



2 Utilisation durable de l'eau et innovations

Bernhard Truffer

3 Vers un manque d'eau?

Alexander J.B. Zehnder

5 Traitement approprié de l'eau: tout le monde en profite

Martin Wegelin et Roland Schertenleib

8 Israël – une étude de cas sur l'utilisation de l'eau

Saul Arlosoroff

12 Gestion durable des eaux en milieu résidentiel: implications techniques

Tove A. Larsen et Willi Gujer

15 Flux de nutriments dans le bassin du Danube – sources et puits

Paul H. Brunner et Christoph Lampert

18 Ozonation de l'eau potable – oxydation des micropolluants

Urs von Gunten, Mike Elovitz et Hans-Peter Kaiser

21 Transport du cobalt dans le lac de Biene – à la recherche de l'Aar

Achim Albrecht, Gerrit Goudsmit, Jin Qian, Laura Sigg, HanBin Xue, Daniel Kobler, Alfred Lück et Yvo Weidmann

25 Les bactéries peuvent indiquer la concentration de polluant biodisponible

Jan Roelof van der Meer, Marco Jaspers, Patrick Sticher, Ronen Tchelet et Hauke Harms

28 Divisions/Communications internes

24 Markus Boller agrégé professeur

28 Nouveaux débouchés pour la recherche en limnologie

31 Départ du professeur Alistair Kerr

32 Réactions chimiques dans l'atmosphère – Rétrospective et prospective

35 Prix Otto Jaag 1996

36 Collaboration avec l'Europe de l'Est: Expériences et objectifs

39 Application des méthodes de l'EAWAG à l'évaluation des systèmes fluviaux

39 Séminaire au centre de limnologie à Kastanienbaum

39 Journées des portes ouvertes à Kastanienbaum

40 Cours d'écotoxicologie «coetox»

41 Moyen d'expression: le poster

42 Publications (2139–2219)

BIBLIOTHE
 Eidg. Anstalt für Wasserforschung
 Abwasserreinigung u. Gewässerschutz
 Ueberlandstr. 133 8600 Dübendorf

ETHICS EAWAG



01700003088896

Utilisation durable de l'eau et innovations



solutions, l'innovation jouera un rôle déterminant. Mais l'innovation n'est pas forcément bonne *en soi*. Il faut encore globaliser la compréhension technologique des innovations. La recherche des solutions doit tenir compte autant des paramètres de notre société que des nouvelles formes d'utilisation – sans oublier le dialogue avec les sciences sociales. Par ailleurs, il convient aussi de chercher des solutions scientifiques globales. Enfin, on accordera une attention particulière à l'énergie requise pour la production et l'utilisation des solutions envisagées.

Pour l'EAWAG, qui est, faut-il le rappeler, un Institut spécialisé dans le domaine des eaux, la gestion de l'eau est un domaine dans lequel le besoin d'innovation pose de nombreux nouveaux défis. Certes, une profonde compréhension scientifique des processus naturels continuera d'être déterminante. Mais pour que cette recherche aboutisse à des réponses valables, elle doit de plus en plus tenir compte de la logique des processus d'innovation. A cet égard, il est important de coopérer avec les milieux industriels et publics ainsi qu'avec la population. Donner un visage à cette stratégie représente une des tâches les plus intéressantes à laquelle l'EAWAG devra se consacrer à l'avenir.

Bernhard Truffer
 Chef du groupe «Ecologie et innovation»,
 division Ecologie humaine de l'EAWAG

EAWAG



Les bulletins EAWAG NEWS constituent l'organe d'information de l'EAWAG

Editeur
 Distribution et ©:
 EAWAG, CH-8600 Dübendorf
<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 «Extrait des EAWAG NEWS 43 F 1997», et d'en informer la rédaction ainsi que les auteurs concernés.

