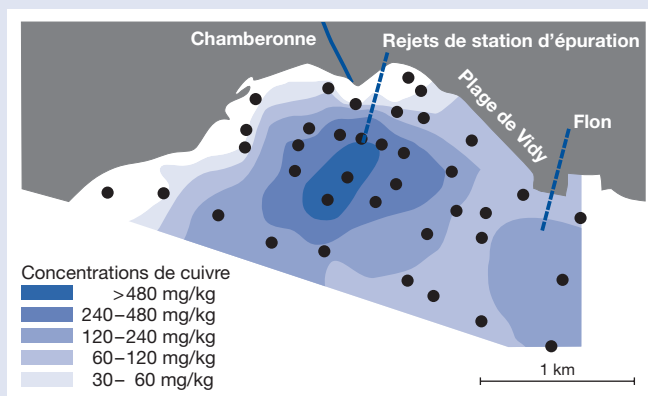


Fig. 5: Accumulation de cuivre dans les sédiments du lac Léman (Baie de Lausanne) suite au déversement d'eaux usées. Le Flon arrive par une conduite souterraine.

ne va cesser d'augmenter. Pour faire face à cette situation, il est besoin dans l'immédiat de systèmes de barrières assurant une large protection des eaux, des sols et des sédiments.

L'installation de barrières mécaniques s'opposant au transport de certains polluants est l'une des techniques envisageables pour dévier, retenir ou concentrer les substances indésirables. Mais ce genre de barrières ne permet jamais une élimination à 100% des polluants. Les solutions envisagées actuellement consistent plutôt en une infiltration des eaux pluviales dans des sols naturels ou par leur filtration sur des supports adsorbants artificiels et granulaires.

**Passage dans les sols naturels.** Les sols naturels suffisamment perméables sont bien adaptés à la rétention de polluants. Le substrat pédologique est généralement disponible sur place et peut être utilisé dans des champs d'infiltration. De nombreuses études ont démontré que les polluants visés étaient généralement retenus dans les 30 à 50 cm les plus superficiels du sol. Etant donné qu'ils ne sont pas biodégradables, ils vont s'y accumuler pendant une longue période de temps. Cette technique implique donc à moyen ou à long terme un dépassement des seuils fixés par les lois de protection des sols et de gestion des déchets. L'inconvénient de la filtration par le sol est qu'un bien naturel est utilisé comme réservoir de polluants et transformé en déchet spécial. Il sera nécessaire d'envisager un traitement du sol ou bien la mise en décharge de sa partie contaminée au plus tard au moment de l'abandon du dispositif.

**Adsorbants artificiels.** Grâce à une capacité de rétention beaucoup plus importante, l'utilisation de substrats d'adsorption spéciaux présente par rapport aux sols naturels l'avantage d'une diminution du volume pollué et d'un meilleur rendement. Différentes études pilotes et expérimentales de l'EAWAG, de même que les premières ins-

tallations à échelle réelle, confirment l'aptitude des adsorbants à remplir leur fonction [7]. Parmi différents supports d'adsorption envisagés, l'hydroxyde de fer granulaire s'est avéré particulièrement efficace pour la rétention des métaux lourds (Fig. 6). L'accumulation obtenue est environ 10 fois plus élevée que pour les sols naturels, ce qui signifie que le volume pollué à éliminer est d'autant plus faible.

Etant donné l'efficacité exceptionnelle de ce système, l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) demande explicitement l'utilisation de systèmes d'adsorption pour les toits cuivrés ou zingués: pour les surfaces de plus de 50 m<sup>2</sup> quand les eaux de ruissellement sont destinées à l'infiltration, ainsi que pour les surfaces de plus de 500 m<sup>2</sup> quand les eaux de ruissellement sont destinées au rejet direct dans le milieu naturel aquatique [2].

### Intégrer les eaux de pluie dans l'aménagement du milieu environnant

Jusqu'à présent, les ouvrages de collecte des eaux pluviales devaient être aussi discrets que possible. Aujourd'hui, les architectes et les maîtres d'œuvre sont invités à intégrer les eaux de pluie dans ce que l'on pourrait appeler un «aménagement bleu-vert du milieu environnant». Les nouveaux systèmes d'écoulement des eaux pluviales pourraient être conçus de manière à combiner de façon créative les fonctions peu attrayantes de rétention des eaux, de filtration des polluants, d'infiltration ou de déversement direct des eaux et à les intégrer de façon esthétique dans l'environnement urbain quotidien. Les toits végétalisés, fossés, bandes d'infiltration, étangs, marais et autres espaces verts aménagés sont autant d'éléments d'architecture urbaine qui accompagnent les eaux pluviales vers leur point d'infiltration, de déversement ou d'utilisation [8, 9].

### Un challenge pour les ingénieurs, les scientifiques et les inventeurs

La mise en pratique des nouveaux concepts d'assainissement pluvial prendra des dizaines d'années. Le renouvellement des systèmes d'assainissement pluvial n'est qu'un élément de la profonde mutation qui s'amorce dans le domaine de la gestion des eaux urbaines et qui implique des changements considérables, tant au niveau de l'adduction d'eau que de l'assainissement. La séparation des flux au niveau des eaux entrant et sortant des zones urbaines occupe une place centrale dans les nouvelles approches. Il est ainsi question de systèmes duaux d'approvisionnement (séparation de l'eau potable et de l'eau non potable), de subdivision des flux d'eaux usées en flux d'eaux grises et d'eaux noires, de séparation des urines, de gestion des éléments nutritifs à la source ou de toilettes à sec, autant d'éléments qui, comme d'autres systèmes de technique ménagère, font actuellement l'objet de recherches en laboratoire et dans la pratique. Les nouveaux concepts de gestion des eaux urbaines exigent, de la part des ingénieurs, des scientifiques et des inventeurs, une implication dans les processus d'étude et d'application de technologies et solutions novatrices. Ces efforts sont motivés par l'espoir de voir dans l'avenir la gestion des eaux urbaines remplir ses fonctions dans une optique réellement compatible avec le développement durable.



Markus Boller, ingénieur, dirige la division de «Gestion des eaux dans les zones urbaines» de l'EAWAG. Il est professeur titulaire enseignant dans le domaine de l'approvisionnement en eau et des technologies de l'eau à l'EPF de Zurich. Ses activités de

recherche portent sur l'approvisionnement en eau, l'assainissement pluvial et le recyclage des éléments nutritifs.

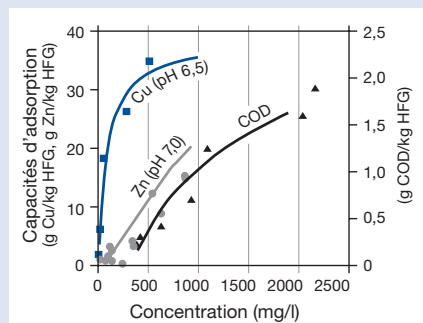


Fig. 6: Isothermes d'adsorption du cuivre, du zinc et du COD sur l'hydroxyde de fer granulaire (HFG). COD: Carbone organique dissous.

