

L'EAWAG

et la protection durable des eaux



o améliorer l'efficacité des mesures et de leur application.

Les scientifiques continueront d'avoir pour tâche d'étudier les processus environnementaux et leurs mutations sous l'effet des activités humaines. Mais aujourd'hui, la science a pour mission principale de développer de nouvelles formes de recherche interdisciplinaire et de stimuler y activement le processus social du développement durable. Il s'agit d'étudier les relations entre l'homme et l'environnement sous tous les angles, écologique, hygiénique, économique, social et culturel. Pour être à la fois éco-efficaces et socio-compatibles, les techniques et les systèmes économiques doivent être développés en collaboration avec les scientifiques et les praticiens. C'est dans le dialogue avec l'opinion publique que la science peut jouer un rôle décisif. Elle en recueillera les impulsions nécessaires pour stimuler son activité et sera ainsi à même d'influer sur le développement de la société.

Notre programme prioritaire de recherche «Gestion durable des ressources régionales» visait à élaborer les principes généraux de la compréhension et de la gestion des cours d'eau, des eaux souterraines et des sites contaminés. Ambitieux, un tel projet ne va pas sans soulever d'innombrables difficultés, tenant à la fois du structuralisme scientifique, de la méthodologie et de la nature humaine. Il a fallu modérer nos exigences dans maints domaines. Mais des coopérations et des alliances inédites ont été amorcées. Certaines d'entre elles ont d'ores et déjà débouché sur des résultats beaucoup mieux étayés. Ces succès contribuent indubitablement à dynamiser un processus irrévocable, celui d'une nouvelle prise de conscience de l'activité scientifique à l'EAWAG.

Ueli Buri

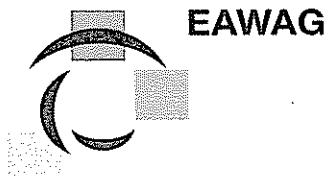
Ueli Buri
Sous-directeur

Au cours de ces dernières décennies, la qualité des lacs et des cours d'eau s'est nettement améliorée. C'est un franc succès. Mais les problèmes en suspens sont légion: élimination de nombreux cours d'eau par mise sous terre; appauvrissement des biotopes fluviaux suite au bétonnage; émissions de polluants chimiques; accroissement des cycles naturels de matières du fait de l'agriculture, de l'habitat et des transports; coût élevé et exploitation intensive des ressources naturelles dans la gestion actuelle des eaux urbaines; conflit entre la mise en valeur de l'énergie hydraulique et les fonctions écologiques des cours d'eau.

Les causes de ces problèmes sont difficiles à appréhender. Pour une bonne part, il faut les chercher tout simplement dans notre mode de vie et notre système économique. D'autres sont historiquement fondées, comme par exemple le morcellement de la protection de l'environnement au niveau de la législation que de l'application, à quoi s'ajoute l'absence de mesures préventives.

Pour rendre durable la protection des eaux et de l'environnement, il faudra avant tout

- o coordonner les divers aspects de la protection des eaux et de l'environnement sur les plans politique, législatif et exécutif, intégrer davantage ces aspects dans les activités humaines (habitation, transports, agriculture, etc.);
- o développer ces efforts à tous les échelons en y faisant participer la population et les groupes d'intérêt;



EAWAG news
Organe d'information de l'EAWAG

Editeur
Distribution et ©:
EAWAG, CH-8600 Dübendorf
Tel.: +41-1-823 50 63
Fax: +41-1-823 53 75
<http://www.eawag.ch>

Rédaction
Diana Hornung, EAWAG

Traduction
Henri Chappuis, Neuchâtel

Révision
Hubert Joly, Paris

Copyright
La reproduction d'articles ou d'extraits est autorisée à condition de mentionner expressément la source: «EAWAG news 44F 1998».

Parution
Deux fois par année en français, anglais et allemand

Crédits photographiques
Sauf indication contraire: Diana Hornung ou inconnu

Graphisme
Peter Nadler, 8700 Küsnacht

Impression
sur papier recyclé 100%

Abonnements et changements d'adresse
Un nouvel abonnement? Vous êtes les bienvenus! Le bulletin d'inscription se trouve en dernière page.

ISSN 1420-3928

Page de couverture
Développement durable des régions
A la manière d'un puzzle, cette problématique associe un grand nombre d'éléments hétérogènes. La région de la Töss servira à notre démonstration: il est absolument indispensable de mettre sur pied un programme interdisciplinaire réunissant tous les moyens à disposition et tous les acteurs intéressés pour arriver à un résultat efficace. Depuis en haut à gauche et dans le sens des aiguilles d'une montre: le Linsental avant Winterthour; le cours supérieur de la Töss près de Fischenthal; échantillonnage des eaux souterraines de la Töss (voir l'article de Johnson et Hahn); une fontaine à Pfungen; le blageon, espèce protégée (voir l'article de Peter et Gonser).

Walter Wagner

Les cours d'eau – miroir du développement régional



Walter Wagner

La région de la Töss a connu une évolution fulgurante au cours de ces dernières décennies: depuis 1950, la population s'est accrue de 60%. Ce développement régional a notamment entraîné de nombreuses modifications de la structure et de la qualité des cours d'eau naturels. En conséquence, ceux-ci ne peuvent plus désormais jouer leur rôle de ressource d'eau potable et de biotope. La durabilité de leur utilisation est donc remise en cause.

D'une superficie de 430 km², le bassin versant de la Töss se caractérise par un apport annuel de quelque 540 millions de mètres cubes d'eau sous forme de précipitations. Environ deux cinquièmes de cette eau s'évaporent. Le reste s'écoule à travers la région et est utilisé à diverses fins avant de se jeter dans le Rhin à Tössegg.

L'eau est non seulement l'élément essentiel de nombreux biotopes végétaux et animaux, mais elle est aussi exploitée par l'homme à diverses fins: eau potable, production d'énergie, fluide de transport pour les déchets, etc. Tant pour la nature que pour l'homme, l'eau doit répondre à certains critères de qualité, de quantité et de répartition saisonnière. A cela s'ajoutent pour l'homme également des exigences de protection. Les dommages

causés par les crues doivent être évités autant que possible. Etant donné toutes ces exigences parfois contradictoires, l'existence de conflits d'intérêt ou d'utilisation ne surprend guère.

Les habitants de la région ont certes besoin d'eau pour leurs activités, mais celles-ci ont bien souvent un impact sur les flux naturels d'eau et sur la qualité de l'eau. Les cours d'eau constituent donc non seulement un facteur d'évolution important pour l'avenir de la région, mais ils reflètent aussi le développement passé de la région.

A l'exemple de la région de la Töss (fig. 1), l'EAWAG a étudié les possibilités d'assurer une mise en valeur durable des ressources d'eau au niveau régional.

Evolution depuis 1950	
Population	1,6 x
Utilisation d'eau potable	1,8 x
Surface habitée	2,6 x
Surface habitée par personne	1,6 x
Consommation d'énergie	4,9 x
Consommation d'énergie par personne	3,1 x
Productivité agricole	1,8 x
Rendement en céréales par ha	1,6 x
Trafic motorisé	14,5 x
Ordures ménagères de la ville de Winterthour	4,2 x
Ordures ménagères par personne	2,6 x

Tab. 1
Facteurs du développement régional dans le bassin versant de la Töss entre 1950 et 1993.

Les facteurs du développement régional

En tout premier lieu, il importe de connaître les corrélations entre activités humaines et santé des eaux. Au cours de ces 50 dernières années, la région de la Töss s'est caractérisée par une phase de forte croissance (voir tab. 1), non sans conséquence pour les cours d'eau.

Au fur et à mesure de son développement, la population a eu besoin de toujours plus d'espace pour l'habitation, les routes et l'agriculture; par ailleurs, les ouvrages de défense contre les crues n'ont pas cessé d'être améliorés; ces deux facteurs se sont répercutés sur les principaux cours d'eau et ruisseaux de la région, qui ont pratiquement tous été corrigés et canalisés. Sur trois quarts de son parcours, la Töss ne varie plus du tout en largeur. Son lit a été stabilisé par 568 dénivellations artificielles. Dans les

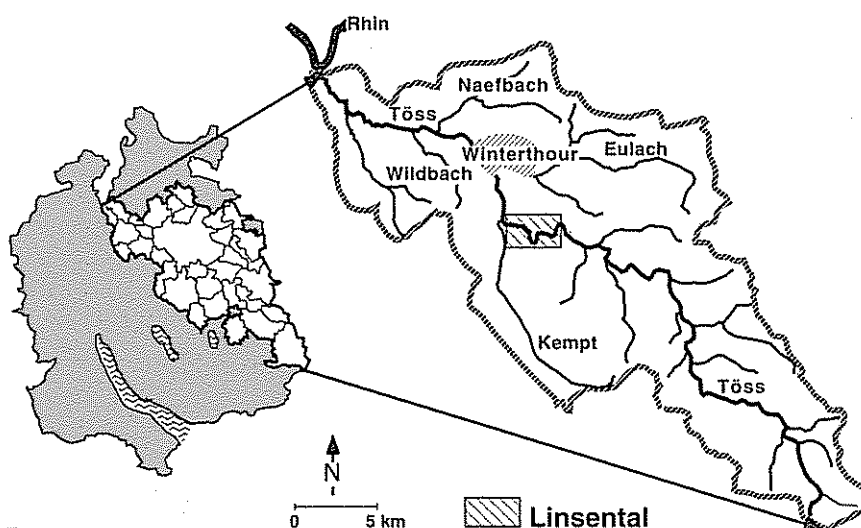


Fig. 1
Couvrant une superficie de 430 km², le bassin versant de la Töss compte 180 000 habitants répartis entre un grand nombre de communes relativement petites et un petit nombre de villes. La région de la Töss est caractéristique du Plateau suisse.

territoires à forte densité de population, de nombreux ruisseaux ont totalement disparu; près de Oberwinterthour, le taux de disparition dépasse 60% [1].

L'exemple de la commune d'Embrach illustre à quel point le développement de l'habitat se répercute sur le bilan naturel de l'eau (voir fig. 2). De par l'augmentation de la population et l'accroissement de la surface requise par personne, la surface habitée a quintuplé depuis 1952 au détriment de la surface agricole. Le besoin en eau potable a suivi l'évolution de la population. Les eaux usées et l'eau de pluie recueillie, totalisant tout juste $1,3 \cdot 10^6$ m³, sont dirigées aujourd'hui directement vers la station d'épuration de Rorbas. En conséquence, l'écoulement naturel des eaux de surface et des eaux souterraines s'est réduit d'environ 20% dans cette région.

La qualité des eaux s'est elle aussi aggravée, surtout dans les années septante et quatre-vingts, en raison de l'augmentation des émissions de polluants atmosphériques, de l'utilisation accrue d'engrais et autres produits chimiques dans l'agriculture, de l'augmentation des eaux usées et des déchets ainsi que de leur charge polluante. Depuis lors, des mesures appropriées ont permis de rétablir un niveau de qualité acceptable dans bien des endroits.

Certaines influences demeurent toutefois très critiques, comme par exemple l'apport diffus des composés azotés ainsi que les effets écotoxicologiques potentiels des produits chimiques diffusés dans les eaux.

La superficie des terres agricoles a, quant à elle, légèrement diminué dans la région au cours de ces dernières décennies. Le rendement agricole n'a toutefois pas cessé d'augmenter depuis 1955, notamment grâce à une mise en valeur plus intensive des terres agricoles [2]. Ainsi, la proportion des champs cultivés par rapport à la surface agricole totale a augmenté au détriment des prairies naturelles, en particulier au profit de la culture du maïs (voir fig. 3). A eux seuls, ces changements d'affectation de la surface agricole sont à l'origine d'une augmentation d'environ 15% pour le lessivage dû aux nitrates [3] entre 1965 et

Bilan de l'eau dans une commune (précipitations moins l'évaporation) en millions de m³ par an

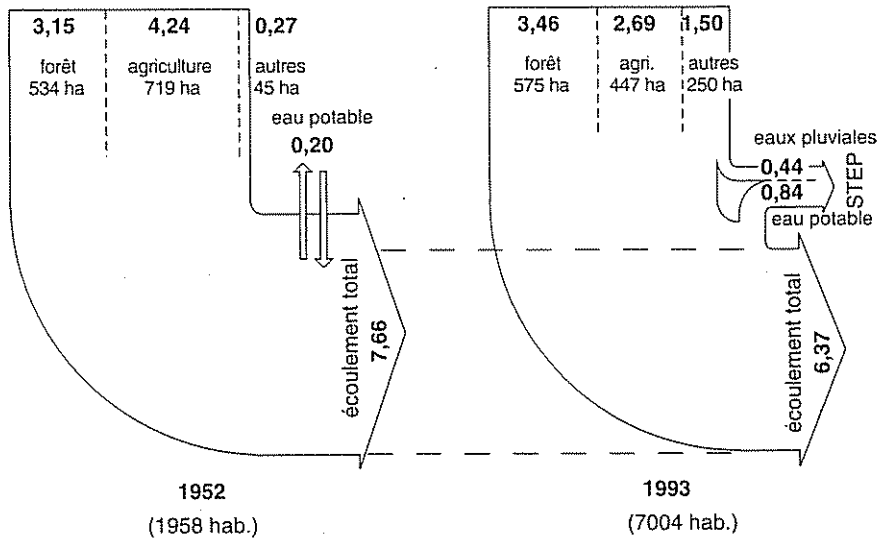


Fig. 2 Modification du bilan de l'eau dans la commune de Embrach au cours de ces 4 dernières décennies. La surface habitée a plus que quintuplé. L'évacuation des eaux urbaines contribue à réduire le volume d'écoulement régional d'environ 17%.

1985. De plus, l'intensification de l'agriculture a exigé l'utilisation de grandes quantités d'engrais artificiels et de produits phytosanitaires.

Etat des eaux: déficits considérables

L'état actuel des eaux, résultant de l'évolution présentée ci-dessus, est insuffisant à plus d'un titre. En d'autres termes, un certain nombre d'exigences en matière d'eau ne pourront être remplies à l'avenir que de manière limitée. Différents indicateurs révèlent des problèmes tant actuels que futurs, qui remettent en question l'utilisation des eaux par l'homme et la nature (voir tab. 2).

Domaines à problème	Indicateurs
Quantité d'eaux souterraines	niveau des eaux souterraines en baisse par endroits
Qualité des eaux souterraines	augmentation des concentrations en nitrate et en chlorure
Qualité des eaux superficielles	concentrations en nitrate et en COD souvent équivalentes ou supérieures à l'objectif de qualité
Qualité des biotopes aquatiques	espèces en voie de disparition

Tab. 2 Analyse de l'état des eaux régionales.

Surexploitation des eaux souterraines

Dans la région considérée, les ressources naturelles en eaux souterraines décroissent pour deux raisons: d'une part, les eaux souterraines servent à la distribution d'eau et, d'autre part, l'apport naturel en eau est réduit par le colmatage des sols.

Perturbé de la sorte, le bilan des eaux souterraines locales est en constante diminution. Or, cette tendance va à l'encontre d'une utilisation durable. D'une part, l'approvisionnement de la population en eau est menacé à long terme. D'autre part, cette modification du régime naturel des eaux a des conséquences écologiques directes. Par exemple, les ruisseaux sont toujours plus nombreux à se tarir [4].

Dans le bassin versant de la Töss, les eaux souterraines ont été surexploitées sur ce modèle – et elles le sont toujours. Au cours de la première moitié de ce siècle déjà, le niveau des eaux souterraines de Eulach, près de Winterthour, n'a cessé de baisser. Afin de compenser à la fois l'utilisation accrue des eaux souterraines et le colmatage des sols, une installation de réalimentation permet, depuis 1965, de pomper les eaux souterraines de la vallée de la Töss dans un puits perdu de la vallée d'Eulach, stabilisant ainsi le niveau des eaux souterraines. On a même constaté un abaissement

du niveau des eaux souterraines dans la région un peu moins habitée de la partie supérieure du Kempttal, sur le territoire de la commune de Fehraltorf [4].

Problèmes de la qualité de l'eau

Évaluée sur la base d'indicateurs conventionnels tels que le nitrate ou la charge en carbone organique dissous (COD), la qualité de l'eau se caractérise depuis un certain nombre d'années par une tendance réjouissante: les concentrations de polluants ont cessé d'augmenter et, dans certains cas, elles sont même à la baisse. Malgré tout, les teneurs en nitrate et en COD sont souvent encore bien près des objectifs qualitatifs correspondants, voire les dépassent toujours.

De plus, de nombreux cours d'eau présentent des problèmes de qualité dus aux effets écotoxicologiques de substances chimiques diffusées en faibles concentrations, dites substances-traces (voir EAWAG news 40, p. 8ss). Bien qu'aucun effet de ce type n'ait pu être démontré jusqu'à présent dans la Töss, l'utilisation de son eau est encore loin d'être garantie pour l'avenir du point de vue qualitatif.

Répercussions sur la biodiversité

Les activités humaines ont eu une forte répercussion sur la qualité des biotopes aquatiques de la région. Des recensements cantonaux révèlent que de nombreuses espèces animales et végétales ont disparu ou sont en voie de disparition [5]. Cette situation est particulièrement marquée dans les biotopes naturellement riches en espèces, notamment en milieu fluvial ou para-fluvial. Toutes les espèces d'origine naturelle ne peuvent plus se maintenir de manière autonome. Ainsi, dans l'exemple de la Töss, les espèces de poissons qu'on pourrait s'attendre à trouver ne sont plus très nombreuses en amont de la première grande dénivellation artificielle (voir article Peter à partir de la page 18).

Conditions préalables à une gestion durable de l'eau

Les problèmes de gestion durable ont souvent des causes complexes, combinant divers développements et activités au niveau régional. Pour assurer l'utilisation de l'eau à l'avenir, il ne suffit pas d'aborder chaque problème avec des mesures «end-of-pipe». Ce genre de mesures peuvent certes apporter des améliorations ponctuelles. Mais elles entraînent souvent des effets indésirables dans d'autres domaines. De plus, les mesures purement techniques sont souvent très onéreuses et coûteuses en énergie, si bien qu'elles peuvent à peine être considérées comme durables dans le cadre d'une évaluation globale. La complexité des solutions possibles est parfois impressionnante, comme dans l'étude des eaux usées polluées des toits (voir article Boller).

Pour rendre durable l'utilisation des ressources régionales en eau, il est indispensable de prendre des mesures à la source. Pour ce faire, il faut connaître les forces motrices du développement social qui déterminent le type et le genre d'utilisation de l'eau. Dans le passé, les principales forces motrices de la région de la Töss ont été la croissance de la population, ainsi que la forte augmen-

tation de la productivité économique, de la mobilité et du besoin d'espace et de ressources.

L'objectif premier consiste à assurer un développement durable de secteurs d'activités entiers, tels que l'agriculture, les transports ou la production d'énergie. La résolution des problèmes doit non seulement tenir compte des bases techniques et scientifiques, mais aussi des aspects sociaux, économiques et politiques. Pour ce faire, un dialogue intensif doit s'instaurer entre les milieux scientifiques, les autorités, les milieux économiques et la population. Dans le cadre des études portant sur la région de la Töss, l'EAWAG a tenté de tenir compte de tous ces aspects, sans s'attaquer aux conflits d'intérêts uniquement du point de vue technique et scientifique. Les méthodes et les expériences recueillies font l'objet de l'article de Andrea Rüede.

Les décisions et les mesures prises doivent tenir compte aussi bien des idées sociales que des faits scientifiques. L'EAWAG a ouvert une nouvelle voie de recherche en suivant ce point de vue élargi. Les échanges interdisciplinaires et la collaboration avec les acteurs régionaux ont déclenché d'innombrables processus d'apprentissage. Ces processus sont toutefois nécessaires si on entend parvenir à une gestion durable des eaux à la fois sur les plans local, régional et global.

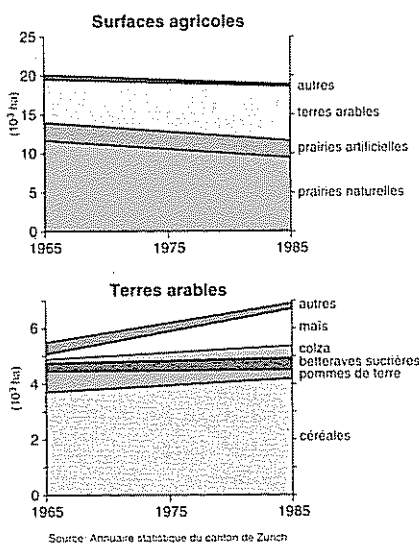


Fig. 3
Utilisation agricole dans la région de la Töss. Alors que la surface agricole totale diminue légèrement, la part des champs cultivés augmente.

- [1] Brändli, R.: Die Veränderungen des Zürcherischen Gewässernetzes seit dem 19. Jh., Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Zürich (1990).
- [2] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEP) (1994): L'état de l'environnement en Suisse: rapport sur l'état de l'environnement 1993, Berne.
- [3] Braun, M. et al. (1994): Phosphor- und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und in der Para-Landwirtschaft, Schriftenreihe der FAC Liebefeld, Nr. 18, Liebefeld-Bern.
- [4] Krejci, V. et al. (1994): Integrierte Siedlungsentwässerung, Fallstudie Fehraltorf. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 8, Dübendorf.
- [5] Regierungsrat des Kantons Zürich (1992): Naturschutz-Gesamtkonzept (Entwurf).

Eaux pluviales: solutions d'avenir



Markus Boller

* en collaboration avec Adrian Ammann, Irene Brunner, Thomas Bucheli, Jack Engster, Stefan Haderlein, Martin Häfliger, Edi Hoehn, David Kistler, Daniel Kobler, Sabine Koch, Yael Mason, Werner Meier, Peter Steen Mikkelsen, Vincent Mottier, Michael Ochs, Stephan Müller, Andrea Ruede, Laura Sigg, Christian Singeisen, Michele Steiner, Andreas Voegelin et Jürg Zobrist

La gestion des eaux urbaines doit obéir aux impératifs du développement durable. Dans cette optique, les microcycles de l'eau doivent être favorisés. Par exemple, l'infiltration artificielle des eaux de ruissellement provenant des surfaces stabilisées vaut mieux que leur évacuation par les égouts. D'ailleurs, cette exigence figure déjà dans la loi suisse sur la protection des eaux.