Parution
 Deux fois par année en français, anglais et allemand

Mise en page
 Peter Nadler, 8700 Küssnacht

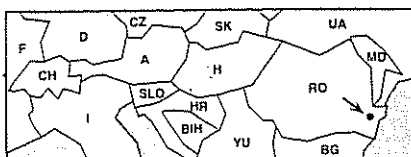
Crédits photographiques
 Sauf mention particulière, Diana Hornung ou inconnu

Impression
 sur papier recyclé 100%

Abonnements nouveaux
 Les abonné(e)s sont les bienvenu(e)s! Le bulletin d'inscription se trouve en dernière page.

ISSN 1420-3928

Page de couverture
 Forêt inondée sur l'île Fundu Mare dans le Delta du Danube en Roumanie (voir flèche; photo: Virgii Iordache, avec l'aimable autorisation du Département d'écologie de l'Université de Bucarest), voir à ce propos l'article de Paul Brunner et Christian Lampert concernant le bassin du Danube.



Il n'y aura pas de «développement durable» sans une mise au point de l'utilisation de l'eau. La population et les écosystèmes ont besoin d'eau. Or c'est là un des problèmes planétaires en passe de devenir les plus urgents. De prime abord, il semble que l'eau fasse défaut tant qualitativement que quantitativement, mais c'est pour une bonne part à cause de son utilisation peu judicieuse. Diverses études révèlent en effet d'énormes potentiels d'économie dans pratiquement tous les domaines d'utilisation. Dans le présent numéro, certains articles esquissent des solutions pour l'utilisation durable des ressources d'eau.

Outre cette problématique, l'eau joue encore un autre rôle important dans la mise en oeuvre du concept de «durabilité». Sur le plan mondial, l'énergie hydraulique est la principale source énergétique renouvelable et devrait donc être favorisée à ce titre. Sur le plan régional en revanche, l'exploitation frénétique de l'énergie hydraulique a un impact négatif sur l'environnement. En conséquence, il serait judicieux de développer de nouvelles formes d'exploitation et de production d'électricité susceptibles de concilier la durabilité sur le plan mondial et la durabilité au niveau régional. Dans ce domaine, l'EAWAG planche actuellement sur un projet interdisciplinaire au titre évocateur: «Ecocourant».

Les deux problèmes présentés ci-dessus doivent être considérés de pair si on entend mettre en oeuvre une gestion durable de l'eau. En ce qui concerne les

Alexander J.B. Zehnder

Vers un manque d'eau?



Alexander J.B. Zehnder

L'eau douce sera la première ressource à se raréfier au niveau planétaire. Si les prédictions relatives à la croissance démographique s'avèrent correctes, il faut s'attendre à ce que, dans ces prochaines 20 à 40 années, l'humanité consomme plus d'eau que les pluies n'en fourniront. Une utilisation plus circonspecte et, surtout, l'usage multiple de l'eau devraient permettre d'augmenter d'environ 70% les ressources à disposition.

Bilan global de l'eau

L'eau douce représente environ 2,5% des eaux existant sur le globe. Elle se trouve à 95% «emprisonnée» dans les calottes glacières, les glaciers, les neiges éternelles et les eaux souterraines situées à plus d'un kilomètre en dessous de la surface terrestre. 5% seulement des ressources d'eau douce peuvent donc être directement utilisées par l'être humain et par les autres organismes [1]. Si elle entend être durable à long terme, l'utilisation de l'eau douce doit exclusivement se fonder sur les ressources renouvelables, c'est-à-dire l'eau de pluie. La pluie est générée exclusivement par l'énergie solaire: elle satisfait donc à toutes les conditions de durabilité. Si on soutire aux nappes phréatiques et aux lacs plus d'eau que les pluies n'en fournissent, ces ressources sont directement menacées d'assèchement à long terme. A titre d'exemple, citons la mer d'Aral, dont le volume a diminué de 80% depuis 1950.