- [1] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP (2002): Instructions – Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication. OFEFP, Berne, 57 p.
- [2] Association suisse des professionnels de la protection des eaux VSA (2003): Directive – Evacuation des eaux pluviales. VSA, Zurich, 120 p.
- [3] Boller M. (1998): Eaux pluviales: solutions d'avenir. EAWAG news 44, 6–11.
- [4] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2003): Regenwasser richtig nutzen. BUWAL, Bern, 15 S.
- [5] Rossi L., Loizeau J.-L., Wildi W. (2003): Contamination and toxicity of lake sediments due to urban stormwater pollution. SETAC Europe, 13<sup>th</sup> Annual Meeting, Hamburg Germany. Data from: Institut Forel (1996). Assainissement de la baie de Vidy: Qualité des sédiments, impact de la station d'épuration. Genève, Université de Genève, Institut Forel: 42.
- [6] Coordination des services fédéraux de la construction et de l'immobilier KBOB (2001): Métaux pour toitures et façades. Recommandation construction durable. KBOB, Berne, 10 p.
- [7] Steiner M. (2002): Kupferadsorption an granuliertem Eisenhydroxid, Dissertation, ETHZ/EAWAG, 157 S., im Druck.
- [8] Office de protection des eaux et gestion des déchets, Canton de Berne OPED (1999): Directives sur l'infiltration des eaux pluviales. OPED, Canton de Berne.
- [9] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP (2000): Ou évacuer l'eau de pluie? OFEFP, Berne, 59 p.
- [10] Xanthopoulos C., Hahn H. (1995): Schadstoffe im Regenwasserabfluss III. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, 537 S.

# L'étanchéité de nos égouts

**Les réseaux d'égouts urbains sont constamment soumis à des contraintes liées à la circulation automobile et aux mouvements du sol. Se surajoutant à la fatigue naturelle des matériaux, elles causent des dommages coûteux à l'infrastructure souterraine provoquant des exfiltrations d'eaux usées et des infiltrations d'eaux souterraines. L'EAWAG est actuellement en train de développer de nouvelles méthodes permettant de quantifier ces processus indésirables à l'aide de traceurs naturels et artificiels. Les informations obtenues sur l'étendue des infiltrations et exfiltrations doivent permettre d'établir un plan de réhabilitation plus efficace des égouts urbains.**

Même si les égouts urbains ont une durée de vie considérable, les détériorations qui se produisent avec le temps font que le système n'est plus étanche. Si des fissures se produisent au niveau des nappes phréatiques, il peut y avoir infiltration d'eaux souterraines propres. Si ces défauts se trouvent au-dessus du toit des nappes, les eaux usées s'infiltrent dans le sol environnant.

L'exfiltration d'eaux usées en provenance d'égouts non étanches est considérée comme une menace non négligeable pour l'homme et l'environnement car elle peut remettre directement en cause la qualité de l'eau potable [1]. L'infiltration d'eaux souterraines pose également un problème étant donné qu'elle induit une dilution des eaux d'égout et peut inutilement surcharger les stations d'épuration. Ces deux problèmes ne sont en général remarqués que quand ils prennent une dimension considérable.

C'est principalement dû au fait que les égouts se trouvent en sous-sol et que les processus sont «invisibles». De plus, les méthodes de détection traditionnelles sont d'application difficile et donnent des résultats assez peu fiables (voir encadré).

C'est pour toutes ces raisons que l'EAWAG élabore en ce moment de nouvelles méthodes de quantification des infiltrations et exfiltrations. Ces recherches sont menées dans le cadre du projet européen APUSS («Assessment of the Performance of Urban Sewer Systems») lancé début 2001 et consacré à l'évaluation de la capacité de fonctionnement des réseaux d'égouts urbains sur la base des processus clés d'infiltration et d'exfiltration. Les méthodes développées dans ce cadre doivent permettre à l'avenir d'élaborer des concepts plus efficaces pour la réhabilitation des réseaux d'égouts urbains.

Les nouvelles méthodes sont basées sur l'utilisation de traceurs naturels et artificiels (voir encadré p. 30). A partir de l'augmentation ou de la diminution de la concentration de traceur, il est possible de calculer la quantité d'eau qui pénètre dans le réseau ou qui s'en échappe.

## Mesure des exfiltrations à l'aide de traceurs artificiels

La méthode de mesure des exfiltrations fait appel à des traceurs artificiels (voir encadré p. 30) introduits dans les eaux d'égout. Si le réseau d'égouts présente des fuites, une partie du traceur s'échappe du système en

même temps que les eaux usées qui s'infiltrent dans le sol. Cette perte peut être directement mise en relation avec l'importance de l'exfiltration, c'est-à-dire que si 10% des eaux marquées disparaissent, on mesure une perte de 10% du marqueur [2]. Cette méthode est essentiellement basée sur les principes suivants (Fig. 1):

- Une dose définie de traceur est introduite à deux points du système: au début (signal indicateur) et à la fin (signal de référence) du tronçon étudié. Le signal indicateur se trouve réduit sous l'effet des exfiltrations éventuelles qui se produisent le long du tronçon concerné et révèle donc si des fuites se sont produites ou non. Le signal de

### Méthodes de mesure traditionnelles

La quantité d'eau d'égout qui s'exfiltre est en général mesurée à l'aide d'essais d'étanchéité effectués avec de l'eau ou de l'air [3]. En plus de leur prix élevé, ces tests présentent l'inconvénient de ne donner d'informations que sur l'exfiltration qui se produit à un endroit donné et qui ne peut être extrapolée à l'ensemble du réseau. Les méthodes classiques ne permettent donc pas de déterminer la quantité d'eau polluée qui s'échappe du système donnée qui serait pourtant indispensable à une bonne planification de la réhabilitation du réseau.

Pour déterminer l'importance des infiltrations d'eau de nappe, on s'appuie traditionnellement sur de simples mesures de débit d'écoulement [4]. On considère que le débit minimal mesuré, en général dans la nuit du dimanche au lundi, est uniquement dû à ce que l'on appelle les eaux claires parasites et que la part d'eaux usées est négligeable. Cette supposition est cependant de moins en moins justifiée à l'heure actuelle. En effet, de plus en plus de ménages utilisent les appareils électroménagers consommateurs d'eau la nuit pour réduire leurs coûts de fonctionnement. De plus, les réseaux d'assainissement sont de plus en plus étendus étant donné la croissance incessante des agglomérations. Certains tronçons véhiculent ainsi des effluents à toute heure du jour et de la nuit car les ondes d'écoulement d'eaux usées proviennent de secteurs plus ou moins éloignés et se succèdent donc avec différents temps de décalage.

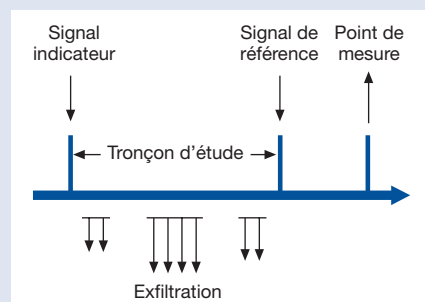


Fig. 1: Conception schématique d'un essai de quantification des exfiltrations.

## Traceurs naturels et traceurs artificiels

Les *traceurs artificiels* comme p. ex. certains colorants simples ou fluorescents, certaines particules, le chlore sous forme de chlorure de sodium ou le lithium sous forme de chlorure de lithium, sont des substances que l'on verse dans l'eau à un endroit donné pour en mesurer la présence un peu plus loin. Leurs caractéristiques:

- n'être naturellement présents qu'en très faible quantité,
- être détectables à très faible concentration,
- ne pas se lier à d'autres substances,
- ne pas être toxiques,
- être facilement solubles dans l'eau et bien s'y mélanger,
- être bon marché.

On utilise comme *traceurs naturels* des caractéristiques spécifiques des eaux potables, souterraines ou usées, comme p. ex. leur composition isotopique, qui permettent de les distinguer les unes des autres.

référence n'est pas influencé par les exfiltrations, il sert donc de référence et permet de quantifier la baisse du signal indicateur. Il est très important que le traceur se mélange parfaitement aux eaux d'égout.