Une nouvelle stratégie d'évacuation des eaux de ruissellement est synonyme de nombreux avantages. Elle devrait par exemple permettre d'accroître l'apport en eaux souterraines, de diminuer les contraintes hydrauliques auxquelles doivent répondre les égouts et les STEP, et de réduire le déversement des trop-pleins en cas de débit de pointe. A l'exemple du bassin versant de la Töss, nous proposons une analyse quantitative des eaux de ruissellement, ce qui nous permettra de préciser dans quelle mesure l'infiltration des eaux pluviales provenant des toitures et des surfaces stabilisées est bénéfique. Divers projets de l'EAWAG ont déjà été consacrés à l'analyse qualitative des eaux de ruissellement, ainsi qu'au destin de certaines substances à risque contenues dans les eaux d'écoulement en fonction du mode d'évacuation. Du point de vue quantitatif, l'infiltration des eaux pluviales est certes avantageuse mais, du point de vue qualitatif, cette méthode, tout comme les autres possibilités d'évacuation d'ailleurs, ne constitue pas encore une solution durable.

Infiltration artificielle: quelle capacité?

Dans la région de la Töss, la hauteur annuelle des précipitations atteint 1400 mm, ce qui correspond à un volume de 540 millions de m³ d'eau. Les eaux de ruissellement représentent une part d'environ 200 millions de m³, dont environ 34 millions de m³ (soit 6,3%) proviennent de surfaces stabilisées. Les eaux de ruissellement provenant des routes représentent un volume de 20 millions de m³, tandis que 10 millions de m³ sont recueillis sur les toitures. Le reste des eaux

de ruissellement se répartit entre les aires de stationnement, les voies d'accès, les cours, etc. Aujourd'hui, 14 millions de m³ d'eau de ruissellement parviennent à la STEP via le système unitaire des égouts publics ou sont déversés directement dans les cours d'eau via les déversoirs. A l'avenir, une partie aussi grande que possible de ces 14 millions de m³ ainsi que les 20 millions de m³ s'écoulant actuellement de manière incontrôlée sera évacuée par infiltration et viendra enrichir les eaux souterraines. Le volume des infiltrations dépend de facteurs tels que la perméabilité du sol, la pente du terrain et les zones de protection des eaux souterraines. La région considérée a été soumise à un quadrillage hectométrique assisté par des systèmes d'information géographique. Transposées sous forme cartographique, les données collectées définissent des zones d'infiltration préférentielles. Or, sur l'ensemble des surfaces considérées, seuls 10% conviennent vraiment à l'infiltration, et guère plus de 18% sont d'un intérêt moyen. Néanmoins, les meilleures aires d'infiltration préférentielles correspondent souvent aux zones construites au fond des vallées et présentent par conséquent un meilleur potentiel.

L'efficacité des mesures d'infiltration dépend du taux de raccordement des eaux de ruissellement aux installations d'infiltration. Le potentiel d'infiltration a été calculé selon divers taux de raccordement (voir le détail des scénarios envisagés au tab. 1).

Considéré comme irréaliste, le 4e scénario est d'emblée laissé de côté. Pour évaluer le rôle possible de l'évacuation par infiltration, il faut comparer les flux d'infiltration aux autres flux d'eau dans

Scénario	Surfaces raccordées	Potentiel d'infiltration en millions de m ³ /an
1	50% toitures 20% voies d'accès, parking	1,8
2	100% toitures 50% voies d'accès, parking	4,2
3	100% toitures 80% voies d'accès, parking 50% routes	9,1
4	100% toitures 100% voies d'accès, parking 100% routes	15,0

Tab. 1
Potentiel d'infiltration des eaux de ruissellement dans le Tössal.

la vallée de la Töss. En regard du volume total d'eaux pluviales, le volume des eaux de ruissellement provenant des routes et des quartiers d'habitations paraît très modeste: il ne dépasse pas 3% même si on prend le 3e scénario comme base de calcul. En revanche, comparées aux flux d'eau urbains, en particulier l'eau potable et les eaux usées, les eaux d'infiltration peuvent contribuer de manière significative à l'équilibre des microcycles de l'eau en milieu urbain. La fig. 1 illustre le rapport entre les flux d'infiltration et la consommation d'eau, ventilé en fonction des différents scénarios, et des différentes régions ainsi que pour la vallée de la Töss dans son ensemble. Ces résultats permettent d'affirmer que l'infiltration artificielle des eaux de ruissellement équivaut dans le meilleur des cas à environ la moitié de la consommation d'eau potable. L'infiltration des eaux de ruissellement joue donc un rôle considérable pour la réalimentation des eaux souterraines. Mais cet apport n'est toutefois réellement efficace que si toutes les possibilités techniques d'infiltration sont mises en oeuvre.

L'infiltration des eaux pluviales nécessite des aménagements envisageables uniquement dans le cadre d'une nouvelle construction ou d'une rénovation. En conséquence, la mise en place intégrale des mesures d'infiltration prendra des dizaines d'années. Selon le domaine versant, l'abandon du système d'égout unitaire permet de réduire jusqu'à 60% le volume d'eaux usées parvenant à la STEP, ce qui réduit d'autant le déversement des trop-pleins et améliore l'efficacité de l'épuration des eaux. Du point de

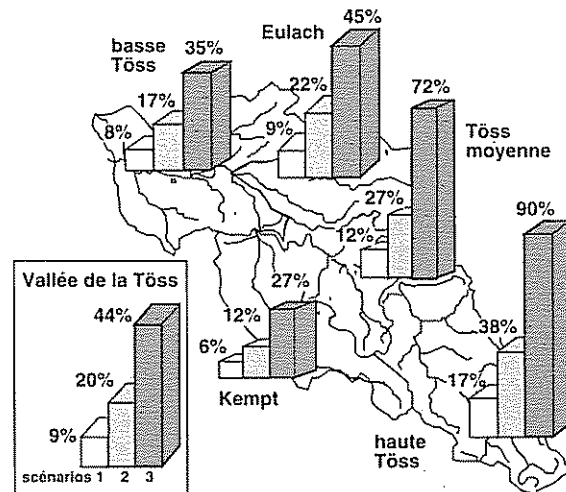


Fig. 1
Rapport entre le potentiel d'infiltration et la consommation d'eau potable dans le Tössstal, ventilé selon les scénarios du tableau 1.

vue financier, les économies ne se feront sentir qu'à long terme, dans le cadre du renouvellement des infrastructures d'évacuation et d'épuration des eaux usées.

Pollution des eaux de ruissellement

L'infiltration artificielle des eaux de ruissellement part évidemment du principe que ces eaux ne sont pas ou peu polluées, et que les substances indésirables sont retenues dans le sol. En conséquence, le risque de pollution des eaux souterraines est réputé de moindre importance. Toutefois, des études approfondies sur la qualité des eaux de ruissellement provenant des toitures et des routes ont démontré que la constitution chimique des eaux de ruissellement évolue de manière très dynamique tout au cours d'une précipitation. Lorsqu'il commence de pleuvoir, l'analyse chimique des premières eaux de ruissellement met en évidence des concentrations extraordinairement élevées. C'est ce qu'on appelle l'effet «first-flush». A l'EAWAG, ce phénomène a fait l'objet d'une étude approfondie à

Zurich, sur trois toitures différentes de 100 m² chacune, à savoir un toit en tuiles, un toit en pente recouvert de panneaux de fibres de verre renforcées et, enfin, un toit plat recouvert de gravier (voir fig. 2). Les eaux pluviales provenant de ces toitures ont été analysées par échantillonnage proportionnel au régime saisonnier des pluies. Une autre étude a été réalisée sur une série de toits plats totalisant une superficie de 5000 m² à Winterthur. Les résultats de ces études convergent vers la même conclusion: la qualité chimique des eaux d'écoulement provenant des toitures évolue de manière caractéristique selon

- ⊙ les substances accumulées par temps sec et par temps de pluie;
- ⊙ les matériaux entrant en contact avec les eaux de pluie;
- ⊙ le type de toiture.

Entraînement des substances déposées par temps sec et par temps de pluie

Selon les estimations de la charge annuelle pour chacune des substances ana-

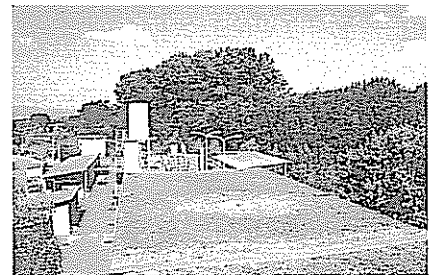
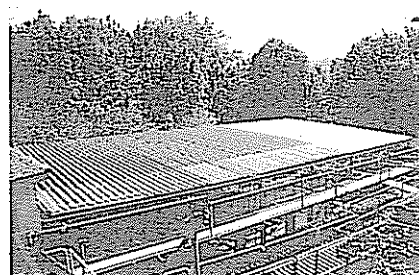


Fig. 2
Types de toits étudiés: couverture de tuiles (Werdinsel), couverture en panneaux de fibres de verre renforcées (Tüffenwies), toit plat recouvert de gravier (Tüffenwies).

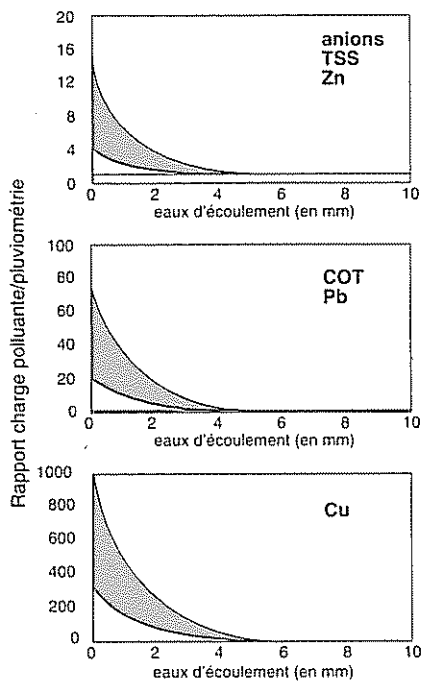


Fig. 3 Typologie du «first-flush» de diverses substances dans les eaux d'écoulement provenant des toitures.

lysées, la déposition des substances par temps de pluie n'est guère supérieure à leur déposition par temps sec. Du point de vue relatif, les périodes de temps sec précédant la première pluie sont donc déterminantes. Le rapport entre la concentration des substances et le volume d'eau pluviale (1 mm de colonne d'eau équivaut à 1 litre par m²) permet de caractériser les substances entraînées. La fig. 3 illustre de manière typique l'effet «first-flush»: au début de la précipitation, les concentrations de divers anions (Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻), et de substances telles que le zinc et l'atrazine, sont jusqu'à 10 fois plus élevées par rapport à l'eau de pluie

ordinaire. Dans le cas du COT et du plomb, les concentrations initiales sont jusqu'à 100 fois supérieures; les concentrations mesurées comprennent non seulement la phase en solution, mais aussi la phase particulaire et la phase colloïdale. A cet égard, les concentrations de cuivre sont 1000 fois plus élevées et démontrent l'impact certain des matériaux de construction.

Le rôle des matériaux de construction

Les très hautes teneurs en cuivre sont clairement imputables à la ferblanterie en cuivre. La fig. 4 présente la teneur en cuivre dans les écoulements de toiture en fonction du débit d'écoulement. Les données varient sensiblement selon qu'il s'agit d'une toiture avec ou sans ferblanterie en cuivre (toit recouvert de tuiles ou de panneaux de fibres de verre renforcées, toit plat dans le second). D'autres études ont été réalisées pour déterminer l'impact du cuivre utilisé à l'extérieur des bâtiments. En admettant que les surfaces en cuivre équivalent à 5,3% de la surface totale des toitures, la surface totale de cuivre en contact avec les eaux pluviales correspond à environ 410 000 m² pour la vallée de la Töss. La littérature publiée à ce sujet admet un taux de corrosion variant entre 0,5 et 4 µm/an, ce qui donne une charge annuelle totale variant entre 2000 et 4000 kg Cu/an. Par conséquent, le cuivre provenant des toitures contribue pour 40% à la charge totale

de cuivre dans les eaux usées, compte tenu du système unitaire actuellement pratiqué. Une partie du cuivre entraîné parvient directement dans les émissaires pendant les pluies. Une autre partie s'accumule principalement dans les boues d'épuration, lesquelles sont mises pour moitié à la décharge et pour moitié à la disposition des agriculteurs. On remarquera à ce propos que les méthodes actuelles d'exploitation agricole contribuent beaucoup plus à la diffusion du cuivre dans l'environnement que l'épandage des boues d'épuration. La charge de cuivre provenant des routes est comparable à celle qui vient des toitures. Dans les systèmes d'égouts séparatifs, le cuivre, de même que les autres métaux lourds entraînés par les eaux d'écoulement, s'accumuleront relativement rapidement dans les couches supérieures du sol.

En ce qui concerne les toits plats, on relèvera également l'importance des revêtements bitumineux. L'hydrolyse du Preventol libère l'herbicide R-/S-mécoprop, lequel sert à prévenir la croissance végétale sur les toits plats. Cet herbicide peut atteindre des concentrations jusqu'à 100 fois plus élevées que celles d'autres pesticides comme l'atrazine dans les eaux d'écoulement. La fig. 5 illustre le rapport entre la concentration d'atrazine et celle du mécoprop par rapport au débit des eaux d'écoulement provenant des toits plats étudiés à Winterthur. Comme on peut le constater, les niveaux de concentration et le comportement dynamique diffèrent nettement d'une substance à

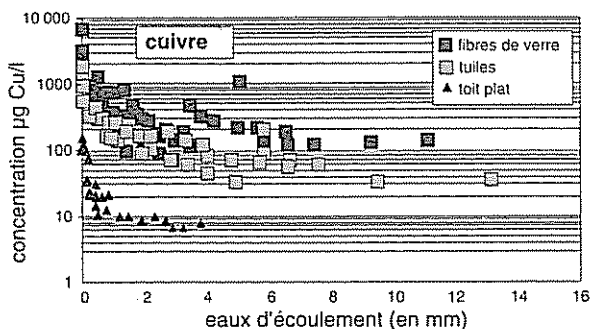


Fig. 4 Concentrations de cuivre dans les eaux d'écoulement provenant des toits avec chéneaux en cuivre (toits de tuiles ou en panneaux de fibres de verre renforcées) et sans ferblanterie en cuivre (toits plats recouverts de gravier).

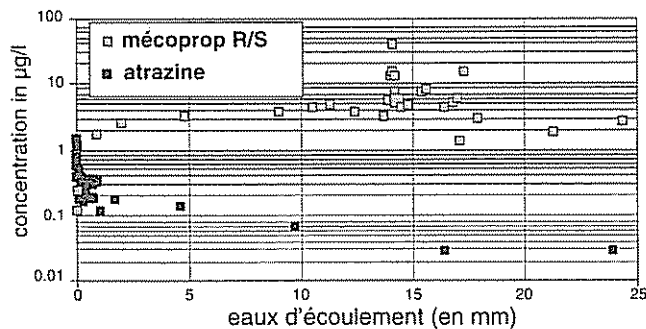


Fig. 5 Concentrations d'atrazine et de mécoprop dans les eaux d'écoulement d'un toit plat.

l'autre. Selon les estimations, le lessivage du mécoprop sur les toits plats est analogue aux charges diffuses calculées pour l'agriculture.

Influence du type de toiture

La qualité des eaux d'écoulement diffère selon qu'il s'agit d'un toit en pente ou d'un toit plat. Outre leur pouvoir de rétention nettement supérieur, les toits plats sont susceptibles, grâce à leur construction «filtrante», de retenir de nombreuses substances, voire même de les stocker en bonne partie. Aux mécanismes de filtration, d'adsorption et de biodégradation s'ajoutent encore un effet «first-flush» moins marqué. Selon la substance considérée, la qualité des eaux d'écoulement provenant des toits plats est donc nettement meilleure. La fig. 6 présente le profil comparatif de divers paramètres chimiques dans les eaux d'écoulement d'un toit de fibres de verre renforcées et d'un toit plat recouvert de gravier. On peut considérer qu'à long terme, les toits plats recouverts de gravier ou de végétation ont une fonction d'épuration efficace, compte tenu de l'accumulation des substances indésirables dans les matériaux de couverture.

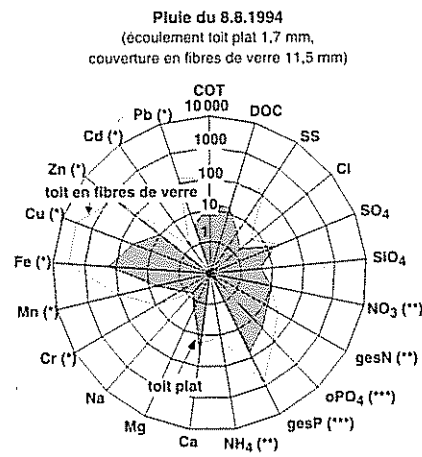


Fig. 6 Concentrations de micropolluants dans les eaux d'écoulement d'un toit en pente recouvert de panneaux de fibres de verre renforcées, comparées à celles d'un toit plat recouvert de gravier (mg/l, (*) $\mu\text{g/l}$, (**) mgN/l, (***) mgP/l.

eaux de ruissellement par les accotements est problématique dans la mesure où elle induit une pollution très diffuse et pratiquement incontrôlable.

Polluants: quo vadis?

À l'heure actuelle, les substances entraînées par les eaux pluviales parviennent de manière diffuse soit directement dans l'environnement, soit dans le système d'égout unitaire. Les métaux lourds, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les composés organiques halogénés adsorbables (AOX) sont facilement adsorbés par la phase particulaire. Ils finissent donc par enrichir les sédiments lacustres, les sols agricoles, les terrains construits et les abords du domaine routier. Les substances mobiles telles que les pesticides sont dégradées dans les STEP et dans les couches bioactives du sol ou parviennent directement dans les eaux souterraines. Ces substances s'introduisent en règle générale par diffusion sur de grandes surfaces. Il en résulte un phénomène d'accumulation certes très lent, mais inacceptable à long terme – il suffit de penser à la lente contamination des sols fertiles pour s'en convaincre. Dans l'optique d'une infiltration généralisée des eaux de ruissellement, il y a lieu de craindre la multiplication de sites hautement contaminés. En outre, la mobilité de certains polluants menace la sauvegarde des eaux souterraines. Selon les études pédologiques effectuées en la matière, la charge polluante des eaux évacuées par infiltration se confine d'une part dans les couches supérieures du sol, dont la phase particulaire est plus importante, et d'autre part dans les horizons d'accumulation argilique. La fig. 7 illustre le rapport concentration/profondeur de

qués (HAP) et les composés organiques halogénés adsorbables (AOX) sont facilement adsorbés par la phase particulaire. Ils finissent donc par enrichir les sédiments lacustres, les sols agricoles, les terrains construits et les abords du domaine routier. Les substances mobiles telles que les pesticides sont dégradées dans les STEP et dans les couches bioactives du sol ou parviennent directement dans les eaux souterraines. Ces substances s'introduisent en règle générale par diffusion sur de grandes surfaces. Il en résulte un phénomène d'accumulation certes très lent, mais inacceptable à long terme – il suffit de penser à la lente contamination des sols fertiles pour s'en convaincre. Dans l'optique d'une infiltration généralisée des eaux de ruissellement, il y a lieu de craindre la multiplication de sites hautement contaminés. En outre, la mobilité de certains polluants menace la sauvegarde des eaux souterraines. Selon les études pédologiques effectuées en la matière, la charge polluante des eaux évacuées par infiltration se confine d'une part dans les couches supérieures du sol, dont la phase particulaire est plus importante, et d'autre part dans les horizons d'accumulation argilique. La fig. 7 illustre le rapport concentration/profondeur de

Routes et toitures: comparaison

Par rapport aux eaux d'écoulement provenant des toitures, les eaux de ruissellement se distinguent par des concentrations nettement supérieures pour tous les paramètres examinés. Nettement plus importante, la phase particulaire est surtout dominée par les substances provenant de l'usure des composants automobiles et de la combustion des carburants. En comparaison, les émissions diffuses de nitrate, de cadmium, de plomb et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques sont 5 fois plus élevées que dans le cas des toitures. Il faut donc être prudent quant à l'évacuation par infiltration des eaux de ruissellement provenant du domaine routier. Diverses solutions ont déjà été expérimentées. Il s'agit de concentrer l'accumulation de polluants dans une sorte de «poubelle» remplie de terre. Largement répandue, l'évacuation des

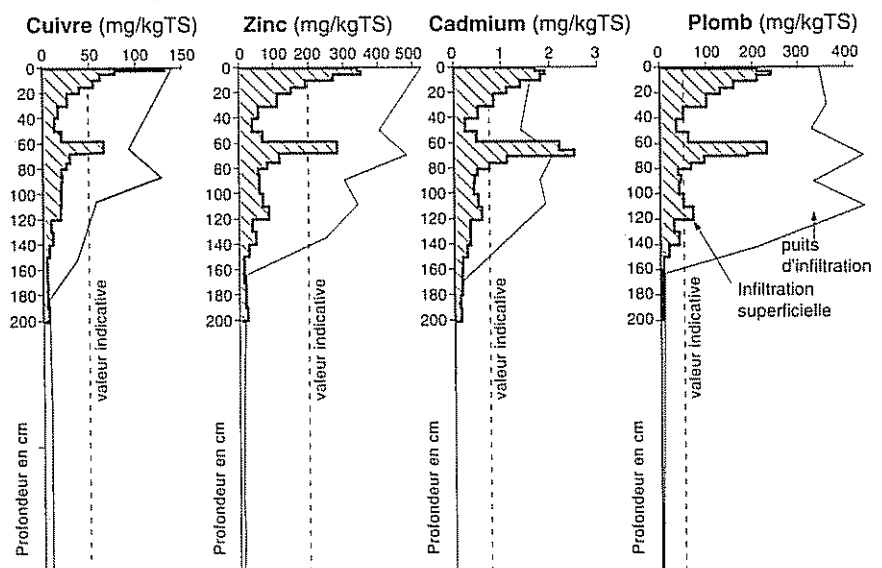
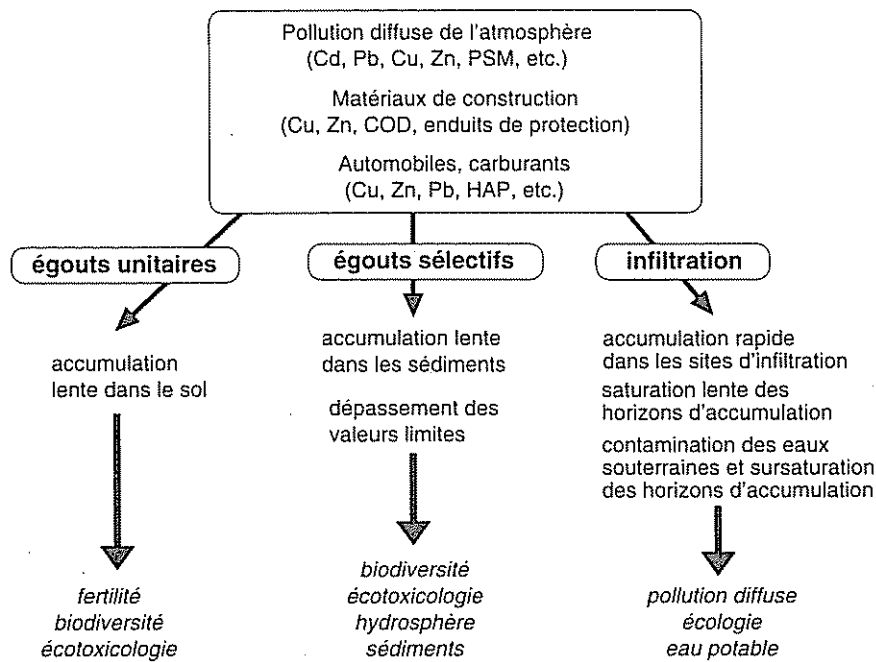


Fig. 7 Accumulation des métaux lourds dans les sites d'infiltration servant à l'évacuation des eaux de ruissellement provenant du domaine routier dans le canton de Bâle.