A l'échelon planétaire, il tombe chaque année entre 90'000 et 120'000 km³ de pluie sur les continents et les îles, soit en moyenne 113'000 km³. 65% de ce volume s'évaporent, tandis que 25% s'écoulent par les cours d'eau et regagnent les océans. Environ 14'000 km³ sont donc effectivement utilisables. Une partie de cette eau de pluie tombe dans des régions peu habitées, comme en Sibérie, et ne peut que difficilement être

mise en valeur. Il reste entre 9000 et 12'000 km³ à disposition par année pour l'agriculture, la production d'eau potable et les besoins de l'industrie [2].

De l'eau pour la production des denrées alimentaires

En moyenne annuelle, la consommation mondiale d'eau atteint actuellement près de 5500 km³. Près des deux tiers sont consommés par l'agriculture. Cette eau sert à la production des denrées alimentaires. On retiendra les rapports quantitatifs suivants:

- Il faut 2 kg de blé (poids à sec de la masse végétale totale) pour faire 1 kg de pain. Pour avoir 2 kg de blé, il faut disposer d'au moins 1 m³ d'eau. Les plantes absorbent cette eau et en rejettent une grande partie par «transpiration» dans l'atmosphère. Cette exsudation végétale ne peut guère être influencée. Elle pourrait tout au plus être réduite d'un quart grâce à la sélection d'espèces plus petites et à des modifications génétiques. En réalité, les agriculteurs américains utilisent environ 4 m³ d'eau par kg de blé. Dans les tropiques, les paysans ont besoin d'environ 5 m³ par kg de riz [1].

- Un kg de farine de blé représente un apport de 3500 kcal pour l'être humain [4]. On peut donc en déduire que, pour assurer à chacun un apport journalier de 1000 kcal en nourriture végétale, il faut compter 100 m³ par personne et par année. Cette estimation est la plus sûre puisqu'elle ne tient compte d'aucune perte. Si on considère les pertes telles que dégâts dus aux parasites, pertes à la récolte et à la production, denrées avariées, etc., la consommation d'eau augmente en conséquence. A l'heure actuelle, les pertes varient entre 20 et 50%. Il faut

Pays	Pluies	Apport	Total
Egypte	35	1075	1110
Algérie	735	35	770
Allemagne	1235	965	2200
Pays-Bas	670	5350	6020
Israël	370	100	470
Maroc	1200	—	1200
Suisse	6430	1130	7560
Espagne	2815	25	2840
USA	9940	—	9940

Tab. 1
Volume d'eau renouvelable en m³ par personne et par an.
Apport = en provenance de l'étranger via les cours d'eau. Ces données ont été calculées sur la base des résultats de [5] et [8].

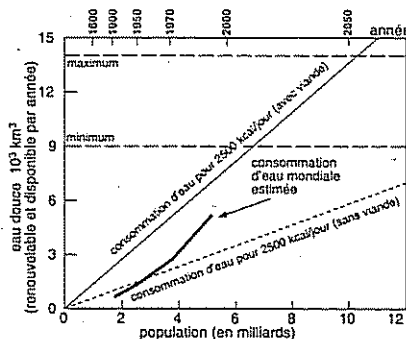


Fig. 1
Consommation d'eau annuelle en fonction de la croissance démographique mondiale, compte tenu d'un apport nutritif de 2500 kcal par personne et par jour. La ligne continue correspond à un régime composé à 80% d'aliments végétaux et à 20% de viande. La ligne discontinue correspond à un régime purement végétarien. Ces droites tiennent compte d'une consommation de 250 m³ pour les ménages, le secteur tertiaire et l'industrie. Les traits tiretés à 9000 m³ et 14'000 m³ indiquent le minimum et le maximum des ressources d'eau douce renouvelables et globalement disponibles par année. Le trait en gras représente la consommation d'eau mondiale estimée.

donc tenir compte d'un taux de perte moyen de 40%.

• La production de 1 kcal de viande nécessite entre 4,5 et 16 kcal d'aliments végétaux. On admettra ici une moyenne de 10 kcal.

En admettant un régime quotidien purement végétarien de 2500 kcal, il faut compter 350 m³ d'eau par personne et par année. Si le régime se compose à 80% de nourriture végétale et à 20% de viande, le volume d'eau nécessaire s'élève à 980 m³. Ces chiffres tiennent compte d'un taux de perte moyen de 40% sur la production des aliments végétaux pour l'être humain et pour les animaux domestiques.