■ Si le traceur est introduit par à-coups dans le système, il peut n'être fait usage que d'une seule substance car le passage du traceur au point de mesure se traduit par une courbe à impulsions (Fig. 2). Les mesures sont faites directement dans le flux d'eaux usées à l'aide de sondes «en-ligne» qui donnent une très bonne résolution temporelle. Grâce à la nature très dynamique du signal, il est possible dans une seule mesure de faire la différence entre l'impulsion indicatrice, les impulsions de référence et le bruit de fond naturel. Si l'introduction du traceur se fait de façon continue, deux substances différentes sont nécessaires, ce qui nécessite une mesure double.

■ Les introductions de traceur aux points de référence et d'indication sont effectuées avec un temps de décalage de manière à ce que les deux signaux arrivent simultanément au point de mesure produisant une superposition des pics mesurés (Fig. 2). En procédant de cette manière, on est assuré du fait que les sources d'erreur (liées p. ex. à des changements de composition des eaux usées ou à des défections de l'appareil de mesure) sont les mêmes pour les deux signaux et que donc elles s'éliminent.

■ Etant donné que la quantité de traceur injectée au point d'indication est connue, on peut estimer à partir de la surface sous le signal de référence quelle serait la surface sous le signal indicateur en cas d'absence de fuites. Si on compare le signal indica-

teur mesuré au signal indicateur calculé, on peut conclure à l'étanchéité ou au manque d'étanchéité du secteur contrôlé.

## NaCl comme traceur d'exfiltration

La figure 2 illustre une expérimentation typique réalisée avec du NaCl comme traceur salin. Dans cet essai, des sondes à conductivité ont été utilisées pour mesurer de manière indirecte la concentration en NaCl de l'eau. La longueur du tronçon étudié est de 285 m, le débit moyen par temps sec est de 25 l/s, la concentration moyenne naturelle de fond correspond à une conductivité de 0,8 mS/cm; en général, il est plutôt conseillé d'étudier de grandes distances (jusqu'à plusieurs kilomètres), ce qui permet de détecter un maximum de fuites potentielles. Avant de démarrer l'expérience, il est important d'observer l'écoulement et la conductivité des eaux d'égout pendant deux jours. Ceci permet de calculer la quantité de NaCl à verser dans le système aux deux points d'injection. Dans l'essai présenté ici, 1,9 kg de NaCl ont été versés au point d'indication et 3 fois 0,4 kg de NaCl env. dix minutes plus tard au point de référence. Le dépouillement des résultats obtenus a révélé que le tronçon choisi pour l'essai ne présentait pas de fuites.

## Mesure d'infiltrations à l'aide de traceurs naturels

Les traceurs artificiels ne conviennent pas à la quantification des infiltrations. Il est pratiquement impossible d'obtenir un marquage homogène dans toute une nappe phréatique et une telle action ne serait de toute façon pas compatible avec les préoccupations de protection de l'environnement. Ce sont donc les particularités locales naturelles de l'eau potable, de l'eau souterraine et de l'eau d'égout qui sont utilisées comme traceurs de mélange ou de dilution (voir encadré).

Il n'est cependant qu'exceptionnellement possible de trouver des traceurs naturels directs étant donné que les eaux usées véhiculent une multitude de substances qui composent leur charge polluante. Les concentrations de ces substances varient considérablement au cours d'une seule journée et peuvent facilement masquer le signal naturel pris comme traceur. La composition isotopique de l'eau constitue par contre un bon système de traçage. Elle dépend notamment de l'altitude topographique à laquelle les aquifères ou les eaux de surface se rechargent par l'apport de précipitations. Cette méthode peut être employée dans des cas particuliers, c'est-à-

dire p. ex. quand une commune tire son eau potable d'un bassin hydrologique situé à une altitude supérieure ou inférieure à la sienne. On observe alors des différences très nettes entre les compositions isotopiques de l'eau potable, de l'eau souterraine et de l'eau d'égout qui permettent une bonne détermination de la part d'eaux claires parasites infiltrées.

Pour un domaine d'application plus général, une autre méthode semble bien plus prometteuse. Elle permet en effet de déterminer la part d'eau infiltrée par une analyse combinée de l'hydrogramme et de l'évolution dans le temps des concentrations de polluants. La demande chimique en oxygène (DCO) constitue p. ex. un bon paramètre descriptif de la charge en polluants. Elle indique combien il faut d'oxygène pour obtenir une oxydation totale des polluants organiques et inorganiques contenus dans les eaux usées. Les nouvelles sondes en ligne permettent une détermination directe des concentrations d'équivalents DCO à partir de l'absorption de la lumière dans le domaine ultraviolet (Fig. 3). Elles indiquent les valeurs recherchées avec une très bonne résolution temporelle et livrent donc les bases d'une analyse différenciée des données et des erreurs.

## Les polluants en tant que traceurs d'infiltration

La figure 3 montre les résultats d'une campagne de mesures effectuée pendant l'hiver 2002/2003 dans le flux entrant d'une station d'épuration intercommunale traitant les

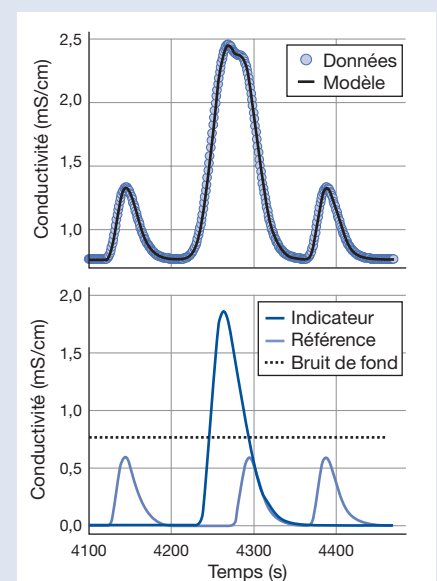


Fig. 2: Résultats d'un essai de quantification des exfiltrations. Du NaCl est utilisé comme traceur artificiel. En haut: mesure et simulation des signaux émis par le traceur. En bas: découpage du signal mesuré en signal indicateur et signal de référence après soustraction du bruit de fond naturel.



Essai «Exfiltrations»: apport d'une solution de NaCl comme signal de référence.

eaux usées d'environ 23 000 habitants raccordés. Les concentrations d'équivalents DCO et la quantité d'effluent ont été enregistrées avec une résolution temporelle de 3 minutes. L'exploitation des données a été effectuée à l'aide d'un modèle de mélange utilisant les deux types de valeurs. Pour faire fonctionner le modèle, il a été nécessaire de faire un certain nombre de suppositions sur la base d'informations externes: La DCO des eaux claires parasites infiltrées est considérée comme négligeable. Le flux d'eau infiltrée est subdivisé en une composante fixe correspondant à l'écoulement de base et une composante variable correspondant à l'écoulement transitoire qui diminue de façon exponentielle avec le temps. Dans le cas le plus simple présenté ici, on a supposé que la DCO moyenne de la part d'eaux usées était à peu près constante. La variation de la DCO dans les eaux d'égout étudiées est le résultat de l'évolution dans la journée de la quantité des eaux usées rejetées dans les égouts (rythme de 24 h) et des entrées d'eaux claires qui ne varient que très lentement (baisse exponentielle du flux après des fortes pluies). Par contre le modèle ne tient pas compte d'épisodes pluvieux de courte durée comme celui du 26.12.2002 (augmentation subite du flux d'eaux usées sur le coup de midi).

## Les méthodes sont-elles adaptées à la pratique?

Pour permettre une application pratique des méthodes de mesure des exfiltrations au contrôle de divers réseaux d'égouts, nous travaillons actuellement à l'élaboration d'un guide pratique méthodologique. Celui-ci doit permettre de choisir la meilleure combinaison de traceurs, techniques de mesure et protocoles de dosage pour réaliser dans la pratique les meilleurs essais possibles. Les résultats de notre expérimentation de terrain indiquent que la limite de détection des exfiltrations se situe actuellement aux alentours de 10%. Etant donné qu'il faut en général s'attendre à des pertes d'eaux d'égouts inférieures à 5%, notre méthode doit cependant atteindre une plus grande précision avant de trouver une application pratique.