Tab. 2

Comparaison de l'impact potentiel des différents types d'évacuation des eaux pluviales en milieu urbain.

divers métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et zinc) dans des sites d'infiltration et des puits d'infiltration âgés d'une trentaine d'années dans le canton de Bâle.

Le lessivage des polluants ne dépend pas du degré de contamination des sols d'infiltration. Dans le cadre de l'étude des toits plats réalisée par l'EAWAG à Winterthour, il a fallu construire un nouveau site d'infiltration. Celui-ci a été pourvu d'un puits d'analyse permettant de prélever l'eau interstitielle et, par conséquent, de suivre la migration verticale des polluants. Bien qu'il ait été construit dans les règles de l'art, le site d'infiltration s'est révélé beaucoup moins efficace qu'escompté après quelques précipitations déjà. Tandis que le plomb et le zinc sont retenus dans les couches supérieures

du sol, le cuivre, le cadmium, l'atrazine et le mécoprop parviennent rapidement dans la couche de caillasse. Il y a donc lieu de craindre une contamination des eaux souterraines. Comme le confirme la fig. 8, l'atrazine parvient rapidement, sans dilution aucune et sans transformation chimique jusqu'à environ 1,6 m de profondeur au-dessous du site d'infiltration. L'exemple montre que les tampons d'infiltration à granulométrie élevée de même que les couches de caillasse fluviale ne protègent pas suffisamment les eaux souterraines contre la pollution, même si ces tampons d'infiltration sont recouverts d'humus, en particulier d'humus frais dont le degré de colmatage est insignifiant. La construction des sites d'infiltration doit encore être améliorée techniquement de manière à garantir la rétention des polluants et à favoriser leur biodégradation.

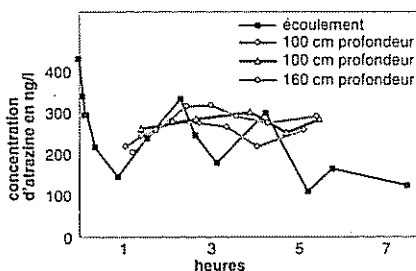


Fig. 8
Transit de l'atrazine dans un ouvrage d'infiltration.

Mise en péril du développement durable

Quel que soit le modèle appliqué pour l'évacuation des eaux, les substances non biodégradables telles que métaux lourds s'accumulent dans les terrains agricoles, dans les sédiments et au fond des sites d'infiltration. Le tableau 2 compare l'impact environnemental des différents sys-

tèmes (tout-à-l'égout, système séparatif et infiltration des eaux de ruissellement). L'accumulation de polluants dans les sols exploités et dans les sédiments conduit tôt ou tard à une détérioration pratiquement irréversible de la fertilité du sol, des rapports écotoxicologiques, des équilibres écologiques et, partant, de la biodiversité. D'infimes concentrations suffisent déjà pour porter atteinte, voire endommager durablement les micro-organismes, les algues, les poissons et les végétaux. Seule l'accumulation dans des décharges artificielles peut être considérée comme peu dangereuse dans la mesure où il ne s'agit pas de sites contaminés. A l'heure actuelle, l'accumulation dans les sites d'infiltration représente également une option praticable. Toutefois, celle-ci risque d'induire une saturation locale pouvant être à l'origine d'une contamination grave des eaux souterraines.

La diffusion des métaux lourds dans l'environnement pose problème dans la mesure où aucune intervention urgente ne s'impose, ni maintenant, ni dans un proche avenir. Par conséquent, aucune prescription légale ne vient modérer, voire stopper ces processus d'enrichissement. Etant donné que ces processus mettent des décennies à se manifester, les politiciens tout comme les responsables de cette micropollution généralisée ont tendance à minimiser l'importance des risques encourus.

Or, comme on le voit à la fig. 9, l'accumulation des polluants dans l'environnement dépend directement de l'utilisation de ces substances. Il faut donc agir aujourd'hui déjà. Il ne saurait être question d'admettre la micropollution jusqu'à concurrence des valeurs limites actuellement prescrites. Il s'agit bien plus de mettre en place dès aujourd'hui des processus de réduction, de substitution et d'élimination de ces substances. Même si on arrête séance tenante d'utiliser certaines substances nocives, par exemple dans la construction, ces polluants continueront de s'accumuler dans l'environnement du fait qu'ils sont encore largement présents dans les ouvrages construits. En admettant qu'on parvienne à remplacer tous les éléments

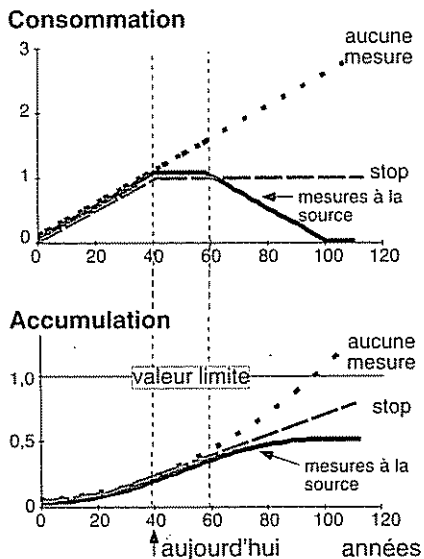


Fig. 9
Comparaison entre l'utilisation des substances et leur accumulation dans l'environnement selon trois scénarios différents.

de construction qui contiendraient ces substances, leur concentration dans l'environnement se stabilisera, mais ne diminuera pas pour autant, ce qui constitue avant tout une hypothèque pour les générations futures.

Solution pour un développement durable

L'accumulation des micropolluants du fait de l'infiltration des eaux de ruissellement est un problème qui paraît actuellement difficile à résoudre par le biais d'une intervention législative. Il faut donc se tourner vers des solutions privilégiant l'auto-responsabilisation des utilisateurs. Ceux-ci doivent prendre conscience du problème en tenant compte du long terme. Pour agir efficacement, il faut instaurer un partenariat de type nouveau, dépassant le cadre traditionnel de la collaboration pour l'aménagement des eaux urbaines. La fig. 10 présente un modèle de partenariat récemment mis sur pied pour résoudre le problème au niveau des matériaux de construction. Les intervenants proposent des solutions allant des mesures à la source aux solutions palliatives et mettent au point les options possibles pour leur mise en œuvre. Des partenariats analogues devront être institués pour les transports et l'agriculture dans le but de parvenir à une gestion durable des eaux urbaines.

Les mesures à la source consistent à réduire globalement l'utilisation industrielle des substances nocives, à les remplacer par des succédanés, voire à y renoncer entièrement. Ces mesures ne produiront leurs effets qu'à long terme. Elles doivent donc être complétées par des mesures palliatives visant à mieux localiser et à mieux contrôler la micropollution actuelle. Les sites d'infiltration ne doivent pas être seulement conçus comme des ouvrages à haute efficacité hydraulique, mais avant tout comme des ouvrages filtrants. L'EAUWAG planche actuellement sur l'étude de plusieurs substrats poreux à la fois hydrauliquement conducteurs et particulièrement adsorbants. Ces substrats permettraient de fixer localement les micropolluants et de mieux en contrôler la dynamique. Dans le but de garder le survol sur l'ensemble des sites d'infiltration, il est recommandé d'établir un cadastre des ouvrages d'infiltration si possible au niveau communal.

Récapitulation et conclusions

Du point de vue de la gestion des eaux urbaines, l'infiltration des eaux de ruissellement est une mesure judicieuse dans la mesure où elle est appliquée de manière généralisée à toutes les surfaces construites, routes y comprises. Toutefois, cette stratégie s'avère problématique si on tient compte de l'évolution qualitative des eaux de ruissellement provenant des toits et des routes. En effet, l'infiltration des eaux de ruissellement entraîne une micropollution indésirable de la pédosphère et de l'hydrosphère. A cet égard, il convient de distinguer entre deux catégories de substances: celles qui s'accumulent sur les sites d'infiltration pendant toute la durée de vie de l'ouvrage d'infiltration et celles qui se comportent de manière très mobile et qui parviennent facilement dans les eaux souterraines si on ne prend pas de mesure particulière. A la première catégorie appartiennent les métaux lourds tels que le cuivre, le cadmium, le plomb et le zinc, hautement concentrés dans les eaux de ruissellement, ainsi que les substances organiques du type AOX et HAP. Quant

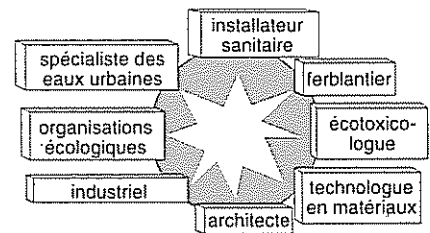


Fig. 10
La gestion des eaux urbaines: au coeur d'un nouveau partenariat.

à la seconde catégorie, elle regroupe divers produits phytosanitaires. L'accumulation des micropolluants n'est pas un problème aigu, mais un long processus qu'il s'agit de contrôler aujourd'hui déjà. A long terme, il est évident que seules des mesures à la source, favorisant notamment les microcycles de l'eau, pourront déboucher sur des solutions durables pour l'environnement. Parmi ces mesures à la source, il faut mentionner l'amélioration de la qualité de l'air, la limitation, le remplacement, voire l'élimination de certains matériaux de construction, de pièces d'automobile, de biens d'agrément et de biens de consommation dans le secteur des transports. Quelle que soit la bonne volonté des intervenants, il faut attendre très longtemps avant que les mesures à la source ne produisent un résultat environnemental tangible. Dans le cas des matériaux de construction par exemple, les mesures à la source ne produisent leurs effets que pendant la durée de vie des constructions. Afin d'assurer aux générations d'aujourd'hui et de demain un meilleur contrôle de la micropollution due à l'infiltration des eaux de ruissellement, il faut envisager des mesures palliatives à titre complémentaire. Ces mesures interviennent au niveau des ouvrages d'infiltration et ont pour objectif d'assurer la rétention locale des micropolluants et, le cas échéant, la biodégradation des impuretés organiques. A cet effet, il faut développer de nouveaux modèles d'infiltration prévenant en particulier le contact hydraulique direct avec les eaux souterraines et comprenant des réacteurs chimiques, voire biochimiques. Plus ces mesures seront rapidement appliquées, plus l'élimination des eaux de ruissellement sera facile à intégrer dans la gestion des eaux urbaines, ce qui permettra d'en réduire l'impact environnemental à long terme.

C. Annette Johnson et Eduard Hoehn

Anciennes décharges et eaux souterraines: un voisinage à risque

C. Annette Johnson¹Eduard Hoehn¹

Ces dernières décennies, la Suisse a enregistré une forte progression du nombre de sites contaminés. Ils constituent un danger potentiel tant pour l'hydrosphère que la biosphère. On estime leur nombre à quelque 50 000, dont 5 à 10% doivent être assainis. Leur investigation et leur assainissement se chiffrent en milliards de francs, si bien qu'il faut procéder par ordre de priorité.

Objectifs et problématique

Sur le Plateau suisse, près de la moitié des sites pollués sont des décharges polluées par l'accumulation de déchets mixtes, urbains et industriels. Ces anciennes décharges, qui peuvent receler entre autres des substances dangereuses pour l'environnement, sont souvent situées dans des gravières désaffectées. Or, il n'est pas rare que les aquifères traversant les couches de gravier, sable et caillasse

soient également exploités pour la production d'eau potable. En Suisse, plus de 80% de l'eau potable provient des eaux souterraines. Le danger est donc imminent partout là où les eaux souterraines exploitables passent sous d'anciennes décharges [1]. L'impact de ces anciennes décharges doit donc faire l'objet d'une évaluation.

La ville de Winterthur compte quelque 700 sites potentiellement contaminés, dont environ 200 sont répertoriés comme remblais artificiels. Ces sites potentiellement contaminés représentent au total 3% du territoire urbain. On peut donc craindre une contamination des eaux souterraines de Winterthur. A l'heure actuelle, il est difficile d'en estimer l'ampleur [2]. L'un des programmes prioritaires de recherche de l'EAWAG est consacré à l'évaluation de ce risque potentiel à Winterthur, à l'exemple du site de Riet (risque de pollution et assainissements nécessaires selon [3]).

Notre travail a pour but de créer un modèle d'évaluation pour l'impact des anciennes décharges en général. Nous voulons en particulier évaluer la diffusion, dans les eaux souterraines, des

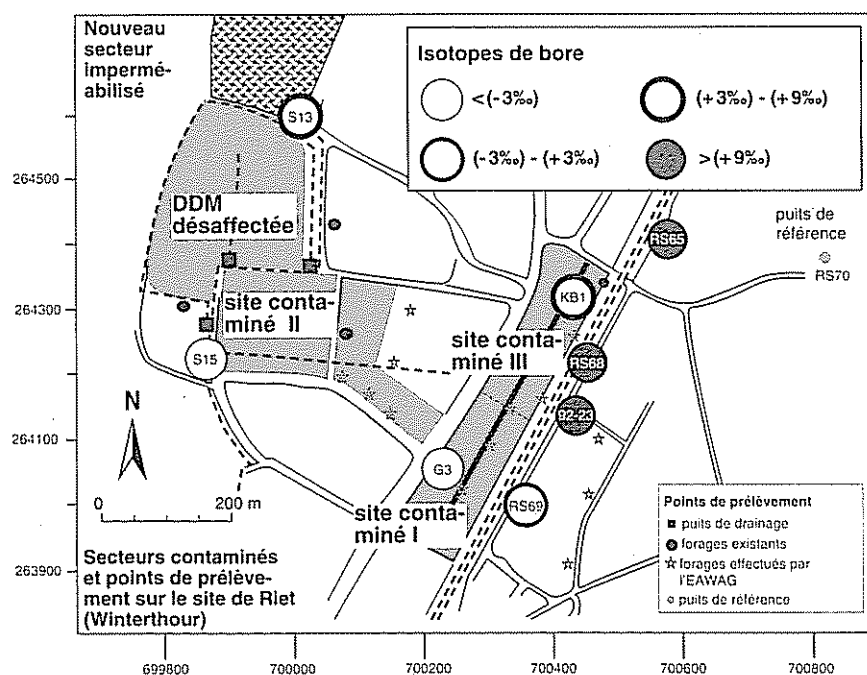


Fig. 1

Plan de situation du site de Riet à Winterthur. Situation des points de prélèvement des eaux souterraines. Les points de sondage servant à l'analyse des isotopes de bore sont entourés d'un grand cercle. Les rapports en ‰ indiquent l'écart entre les échantillons et une eau de référence. Ce procédé permet d'évaluer les provenances respectives des eaux mixtes. Lignes discontinues = conduites de drainage. Droite reliant KB1 et G3 = projection du profil géologique présenté à la fig. 2.

¹ En collaboration avec Karim Abbaspour³, Arja Amirbahman, Adrian Ammann, Peter Huggenberger², Vijay Matta, Michael Nay, Anita Peter, Sonja Riediker, René Schoenenberger, Laura Sigg, Mario Snozzi, Andrea Ulrich, Jürg Zobrist et Hans-Rudolf Zweifel

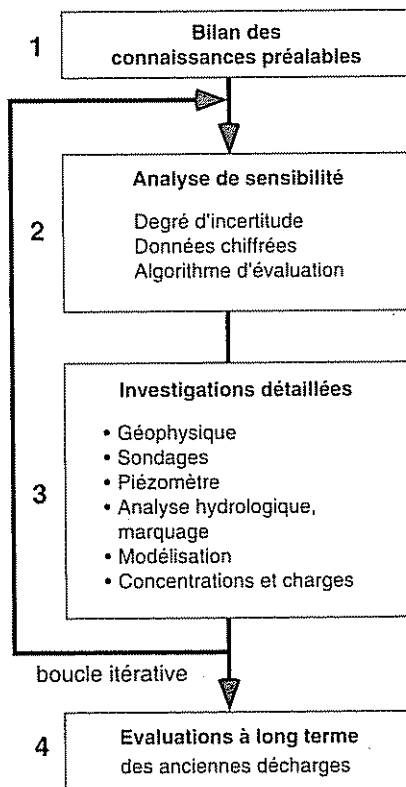
¹ Auteurs

² Géologue cantonal de Bâle-Ville, Université, CH-4056 Bâle.

³ Institut d'écologie pédologique, EPFZ, CH-8592 Schlieren.

polluants présents dans les anciennes décharges de Winterthur. Nous avons analysé la teneur en oxygène des eaux souterraines proches des anciennes décharges de Riet et avons confronté ces résultats avec les données obtenues dans les eaux souterraines encore pures du communal de Wiesendangen, localité toute proche.

Etant donné cet objectif, nous avons opéré un travail d'investigation selon un quadrillage spatial beaucoup plus fin que cela n'avait été le cas lors de l'étude préliminaire. L'importance de l'investigation doit être proportionnelle aux coûts et à l'importance de l'assainissement. Plus les méthodes d'investigation sont efficaces, plus la rentabilité des investissements consentis est élevée. Une investigation détaillée s'articule en plusieurs étapes, ce qui permet d'optimiser la collecte des données:



La qualité des données existantes est contrôlée au moyen d'un modèle algorithmique. Cette étude de sensibilité, qui peut s'effectuer par exemple selon la méthode d'Abbaspour et al. [4], permet d'évaluer si les séries de données doivent être complétées lors de l'investigation détaillée.

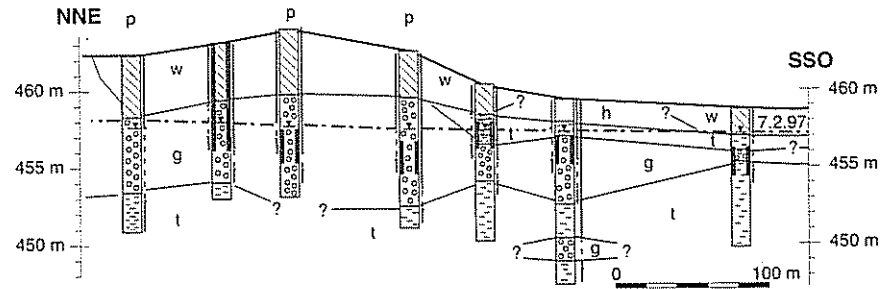


Fig. 2

Profil géologique des secteurs III et I, suivant la ligne KB1-G3 (voir fig. 1).

Structure géologique: w = remblai artificiel; h = humus; g = caillasse; t = moraine; p = sondages; traits fins le long des sondages: tubages pour l'observation des eaux souterraines, tronçon en trait-tillé = partie drainante; traits épais = carottes prélevées à l'aide du liner. Points d'interrogation = suite de valeurs incertaines). Niveau de la nappe phréatique = point-trait-point-trait.

Situé au nord-est de Winterthur, le site de Riet présente un intérêt particulier. En effet, ce lieu a servi de décharge pendant plus de 70 ans à la ville de Winterthur, qui y a déposé une partie non négligeable de ses déchets urbains. La problématique de Riet comporte plusieurs volets:

⊙ Les eaux souterraines du site de Riet sont-elles menacées par les anciennes décharges et, le cas échéant, par quelles substances? Quelle est l'étendue et la rapidité de la diffusion de ces polluants par rapport aux eaux souterraines du communal de Wiesendangen?

⊙ Suffit-il de mettre le site sous surveillance ou d'investir davantage dans l'assainissement des anciennes décharges de Riet pour pallier la rétention insuffisante des polluants et, partant, la contamination fort probable des eaux souterraines?