L'avantage pour le praticien de notre méthode de mesure des infiltrations par rapport aux méthodes classiques, dans le sens d'un gain d'informations, dépend avant tout de la justesse des suppositions faites lors de la modélisation. D'autre part, pour atteindre l'exactitude souhaitée de 10 à 20%, il est nécessaire de disposer de mesures précises des débits et des concentrations de polluants. Une comparaison de nos résultats avec ceux de la méthode isotopique nous permettra de parfaire la validation de notre approche.

Dans le cadre du projet APUSS, les deux méthodes sont actuellement appliquées à titre expérimental, et ce dans divers pays au diagnostic de différents types de réseaux d'assainissement.

## Infiltrations et exfiltrations comme instruments de «benchmarking»

Si les paramètres d'infiltration et d'exfiltration s'établissaient en tant qu'indicateurs

au niveau national ou international, ils permettraient un «benchmarking» des réseaux d'assainissement. Il est actuellement très difficile d'effectuer une évaluation comparée de l'état structurel de différents types de réseaux d'égouts. Premièrement parce qu'il faut des années pour établir un diagnostic à l'aide de la méthode habituelle qui consiste en l'inspection d'égout par caméra mobile (télévisions en circuit fermé – CCTV). Deuxièmement parce que la classification des dégradations constatées varie en fonction de la technique utilisée et de la personne qui effectue le contrôle, ce qui rend les comparaisons délicates. Il n'est donc possible de procéder à une comparaison objective de différents réseaux d'égouts ou de différents modes de gestion que si l'on dispose de méthodes livrant des résultats suffisamment reproductibles. L'avenir dira si notre méthode a pu atteindre une exactitude suffisante pour lui permettre de répondre à ces préoccupations.



Jörg Rieckermann, ingénieur, se consacre dans le cadre de la thèse qu'il effectue au sein de la division de «Génie de l'environnement» au développement d'une méthode de mesure des exfiltrations à l'aide de traceurs artificiels.

Coauteurs: Oliver Kracht, Willi Gujer

- [1] Bishop P.K., Misstear B.D., White M., Harding N.J. (1998): Impacts of sewers on groundwater quality. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environment Management* 12, 216–223.
- [2] Rieckermann J., Gujer W. (2002): Quantifying exfiltration from leaky sewers with artificial tracers. *Proceedings of the International Conference on «Sewer Operation and Maintenance 2002»*. Bradford, UK.
- [3] Stein D. (1999): *Instandhaltung von Kanalisationen*. Ernst & Sohn, Berlin, 948 S.
- [4] Schweizer Bundesamt für Umweltschutz (1984): *Methoden zur Bestimmung der Fremdwassermenge in Kanalisationen und Kläranlagen*. Bundesamt für Umweltschutz, Bern, 51 S.

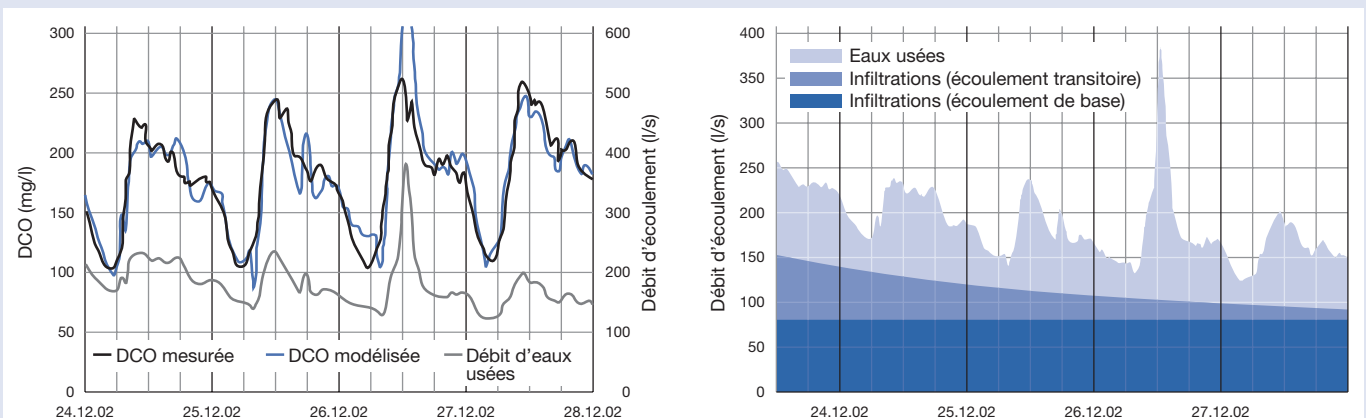


Fig. 3: Résultats d'une campagne de mesures destinée à la quantification des infiltrations. Le traceur naturel utilisé est la demande chimique en oxygène (DCO). A gauche: comparaison des mesures de DCO avec les valeurs livrées par le modèle. A droite: identification de diverses proportions d'eaux claires parasites. Dans la partie de canalisation étudiée, les eaux claires parasites représentent en moyenne 60% de l'écoulement des eaux d'égout.

# La gestion des réseaux d'assainissement sur la sellette

**Chaque année, 2 milliards de tonnes d'eaux usées sont évacuées des zones urbanisées, traitées et restituées au cycle naturel de l'eau. Pour que cette énorme quantité puisse être gérée, un déroulement efficace des processus techniques et organisationnels est indispensable. Des lacunes éventuelles au niveau de l'organisation ne constituent donc pas seulement un problème économique mais peuvent aussi représenter un risque considérable. Il est donc fortement souhaitable que l'évaluation et l'optimisation des processus organisationnels fassent partie intégrante de la gestion des réseaux. Les méthodes d'autoévaluation et d'optimisation nouvellement développées à l'EAWAG permettent maintenant d'effectuer une analyse complète suivie d'une amélioration des procédés employés.**

Dans notre société, l'assainissement des eaux n'a plus aujourd'hui l'importance qui lui était encore accordée il y a ne serait-ce que quelques décennies. Les problèmes des milieux aquatiques semblent résolus, l'hygiène des zones urbaines semble assurée et la qualité de l'eau de consommation est conforme à la législation. Tout citoyen attend des gestionnaires et des pouvoirs publics d'être prémuni contre les pannes, d'être informé sur l'utilisation des finances publiques et d'être impliqué de façon démocratique dans les décisions importantes (Tab. 1). En tant que client, il entend bénéficier de tarifs modérés pour le raccordement au réseau et l'évacuation des eaux usées, il veut pouvoir utiliser le réseau quand bon lui semble (7 j sur 7 et 24 h sur 24) et souhaite

que la démarche d'autorisation de raccordement soit aussi simple que rapide. Les professionnels de l'assainissement doivent de plus en plus faire face à ces exigences qui leur demandent de faire l'impossible avec les moyens existants.

## Des lacunes au niveau de l'organisation

Un certain nombre de déficits d'ordre organisationnel rendent cependant cette tâche difficile, s'opposant à long terme aussi bien à une gestion rentable des réseaux qu'à un bon entretien des stations d'épuration. Ces lacunes trouvent p. ex. leur origine dans la division du travail encore fondée sur une subdivision fonctionnelle des tâches, dans le fonctionnement en haut-régime au niveau

opérationnel mais à bas-régime au niveau stratégique, de même que dans l'attribution mal définie des domaines de compétence. Suite à ces déficits, les processus organisationnels sont caractérisés par de nombreuses interfaces internes, un fort besoin de coordination, de longs délais de traitement des dossiers ainsi que par un certain surmenage du personnel d'encadrement. A cela s'ajoute le fait que les informations nécessaires aux prises de décision sont souvent incomplètes, de qualité insuffisante, ou tout simplement inexistantes. Cette situation est liée à une mauvaise définition de l'attribution des tâches car quand on ne sait pas exactement à qui incombe telle ou telle tâche, il est impossible de savoir à qui doit parvenir telle ou telle information.

Il est rare de trouver dans le domaine de l'assainissement une définition explicite des objectifs d'exploitation qui aille au-delà du respect des normes de rejet dans les rivières. D'après un sondage de l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) [1], 54% des communes et syndicats intercommunaux suisses interrogés ne se préoccupent pas du tout ou que très partiellement d'une extension des objectifs ou de l'établissement de plans pluriannuels. Le résultat est encore plus mauvais si on considère leur attitude par rapport à une vision directrice:

Groupe d'intérêts	Intérêts
Citoyens	<ul style="list-style-type: none"> <li>Des eaux propres et une eau potable irréprochable</li> <li>Participation démocratique à la prise de décision</li> <li>Sécurité en cas de pannes et d'accidents</li> <li>Faible degré de nuisances (p. ex. bruit, odeurs)</li> <li>Information et transparence</li> </ul>
Clients-usagers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faibles taxes de raccordement et d'évacuation des eaux usées</li> </ul>
Industrie/gros clients («key account»)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avantages économiques (p. ex. liquidités)</li> <li>Conditions contractuelles flexibles</li> <li>Procédures d'autorisation simples et rapides</li> </ul>
Clients privés/professionnels (propriétaires terriens ou fonciers, producteurs d'eaux usées)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faibles taxes de raccordement et d'évacuation des eaux usées</li> <li>Procédures d'autorisation simples et rapides</li> <li>Pas de limitation des libertés personnelles</li> </ul>
Services cantonaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respect des normes et exigences fixées par la loi</li> <li>Moyens raisonnable pour les contrôles</li> <li>Bonne acceptation des mesures préconisées</li> </ul>

Tab. 1: Quelques groupes ayant des exigences vis-à-vis de l'assainissement et leurs intérêts [2].

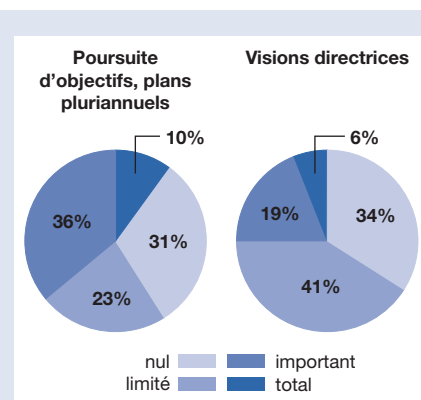


Fig. 1: Degré de considération de la poursuite d'objectifs, des plans pluriannuels et de visions directrice dans 50 communes et syndicats intercommunaux [1].

seuls 25% des services interrogés affirment se préoccuper de questions fondamentales concernant leur propre organisation ou leur évolution future (Fig. 1). Le manque d'objectifs précis et d'instruments de contrôle correspondants a pour conséquence une sous-estimation ou une sur-estimation de la qualité produite, une mauvaise préparation à des événements imprévus ainsi qu'une certaine concentration des pouvoirs notamment en ce qui concerne le budget, les effectifs ou le valeur de l'installation gérée.

## Définir les aspects à réformer en priorité

Pour les entreprises concernées, l'identification des déficits organisationnels est loin d'aller de soi. La situation est rendue encore plus difficile par le fait que les services relevant du secteur de l'assainissement sont «protégés» par un certain nombre de monopoles. Ainsi, un monopole d'état règle la délivrance des autorisations et un monopole naturel résulte de la nécessité d'utiliser le réseau, alors qu'un monopole de droit provient quant à lui de l'obligation de raccordement. De cette manière, le traitement des eaux usées n'est soumis à aucun marché et ne profite donc pas des mécanismes d'autorégulation qui conduisent dans toute entreprise normale à une mise en œuvre plus efficace des moyens existants pour une optimisation des services assurés.

Malgré cette situation défavorable, il existe un certain nombre de paramètres qui peuvent être évalués pour estimer la qualité des prestations assurées par un dispositif d'évacuation des eaux polluées:

### Comparaison des données caractéristiques.

En comparant les chiffres d'une entreprise donnée avec ceux d'autres organisations, il est possible de comparer les résultats des processus de production (p. ex. taxes de

raccordement et d'exploitation). Certains projets nationaux et internationaux se sont donnés pour but de définir des grandeurs caractéristiques fiables pour le secteur de l'assainissement. L'expérience montre cependant qu'il est difficile d'obtenir des données vraiment comparables qui tiennent compte des différences de contexte et des particularités des installations considérées (normes de rejets, système d'évacuation des eaux, taille du secteur d'assainissement, topographie, comptabilité ...).

**Benchmarking des processus.** Un benchmarking des processus consiste à comparer les prestations de sa propre entreprise avec les mêmes prestations fournies par les meilleures autres entreprises du secteur. Cette démarche donne des informations sur l'efficacité de ses propres processus ainsi que sur leur coût. De par la comparaison constructive des points faibles des différentes organisations qu'il comprend de manière implicite, le benchmarking permet d'autre part de se rendre compte des mesures qu'il serait souhaitable d'appliquer pour améliorer le rendement de l'entreprise.

### Interrogation des clients et réclamations des usagers.

Le suivi des réclamations et plaintes adressées à l'entreprise suite p. ex. à des obstructions de la circulation, au dégagement d'odeurs nauséabondes ou au manque d'amabilité des personnes répondant au téléphone, est un bon moyen de dégager les améliorations envisageables en son sein. On peut également se servir de questionnaires soumis à la clientèle.

**Controlling.** Le controlling consiste à établir une liste comparative des prestations fournies et des coûts qu'elles engendrent. Cette démarche présuppose cependant une définition claire des prestations à fournir ainsi que le contrôle systématique de leur réalisation.

**Consultation des employés.** Les fichiers de maladies et de fluctuations du personnel donnent de précieuses informations, en particulier dans les grandes entreprises.

**Auto-surveillance.** L'auto-surveillance de l'entreprise donne des informations sur l'efficacité des installations techniques et de sa gestion du moment.

Chacun des paramètres décrits fournit un certain type d'informations mais ils ne permettent pas d'obtenir une vision globale et complète de l'efficacité et des déficits organisationnels potentiels de l'entreprise.

## Evaluation des processus organisationnels

Pour répondre à ce besoin, l'EAWAG s'est associé avec la VSA pour développer un instrument permettant l'évaluation globale et complète de tous les types de processus organisationnels [2]. Cet instrument considère les processus les plus importants qui concernent une commune ou un syndicat intercommunal (Fig. 2) tout en étant basé sur le modèle développé pour le service public et les organisations sociales par la Fondation européenne pour le management par la qualité (EFQM) [3]. Ce modèle a été adapté aux missions et à la terminologie du secteur de l'assainissement et dûment complété de critères spécifiques. Ainsi l'instrument élaboré prend en compte les impératifs juridiques, notamment les lois fédérales suisses en matière de protection des eaux, les directives d'exploitation de la Confédération pour les stations de traitement des eaux polluées, ainsi que le guide pratique pour l'organisation, l'optimisation et l'assurance qualité dans le domaine de l'assainissement [4].

Conformément au principe de l'autoévaluation, les organisations concernées remplissent elles-mêmes un questionnaire comportant 250 questions détaillées qui sert à leur évaluation. Les questions peuvent être pondérées dans la mesure où le cadre juridique le permet: chaque question portant sur le degré d'atteinte des résultats est ainsi couplée à une question sur l'importance de ces résultats pour l'organisation. On obtient ainsi une matrice à quatre cases dans lesquelles les différents processus évalués peuvent être reportés (Fig. 3).