⊙ Quels critères permettent d'évaluer le comportement diachronique de ces anciennes décharges? Quelle est en général l'importance attribuée au problème des décharges contenant des déchets urbains non traités?

Description du site

Le site de Riet comporte plusieurs secteurs de décharge. Le fond des secteurs actuellement en exploitation a été imperméabilisé pour préserver les eaux souterraines. Il existe en outre quatre secteurs désaffectés, dont le fond n'a pas été imperméabilisé (voir fig. 1+4, décharge I: 1918–1925; décharge II: 1925–1935; décharge III: 1950–1960; et une décharge pour déchets multiples (DDM):

1960–1990). Les décharges I–III sont d'anciennes tourbières remplies principalement d'ordures ménagères sur une hauteur de 3 mètres. A l'est de la décharge III, le sous-sol se compose d'une couche de gravier et sable très perméable de 5 à 10 mètres, dont l'épaisseur croît en direction de l'est. Ce secteur est contigu à l'aquifère exploité du communal de Wiesendangen. De précédentes études tant techniques qu'historiques ont révélé que ces anciennes décharges sont responsables de la pollution des eaux souterraines toutes proches. Etant donné ces résultats, l'Office zurichois de la protection des eaux et du génie hydraulique (Amt für Wasser, Energie und Luft, AWEL) a ordonné en 1994 la surveillance des eaux d'infiltration et des eaux souterraines aux abords du site.

Démarche

Pendant deux ans, nous avons exploré le site et réalisé de nombreuses analyses chimiques. Notre étude comporte les volets suivants:

⊙ Analyse électromagnétique du sol: cette méthode bon marché donne des résultats clairement structurés et ne porte pas atteinte au paysage (ci-après désignée par EM31).

⊙ Sondage pédologique: analyse détaillée du sous-sol et analyse structurale grâce au prélèvement de carottes. Grâce à un procédé spécial nommé «lining», les couches de caillasse sans cohésion ont pu être conservées pratiquement sans détérioration. Ce procédé consiste à introduire, en même temps que le forage, un tube en matière synthétique qui permet de gagner

les carottes et de les extraire sous vide d'air ([5]; voir page de titre, cliché en haut à droite).

○ Sondage hydrologique: des tuyaux spéciaux ont été introduits dans les trous de forage afin de pouvoir effectuer des prélèvements d'eau d'infiltration et d'eau souterraine à diverses profondeurs.

○ Analyse chimique des échantillons prélevés pour évaluer le comportement des substances et leur migration dans le sous-sol.

○ Un bilan de l'eau ainsi qu'un modèle rhéologique des eaux souterraines ont été établis par une nouvelle méthode de marquage dans le but de modéliser la migration des polluants.

Résultats des investigations

La méthode géophysique EM31 a permis d'affiner les plans existants, notamment en ce qui concerne les délimitations du secteur II. Dans le secteur III, cette méthode a mis en évidence une forte conductivité de l'eau et du sous-sol [6]. Sur la base des anciennes études, nous nous attendions à une corrélation entre ces secteurs et la composition chimique des décharges. Nos propres sondages ont toutefois permis d'analyser la constitution géologique et hydrologique du sous-sol de manière beaucoup plus précise que cela n'avait été le cas jusqu'ici (voir par ex. fig. 2). Le bilan de l'eau a révélé que le volume d'eau de pluie parvenant dans l'aquifère est minime. Les eaux de pluie sont pratiquement entièrement éliminées par drainage [7]. Une nouvelle méthode de marquage recourant à des isotopes de bore a permis d'analyser des eaux souterraines mixtes comptant jusqu'à 2 ou 3 provenances (correspondant probablement aux différents secteurs de décharge). Les eaux d'infiltration provenant de la décharge II (puits de drainage S15), les eaux d'infiltration provenant de la décharge III (forage KB1) et les eaux souterraines de secteurs situés en amont (par ex. tubage RS65) convergent vers le tubage RS69, secteur où elles se mélangent (fig. 1; [8]). Selon le modèle d'écoulement des eaux souterraines [9], les eaux souterraines du secteur III s'écoulent plus au sud-ouest que prévu

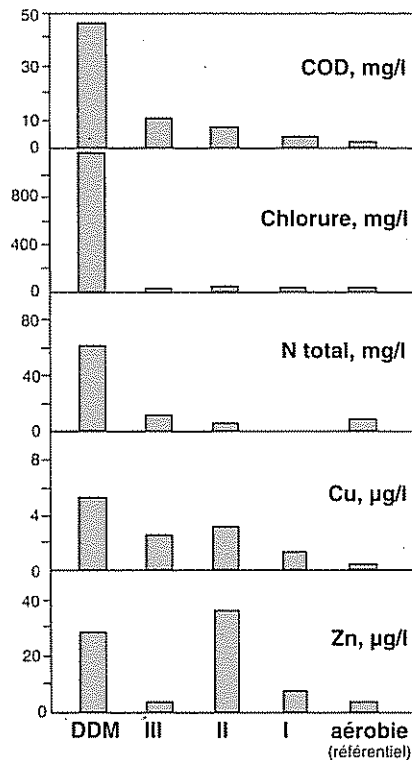


Fig. 3
Concentration de COD, de chlorure, de N total, Cu et Zn dans les eaux d'infiltration des différents secteurs de Riet, en comparaison avec l'eau souterraine du communal de Wiesendangen (RS70).

initialement. Leur axe diverge d'environ 30° par rapport à la direction du courant estimée dans les anciennes études. En outre, lorsque le niveau des eaux souterraines est élevé, il est probable qu'une petite partie des eaux souterraines provenant du secteur II parvienne dans l'aquifère sous-jacent au communal de Wiesendangen. Ce dernier résultat étaye notre interprétation des rapports entre les isotopes de bore.

Résultats de l'analyse chimique

Constitution géochimique des eaux souterraines: comme le démontrent les prélèvements effectués au point de sondage RS70, les eaux souterraines du communal de Wiesendangen, situé à l'est du site de Riet, ne sont pas polluées par les anciennes décharges. Ces eaux souterraines se caractérisent par une dureté et une teneur en oxygène élevées et servent de grandeur référentielle pour l'évaluation des eaux d'infiltration et des eaux souterraines polluées.

La charge et la concentration en sels, en composés inorganiques et en métaux

lourds des eaux d'infiltration des secteurs I à III et des eaux souterraines environnantes sont nettement plus faibles que celles des eaux d'infiltration provenant de la DDM et des secteurs actuellement en exploitation. La principale perturbation qualitative des eaux souterraines provient de la diminution d'oxygène due à l'activité réductrice du matériel organique issu des déchets, mais aussi des résidus naturels de tourbe. Cette consommation d'oxygène induit d'autres processus biogéochimiques tels que dénitrification, formation par oxydoréduction de solutions ferrugineuses, manganéuses ou sulfuriques. Comme l'illustre la fig. 3, la plupart des substances énumérées plus haut évoluent en parallèle selon les différents sites. Toutefois, le zinc (Zn) ou l'arsenic (qui n'est pas représenté sur la fig. 3) font exception. En effet, on constate une nette accumulation de ces deux substances dans les eaux d'infiltration du secteur III. Pour expliquer ce phénomène, il faudrait réaliser des études supplémentaires sur la phase solide de la couche de déchets du secteur considéré.

L'impact sur les eaux souterraines peut également être évalué du point de vue quantitatif. La charge d'un polluant se calcule en kg/jour, soit le produit d'un débit en m³/jour fois une concentration en kg/m³. Le débit des eaux souterraines sous-jacentes au communal de Wiesendangen (paramètre référentiel de la fig. 3) est d'environ 20 000 m³/jour. Ce débit est 100 fois plus élevé que l'apport des eaux souterraines provenant de la DDM et du secteur II. En admettant que la concentration du carbone organique dissous (COD) soit 5 à 10 fois plus élevée dans le secteur II que dans les eaux souterraines de référence (voir fig. 3), cela signifie que la charge en COD est 10 à 20% supérieure. Nous supposons donc que la diffusion des eaux souterraines pauvres en oxygène touche une zone de réaction relativement limitée en aval du secteur I. En dehors de cette zone de réaction, les eaux souterraines appauvries se mélangent aux eaux souterraines riches en oxygène qui ne traversent pas les anciennes décharges. Ce comportement se confirme très nettement si on regarde les mesures effectuées dans les forages

effectués en diagonale depuis le secteur III, suivant la direction de l'écoulement qui avait été supposée lors des précédentes investigations [10]: les concentrations de substances telles que le chlorure ou le sulfate par exemple, diminuent d'un coup dès que l'on se situe hors du périmètre du secteur III.

Comportement diachronique

La question de l'assainissement dépend entre autres de l'évolution diachronique des concentrations et des charges de polluants. Cette analyse évolutive se base essentiellement sur la composition et la réactivité du site considéré. Il faut connaître ces deux facteurs pour savoir si la concentration d'une substance est susceptible de diminuer et, le cas échéant, à quelle vitesse, ou si une modification des paramètres biogéochimiques peut provoquer l'accroissement des charges polluantes. Pour la plupart des substances, on peut compter sur une diminution des concentrations et des charges en fonction des facteurs temps et vitesse de lessivage. Toutefois, il suffit que les conditions biogéochimiques se modifient, par ex. suite à un environnement oxydoréducteur, pour que les substances organiques ne soient plus biodégradées ou que les métaux lourds soient mobilisés. Dès lors, on peut assister au lessivage de certains polluants même après des décennies.

Constitution des couches de déchets

Il est difficile de déterminer la nature chimique d'une couche de déchets, étant donné son hétérogénéité et l'absence fréquente de documentation historique. Dans la plupart des cas, on procède par échantillonnage pour des raisons financières et techniques. La pertinence des données peut certes être améliorée par des méthodes statistiques. Toutefois, les règles statistiques [4] exigeraient qu'on effectue des centaines de prélèvements, étant donné que la composition d'une couche de déchets se définit en fonction de sa surface et de sa profondeur. Et même en admettant qu'on y parvienne,

la probabilité qu'il y ait encore des substances non répertoriées est grande. Par exemple, si on analyse les 6 carottes prélevées entre 0,3 et 2 m de profondeur dans le secteur III du site de Riet, on constate que les concentrations de zinc se situent entre 0,07 et 1,2 g/kg. Ces données ne correspondent pas à la conductivité de la couche de déchets telle qu'elle a été mesurée par la méthode EM31.

Au cours de ce siècle, le volume et la nature des déchets urbains ont fortement évolué, comme en témoigne l'étude des documents écrits qui s'y rapportent [11, 12]. Au début du siècle, les déchets urbains se composaient pour moitié de cendres, le reste étant essentiellement des déchets compostables (voir fig. 4). Le modernisme venant, la part des cendres et des déchets compostables a diminué tandis que les déchets devenaient de nature toujours plus complexe. Introduite dans les années soixante à septante, l'incinération des ordures ménagères a eu pour conséquence de transformer les décharges en dépôts de scories.

Dans le cas des déchets inorganiques, la concentration des polluants migrant dans les eaux d'infiltration dépend essentiellement du type de lessivage et de la rapidité de ce processus. Les déchets organiques, quant à eux, entraînent une modification de l'état d'oxydoréduction et sont à l'origine de toute une série de composés organiques. C'est principalement le cas pour les dépôts ultérieurs à 1950. Les processus de lessivage dépendent des conditions d'oxydoréduction.

Réactivité

La réactivité d'un site contaminé est sa capacité résiduelle à polluer l'environnement et en particulier les eaux souterraines. Cette caractéristique dépend d'une part de la constitution de la couche de déchets et, d'autre part, des caractéristiques biogéochimiques des substances susceptibles d'être mobilisées. Dans le cas du site de Riet, la réactivité se mesure d'après l'état d'oxydoréduction des eaux d'infiltration (voir fig. 5). Ainsi, si on observe les concentrations du COD, du fer dissous Fe(II) et du sulfure S(-II), on constate qu'elles sont nettement supé-

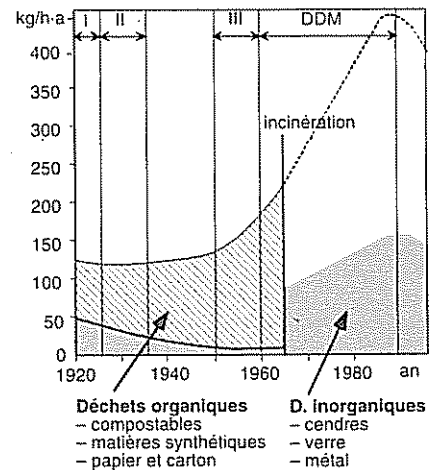


Fig. 4
Hypothèse sur l'évolution historique des déchets déposés sur le site de Riet.

rieures dans le secteur III à celles qu'on trouve dans les eaux souterraines aérobies (c'est-à-dire à haute teneur en oxygène) du communal de Wiesendangen. Dans le même secteur, les analyses ont mis en évidence la présence de méthane, ce qui permet de conclure à l'existence de conditions favorables à la dégradation anaérobie. Si on compare cet état localement méthanogène aux conditions régnant dans le secteur I, on voit que si l'oxygène fait également défaut, il n'y a pas de trace de Fe(II) ni de S(-II) dissous.

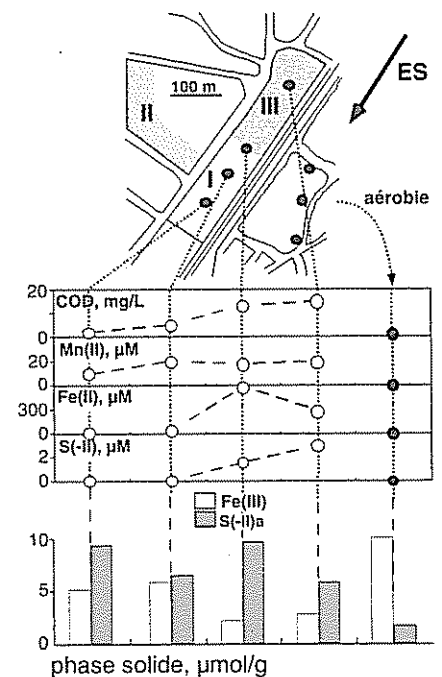


Fig. 5
Etat d'oxydoréduction des eaux souterraines et de la phase solide dans les secteurs I et III.
ES = direction de l'écoulement de l'eau souterraine.

Ici, la pauvreté en oxygène provient du mélange des eaux d'infiltration des secteurs I et III avec l'aquifère sous-jacent au communal de Wiesendangen.

La phase solide des anciennes décharges se caractérise aujourd'hui par une diminution de la teneur en Fe(III) oxydé et par une augmentation du soufre réduit (-II) par rapport aux conditions régnant dans le sous-sol du communal de Wiesendangen. Visiblement, les conditions étaient à l'origine beaucoup plus réductrices que maintenant [10]. L'analyse de la phase solide des anciennes décharges permet donc de comprendre l'évolution diachronique des conditions chimiques qui règnent dans leur sous-sol.

La biodégradabilité de nombreux composés organiques dépend du potentiel d'oxydoréduction. L'étude de Nay et al. [11] montre par exemple comment le perchloroéthylène est biodégradable en conditions méthanogènes (fig. 6). En revanche, il faut par exemple des conditions aérobies pour que la naphthaline soit dégradée. Selon cette étude, les substances telles que le 1,1-dichloroéthylène ne sont pratiquement pas dégradées, quelles que soient les conditions. Ces composés n'ont jamais été mis en évidence sur le site de Riet.

Emissions et évaluation à long terme

Le schéma de la fig. 7 illustre la relation entre le temps et les concentrations des eaux d'infiltration provenant d'une décharge de déchets urbains [12, 14]. La méthanisation apparaît très rapidement et est supposée de maintenir durant la première décennie. Simultanément, il faut s'attendre à ce que certaines substances soient entraînées par les eaux d'infiltration. Les eaux d'infiltration des jeunes décharges de déchets urbains se distinguent par de fortes concentrations de carbone organique, d'ammonium et de sels, par l'absence d'oxygène dissous et par un éventail quasi infini de composés organiques. La plupart des concentrations de métaux lourds restent faibles, parce qu'il se forme en général des sulfures peu solubles. En outre, lorsque les conditions sont moins anoxiques et que

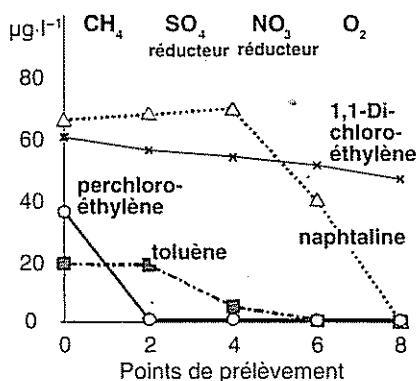


Fig. 6 Transformation des polluants dans un modèle de laboratoire.

Quatre colonnes ont été installées l'une après l'autre, chacune ayant des conditions rédox particulières. Ce modèle correspond à la situation d'une pollution des eaux souterraines par le biais des eaux d'infiltration provenant d'une décharge. Selon les cas, les substances observées sont dégradées ou transformées.

le pH évolue en conséquence, les métaux peuvent se mobiliser. Toutefois, aussi longtemps que le calcaire fait office de tampon, les métaux sont peu mobiles. Par exemple, dans le secteur III du site de Riet, la teneur en calcaire du matériau est si élevée (soit 10 à 40% en poids) qu'il faudrait attendre plusieurs millénaires jusqu'à ce que le calcaire soit saturé. On peut donc dire avec une relative certitude que, du point de vue diachronique, les concentrations des substances solubles évoluent à la baisse. Ainsi, si on considère par exemple les concentrations de chlorure, elles sont plus faibles dans les eaux d'infiltration d'anciennes décharges que dans celles des nouvelles décharges. A cet égard, nous pouvons confronter nos résultats aux données des autres décharges. Dans tous les cas, l'évolution diachronique des concentrations de polluants présents dans les décharges ne peut être évaluée correctement que si la genèse de la décharge est connue.

Aspects financiers

L'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) estime à quelque Fr. 250 000.- [1] les frais d'investigation d'un site contaminé. Mais notre étude, qui a duré 2 ans, a coûté au total quelque Fr. 400 000.-, dont environ Fr. 280 000.- pour les travaux in situ et en laboratoire. La ville de Winterthur a alloué une somme de

Fr. 79 000.- pour les forages et une partie des investigations géophysiques. Nous remercions la municipalité de sa contribution. L'ampleur des coûts s'explique par le fait de notre optique scientifique: nous voulions comparer la pertinence de diverses méthodes d'investigation.

Conclusions

Dans quelle mesure les secteurs non imperméabilisés I, II et III du site de Riet risquent-ils de polluer à l'avenir les eaux souterraines? Mis à part le zinc et l'arsenic, nous n'avons rien trouvé ni dans les eaux d'infiltration ni dans les eaux souterraines, qui nécessitent l'intervention des autorités. C'est pourquoi, en l'état actuel de nos connaissances, nous estimons que l'exploitation industrielle des eaux souterraines du communal de Wiesendangen n'est pas menacée à long terme. Selon toute hypothèse, l'assainissement des secteurs I à III (mise en sécurité ou décontamination) coûterait quelques centaines de milliers de francs, ce qui nous paraît démesuré par rapport au risque encouru.

Les anciennes décharges datant des années cinquante ou moins, contenant principalement des ordures ménagères, nous paraissent poser moins de problèmes que les nouvelles décharges créées depuis lors. Une investigation historique (selon [3]) permettrait de classer les sites contaminés selon leur potentiel de risque.

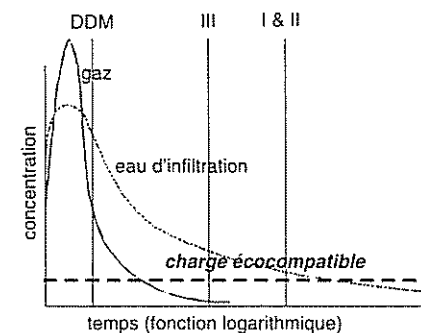


Fig. 7 Représentation schématique des émissions à long terme des décharges de déchets urbains selon [12, 14] et évaluation qualitative du risque de pollution des différents secteurs du site de Riet.

La surveillance du site de Riet, telle qu'elle a été mise en place par la municipalité de Winterthur, est trop peu précise. Dans notre étude, nous partons de l'idée que les autorités affineront la précision de leur instrument de surveillance aussi bien du point de vue de

la définition géographique que de la définition biogéochimique. En ce qui concerne les métaux traités dans notre étude, des investigations supplémentaires sont nécessaires quant à la constitution exacte de la couche de déchets des anciennes décharges de Riet. En ce qui

concerne la DDM, le risque de pollution est tel qu'une étroite surveillance s'impose. S'il devait s'avérer ultérieurement que la situation se détériore par rapport à l'état actuel, il faudrait dès lors analyser de près l'état de la DDM.