A travers cette pondération subjective de l'importance des résultats, on peut constater non seulement dans quels domaines des changements sont nécessaires mais également dans quelle mesure l'organisation est prête à les réaliser. L'expérience montre qu'il est judicieux d'effectuer au début les améliorations qui sont le mieux acceptées par le personnel, et de ne pas commencer

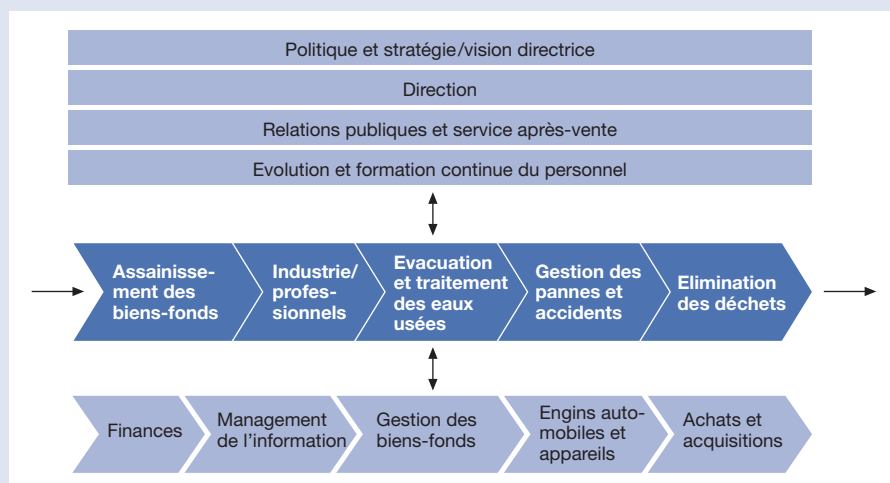


Fig. 2: Modèle des processus de l'assainissement dans les communes ou syndicats intercommunaux.

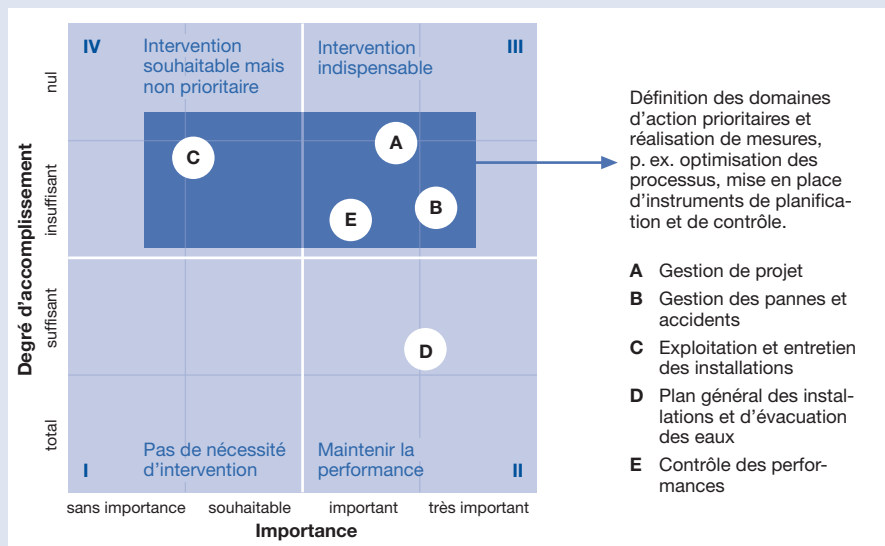


Fig. 3: La matrice de priorités, résultat de l'autoévaluation.

par celles qui provoquent la plus grande résistance, ce qui permet d'acquiescer suffisamment d'expériences positives qui pourront ensuite être appliquées à d'autres domaines.

L'instrument d'autoévaluation a été utilisé pour la première fois dans la commune suisse de Hergiswil dans le canton de Nidwald et il a permis d'y définir différents domaines d'amélioration potentielle (Fig. 3): des manques ont été observés au niveau de certains processus directeurs primordiaux comme le plan pluriannuel ou le contrôle annuel des résultats obtenus. Des déficits ont également été constatés au niveau de la gestion des pannes et accidents et de la gestion de projets ainsi qu'au niveau de l'exploitation et de l'entretien du réseau d'assainissement. Par contre, la planification générale des installations et le plan général d'évacuation des eaux ont été jugés plutôt bons.

### Des déficits organisationnels constatés – et après?

L'instrument d'autoévaluation n'a cependant de sens que si les déficits qu'il permet de mettre en évidence sont ensuite systématiquement étudiés en détail et si des mesures d'amélioration destinées à optimiser les processus peuvent alors être élaborées à partir d'objectifs aussi universels que possible. C'est pour cette raison que l'EAWAG a développé, en plus de l'instrument d'autoévaluation, un procédé d'optimisation des processus [5]. Celui-ci prévoit en premier lieu une analyse de la séquence des activités, de la répartition des compétences et responsabilités, des informations et sources de données utilisées, des buts implicites à atteindre, des dépenses occa-

sionnées et des résultats produits ainsi que des points de recoupement avec d'autres processus. Si les points faibles d'un processus sont connus, il convient de déterminer la nature des résultats qu'il est censé fournir à l'avenir. Etant donné qu'il n'existe actuellement que rarement des accords de prestations entre les services (communaux et intercommunaux) et les organisations qui en sont responsables, le procédé d'optimisation des processus s'appuie sur des accords et objectifs modèles [5]. Il faut tenir compte dans ce cadre aussi bien des exigences d'ordre technique que du contexte juridique, des possibilités financières des sociétés concernées (budget) et des exigences des clients-usagers.

Dans la commune de Hergiswil, l'analyse systématique du service et du réseau d'assainissement et la définition d'objectifs clairs ont permis d'élaborer un catalogue de mesures d'amélioration et de les mettre en grande partie en œuvre. Cette démarche a demandé à court terme de gros efforts à la commune mais les résultats en valent la peine:

- La commune a établi un accord de prestations avec les stations et centres techniques, dans lequel sont précisées les tâches à remplir, les objectifs à atteindre ainsi que les éléments qui serviront à mesurer les résultats. Le bon respect de cet accord est contrôlé chaque année par le conseil municipal et des mesures sont engagées si besoin est.

- Par le biais des planifications de station et de travail, il est maintenant possible d'intégrer dans la programmation générale de l'organisation les mesures nécessaires au maintien de la valeur des services et installations, telles qu'elles ressortent du plan

général des installations et d'évacuation des eaux.

- Les mesures assurant le maintien de la valeur des biens et services peuvent être réalisées à l'aide d'une gestion de projet mise en place par la commune, l'accent étant mis sur le suivi du projet. La comptabilité des services est tenue à jour pendant la mise en œuvre des mesures.

- Les pannes et accidents, notamment lors d'inondations, peuvent maintenant être traités de manière beaucoup plus efficace, les dommages causés à l'environnement se trouvant également minimisés.

- La tenue parallèle d'un registre de performance et d'un plan de nettoyage et le recours aux appels d'offres pour le nettoyage des égouts a permis de profiter de la concurrence et de réaliser une économie de 30% par an dans ce domaine.

- Au niveau de l'exploitation et de l'entretien de la station de traitement des eaux polluées, des économies potentielles ont été dégagées à hauteur d'environ 13% par an. Hergiswil est aujourd'hui l'une des rares communes de Suisse dont les installations d'assainissement et d'approvisionnement en eau potable soient certifiées selon la norme ISO 9001:2000. Toutes les mesures réalisées sont déjà bien établies dans la commune et les nouveaux instruments de gestion font partie intégrante du système de planification de la commune. La bonne acceptation des réformes s'explique aussi par le fait que tous les membres du personnel impliqués ont été intégrés dès le début dans le projet et ont activement participé à l'élaboration des mesures à prendre.



Stefan Binggeli, ingénieur, a mis au point les deux procédés d'autoévaluation et d'optimisation des processus dans le cadre de la thèse qu'il a effectuée au sein de la division de «Génie de l'environnement» de l'EAWAG. Il s'est depuis spécialisé dans les activités de conseil dans le domaine des infrastructures publiques et privées au sein de la société «spin-off» Intraconcept.

[1] Wiesmann J., Binggeli S. (2002): Unternehmensführung in den Abwasserbetrieben. Gas Wasser Abwasser 82, 451-455.

[2] Binggeli S. (2003): Leistungsprozesse der Abwasserentsorgung – Methoden und Instrumente der Bewertung und Optimierung. EAWAG und Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Zürich, Dissertation, 230 S.

[3] EFQM – European Foundation for Quality Management (1999): Das EFQM-Modell für Excellence. Öffentlicher Dienst und soziale Einrichtungen. European Foundation for Quality Management, Brüssel, 43 S.

[4] VSA – Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (1999): Organisation, Optimierung und Qualitätssicherung von Abwasseranlagen. VSA, Zürich.

[5] Binggeli S. (2002): Prozessoptimierung in der Abwasserentsorgung. Gas Wasser Abwasser 82, 477-482.

# Publications

Pour vos commandes, veuillez utiliser le bulletin encarté au milieu du présent numéro.

- [3312] **Mettler S.** (2002): *In situ* Iron Removal from Ground Water: Fe(II) Oxygenation and Precipitation Products in a Calcareous Aquifer. Diss. ETHZ No. 14 724, Zurich.
- [3313] **Boller M.A., Steiner M.** (2002): Diffuse Emission and Control of Copper in Urban Surface Runoff. *Water Sci. Technol.* 46 (6–7), 173–181.
- [3314] **Steiner M., Boller M.** (2002): Granulated Iron-hydroxide (GEH) for the Retention of Copper from Roof Runoff. In: «Chemical Water and Wastewater Treatment VI», H.H. Hahn, E. Hoffmann, H. Oedegaard (Eds.). IWA Publishing, London, pp. 233–242.
- [3315] **Rechberger H.** (2002): Ein Beitrag zur Bewertung des Stoffhaushaltes von Metallen. *Technikfolgeabschätzung – Theorie und Praxis* 11 (1), 25–31.
- [3316] **Rechberger H., Brunner P.H.** (2002): A New, Entropy Based Method to Support Waste and Resource Management Decisions. *Environ. Sci. Technol.* 36 (4), 809–816.
- [3317] **Odzak N., Kistler D., Xue H., Sigg L.** (2002): *In situ* Trace Metal Speciation in a Eutrophic Lake Using the Technique of Diffusion Gradients in Thin Films (DGT). *Aquatic Sci.* 64, 292–299.
- [3318] **Meierhenrich U., Thiemann W., Schubert C., Barbier B., Brack A.** (2001): Isoprenoid Enantiomers as Molecular Biomarkers in Ancient Sediments. In: «Geochemistry and the Origin of Life», A. Brack et al. (Eds.). Universal Academic Press, Tokio, pp. 269–284.
- [3319] **Ashbolt N.J., Grabow W.O.K., Snozzi M.** (2002): Indicators of Microbial Water Quality. In: «Water Quality – Guidelines, Standards and Health: Assessment of Risk and Risk Management for Water-related Infectious Disease», L. Fewtrell, J. Bartram (Eds.). IWA Publishing, London 289–316.
- [3320] **Tixier C., Singer H.P., Canonica S., Müller S.R.** (2002): Phototransformation of Triclosan in Surface Waters: A Relevant Elimination Process for this Widely Used Biocide – Laboratory Studies, Field Measurements, and Modeling. *Environ. Sci. Technol.* 36 (16), 3482–3489.
- [3321] **Rauch W., Krejci V., Gujer W.** (2002): REBEKA – a Software Tool for Planning Urban Drainage on the Basis of Predicted Impacts on Receiving Waters. *Urban Water* 4, 355–361.
- [3322] **Fux C., Boehler M., Huber P., Brunner I., Siegrist H.** (2002): Biological Treatment of Ammonium-rich Wastewater by Partial Nitrification and Subsequent Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) in a Pilot Plant. *J. Biotechnol.* 99 (3), 295–306.
- [3323] **Rieger L., Siegrist H., Winkler S., Saracevic E., Votava R., Nadler J.** (2002): *In situ* Measurement of Ammonium and Nitrate in the Activated Sludge Process. *Water Sci. Technol.* 45 (4–5), 93–100.
- [3324] **Thomann M., Rieger L., Frommhold S., Siegrist H., Gujer W.** (2002): An Efficient Monitoring Concept with Control Charts for On-line Sensors. *Water Sci. Technol.* 46 (4–5), 107–116.
- [3325] **Rauch W., Bertrand-Krajewski J.-L., Krebs P., Mark O., Schilling W., Schütze M., Vanrolleghem P.A.** (2002): Deterministic Modelling of Integrated Urban Drainage Systems. *Water Sci. Technol.* 45 (3), 81–94.
- [3326] **Huisman J.L., Gujer W.** (2002): Modelling Wastewater Transformation in Sewers Based on ASM3. *Water Sci. Technol.* 45 (6), 51–60.
- [3327] **Batstone D.J., Keller J., Angelidaki I., Kalyuzhnyi S.V., Pavlostathis S.G., Rozzi A., Sanders W.T.M., Siegrist H., Vavilin V.A.** (2002): The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (Adm1). *Water Sci. Technol.* 45 (10), 65–73.
- [3328] **van der Nat D.** (2002): Island dynamics and organic matter processing (Tagliamento, Italy). Diss. ETHZ No. 14 812, Zurich.
- [3329] **Bloesch J.** (2002): The River Danube – Between Conservation and Restoration. *Limnological Reports*, Internat. Assoc. for Danube Research, Vol. 34, Editura Academiei Române, Bucharest, pp. XV–XX.
- [3330] **Reinartz R., Bloesch J., Ring T., Stein H.** (2002): Sturgeons Are More than Caviar: A Plea for the Revival of Sturgeons in the Danube River (Extended Abstract). *Internat. Assoc. Danube Res.* 34, 505–516.
- [3331] **Ward J.V., Robinson C.T., Tockner K.** (2002): Applicability of Ecological Theory to Riverine Ecosystems. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28, 443–450.
- [3332] **Goss K.-U., Schwarzenbach R.P.** (2002): Adsorption of a Diverse Set of Organic Vapors on Quartz, CaCO<sub>3</sub>, and  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> at Different Relative Humidities. *J. Colloid and Interface Sci.* 252, 31–41.
- [3333] **Bürgi H.R., Stadelmann P.** (2002): Alteration of Phytoplankton Structure in Lake Lucerne Due to Trophic Conditions. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 5 (1), 45–59.
- [3334] **Bloesch J.** (2001): Auf zu neuen Ufern – Forschungsaktivitäten der IAD. *Jubiläumsschrift* «25 Jahre Österreichisches Nationalkomitee der Internationalen Arbeitsgemeinschaft Donauforschung – Donauforschung neu». Schr. Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bd. 12, Wien, S. 91–109.
- [3335] **Bloesch J.** (2002): The Danube River Basin – the Other Cradle of Europe: The Limnological Dimension. In: «Water in Europe: The Danube River – Life Line in Greater Europe», P.A. Wilderer, B. Huba, T. Kötzle (Eds.). Academia Scientiarum et Artium Europaea Vol. 34, Nr. 12. Georg Olms Verlag, Hildesheim, Zürich, New York, pp. 51–77.
- [3336] **Bloesch J.** (2002): International Association for Danube Research (IAD) – 45 Years of Limnological Engagement and Embarking on New Enterprises (Extended Abstract). 21<sup>st</sup> Conference of the Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 2–6 September 2002, Bucharest, Romania. *Internat. Hydrological Programme of UNESCO. Conference Abstracts*, p. 77, and *Conference Proceedings + CD-ROM*, National Institute of Meteorology and Hydrology, Bucharest.
- [3337] **Bloesch J.** (2002): Strategies of Water Quality Monitoring in the Danube River Basin, a Review. 21<sup>st</sup> Conference of the Danube countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 2–6 Sept. 2002, Bucharest, Romania. *Internat. Hydrological Programme of UNESCO. Conference Abstracts*, p. 76, and *Conference Proceedings + CD-ROM*, National Institute of Meteorology and Hydrology, Bucharest.
- [3338] **Singer H., Müller S.R., Tixier C., Pillonel L.** (2002): Triclosan: Occurrence and Fate of a Widely Used Biocide in the Aquatic Environment: Field Measurements in Wastewater Treatment Plants, Surface Waters, and Lake Sediments. *Environ. Sci. Technol.* 36 (23), 4998–5004.
- [3339] **Klingel F., Montangero A., Strauss M.** (2001): Nam Dinh – Planning for Improved Faecal Sludge Management and Treatment. *Vietnam Water and Sanitation Association's Yearly Conference*, Hanoi, Dec. 6–7.
- [3340] **Ingallinella A.M., Sanguinetti G., Fernandez R.G., Strauss M., Montangero A.** (2002): Cotreatment of Sewage and Septage in Waste Stabilization Ponds. *Water Sci. Technol.* 45 (1), 9–15.
- [3341] **Ingallinella A.M., Sanguinetti G., Kootatet T., Montangero A., Strauss M.** (2002): The Challenge of Faecal Sludge Management in Urban Areas – Strategies, Regulations and Treatment Options. *Water Sci. Technol.* 46 (10), 285–294.