- [1] BUWAL (1994): Altlasten-Konzept für die Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 200.
- [2] Stadt Winterthur (1996): Jahresbericht Deponie Riet.
- [3] BUWAL (Mai 1997): Erläuterungen zur Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung; AltV), 33 pp.
- [4] Abbaspour K., Matta, V., Huggenberger P. und C.A. Johnson (1997): Decision making using hydrogeological risk models and expert opinions in landfill analysis, *J. Contam. Hydrol.*, in Vorb.
- [5] Hoehn E. und P. Honold (1998): Schonende Entnahme wenig gestörter Materialproben unter Luftabschluss aus Bohrungen in grobkörnigen Lockergesteins-Grundwasserleitern, *Schweiz. Ing. Arch.*, in Vorb.
- [6] Huggenberger P., Zweifel H.-R., Ulrich A. und Ammann A. (1997): Optimising observation wells for process studies by combining geophysical and geochemical approaches, in Vorb.
- [7] Zweifel H.-R. (1995): Deponie und Altlasten in Winterthur-Riet: Wasserhaushalt, Unveröff. Ber., EAWAG.
- [8] Hofer, M., W. Aeschbach-Hertig, U. Beyerle, D.M. Imboden, R. Kipfer, A. Johnson, T. Tivvar, E. Hoehn, A. Ulrich, S.B. Haderlein, und T. Hofstetter (1997): Tracers as essential tools for the investigation of physical and chemical processes in environmental systems. *Chimia*, 51 (12), 941-946.
- [9] Peter A. (1997): Modellierung der stationären Grundwasserströmung mit ASM, Unveröff. Praktikumsarbeit, Univ. Freiburg i.Bsg./EAWAG.
- [10] Amirbahman, A., R. Schoenberger, C.A. Johnson, und L. Sigg (1997): Aqueous and solid phase biogeochemistry of a calcareous aquifer system downgradient from a municipal solid waste landfill (Winterthur, Switzerland), *Environ. Sci. Technol.*, eingereicht.
- [11] Nay M., Snozzi M. und A. Zehnder (1997): Fate and Behaviour of Organic Compounds in an Artificially Saturated Subsoil under Controlled Redox Conditions: the Sequential Soil Column System, *Biodegradation*, in Vorb.
- [12] Belevi, H., und P. Baccini (1989): Long-term behavior of municipal solid waste landfills, *Waste Manag. Rev.*, 7, 43-56.
- [13] Baccini P., Bächler M., Brunner P.H. und Henseler G. (1985): Von der Entsorgung zum Stoffhaushalt: Die Steuerung anthropogener Stoffflüsse als interdisziplinäre Aufgabe. *Müll und Abfall*, Heft 4, 99-108.
- [14] Farquhar C.J. und E.A. Rovers (1973): Gas production during refuse decomposition. *Water Air Soil Poll.*, 2, 483-495.

L'EAWAG perd un objet de musée

L'algothèque, une collection d'environ 300 algocultures pures que possédait l'EAWAG, a été dissoute pour des raisons économiques. Fondée par le professeur O. Jaag, ancien directeur de l'EAWAG, la collection s'est agrandie sous l'impulsion de A. Zehnder. Pendant des années, Alfons Zehnder, professeur au gymnase, a enrichi cette collection à ses heures perdues et a isolé algues et cyanobactéries du monde entier. De ses séjours à l'étranger (par exemple au Népal), il a ramené de nombreuses cultures vivantes et a développé les milieux nutritifs propres aux différentes souches. Ces souches algales – des cultures pures – devaient constamment être réensemencées. La collection n'était pas très volumineuse en comparaison internationale, mais elle était appréciée comme un bijou, parce qu'elle contenait des espèces fort rares et spéciales, dont l'isolement était toujours très bien documenté. Entre 50 et 100 cultures par année étaient utilisées aussi bien comme matière brute pour la recherche que comme matériau de démonstration dans l'enseignement.

A la suite du décès prématuré d'Alfons Zehnder, Madame Marianne Bosli-Pavoni, ancienne collaboratrice du professeur O. Jaag, a repris le flambeau de la collection. Très vite familiarisée avec la technique des cultures, elle a porté à cette collection beaucoup d'attention et d'amour. Comme son emploi à 20% ne suffisait pas, Madame Bosli a largement

puisé dans ses heures de loisirs pour servir la science année après année. A notre demande, elle s'est même déclarée prête à continuer ce travail après sa retraite. Une des dernières tâches avant son départ définitif du giron administratif a consisté à mettre sur les rails la dissolution de la collection et à transmettre le plus grand nombre de souches algales à d'autres collections. La plupart des souches ont été transférées à Kaiserslautern.

Nous tenons à remercier ici Madame Marianne Bosli-Pavoni du fond du coeur pour son engagement de longue date.

Ainsi va la vie: d'un côté, un témoin de la biodiversité est abandonné alors que de l'autre, la recherche s'intéresse précisément aux algues, soit parce qu'elles contiennent certaines substances médicalement utilisables ou toxiques, soit parce que leur métabolisme pourrait servir à des tests de biologie moléculaire ou de physiologie. Pour ce faire, il faut non seulement une grande variété d'algues, mais aussi des cultures pures, comme celles qu'on trouve dans une algothèque.

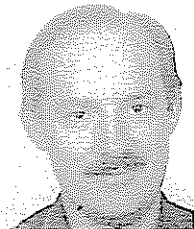
Hans-Rudolf Bürgi



La Töss: modèle écologique



Armin Peter



Tom Gonser

Le présent article analyse l'état écologique de la Töss depuis son embouchure jusqu'à sa source, en mettant l'accent sur la corrélation entre la diversité des espèces de poissons, les biotopes et l'état des habitats pisciaires. Il s'attache tout particulièrement à décrire la situation écologique du Linsental, près de Winterthour.

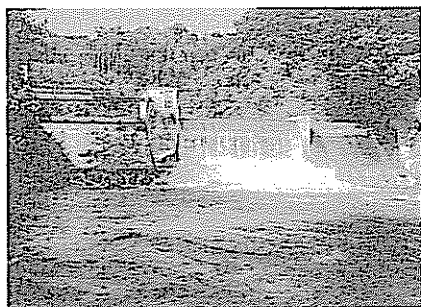
* en collaboration avec René Gächter, Matthias Brunke, Ivana Jancarkova, Tania Schellenberg¹, Flavio Tunesi², Peter Ulmann et Rainer Zab

¹ Universität Münster, Zoologisches Institut, Hüfferstr. 1, D-48149 Münster

² Forchstr. 143, 8032 Zürich

En amont de l'ouvrage de Freienstein (12 espèces au total)

chevaine, truite commune, vairon, poisson rouge, chabot, goujon, brochet, gardon, tanche, loche franche, *spirin*, épinoche



En aval de l'ouvrage de Freienstein (23 espèces au total)

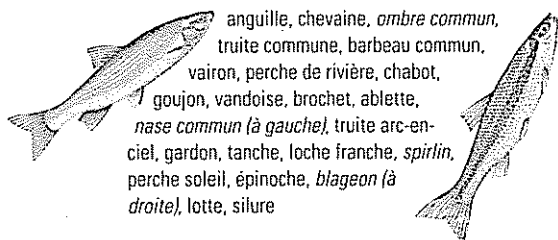


Fig. 1
Présence d'espèces de poissons en aval et en amont du barrage de Freienstein (hauteur: 6,5 m). Les espèces en italique sont protégées dans toute l'Europe en vertu de la Convention de Berne.

Analyse systémique

La mise en évidence du potentiel de réhabilitation passe par une analyse approfondie du système fluvial. L'étude présentée ci-après se base sur des sondages écomorphologiques effectués dans la Töss [1] sur l'ensemble de son cours (y compris quelques cours d'eau latéraux) et est complétée par des analyses ichtyobiologiques. Le principal paramètre écomorphologique en question est la corrélation des habitats.

Pour évaluer l'état actuel d'un cours d'eau, on étudie son intégrité écologique [2]. Cette dernière comprend

- l'intégrité chimique (qualité de l'eau)
- l'intégrité physique (structure de l'habitat, régime d'écoulement, hydrodynamique)
- l'intégrité biologique (génétique, populations, biocénoses, relations avec le paysage).

Analyse des possibilités de passage

Sur la Töss, dont le cours mesure 59,7 km, on compte au total 568 ouvrages de génie hydraulique, contre 35 obstacles naturels au total. La longueur moyenne des tronçons exempts d'obstacles est de 99 m.

La fig. 2 illustre les barrières de migration existantes de plus de 2 m. La biodiversité ichtyologique de la Töss a été analysée en fonction de ces handicaps. L'impact sur l'ichtyofaune est particulièrement évident si on considère le premier ouvrage hydraulique, haut de 6,5 m, situé près de Freienstein (fig. 1). 23 espèces de poissons vivent dans le tronçon aval, long de 4,6 km et à l'état quasi-naturel, entre l'embouchure de la Töss dans le Rhin et le premier ouvrage. Avant la construction de cet ouvrage, les

23 espèces peuplaient vraisemblablement aussi le tronçon amont. Elles avaient un parcours quasi-naturel de 3,3 km à disposition. Aujourd'hui, seules 11 espèces (plus une nouvelle venue, le poisson rouge) sont encore présentes en amont de l'ouvrage. Des échelles à poissons ont été aménagées sur cinq des sept obstacles suivants. Cependant, ces passages ne peuvent être surmontés que par les poissons doués d'une certaine vigueur et ne conviennent pas aux petits poissons.

Etat des habitats et biodiversité ichtyologique

Le cours de la Töss se subdivise en quatre parties. Ces parties présentent des caractéristiques similaires:

1^{ère} partie

embouchure du Rhin jusqu'au tronçon 7 (en aval de Pfungen), 7,9 km de long. *Caractéristiques:* habitats quasinaturels, 24 espèces de poissons (dont 12 en amont de Freienstein).

2^e partie

en aval de Pfungen jusqu'au tronçon 17 (début du Linsental), 10,1 km de long. *Caractéristiques:* habitats monotones, rétroactions insuffisantes entre la pédosphère et l'hydrosphère, 7 espèces de poissons. Quelques espèces manquent à cause de l'uniformité des habitats.

3^e partie

tronçons 18 et 19, Linsental (5,75 km de long).

Caractéristiques: habitats monotones, rétroactions insuffisantes entre la pédosphère et l'hydrosphère, 4 espèces de poissons (présence fréquente: chabot de rivière; présence moyennement fréquente: truite de rivière; présence isolée: vairon et loche franche). La faible pré-

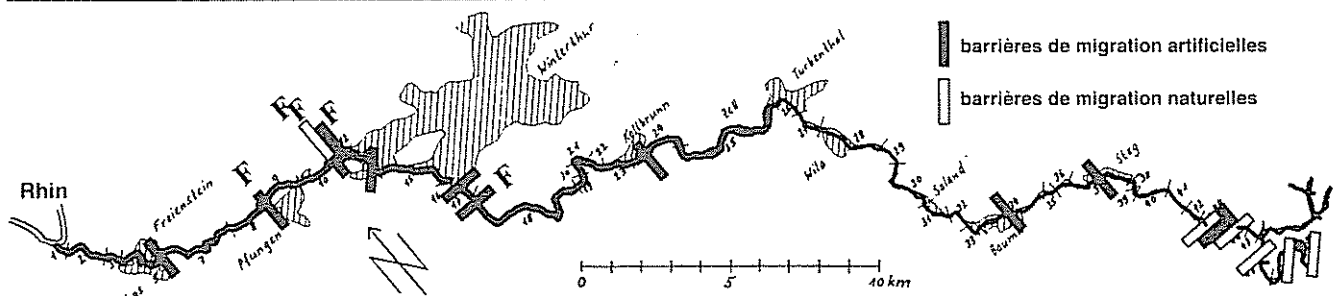


Fig. 2

Bassin versant de la Töss, de [1], complété avec les barrières de migration supérieures à 2 m. F indique la construction d'une échelle à poissons là où se trouve une barrière de migration. Les chiffres 1–50 désignent les tronçons écomorphologiques.

sence du vairon et de la loche franche est consécutive à l'aménagement monotone du cours d'eau. Les 143 ouvrages de génie hydraulique (d'une hauteur maximale de 50 cm) font obstacle à la migration des petits poissons.

4^e partie

en amont du Linsental jusqu'à la source (38,8 km de long).

Caractéristiques (bassin versant de la source non compris): parcours extrêmement monotone, habitats monotones, rétroactions insuffisantes entre la pédosphère et l'hydrosphère. Les quatre espèces de poissons présentes (truite commune, vairon, chabot, loche franche) ne se retrouvent qu'en faible densité. Cet état de fait résulte des aménagements uniformes du cours d'eau, des équipements hydro-électriques, mais aussi des périodes naturelles d'assèchement. 332 ouvrages de génie hydraulique empêchent toute libre circulation des poissons (plus grand tronçon libre: 117 m).

Complexes hydrologiques latéraux

Le bassin de la Töss se caractérise par une hydromorphologie particulière comprenant des cours d'eau latéraux et des plans d'eau isolés qui ne sont reliés à la Töss qu'en cas de crues, et dont le courant, la température et le chimisme sont très différents par rapport à la Töss. Ces biotopes augmentent la diversité des habitats pisciaires. Très précieux pour les alevins ou comme zones d'hibernation, ils se caractérisent par une densité et une biomasse élevées et sont colonisés par des espèces de poissons spécialisées. Ils contribuent à l'accroissement de la biodiversité.

Isolement des cours d'eau latéraux

La plupart des cours d'eau latéraux de la Töss parviennent dans la Töss par

un déversoir, mais les liaisons hydrologiques font défaut. Les petits poissons (parmi lesquels le chabot de rivière prédomine) n'ont donc aucune possibilité de migration. D'après une analyse réalisée sur 8 cours d'eau latéraux de la vallée supérieure de la Töss [3], 6 étaient inaccessibles aux petits poissons dès leur embouchure, le septième leur était accessible seulement sur les 100 premiers mètres, et le dernier seulement sur les 200 premiers mètres.

Récapitulation de l'analyse des déficits

- ⊙ La connectivité longitudinale (amont-aval) est fortement entravée dans la Töss (568 ouvrages de génie hydraulique).
- ⊙ La plupart des cours d'eau latéraux sont isolés.
- ⊙ La Töss fait l'objet d'une intense utilisation hydroélectrique. 17,5 km (soit 30% du cours d'eau) sont des tronçons à débit résiduel et, dans 11 cas sur 15, aucune dotation en eau n'a été prévue.
- ⊙ Il ne reste plus que quelques rares tronçons à l'état quasi-naturel (soit 13% maximum de la longueur totale de la Töss).
- ⊙ A l'exception des tronçons quasi-naturels, les habitats piscicoles de la Töss sont extrêmement monotones (invariabilité de la largeur et de la profondeur, absence de structure).
- ⊙ Il n'y a pratiquement plus de liaison avec les cours d'eau latéraux.
- ⊙ L'ichtyofaune est fortement atteinte (diversité des espèces, densité).
- ⊙ Les biofilms assurant l'auto-épuration sont facilement emportés lors des petites crues dans les tronçons fortement aménagés de la Töss.

Conclusion: l'utilisation intensive et l'aménagement excessif de la Töss laissent des traces. La gestion de la Töss ne peut pas être qualifiée de durable et l'intégrité écologique n'est pas assurée.

Une amélioration totale des biotopes s'avère indispensable. Ceci sera au mieux possible via une remise à l'état naturel et la réhabilitation des liaisons (possibilités de passage) ainsi qu'en prévoyant des débits résiduels suffisants.

Déficits écologiques dans le Linsental

De prime abord, le Linsental paraît naturel, mais à y regarder de plus près, on constate très vite que la Töss est fortement aménagée (fig. 3). Consolidées, les berges canalisent le cours d'eau dans un étroit chenal large de 20 m. Étant donné l'accélération du débit qui en résulte et un déficit général de charriage dans le bassin versant, la Töss a creusé son lit. Afin de contrecarrer cette évolution, des seuils ont été construits tous les 30 à 40 m. Comme toute la rivière – également par temps de crues – coule dans un canal stabilisé et profond, il n'y a plus d'interaction avec les terrains environnants ni avec la dynamique morphologique de la rivière.

L'absence d'interactions entre la rivière et les terrains environnants a de pro-

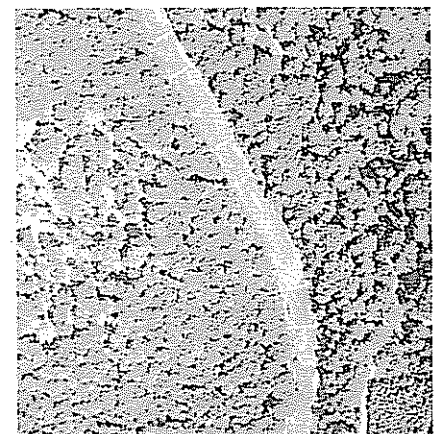


Fig. 3

Photo aérienne de la Töss dans le Linsental.

fondes répercussions sur la végétation des berges. Celle-ci est devenue monotone (fig. 4), depuis qu'elle n'est plus emportée périodiquement par les crues, ce qui lui permettrait de se rajeunir. Ainsi, il manque une succession diversifiée de biocénoses pionnières et de prairies de bois tendre de différents âges. Cette végétation ne connaît pas non plus de périodes de submersion dues aux crues et aux inondations.

De plus, l'influence des terrains environnants sur la morphologie de la rivière est faible, ce qui a de graves conséquences pour la formation des biotopes aquatiques. Il manque des zones inondables, des berges affouillées, un lit de largeur variable, du bois mort structurant l'habitat dans le cours d'eau ainsi que des cours d'eau latéraux. L'hydromorphologie latérale de la plaine alluviale est également très pauvre en mares, en bras latéraux isolés et en résurgences reliées à la rivière ou aux eaux souterraines. Ces eaux-là sont soumises à un autre régime thermique que le cours principal de la rivière et sont généralement pauvres en courant. Elles offriraient des habitats appropriés à un tout autre spectre d'organismes et seraient par conséquent très importantes pour la biodiversité de ce paysage fluvial. Les résurgences abritent une faune adaptée à des conditions relativement stables. Dans les bras latéraux de la Töss vivent de nombreux animaux qui recherchent les eaux calmes. Ils offrent également des biotopes appropriés aux espèces opportunistes qui y viennent de l'extérieur (p.ex. à de nombreuses espèces de punaises et de coléoptères). Les mares latérales de la plaine alluviale constituent des biotopes essentiels pour les amphibiens, qui comptent parmi les espèces les plus menacées de cette région.

L'ancienne Töss

Sur les anciennes cartes antérieures à l'aménagement de la Töss, on voit nettement que la rivière d'autrefois était richement ramifiée, qu'elle présentait une grande variabilité de largeur et qu'on y trouvait, sur une vaste plaine alluviale, des résurgences de source, des bras morts, des mares, des îles alluviales et des struc-

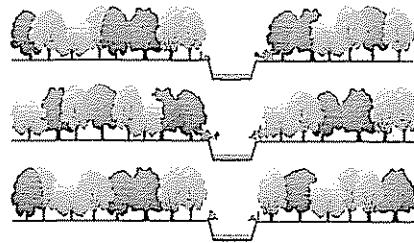


Fig. 4
Représentation schématique des vues en coupe du cours actuel de la Töss dans le Linsental.

tures de végétation les plus diverses. Comme l'illustre la fig. 5, l'hétérogénéité d'un tel système fluvial avec les différents habitats aquatiques, les associations végétales et les différents stades successifs ne peut se constituer que dans une interaction dynamique entre le cours d'eau et les terrains environnants. Comme la Töss modifiait sans cesse son cours, elle occupait toute la largeur du Linsental.

Importance écologique et réalisation d'une remise à l'état naturel

Le Linsental est un territoire boisé avec des terrains inhabités ou agricoles. Il semble s'offrir pour redonner à la Töss plus ou moins «libre parcours». Grâce au retour sous contrôle à un état d'auto-structuration naturelle, de nombreux microorganismes, amphibiens et oiseaux retrouveraient des biotopes appropriés qui n'existent pratiquement plus à l'heure actuelle. Cette mesure locale serait très précieuse pour la biodiversité de l'ensemble du territoire de la Töss et de son paysage, mais elle resterait sans effet pour certaines espèces de poissons, aussi longtemps que leur migration demeurera entravée par de grandes dénivellations.

Quelle importance revêt la réhabilitation de la Töss? Il devrait y avoir suffisamment d'espace pour la formation d'habitats naturels. Une remise à l'état naturel doit laisser la porte ouverte aux processus de structuration naturels, c'est-à-dire qu'elle doit laisser la rivière «faire son travail». A cet effet, il faut tout d'abord commencer par éliminer les ouvrages de stabilisation des rives, afin que les crues puissent modeler le paysage fluvial de manière diversifiée. Cette démarche requiert toutefois une vision à long terme. Ce n'est qu'après de nombreuses

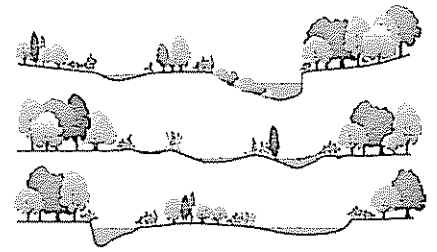


Fig. 5
Représentation schématique des vues en coupe du cours de la Töss dans le Linsental vers 1816.

années que les différents biotopes et les différents stades successifs pourront à nouveau se constituer. Autrefois statique et conservateur, le génie hydraulique doit devenir un facteur de dynamisme et d'auto-contrôle.

Réhabilitation consciente: un gain de reconnaissance

Une remise à l'état naturel de la Töss est bien plus qu'une simple revalorisation écologique. C'est aussi un enseignement d'importance suprarégionale. Un tel projet doit pouvoir déboucher sur des expériences généralisables. Il s'agit de formuler des mesures tenant compte d'intérêts divergents (comme par exemple la protection contre les crues, la distribution d'eau potable, la valeur des lieux de délasserment) et définissant implicitement des prévisions ou des hypothèses. Ces prévisions ainsi que l'horizon temporel (dans lequel les conséquences escomptées sont attendues) doivent être clairement spécifiés. Après un délai convenable, il s'agit d'analyser et d'apprécier si les mesures prises ont engendré les conséquences souhaitées. Si l'état espéré n'est pas encore apparu, les mesures existantes doivent être renforcées ou reformulées. Si les conséquences escomptées apparaissent, le projet peut être qualifié de réussi et les conclusions reportées sur d'autres systèmes.

- [1] EAWAG et OFEFP (1995): Anleitung zur Beurteilung der schweizerischen Fließgewässer. Ökomorphologie, Hydrologie, Fischbiologie. Projet de rapport final.
- [2] Karr, J. R. and D. R. Dudley, (1981): Ecological perspective on water quality goals. Environ. Manage. 5:55-68.
- [3] Tunesi, F., (1996): Situationsanalyse der Fließgewässer im oberen Tösstal. Travail de diplôme à l'Institut des sciences environnementales de l'EPFZ, 135 p.

Eduard Hoehn

Le Linsental: à la fois ressource d'eau potable et espace vital



Eduard Hoehn

Les autorités projettent de réhabiliter le cours de la Töss dans le Linsental, près de Winterthour. C'est précisément là que se trouvent les captages d'eau potable de la ville de Winterthour. Or, ces deux affectations entrent en conflit l'une avec l'autre. Par des études réalisées in situ, l'EAWAG entend contribuer à résoudre ce conflit.

Situé au sud de Winterthour, le Linsental constitue un tronçon boisé de quelque 3 km de long dans la vallée de la Töss. Des images du siècle passé révèlent que ce tronçon de la Töss était un système fluvial ramifié (voir la couverture de l'EAWAG news 39). Aujourd'hui, ce même tronçon est canalisé par des berges et isolé des terrains adjacents. L'eau de la Töss est propre et quasi-naturelle. A cet endroit, le fond de la vallée est constitué d'un lit recouvert de gravier et de sable sur 100 à 200 m de largeur. A une profondeur d'environ 5 m coule un courant souterrain de 10 à 20 m d'épaisseur dans un aquifère de caillasse perméable. En de nombreux endroits, l'eau de la rivière s'infiltré dans le sous-sol et enrichit ainsi la nappe phréatique. D'excellente qualité, celles-ci sont captées par les Services

industriels de la ville de Winterthour (SI) grâce à plusieurs puits. Elles viennent ainsi alimenter, sans autre traitement, une partie considérable du réseau de distribution d'eau potable.

Problématique

Le Service zurichois des eaux, de l'énergie et de l'air (AWEL, kantonales Amt für Wasser, Energie und Luft) planifie de réhabiliter certains tronçons canalisés du Linsental. Comment se modifie le lit de la rivière si on libère le cours de la Töss, et quels sont les risques inhérents pour les captages d'eau potable? Pour pouvoir répondre à ces questions, il faut pouvoir prédire l'évolution de la qualité de l'eau, et surtout le risque d'apparition d'agents pathogènes. Voilà pourquoi une petite partie du Linsental (fig.1, Obere Au/Sennschür) a été utilisée comme terrain d'essai pour évaluer en particulier les temps de séjour des eaux souterraines et de l'eau d'infiltration ainsi que la part relative des eaux d'infiltration. La prospection hydrogéologique de ce terrain d'essai a comporté

a) des études géophysiques (géo-radar) réalisées en deux endroits: d'une part, à un lieu d'exfiltration confirmé en amont et, d'autre part, à un endroit d'infiltration supposé en aval;

b) des forages le long des courants d'eaux souterraines pour installer des puits d'observation dans l'aquifère et des tubages dans le lit de la Töss (drainages placés à différentes profondeurs).

A partir de la modélisation numérique du système, une étude hydrologique par marquage a porté sur des gaz rares

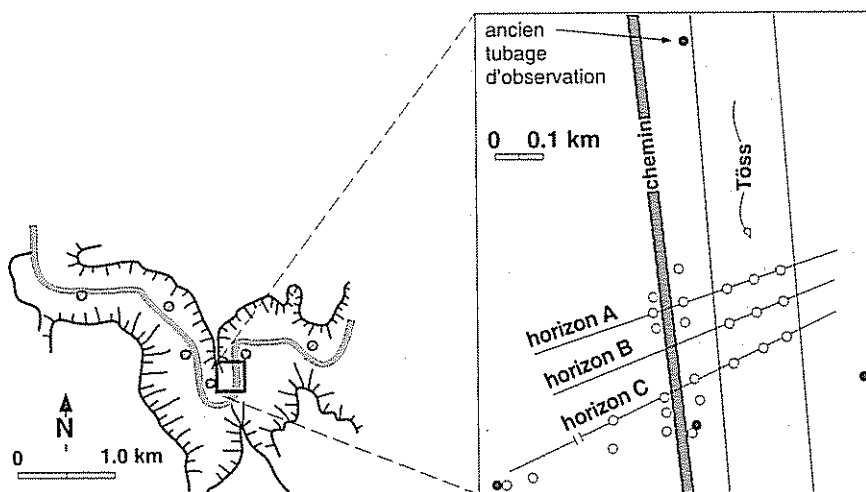


Fig. 1
Emplacement du terrain d'essai dans le Linsental (cercles dans l'image du bas = captages d'eau).

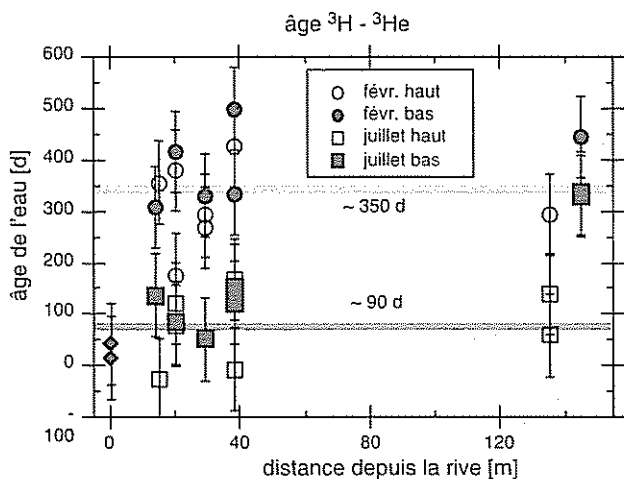


Fig. 2 Répartition temporelle de l'âge des eaux de la Töss le long du courant hypothétique de l'aquifère; les eaux souterraines sont plus âgées en hiver qu'en été (pour plus de détails, voir Aeschbach et al., 1997).

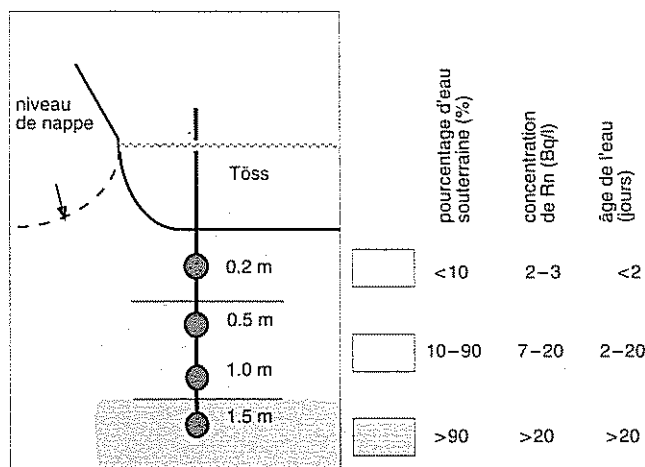


Fig. 3 Âge des eaux dans la zone d'infiltration de la Töss; Concentrations de radon à différentes profondeurs depuis des tubages placés dans le lit de la Töss.

présents naturellement (^3He , ^{22}Ne , et ^{222}Rn). En étroite collaboration avec les SI de Winterthour et l'AWEL, les résultats de cette étude serviront de base de décision pour la suite de la procédure de réhabilitation envisagée.

Confrontés aux données géologiques, les signaux radar ont permis de mettre en évidence, dans le sol du terrain d'essai, des structures rappelant une rivière à l'origine sauvage, qui déposait des couches de gravier et de sable lors des crues [1]. Les forages ont confirmé les résultats obtenus par radar et ont permis d'identifier en profondeur quelques couches moins perméables. Vers l'aval, la pente des eaux souterraines fait certes penser à un possible courant d'infiltration. Mais la capacité d'infiltration semble être faible.

Age des eaux souterraines

Des mesures sporadiques de la température des eaux souterraines ont révélé que les valeurs mesurées oscillaient nettement moins dans les eaux souterraines que dans la Töss. Les «véritables» eaux souterraines se caractérisent par des températures presque constantes. Considéré comme modèle, le bilan hydrologique du Linsental a permis d'estimer à 200 jours le temps moyen de séjour des eaux souterraines. Les concentrations d'hélium et de néon dans les échantillons d'eaux souterraines et d'eau de surface ont permis de calculer dans les forages un âge à peu près comparable pour les eaux

souterraines situées en aval (fig. 1; [2, 3]). Dans ces mêmes forages, les concentrations de radon étaient de 25 ± 2 Bq/l ($n = 18$), ce qui correspond à un âge supérieur à 20 jours. D'après les tubages placés dans le lit de la Töss, les concentrations de radon à une profondeur de 0,5 à 1,0 m varient entre 2 et 20 Bq/l, ce qui révèle une faible zone mixte entre l'eau de la rivière et les «véritables» eaux souterraines (fig. 3; [2]). A partir des données hydrogéologiques, la modélisation du courant d'eau souterrain a permis de calculer des temps de séjour pour les eaux souterraines comparables aux temps de séjour estimés à partir du bilan hydrologique et aux temps de séjour déduits par l'analyse des gaz nobles. Dans le modèle, l'eau d'infiltration se stratifie dans la partie supérieure de l'aquifère [5].

Limites de la réhabilitation

Les mesures de génie hydraulique destinées à réhabiliter la Töss dans le Linsental doivent permettre à la rivière de sculpter à nouveau elle-même son cours à la fois par l'érosion et l'alluvionnement. Quel risque les Services Industriels encourrent-ils du fait de cette réhabilitation? Réalisée par les SI, une première estimation prudente des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine avait mis en évidence des zones dont le temps de séjour était inférieur à 10 jours. Pour des raisons de protection des eaux souterraines (risque d'apparition de bactéries et de

polluants dissous dans l'eau, parvenant directement de la Töss dans les captages d'eau souterraine), une réhabilitation de ces zones est exclue, car la distance entre les berges de la rivière et les captages pourrait se réduire et la part d'infiltration dans les eaux souterraines transportées pourrait s'accroître. C'est pourquoi les mesures de réhabilitation se limiteront à de petits tronçons d'une longueur de quelques centaines de mètres. De plus, les eaux souterraines doivent être contrôlées aussi bien près de la rivière que près des captages quant à leur temps de séjour, aux taux de mélange et à la diffusion des polluants. Ce contrôle régulier doit être intensifié en fonction du débit de la Töss, notamment durant les crues. Les résultats de ces analyses démontrent que la réhabilitation est possible.

Je tiens à remercier les participants au groupe de projet: Peter Huggenberger (aujourd'hui géologue cantonal de Bâle-Ville/Université), Rolf Kipfer, Urs Beyerle, Martin Hirt et Norbert Mattle.

[1] P. Huggenberger, en préparation.
 [2] Hofer, M., W. Aeschbach-Hertig, U. Beyerle, D.M. Imboden, R. Kipfer, A. Johnson, T. Vitvar, E. Hoehn, A. Ulrich, S.B. Haderlein und T. Hofstetter, (1997): Tracers as essential tools for the investigation of physical and chemical processes in environmental systems, *Chimia* 51 (12), 941-946.
 [3] U. Beyerle, Diss. ETHZ, en préparation.
 [4] N. Mattle, Diss. ETHZ, en préparation.

Andrea Rüede

La participation – un défi pour la science?



Andrea Rüede

La recherche environnementale se doit d'être utilisable à la fois pour la pratique et pour la politique. Cette nécessité devient certes de plus en plus urgente, mais la recherche peine à suivre. Le projet «Utilisation du cuivre à l'extérieur des bâtiments» se propose de montrer de manière exemplaire que les processus basés sur la participation peuvent s'avérer utiles et fructueux à bien des égards.

L'impact du cuivre utilisé à l'extérieur des bâtiments fait l'objet d'amples développements scientifiques et techniques dans l'article de Markus Boller (voir p. 6 ss.). Mais la vraie question est la suivante:

Comment les politiciens et les praticiens évaluent-ils l'impact à long terme du cuivre sur les sols et les eaux?

Vers la fin janvier 1997, l'Institut suisse de biologie et d'écologie en bâtiment (SIB, Schweizerisches Institut für Bau-biologie und Bauökologie) et la section lucernoise du WWF donnent à Lucerne une conférence de presse concernant le nouveau Palais congrès et de la culture, dont le toit est destiné à être recouvert d'une couverture en cuivre. Se référant surtout aux publications de l'EAWAG, le SIB et la section lucernoise du WWF affirment que la pratique actuelle génère une lente contamination des eaux et des sols par le cuivre, que les stratégies d'évitement doivent être privilégiées et que les architectes, les services des constructions, les concepteurs et les scientifiques doivent être invités à trouver des solutions de remplacement [1]. Dans sa brochure d'information «Le cuivre dans la construction des toits et des façades», l'Association suisse des maîtres ferblantiers et appareilleurs (ASMFA) considère en revanche que l'utilisation du cuivre à l'extérieur des bâtiments n'est pas problématique,

même du point de vue environnemental [2]. L'OFEP ne voit pas de problème aigu avec le cuivre utilisé à l'extérieur des bâtiments et, partant, n'entrevoit pas d'urgence d'agir. Cependant, l'EAWAG estime que la charge de cuivre parvenant dans la pédosphère et l'hydrosphère posera des problèmes à long terme. Tout comme la recherche de solutions novatrices, la recherche de matériaux de substitution adéquats du point de vue tant écologique et économique que technique doit être prépondérante. Les sites d'infiltration munis d'un filtre adsorbant ne doivent être considérés que comme solution transitoire.

Etant donné le durcissement des points de vue parmi les intéressés nationaux (dont l'EAWAG), l'EAWAG a décidé d'instaurer un processus de participation (voir p. 26) au niveau régional. Ce processus vise en premier lieu à stimuler les débats entre tous les groupes d'intérêts nationaux. Ces discussions doivent être suffisamment développées pour permettre ensuite aux acteurs régionaux de rédiger des recommandations écrites sur l'évaluation de la situation à long terme, les actions possibles et les mesures concrètes à court terme. L'occasion s'est offerte de vérifier l'importance pratique et politique des résultats de recherche de l'EAWAG et de développer éventuellement de nouveaux sujets de recherche. L'exemple «Utilisation du cuivre à l'extérieur des bâtiments» s'est avéré utile pour deux raisons: la part de cuivre provenant des ferblanteries et des façades par rapport à l'apport total de cuivre dans les sols et les eaux est certes plus petite que celle provenant de l'agriculture, mais les processus sociaux qui y sont liés peuvent être délimités, circonscrits et mieux

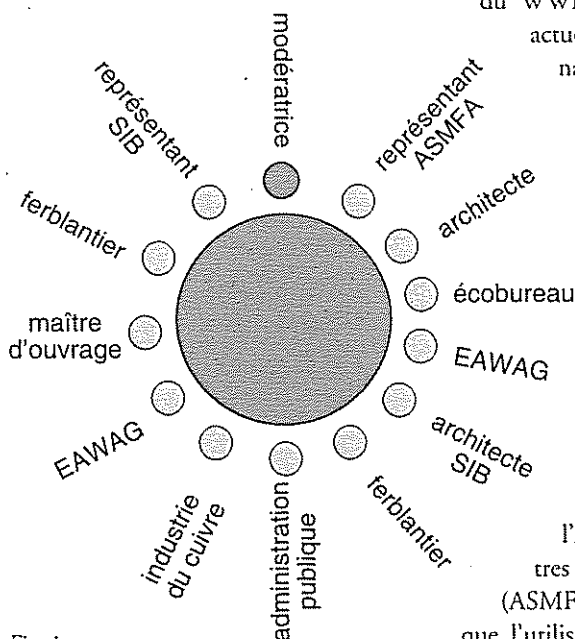


Fig. 1
Participants aux groupes thématiques.

analysés du point de vue scientifique. Deuxièmement, il n'y a pas d'urgence à agir. Cet état de fait favorise une étude plus posée et comporte ainsi de réelles chances d'aboutir à un programme de mesures cohérentes du point de vue écologique, économique et social.

Mise sur pied de groupes thématiques

Les processus de participation *en science* ont une longue tradition en matière de recherche politique. Régulièrement, l'EAWAG y a recours. En faisant participer les intéressés et les décideurs, il est possible de vérifier l'importance pratique et politique de la recherche et de l'améliorer à moyen terme. Les résultats issus des processus de participation ont valeur de recommandation ou de conseil. Ils sont appelés à soutenir les processus politiques existants ou, s'il y a lieu, à en créer de nouveaux. Un des instruments intervenant dans ces processus est le groupe thématique.

Les *groupes thématiques* sont des groupes de discussion réunissant 6 à 12 personnes. Le but premier de ces groupes consiste à réunir différents types de connaissances, de savoir-faire et d'expériences autour d'un problème concret. La discussion est dirigée par un animateur ou une animatrice. Les participants se stimulent mutuellement en échangeant leurs points de vue et leurs commentaires et en développant de nouvelles idées. Les groupes thématiques se prêtent tout particulièrement à l'élaboration d'informations qualitatives ou de questions d'évaluation.

Afin de déterminer si et quand il est judicieux de mettre en oeuvre des groupes thématiques pour un problème donné, on s'orientera en fonction des critères mentionnés ci-après. Ces critères sont nécessaires, mais ils ne suffisent pas à mettre sur pied des groupes thématiques, car tout dépend des problèmes concrets qui se posent:

- ⊙ évaluer les marges de manoeuvre,
- ⊙ définir l'acceptabilité des propositions formulées par les experts,
- ⊙ désigner les *possibilités* de consensus en cas de conflit (aigu),

- ⊙ représenter les différentes perceptions que les acteurs ont du problème,
- ⊙ dégager les points conflictuels latents,
- ⊙ rendre compte de l'importance pratique et des résultats de la recherche,
- ⊙ générer de nouvelles questions de recherche [3–8].

Un exemple concret

Dans notre projet, douze intéressés provenant du Plateau ont discuté en trois séances de trois heures chacune de l'«utilisation du cuivre à l'extérieur des bâtiments». Ce projet a permis de réunir une large palette d'intéressés provenant des secteurs architecture, recherche, industrie et artisanat, groupes d'intérêts et services administratifs.

Chaque séance était consacrée à un sujet particulier. A titre d'information et pour susciter le débat, les participants ont reçu au préalable une documentation de trois pages sur le sujet «Utilisation du cuivre à l'extérieur des bâtiments». Cette documentation comportait les positions respectives de l'ASMFA, du SIB/WWF Lucerne et de l'EAWAG concernant l'élimination du cuivre, l'origine du cuivre dans les eaux usées et la nécessité d'agir.

Au cours de la première séance, la définition de la question a fait l'objet d'un vif débat sitôt après les exposés présentés par l'ASMFA, le SIB/WWF et l'EAWAG. La deuxième séance a été consacrée à l'élaboration de critères visant à évaluer les possibilités d'action. La troisième séance a porté sur la formulation de mesures concrètes et sur l'adoption d'un document écrit. Grâce à l'apport scientifique de l'EAWAG, les participants ont pu baser leur réflexion sur d'importants résultats concernant le cuivre, comme par exemple l'analyse du bilan du cuivre dans la vallée de la Töss.

Quel est l'avantage des groupes thématiques?

Le rapport final de deux pages élaboré par le groupe a finalement été discuté avec les *représentants des milieux intéressés au niveau national*. Les discussions ont permis de clarifier d'importants malen-

tendus ainsi que de définir une vision commune du problème. De plus, les recommandations formulées par le groupe thématique ont incité les intéressés à formuler leur propre avis commun. La nécessité et les avantages de la coopération entre recherche, industrie et artisanat ainsi qu'avec les groupes d'intérêts ont surtout été mis en évidence lors des discussions concernant les différents projets de recherche destinés à définir clairement les mesures possibles.

Du point de vue de la *recherche*, les groupes thématiques ont eu un effet positif dans la mesure où ils ont permis de prendre en considération des aspects supplémentaires, de rectifier des présomptions erronées de la part des chercheurs, de mieux comprendre la méthodologie des groupes thématiques ainsi que de favoriser la création de nouvelles coopérations.

De plus, les discussions ont poussé les *chercheurs* à poser de nouvelles questions de recherche. La participation aux groupes thématiques a «forcé» les scientifiques à accorder davantage d'importance à l'élaboration, à la transmission et à la justification des résultats de leurs recherches qu'ils ne le faisaient traditionnellement. Le fait que les chercheurs se soient trouvés acteurs parmi beaucoup d'autres et, ce faisant, qu'ils aient été forcés de compléter leur perspective scientifique sur le problème par des considérations d'ordre politique et social, s'est révélé déterminant. Les groupes thématiques auront non seulement contribué à multiplier les contacts, mais auront aussi permis de mesurer les effets des exigences issues des travaux de recherche.

La participation: un défi pour la science?

Les groupes thématiques constituent un défi aussi bien pour les scientifiques que pour les autres participants.

Les scientifiques sont mis à l'épreuve non pas sur leurs capacités professionnelles, mais bien plus sur leur quotient émotionnel et leurs qualités personnelles. La faculté de relativiser la pure vision scientifique et de ne pas perdre de vue l'intérêt général est particulièrement

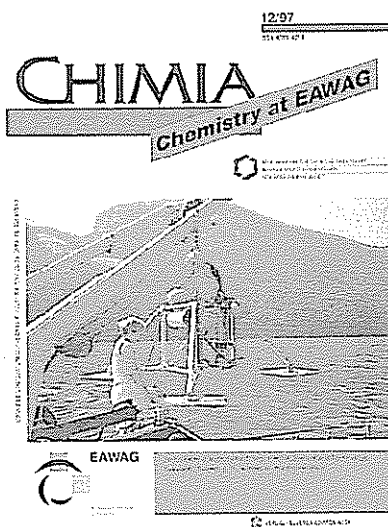
Numéro spécial de CHIMIA

«Chemistry at EAWAG»

Organe officiel de la nouvelle Société suisse de chimie, ce magazine s'intéresse à toutes les questions scientifiques, techniques et économiques en rapport avec la chimie.

Le numéro de décembre 1997 du magazine CHIMIA est consacré aux activités de l'EAWAG dans le secteur chimique. Dans 14 articles de fond, les chercheurs de l'EAWAG exposent leurs projets de recherche et présentent leurs résultats les plus récents.