TES Identity, Zurich

## Zurich Ville d'eau

A l'occasion de l'Année internationale de l'eau douce 2003, la ville de Zurich s'est transformée en «ville d'eau» du 21 juin au 20 juillet derniers. Le projet avait pour but de sensibiliser la population zurichoise au respect de la précieuse ressource qu'est

l'eau. Le cœur du projet était constitué d'une exposition en plein air le long de la Limmat. Ce sentier didactique composé de sept étapes informait entre autres sur la destination et le chemin de l'eau de pluie dans la ville, sur la provenance de l'eau potable de Zurich et sur la vie dans les lacs et les rivières. Le programme était complété d'un site web constitué d'informations plus approfondies, d'actions destinées aux écoles ainsi que de manifestations et visites guidées diverses. Les circuits de promenade dans la ville d'eau, la lecture de textes sur l'eau dans la Wasserkirche, l'exposition sur les eaux souterraines et le débat sur la gestion des eaux ont suscité un grand intérêt dans la population. Le concours

d'histoires d'eau organisé par le journal «Tages-Anzeiger» a rencontré un succès considérable, rassemblant plus de 250 participants.

Le projet commun de «Ville d'eau» était placé sous la tutelle de divers acteurs locaux, l'AWEL, l'EAWAG, l'ERZ, l'ewz, le WVZ et le WWF, qui ne voulaient pas se faire concurrence pendant l'Année internationale de l'eau douce. La réussite de leur collaboration a certainement contribué à donner à l'élément liquide une forte présence dans la ville de Zurich. Le projet «Ville d'eau» a été principalement sponsorisé par APG, le journal «Tages-Anzeiger» et la fondation Vontobel.

Informations sur: [www.wasserstadt.ch](http://www.wasserstadt.ch)

## Fischnetz: Audition nationale et internationale d'experts

Le projet Fischnetz consacré à l'étude de la baisse des taux de capture de poissons dans les eaux suisses amorcé sa phase finale. Les résultats de près de 70 projets partiels et d'études bibliographiques très poussées menés aux cours des 5 dernières années et demi sont maintenant disponibles. Dans le cadre du travail de synthèse

qui doit maintenant être fourni, un certain nombre de questions se posent. Les résultats sont-ils correctement interprétés et a-t-on bien tenu compte des connaissances internationales existant sur le sujet? Les conclusions tirées par Fischnetz sont-elles correctes et convaincantes et les mesures proposées permettant-elles d'atteindre les objectifs fixés? Autant de questions que la direction du projet Fischnetz a entre autres abordées avec un groupe international d'experts réunis les 21 et 22 août à l'EAWAG à Kastanienbaum.

La base de discussion était constituée par le rapport provisoire sur les 12 hypothèses relatives à différents facteurs susceptibles d'être impliqués dans le phénomène de baisse des taux de capture de poissons en Suisse (p. ex. pollution chimique, change-

ments de température et détérioration des habitats). Les experts ont confirmé nos conclusions et les ont complétées et/ou annotées de remarques parfois critiques. Bien que le recul du nombre de captures soit un phénomène national, il est clairement apparu qu'il existait des différences locales et régionales en ce qui concerne son intensité et ses causes. Les experts ont insisté sur l'importance de recherches plus approfondies.

D'autre part, une audition d'experts a été menée le 9 septembre afin d'évaluer les conséquences des conclusions du projet et les possibilités de mise en œuvre des mesures proposées en vue de leur concrétisation. Le rapport final sera présenté au public fin janvier à Berne.

Pour plus d'informations: [www.fischnetz.ch](http://www.fischnetz.ch)



EAWAG

## ICEF: L'avenir des écosystèmes aquatiques

160 chercheurs se sont réunis du 23 au 27 mars 2003 lors de la «Conférence internationale sur l'avenir des écosystèmes aquatiques» pour discuter des hydrosystèmes de la Terre. Des représentants de tous les continents s'étaient rassemblés à l'EPF de Zurich pour traiter des tendances évolutives des écosystèmes aquatiques. Cette manifestation était placée sous la double tutelle de la Fondation pour la conservation de l'environnement (FEC) et de l'EAWAG.

Les experts étaient d'accord sur le fait que pratiquement tous les écosystèmes aquatiques étaient soumis à des pressions et que cette situation ne ferait que s'accroître dans l'avenir. On peut citer en exemple l'augmentation des charges en éléments

nutritifs dans les zones humides et les zones littorales suite à la diminution des apports d'eaux douces causée par l'irrigation ou bien la destruction et la salinisation des habitats. D'autre part, les changements climatiques ont été cités comme cause possible du déclin des récifs coralliens.

Si l'on considère l'histoire récente de l'Europe, on s'aperçoit cependant qu'il existe un certain nombre de concepts qui permettent de retourner certaines tendances négatives. Ainsi, le rejet de produits chimiques non dégradables dans les cours d'eau est interdit depuis la Conférence de Stockholm de 1972. L'eutrophisation des lacs a pu être limitée grâce au perfectionnement des stations d'épuration et à l'interdiction des

phosphates dans les lessives. Une grande partie de la population exige maintenant des mesures de protection contre les crues accompagnées de mesures de revitalisation des cours d'eau.

On dispose d'autre part d'une foule de connaissances scientifiques qui devraient permettre d'exercer une influence positive sur l'évolution des systèmes. Ce ne sont donc pas les connaissances qui nous manquent mais bien plus le courage d'appliquer des mesures politiques. Ce dont la Terre a besoin, c'est d'une bonne gestion des incertitudes et d'une démarche concertée effectuée pas à pas par les chercheurs, les politiciens et la population, tant au niveau local qu'international.