Walter Giger



Couverture: le bateau des biogéochimistes à Kastanienbaum – en quadrichromie, sup.!

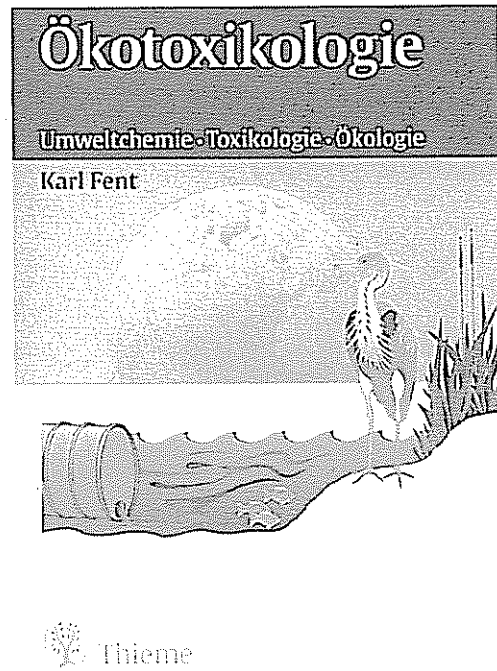
Karl Fent

Écotoxicologie

L'écotoxicologie est l'étude de l'impact des émissions chimiques d'origine anthropique sur la nature vivante. L'écotoxicologie est une science multidisciplinaire associant la chimie environnementale, la toxicologie et l'écologie. L'importance grandissante de l'écotoxicologie va de pair avec son objectif à long terme, à savoir: prévenir les atteintes à l'environnement.

Jusqu'à présent, l'écotoxicologie a souvent été considérée comme l'étude des effets sur des organismes de laboratoire sélectionnés. A cela s'ajoute le fait que ce domaine n'était pas clairement défini. Le livre dont il est question ici se propose de combler cette lacune en définissant l'écotoxicologie comme une science naturelle et moderne de l'environnement. Il entend transmettre aussi bien aux étudiants en sciences et aux chercheurs qu'aux professionnels de la protection de l'environnement un aperçu exhaustif de ce domaine important pour la pratique.

Les premiers chapitres exposent les fondements chimico-environnementaux et toxicologiques, tandis que les suivants définissent les notions modernes d'écotoxicologie. Au lieu de présenter tous les effets négatifs possibles, le livre s'attache en particulier à quelques effets importants sur les organismes (par exemple sur la reproduction) et suit les processus-clés depuis différents échelons biologiques jusqu'à l'écosystème. Bien que chaque chapitre soit thématiquement indépendant, on y trouve de nombreux renvois, ce qui correspond bien au caractère systémique de l'écotoxicologie. Chaque chapitre débute par un aperçu et contient des formules qui résument progressivement les principales connaissances. Digne d'intérêt, la bibliographie présente un choix des livres et travaux importants dans ce domaine.



Karl Fent (1998): Ökotoxikologie, G. Thieme Verlag, Stuttgart, ISBN 3-13-109991-7, (Fr. 71.-).

importante. En d'autres termes, il n'est pas question de minimiser l'importance des résultats individuels, mais il faut que leur signification soit reconnue dans un contexte général et que les valeurs sous-jacentes puissent être nommées par leur nom.

Le traitement des résultats scientifiques constitue un second défi. Dans les groupes thématiques, il est particulièrement important que les résultats scientifiques soient présentés de manière claire et intelligente. En d'autres termes, il ne faut pas simplifier à outrance les affirmations ou les publier sans garantie. Il est toutefois indispensable de se donner la peine de mettre en relief l'essence même des résultats de recherche.

Il convient également de souligner les processus d'apprentissage auxquels sont soumis les participants aux groupes thématiques. Comme nous l'avons déjà

dit, les groupes thématiques se prêtent particulièrement bien à la discussion de problèmes pour lesquels les résultats scientifiques laissent une certaine marge d'interprétation ou pour lesquels différentes solutions ou démarches sont concevables. L'apparition d'incertitudes signifie que les membres des groupes thématiques doivent apprendre à accepter que les résultats scientifiques sont

toujours entachés d'une certaine incertitude, qu'il s'agit d'exploiter de manière fructueuse et responsable.

Ont participé du côté de l'EAWAG: Markus Boller, Gregor Dürrenberger, Tove Larsen, Walter Meier, Christoph Meyer, Claudia Pahl-Wostl et Christian Singeisen.

- [1] SIB/WWF (1997): Medienunterlagen «Kupfer – ein unterschätzter Schadstoff» (zu beziehen bei: U. Brüttsch, Postfach, 6023 Rothenburg).
- [2] Schweiz. Spenglermeister- und Installateurverband (1997): Dokumentation «Kupfer als Baustoff für Dächer und Fassaden» und «Kupfer als Baustoff» (Bzug: SSIV, Auf der Mauer 11, 8001 Zürich).
- [3] Dürrenberger, G. et al. (1997): Focus Groups in Integrated Assessment. A Manual for a participatory tool, Zürich.
- [4] Greenbaum, T.L. (1993): The Handbook for Focus Group Research, Lexington Books.
- [5] Kitzinger, J. (1994): The Methodology of Focus Groups: The Importance of Interaction between Research Participants; *Sociology of Health and Illness*, 1, 103–121.
- [6] Krueger, R.A. (1988): Focus Groups: A practical guide for applied research, Sage, Beverly Hills.
- [7] Merton, R.K., Kendall, P.L. (1946): The focused interview; *American Journal of Sociology*, 541–557.
- [8] Morgan, D.L., Spanish, M.T. (1984): Focus Groups: A New Tool for Qualitative Research, *Qualitative Sociology*, 3, 253–270.

Tove A. Larsen

Gestion durable des ressources au niveau régional



Tove A. Larsen

Les précédents articles illustrent en substance la tentative d'appréhender la gestion durable des ressources au niveau régional à partir de l'exemple de la région de la Töss. Les méthodes traditionnelles de recherche environnementale suffisent-elles pour répondre à cette exigence? Ou de nouvelles stratégies de recherche sont-elles nécessaires?

Le maître mot du développement durable est celui des ressources. La fig. 1 représente les différents types de ressources que regroupe cette notion. Les catégories mentionnées sont indiquées à titre d'exemple pour chacun des groupes. A gauche, se trouvent les ressources naturelles, à droite, les ressources anthropiques. En haut, sont indiquées les ressources qui occupent une place particulière à l'EAWAG, en bas, celles qui sont plutôt qualifiées de traditionnelles. On peut conclure de cette illustration que la gestion durable des ressources équivaut à obtenir le meilleur équilibre possible entre ces différents types de ressources. Une étude parallèle portant sur la gestion des eaux en milieu résidentiel a été publiée dans l'EAWAG news 43 [1].

Les projets de recherche prioritaire se rapportent surtout à la partie supérieure de l'illustration. Le type traditionnel de ressources n'est pris en compte que de manière marginale. Ce choix est conscient: à l'avenir également, les compétences traditionnelles de l'EAWAG seront conservées, mais il faudra de plus en plus intégrer les nouveaux aspects de la gestion durable des ressources¹.

Dès lors, quels aspects nouveaux ont-ils été intégrés dans la recherche prioritaire? Les chercheurs se sont surtout concentrés sur les axes spatiaux et temporels, afin d'accorder une juste place aux intérêts régionaux. La fig. 2 compare le développement durable et la recherche traditionnelle. On peut en conclure qu'une grande partie de la science – et non la moins noble – s'attache à de très petites échelles spatiales et temporelles, tandis que le développement durable et global du 21^e siècle interviendra sur une toute autre échelle. Dans notre domaine,

le développement durable et global touche surtout aux droits internationaux des eaux et aux conflits qui y sont liés [2]; il a par exemple pour objectif de fournir de l'eau potable plus propre pour tous [3]. Jeter des ponts entre la recherche à petite échelle et l'objectif défini pour le monde du 21^e siècle est un des plus grands défis lancés à la science d'aujourd'hui.

On peut aussi se donner un objectif plus modeste et s'attaquer à la gestion durable des ressources naturelles au niveau régional. L'idée consiste à réunir toutes les durabilités régionales pour se rapprocher de la durabilité globale. Nous avons en effet une chance de faire de la recherche concrète au niveau régional. C'est pourquoi nous avons tenté, dans les projets de recherche prioritaire, de nous rapprocher de ce niveau régional et de relier différents résultats de recherche avec le développement régional.

Cette tentative repose sur la thèse suivante: la société joue un rôle décisif au niveau régional. Si nous étudions un cours d'eau, les processus sociaux sont pour ainsi dire insignifiants. Mais si nous voulons étudier le développement régional possible de ce cours d'eau, alors nous devons relier les questions d'ordre scientifique et technique aux processus de décision sociaux. On peut discuter du bien-fondé de ce mandat de recherche, mais si on se donne pour but d'étudier ce sujet, la dimension sociale ne peut en être dissociée. Quelques exemples tirés de la recherche prioritaire nous permettront

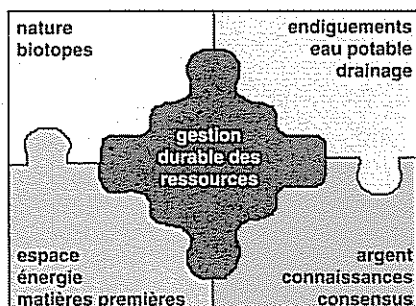


Fig. 1
Les différents types de ressources du point de vue de l'EAWAG.

¹ C'est le cas des scientifiques participant au projet de recherche prioritaire. À l'EAWAG, le département Bilan des matières et technique d'élimination a défini depuis longtemps déjà une priorité qui s'oriente davantage vers la définition courante des ressources.

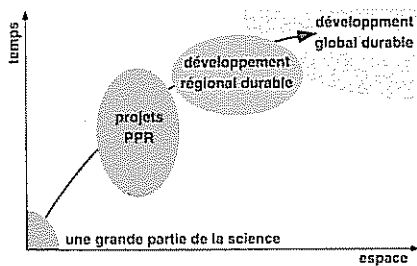


Fig. 2
Axes spatiaux et temporels du développement durable.

de développer ici quelques considérations sur cette thèse.

Infiltration des eaux météoriques:

les problèmes des substances non biodégradables sont reportés

Aujourd'hui, les polluants provenant des eaux de pluie – principalement les polluants non biodégradables – se retrouvent en partie dans les boues d'épuration et dans les eaux, en partie sous forme diffuse dans la nature. Bien sûr, comme la pluie tombe aussi sur les surfaces non imperméabilisées, ces eaux ne sont pas propres, elles ne le sont plus. Simplement, le facteur temps est si grand que nous ne verrons pas les atteintes de cette répartition diffuse avant longtemps. En revanche, nous pouvons mesurer les charges des boues d'épuration, et si ces dernières sont épandues sur les champs, nous pouvons mesurer à quel moment les valeurs de référence sont dépassées. De la problématique des boues d'épuration, nous pouvons également conclure que les systèmes fluviaux sont pollués du fait du système d'égout unitaire et du déversement direct du trop-plein d'eaux pluviales.

La nouvelle loi sur la protection des eaux exige l'infiltration des eaux de ruissellement. Les boues d'épuration sont donc moins polluées, mais les substances se répartissent autrement, en fonction du réseau d'évacuation choisi. En principe, plus la répartition est diffuse, plus il faut de temps jusqu'à ce qu'une situation critique soit atteinte et plus il est difficile alors d'engager une éventuelle mesure d'assainissement devenue entre-temps nécessaire. A l'heure actuelle, nous n'accordons pas beaucoup d'importance au fait que les substances non biodégradables se concentrent dans les bassins de

réalimentation. Mais nous devons être conscients du fait que nous créons par là de nouveaux sites contaminés: il n'existe de véritable solution durable qu'à la source. De telles solutions peuvent être élaborées grâce au processus dit de participation. Un projet pilote dans le secteur du cuivre a été réalisé en recherche prioritaire. Il est décrit dans l'article d'Andrea Rüede.

Ecologie des cours d'eau:

une nouvelle notion est nécessaire

La ressource «biotope» au niveau régional est un champ d'activité en devenir. En Suisse, il n'est pratiquement plus possible de revenir à «l'état naturel» général: protection contre les crues, distribution d'eau, production d'énergie et nécessité d'espace pour les activités humaines, tout nous pousse aux compromis en matière de réhabilitation. En d'autres termes, les écologistes ne peuvent pas simplement faire appel à leurs connaissances de base sur les écosystèmes naturels. Ils doivent s'engager pour de nouveaux biotopes encore inexistant, mais néanmoins fonctionnels.

L'exemple de la revitalisation des cours d'eau nous montre qu'il nous faut aujourd'hui appréhender la notion de «technologie» de manière plus large qu'autrefois. Revitaliser ne signifie pas seulement savoir comment aménager. Ce savoir-faire doit se doubler de questions écologiques: de quelle longueur doit être le tronçon, combien de place faut-il par exemple au cours d'eau pour que la revitalisation se justifie également du point de vue écologique? Comme pour chaque nouvelle technologie, les questions écologiques ont besoin d'une phase de développement et d'une phase de vérification. Cette exigence ne vaut pas seulement pour la technologie dite «classique».

Le fait que les objectifs de la revitalisation ne soient pas seulement définis par les experts, mais également par la population, appartient également à cette nouvelle notion de technologie. Il n'est pas concevable de procéder à des investissements si importants sans avoir réuni au préalable un large consensus sur la question.

Sur quel plan les problèmes sont-ils concrètement résolus?

Il n'est pas possible de résoudre tous les problèmes d'un développement durable au niveau régional sur le même plan. Certains problèmes apparaissant au niveau régional doivent être résolus sur le plan suprarégional.

En ce qui concerne les cours d'eau, nous avons des problèmes qui peuvent très bien être abordés au niveau régional. Ce n'est pas surprenant, parce que nous avons défini la région en fonction du système hydrographique et non pas d'après les frontières administratives. La revitalisation elle-même peut se faire localement. De nombreuses questions ne peuvent se régler raisonnablement qu'au niveau régional. Il est intéressant de constater que quelques questions régionales, telles que la distribution d'eau potable, l'agrément et dans une certaine mesure également la protection contre les crues, peuvent être décrites par une relation «ville–campagne».

En revanche, la charge en polluants des eaux pluviales constitue un problème suprarégional. L'aménagement de l'évacuation des eaux résidentielles se fait localement, au niveau communal. Mais le développement des technologies appelées à réduire de manière significative l'apport des polluants n'est possible en pratique que dans un contexte national ou international.

Les problèmes de l'environnement sont les symptômes d'un mode de vie

En tant que citoyen, chacun veut de l'eau potable, de l'énergie, de la mobilité et de belles gouttières ornant son toit. C'est ainsi, et rien n'y changera. Quelles nouvelles stratégies de recherche faut-il dès lors développer?

Dans la pesée des intérêts, nous devons être ouverts aux compromis: comme nous l'avons déjà dit au sujet de la revitalisation des cours d'eau, il n'y a plus de «retour à la nature» intégral possible en Suisse. Mais nous devons surtout encourager les innovations qui permettent une gestion durable des res-

Un nouveau projet interactif
placé sous le signe de la nouvelle stratégie d'étude de l'EAWAG

Eco-courant

sources. Or, les environnementalistes seuls ne suffiront pas à innover. A l'instar de la protection des cours d'eau, ces 30 dernières années, législateurs et praticiens devront coopérer. A l'avenir, de nouveaux groupes professionnels ainsi que la population devront également être intégrés au processus de recherche: si nous voulons prendre les problèmes à la source, nous devons dans de nombreux cas nous attacher à la production et à la demande de produits respectueux de l'environnement. Pilier d'une nouvelle stratégie de recherche, le processus de participation supporte la recherche de solutions. La recherche de matériaux permettant de rendre les toits inoffensifs pour l'environnement des générations futures constitue un premier petit exemple, modeste mais concret, de cette nouvelle démarche.

Protection de l'environnement: de la réaction à l'action

Pourquoi les professionnels des eaux usées doivent-ils se préoccuper de produits ménagers et de matériaux pour les toits? Est-ce que cette préoccupation ne dépasse pas largement le cadre de leur profession? Nous ne le croyons pas. A l'instar des déchets, les eaux usées et les eaux pluviales constituent également des indicateurs susceptibles de révéler des échantillons non durables dans la chaîne de production et de consommation. Il est important que les professionnels concernés prennent conscience de ces liens et qu'ils contribuent à la recherche de solutions conformes à leur point de vue.

Rien que du point de vue pratique, les professionnels des eaux usées ne peuvent remettre au lendemain la résolution de ces problèmes. Les «non-durabilités» dans la chaîne de production et de consommation se manifestent souvent désagréablement au niveau de l'élimination, parce qu'elles aggravent inutilement des solutions par ailleurs correctes. Bien connu, le cas des boues d'épuration en est un exemple patent: en effet, les impuretés qu'elles contiennent en font l'un des plus grands problèmes des professionnels des eaux usées. Si elles étaient exemptes d'impuretés, ces boues pourraient être utilisées économiquement et utilement

Le projet «Eco-courant» a pour objectif d'élaborer les principes d'un éco-label pour le courant issu de l'énergie hydraulique [1]. A l'instar de la Bourse zurichoise de l'électricité solaire, les clients doivent pouvoir soutenir la prestation écologique d'une centrale hydraulique en payant un peu plus pour le courant.



La plaine alluviale du Val Blenio près de Ponto Valentino (Tessin), où coule le Brenno qui prend sa source près du Lucmanier, est d'importance nationale. Les risques liés aux aménagements hydroélectriques y seront étudiés.

Les potentiels de vente du produit «Eco-courant» font l'objet d'une analyse dans le cadre de projets de sciences sociales. Pour l'évaluation des déficits écologiques engendrés par les centrales hydrauliques, des principes scientifiques sont élaborés à partir d'un cas exemplaire (centrale hydraulique de Luzzone avec les eaux du Brenno dans le Val Blenio au Tessin).

Dans le projet «Eco-courant», toutes les personnes concernées participent au processus interactif de différenciation des produits. L'étude de cas a débuté au printemps 1998.

Jürg Bloesch

[1] Bernhard Truffer, Jürg Bloesch, Christine Bratrach, and Bernhard Wehrli (1998): "Ökostrom": Transdisziplinarität auf der Werkbank, GALA 7, No. 1, 26-35.

dans l'agriculture, ce qui nous permettrait de tirer profit au moins d'une partie des nutriments.

Des problèmes similaires se rencontrent dans le cas de l'infiltration des eaux météoriques: comme les sites d'infiltration n'ont pas seulement une fonction hydrologique, mais qu'ils doivent également avoir une fonction d'épuration et de rétention, leur construction et leur exploitation se renchérissent et se complexifient en conséquence. A cela s'ajoute encore l'insécurité de savoir si cette procédure est vraiment appropriée; nul n'ignore en effet que nous générons d'innombrables nouveaux sites contaminés.

Regardons en arrière: les professionnels confrontés aux problèmes environnementaux n'ont pratiquement toujours agi que par réaction. Ils ont surtout essayé d'esquiver les problèmes existants. Font exception les efforts tant actifs que fructueux d'assainir par exemple les entreprises et les procédés industriels de manière à réduire au maximum la charge en métaux lourds des boues d'épuration. Mais aujourd'hui, nous constatons que cet embryon de mesure ne suffit pas: le fait d'être allé à la source dans l'industrie a été un succès. Cependant, la consommation est tout aussi importante que la production. Dans le domaine de l'infiltration des eaux météoriques, cette

«consommation» se traduit surtout par la corrosion et l'érosion des surfaces (comme par exemple le cuivre des toitures) et par différents traitements de surface. De plus, il n'y a pas que les effets directs sur les eaux qui sont importants. La qualité de l'air joue également un rôle: les transports, la production d'énergie, l'utilisation de pesticides, etc., parvient, par-delà l'air et la déposition, à influencer finalement la qualité des eaux de pluie.

Toute politique active et non simplement réactive de l'environnement s'attaque à ces problèmes à la source. Les perspectives temporelles dont nous avons parlé plus haut ont l'avantage de nous laisser le temps: nous ne devons pas agir ici et maintenant, nous pouvons, et devons, réfléchir à la procédure adéquate. Les solutions rapides et bon marché d'aujourd'hui peuvent se révéler onéreuses demain. Cependant, plus nous attendons, plus les problèmes deviendront urgents et moins nous disposerons de temps.

[1] Larsen, T.A. et Gujer, W. (1997): Gestion durable des eaux en milieu résidentiel: implications techniques. EAWAG news 43F, p. 12 ss.

[2] Zehnder, A.J.B. (1997): Vers un manque d'eau? EAWAG news, 43F, p. 3 ss.

[3] Wegelin, M. et Schertenleib, R. (1997): Traitement approprié de l'eau: tout le monde en profite. EAWAG news, 43F, p. 5 ss.

Du département d'ingénierie:

Comment produire des substances nutritives anthropiques (SNA) à partir d'urine

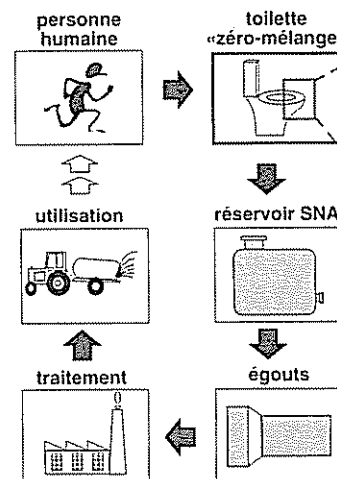
Depuis mi-juillet 1997, l'EAWAG possède une toilette «zéro-mélange», qui permet de collecter l'urine séparément puis de la stocker dans un réservoir. Aussi bien pour les hommes que pour les femmes, le nouveau WC est installé dans le bâtiment des laboratoires.

Comment l'urine est-elle séparée? Une grande partie des substances nutritives produites par le métabolisme humain sont éliminées par l'urine, ainsi par exemple 85% de l'azote et 50-80% du phosphore. Voilà pourquoi on parle aussi de Substances Nutritives Anthropiques en matière d'urine (ANS en anglais).

Aujourd'hui, ces substances nutritives sont en général traitées comme des déchets qui sont transportés aussi rapidement que possible dans une STEP, où l'azote et le phosphore sont éliminés des eaux usées à grand renfort de ressources. Séparer les SNA des eaux usées équivaldrait à décharger considérablement les STEP.

Parallèlement, l'agriculture recourt à de considérables quantités d'engrais artificiels azotés et phosphorés. La fabrication de ces engrais artificiels requiert elle aussi d'énormes ressources: l'azote est obtenu par le biais du procédé Haber-Bosch, qui demande beaucoup d'énergie, et le phosphore est dégradé sous forme de minéraux. Il serait plus logique de

renvoyer directement à l'agriculture sous forme de SNA les substances nutritives qui sont à nouveau éliminées après la revalorisation des nutriments.

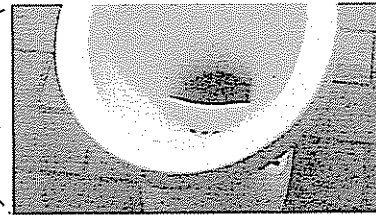


Mais le recyclage des SNA n'est pertinent qu'à certaines conditions:

- ⊙ la consommation des ressources primaires doit baisser de manière sensible,
- ⊙ les substances nutritives collectées doivent pouvoir être utilisées sans grand traitement en tant qu'engrais agricole et
- ⊙ le transport des SNA ne doit pas être trop onéreux ni occasionner de nouvelles et importantes constructions.

La solution suivante a été proposée pour le stockage et le transport des SNA en zone urbaine [1]: l'urine

collectée dans les toilettes «zéro-mélange» est stockée dans de petits réservoirs situés dans les maisons. Pendant la nuit et en cas de temps sec, les réservoirs sont ouverts sé-



quentiellement et les SNA s'écoulent par les canalisations existantes jusqu'à l'installation de traitement, qui se trouve dans la STEP. C'est là que la solution nutritive est alors transformée en engrais.

Plusieurs travaux de séminaire et de diplôme réalisés à la chaire de l'économie des eaux résidentielles à l'EPFZ ont déjà été consacrés au transport des SNA par canalisations.

Au sein du département d'ingénierie à l'EAWAG, le stockage intermédiaire de l'urine fait l'objet d'une thèse. Les toilettes «zéro-mélange» installées dans le bâtiment des laboratoires servent à collecter les SNA en conditions réelles. Kai Udert

[1] Larsen T.A. and Gujer W. (1996): Separate Management of Anthropogenic Nutrient Solutions (Humane Urine). *Water Science and Technology*, 34, 87-94.

Microscope électronique à balayage: entrée en fonction

Dans le courant de l'été, le nouveau microscope électronique à balayage (MEB) installé au printemps a été mis en fonction. Ce nouveau MEB est un MEB traditionnel doté d'une extension analytique. Outre l'analyse et l'archivage des images, il contient un détecteur à rayons X pour la spectroscopie dispersive ainsi

qu'un détecteur semi-conducteur sensible pour les électrons rétro-diffusés. Le nouvel appareil remplace l'ancien MEB, en fonction depuis près de 20 ans. Les échantillons analysés vont des animaux aquatiques aux sédiments lacustres en passant par les scories de déchets ainsi que par les biofilms, les cristaux, les

surfaces rocheuses, les particules en suspension dans les cours d'eau, les cultures bactériennes et bien d'autres éléments encore. Cette grande diversité d'échantillons exige non seulement beaucoup de l'appareil, mais aussi des utilisateurs et des responsables du laboratoire MEB.

Yvo Weidmann

Communication in the Environment

Bernhard Wehrli: professeur extraordinaire

Le Conseil des EPF a nommé Bernhard Wehrli professeur extraordinaire de chimie aquatique à partir du 1er octobre 1997. Le nouveau professeur continuera d'enseigner au département des sciences environnementales de l'EPF Zurich, où il était jusqu'alors chargé de cours. Son groupe de travail est établi au centre de recherche limnologique de l'EAWAG à Kastanienbaum. Au cours des dernières années, son équipe s'est spécialisée dans la quantification des échanges de substances entre le sédiment et l'eau dans les lacs, les zones humides, les mers bordières et les cours d'eau.

Déjà au cours ses études de chimie à l'EPF, Bernhard Wehrli s'est engagé pour les questions environnementales. Il s'est familiarisé avec la politique de l'environnement et de la protection des eaux ainsi qu'avec la politique de l'énergie, les aménagements hydroélectriques dans les Alpes (centrale d'Ilanz et de Greina). Ces expériences l'ont encouragé à rédiger une thèse sous la direction du professeur W. Stumm à l'EAWAG. Il s'est ensuite lancé dans des études post-grade en gestion des eaux urbaines et en protection des eaux. Après avoir terminé sa thèse, il a passé une année aux Etats-Unis, au California Institute of Technology, où il s'est perfectionné dans les sciences de la terre et a acquis une riche expérience en modélisation numérique.

Après son séjour post-grade, il a travaillé un certain temps à l'EAWAG en qualité de collaborateur scientifique au département «Recherche limnologique multidisciplinaire (RLM)». Il a trouvé là un terrain favorable au développement de sa propre voie de recherche. Epaulé par le physicien Alfred Wüest et le limnologue René Gächter, il s'est engagé dans l'évaluation des mesures d'assainissement des lacs. La recherche dans le domaine de l'interface sédiment/eau en milieu lacustre s'est ainsi rapprochée de la pratique. Par ailleurs, des projets interdisciplinaires ont permis de mettre au point



de nouveaux procédés destinés à révéler et à quantifier les processus dans l'hydrosphère et la pédosphère lacustres. Grâce à la spectroscopie X (EXAFS), le spectroscopicien Alain Manceau, à Paris, a mis en lumière les processus des formations minérales dans le milieu sombre et anoxique des eaux lacustres profondes. La spectroscopie RPE d'Arthur Schweiger, à l'EPF, a permis d'analyser l'interaction entre ions métalliques et carbonate au niveau moléculaire. L'analyste Beat Müller et le technicien Christian Dinkel ont mis au point un appareil doté de senseurs chimiques et destiné à détecter *in situ* les processus dans l'interface millimétrique de la surface sédimentaire.

Après un bref séjour à Paris consacré à la recherche, Bernhard Wehrli a été nommé en 1991 chargé de cours en chimie aquatique. Un groupe de jeunes chercheurs a ainsi pu être mis sur pied. Ce groupe s'attache à répondre avec beaucoup d'enthousiasme à de nombreuses questions, telles que:

telles que:

◉ Combien de nitrate est transformé dans nos lacs en azote atmosphérique inoffensif?

◉ Comment les précipitations de calcaire se créent-elles? Peut-on les empêcher par un «traitement magnétique de l'eau»?

◉ Les traces de métaux dans les sédiments lacustres nous apprennent-elles quelque chose sur le bilan de l'oxygène dans les lacs d'autrefois?

Les expériences recueillies dans le cadre de projets internationaux sur la recherche lacustre réalisés au lac Baïkal et dans la mer Noire ont aussi pu être appliquées en Suisse à d'autres systèmes fluviaux.

Dans son enseignement aux étudiants en sciences environnementales, en chimie et en génie environnemental, Bernhard Wehrli tente de faire le pont entre la compréhension des processus moléculaires en chimie et l'observation macroscopique des sciences environnementales. En recherche, le point crucial des sciences environnementales consistera à l'avenir à produire, en équipes interdisciplinaires et dans des délais raisonnables, des résultats ayant aussi des implications pratiques. Afin de relever ce défi, Bernhard Wehrli s'est d'ores et déjà engagé dans le projet interdisciplinaire «Eco-courant» de l'EAWAG.

*René Schwarzenbach,
Président de l'Institut pour la
protection des eaux et le génie
hydraulique (IGW) de l'EPFZ*

Prix SSSL décerné à Oliver Heiri

Lors de sa 11^{ème} assemblée annuelle en octobre 1997, la Société suisse d'hydrobiologie et de limnologie a décerné à Oliver Heiri, étudiant au département XA de l'EPFZ, un prix pour son excellent travail de diplôme intitulé «Die Frühlingsemergenz der Zuckmücken (Diptera: Chironomidae) einer Restwasserstrecke der Engelberger Aa (OW/NW)» («L'émergence printanière des chironomides (Diptera: Chironomidae) sur un tronçon à débit résiduel de l'Engelberger Aa (OW/NW)»). Ce travail avait été réalisé à l'EAWAG au cours de l'été 1996. *Jürg Bloesch*

nomidae) einer Restwasserstrecke der Engelberger Aa (OW/NW)» («L'émergence printanière des chironomides (Diptera: Chironomidae) sur un tronçon à débit résiduel de l'Engelberger Aa (OW/NW)»). Ce travail avait été réalisé à l'EAWAG au cours de l'été 1996. *Jürg Bloesch*

Les tirés à part peuvent être commandés au moyen du bulletin figurant à la dernière page

Publications

- 2220 **Stumm, W.:** Reactivity at the mineral-water interface: dissolution and inhibition. *Colloids and Surfaces* 120, 143–166 (1997).
- 2221 **Sulzberger, B., Hug, S.J.:** Light-induced processes in the aquatic environment. In: «Chemistry of aquatic systems: local and global perspectives». G. Bidoglio, W. Stumm (eds.). ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxemburg 1994, pp. 183–212.
- 2222 **Tockner, K., Waringer, J.A.:** Measuring drift during a receding flood: results from an Austrian mountain brook (Ritrodal-Lunz). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 82, 1, 1–13 (1997).
- 2223 **Kiel, E., Frutiger, A.:** Behavioural responses of different blackfly species to short-term oxygen depletion. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 82, 1, 107–120 (1997).
- 2224 **Reicher, P., Omlin, M.:** On the usefulness of overparameterized ecological models. *Ecological Modelling* 95, 289–299 (1997).
- 2225 **Albrecht, A., Beer, J.:** Assessment of radionuclide distribution in continental shelf sediments (the Gulf of Taranto, Mediterranean Sea). *Radioprotection – Colloques* 32, C2, 277–285 (1997).
- 2226 **Escher, B.I., Snozzi, M., Häberli, K., Schwarzenbach, R.P.:** A new method for simultaneous quantification of uncoupling and inhibitory activity of organic pollutants in energy-transducing membranes. *Environ. Sci. & Technol.* 16, No. 3, 405–414 (1997).
- 2227 **Knauer, K., Behra, R., Sigg, L.:** Effects of free Cu^{2+} and Zn^{2+} ions on growth and metal accumulation in freshwater algae. *Environ. Toxicol. & Chem.* 16, No. 2, 220–229 (1997).
- 2228 **Middeldorp, P.J.M., De Wolf, J., Zehnder, A.J.B., Schraa, G.:** Enrichment and properties of a 1,2,4-trichlorobenzene-dechlorating methanogenic microbial consortium. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, No. 4, 1225–1229 (1997).
- 2229 **Frutiger, A.:** Biologische Bewertung der Fließgewässer. Das Problem der Referenz. VSA-Verbandsber. Nr. 512 (Vortrag 37. Chemiker-Tagung vom 15. Nov. 1996 in Olten), S. 20–29.
- 2230 **Hoigné, J.:** Inter-calibration of OH radical sources and water quality parameters. *Water. Sci. Technol.* 35, No. 4, 1–8 (1997).
- 2231 **Mengis, M., Gächter, R., Wehrli, B.:** Stickstoff-Elimination in Schweizer Seen. *Gas, Wasser, Abwasser* 77, Nr. 3, 174–180 (1997).
- 2232 **Merz, P., Gujer, W.:** Fließgewässer und die Einwirkungen der Siedlungsentwässerung. Problemanalyse und Folgerungen für die Untersuchung der Vorflutgewässer und technischen Entwässerungssysteme. *Gas, Wasser, Abwasser* 77, Nr. 3, 181–192 (1997).
- 2233 **Stadelmann, P., Wehrli, B., Wüest, A., Fluder, W.:** Zehn Jahre Seenbelüftung und Optionen. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 95, Nr. 3 (1997).
- 2234 **Bucheli, T.D., Grüebler, F.C., Müller, S.R., Schwarzenbach, R.P.:** Simultaneous determination of neutral and acidic pesticides in natural waters at low nanogram per liter level. *Anal. Chem.* 69, No. 8, 1569–1576 (1997).
- 2235 **Kiefer, E., Sigg, L., Schosseler, P.:** Chemical and spectroscopic characterization of algae surfaces. *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 3, 759–764 (1997).
- 2236 **Nowack, B., Xue, H., Sigg, L.:** Influence of natural and anthropogenic ligands on metal transport during infiltration of river water to groundwater. *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 3, 866–872 (1997).
- 2237 **Genoni, G.P.:** Influence of the energy relationships of organic compounds on toxicity to the cladoceran *Daphnia magna* and the fish *Pimephales promelas*. *Ecotoxicol. & Environ. Safety* 36, 27–37 (1997).
- 2238 **Genoni, G.P.:** Influence of the energy relationships of organic compounds on their specificity toward aquatic organisms. *Ecotoxicol. & Environ. Safety* 36, 99–108 (1997).
- 2239 **Nowack, B., Sigg, L.:** Dissolution of $Fe(III)$ hydroxides by metal-EDTA complexes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 61, No. 5, 951–963 (1997).
- 2240 **Mensch, R., Känel, B., Uehlinger, U.:** Kurzfristige Auswirkungen einer Entkrautung auf einen Mittellandbach (Chriesbach bei Dübendorf, ZH). *Vjschr. Naturforsch. Ges. Zürich* 142/1, 23–31 (1997).
- 2241 **Harms, H., Bosma, T.N.P.:** Mass transfer limitation of microbial growth and pollutant degradation. *J. Industrial Microbiol. & Biotechnol.* 18, 97–105 (1997).
- 2242 **Altenbach, B., Giger, W.:** Applications of graphitized carbon black for solid-phase extraction of benzene- and naphthalenesulfonates from aqueous environmental samples. *Anal. Methodes & Instrumentation* 2, No. 5, 285–292 (1995).
- 2243 **Borner, S., Büsser, T., Eggen, R., Fent, K., Frutiger, A., Lichtensteiger, T., Müller, R., Müller, S., Peter, A., Wasmer, H.R.:** *Procambarus clarkii* (Roter Sumpfkrebs) im Schübelweiher bei Künsnacht. Ökologische Situationsanalyse und Vorschläge zur Bekämpfung. EAWAG, Dübendorf, April 1997, 27 S.
- 2244 **Fent, K.:** Umweltchemikalien – Wirkungen auf das Hormonsystem. Vielzahl von Stoffen mit östrogenen Aktivität. *Neue Zürcher Ztg.*, Beil. «Forschung und Technik», Nr. 81, 9. April 1997, S. 61.
- 2245 **Stemmler, K., Mengon, W., Kerr, J.A.:** OH radical initiated photooxidation of 2-ethanol under laboratory conditions related to the troposphere: product studies and proposed mechanisms. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 3385–3391 (1996).
- 2246 **Bürge, I., Hug, S.J.:** Kinetics and pH dependence of chromium(VI) reduction by iron(II). *Environ. Sci. & Technol.* 31, 1426–1432 (1997).
- 2247 **Canonica, S., Kramer, J.B.:** Photoisomerization kinetics of stilbene-type fluorescent whitening agents. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 1754–1760 (1997).
- 2248 **Urban, N.R., Dinkel, C., Wehrli, B.:** Solute transfer across the sediment surface of a eutrophic lake: I. Porewater profiles from dialysis samplers. *Aquatic Sci.* 59, 1–25 (1997).
- 2249 **Gujer, W., Holiencin, A., Purtschert, I., Siegrist, H., Thomann, M., Diebold, J., Zimmerli, T., Koch, G., Maurer, M., Wild, D., Kisiakova, A., von Schultness, R.:** Biologische Nährstoff-Elimination. VSA Verbandsber. Nr. 499, 198. Mitgliederversammlung, 29.11.1995 in Zürich, 55. S.
- 2250 **Stadelmann, P., Bürgi, H.R., Butscher, E.:** Massnahmen zur Seesanieung: Beispiel des Baldeggersees. *Gas, Wasser, Abwasser* 77, 16–33 (1997).
- 2251 **Boller, M.:** Biofilm an Rohren als Nest für Keime. *Kommunalmagazin* 14, Nr. 4, 31–33 (1997).
- 2252 **Hug, S.J.:** *In situ* fourier transform infrared measurements of sulfate adsorption on hematite in aqueous solutions. *J. Colloid & Interface Sci.* 188, 415–422 (1997).
- 2253 **Simon, W., Reichert, P.:** Properties of exact and approximate traveling wave solutions for transport with nonlinear and nonequilibrium sorption. *Water Resources Res.* 33, 1139–1147 (1997).

- 2254 **Friedl, G., Wehrli, B., Manceau, A.:** Solid phases in the cycling of manganese in eutrophic lakes: new insights from EXAFS spectroscopy. *Geochim Cosmochim Acta* 61, 275–290 (1997).
- 2255 **Peeters, F., Piepke, G., Kipter, R., Hohmann, R., Imboden, D.M.:** Description of stability and neutrally buoyant transport in freshwater lakes. *Limnol. Oceanogr.* 41, 1711–1724 (1996).
- 2256 **Matthäi, C.D., Uehlinger, U., Frutiger, A.:** Response of benthic invertebrates to natural versus experimental disturbance on a Swiss prealpine river. *Freshwater Biol.* 37, 61–77 (1997).
- 2257 **Baumann, B., Snozzi, M., van der Meer, J.R., Zehnder, A.J.B.:** Development of stable denitrifying cultures during repeated aerobic-anaerobic transient periods. *Water Res.* 31, No. 8, 1947–1954 (1997).
- 2258 **Davidova, I.A., Harmsen, H.J.M., Stams, A.J.M., Belyaev, S.S., Zehnder, A.J.B.:** Taxonomic description of *Methanococcoides euhalobius* and its transfer to *Methanohalophilus* genus. *Antonie van Leeuwenhoek* 71, 313–318 (1997).
- 2259 **Boller, M.:** Small wastewater treatment plants – a challenge to wastewater engineers. *Water Sci. Tech.* 35, No. 6, 1–12 (1997).
- 2260 **Schwager, A., Boller, M.:** Transport phenomena in intermittent filters. *Water Sci. Tech.* 35, No. 6, 13–20 (1997).
- 2261 **Boller, M.:** Tracking heavy metals reveals sustainability deficits of urban drainage systems. *Water Sci. Tech.* 35, No. 9, 77–87 (1997).
- 2262 **Baumgartner, S., Beer, J., Wagner, G., Kubik, P., Suter, M., Raisbeck, G.M., Yiou, F.:** ^{10}Be and dust. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Res. B* 123, 296–301 (1997).
- 2263 **Binder, C., Schertenleib, R., Diaz, J., Bader, H.-P., Baccini, P.:** Regional water balance as a tool for water management in developin countries. *Water Resources Development* 13, 5–20 (1997).
- 2264 **Peeters, F., Piepke, G., Gloor, M.:** A diffusion model for the development of a boundary layer in lakes. *Aquatic Sci.* 59, 95–114 (1997).
- 2265 **Xue, H.B., Gächter, R., Sigg, L.:** Comparison of Cu and Zn cycling in eutrophic lakes with oxic and anoxic hypolimnion. *Aquatic Sci.* 59, 176–189 (1997).
- 2266 **Stumm, W.:** Catalysis of redox processes by hydrous oxide surfaces. *Croatica. Chem. Acta* 70(1), 71–93 (1997).
- 2267 **Frutiger, A., Imhof, A.:** Life cycle of *Dinocras cephalotes* and *Perla grandis* (Plecoptera: Perlidae) in different temperature regimes. In: «Ephemeroptera & Plecoptera Boloogy-Ecology-Systematics», P. Landolt, M. Sartori (Eds.). MTL, Fribourg 1997, pp. 34–42.
- 2268 **Ivy Ochs, S.D.:** The dating of rock surfaces using *in situ* produced ^{10}Be , ^{26}Al and ^{36}Cl , with examples from Antarctica and the Swiss Alps. *Diss. ETHZ* No. 11 763, Zürich 1996.
- 2269 **Hohmann, R.:** Deep-water renewal in Lake Baikal. *Diss. ETHZ* No. 12 029, Zürich 1997.
- 2270 **Reiser, R.:** Occurrence and fate of detergent-derived alkylbenzenesulfonates in recent sediments. *Diss. ETHZ* No. 12 098, Zürich 1997.
- 2271 **Wild, D.:** Nährstoffflüsse in Kläranlagen mit biologischer Phosphorelimination. *Diss. ETHZ* Nr. 12 197, Zürich 1997.
- 2272 **Baumann, B.:** Dynamics of denitrification in *Paracoccus denitrificans*. *Diss. ETHZ* No. 12 096, Zürich 1997.

SANDEC Report No. 5/98: **Heinss, Udo, Larmie, Seth A., Strauss, Martin:** Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics. *Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design.* Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Departement of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC), CH-8600 Dübendorf, Switzerland.

Fent, Karl: Umwelt und Ökotoxikologie, Thieme Verlag, Stuttgart 1998 (disponible seulement en librairie).

BULLETIN DE COMMANDE

44 F

Envoyez-moi svp. les

EAWAG NEWS régulièrement en français allemand anglais Publications suivantes (n°)

M./Mme _____

Nom/Prénom _____

Fonction _____

Entreprise/Organisation _____

Rue _____

Pays, NPA et ville _____

Téléphone _____

Téléfax _____

Remarque

 mon adresse a changé (voici l'ancienne)

Date _____



EAWAG
Bibliothèque
CH-8600 Dübendorf
Suisse