De l'eau pour les ménages et l'industrie

En Europe de l'Ouest, on consomme additionnellement près de 250 m³ d'eau par personne et par an, dont 140 m³ pour la production industrielle, et le reste pour la production d'eau potable et d'eau sanitaire pour les ménages privés et le secteur tertiaire, c'est-à-dire principalement l'hôtellerie, la restauration et les hôpitaux. Les mêmes activités requièrent non moins de 380 m³ en Amérique du nord, contre environ 30 m³ en Afrique [5].

Combien d'eau faut-il par personne?

Par personne et par an, la consommation totale d'eau se situe entre 800 et 1200 m³, avec des pointes vers le haut et vers le bas. Selon [6], les pays dont les ressources d'eau renouvelables sont inférieures à 1700 m³ par personne et par an ne peuvent plus en disposer librement. La pénurie commence en dessous de 1000 m³; en dessous de 500 m³, on peut parler de carence totale. En Suisse, l'eau est surabondante. Si l'Allemagne devait se limiter uniquement à l'eau de pluie, elle devrait commencer à se restreindre, tandis que l'eau de pluie peut être considérée comme une denrée rare dans les Pays-Bas. Le bilan de l'eau de ces pays est en fait largement compensé par les cours d'eau qui les traversent et dont

les sources se trouvent en dehors de leurs frontières (tab. 1).

Suffisamment d'eau pour combien de temps encore?

Si on part des données actuellement disponibles, et compte tenu des habitudes nutritionnelles du monde industrialisé, la consommation d'eau annuelle devrait atteindre environ 9000 km³ en 2020, et 12'000 km³ en 2040 (fig. 1). Suivant les hypothèses retenues, la part renouvelable des ressources d'eau deviendra globalement insuffisante durant ces prochaines 20 à 40 années déjà. Au niveau régional, le manque d'eau touche aujourd'hui déjà de nombreux pays.

Quelle solution?

L'eau est la première ressource dont l'insuffisance nous touchera. C'est un défi pour l'humanité toute entière. Durant ces prochaines 20 à 30 années, la plupart d'entre nous seront confrontés au manque d'eau, sous une forme ou sous une autre. L'eau joue un rôle essentiel dans la plupart des domaines de notre vie. Si aucune mesure de précaution n'est prise au niveau politique, juridique et social, le manque d'eau portera préjudice au développement économique, accentuera les conflits d'intérêts et renforcera encore les effets négatifs de l'évolution démographique. Aussi longtemps que les femmes et les enfants doivent aller chercher au loin l'eau nécessaire à la consommation quotidienne, le temps leur manquera pour s'instruire et contribuer au développement économique de leur région. A cela s'ajoute le fait que les femmes pauvres et illettrées sont précisément celles qui désirent avoir de nombreux enfants [7]. Le manque d'eau – et, par conséquent, de nourriture –, la pauvreté et la pression démographique sont de nature à favoriser les conflits économiques et politiques ainsi que les migrations, dont les effets se font sentir bien au-delà des régions concernées.

Or, il existe une solution possible pour les régions touchées par le manque d'eau. Il s'agirait d'utiliser la même eau plusieurs fois. S'il est conséquent et soigneu-

sement géré, cet usage multiple de l'eau pourrait augmenter de 70% le volume d'eau disponible. Cet objectif requiert toutefois des instruments économiques: l'eau, qui était un bien jusqu'ici librement disponible, doit devenir un bien économique. Malheureusement, nous ne savons pas encore comment cette «valorisation» de l'eau devrait concrètement s'effectuer. Même les pays développés – et la Suisse ne fait pas exception à cet égard – ont de la peine à concrétiser ce changement dans toutes ses conséquences. Il suffit de penser à la législation sur le CO₂ pour s'en rendre compte.

Encore plus qu'auparavant, il faut sensibiliser l'opinion publique, les milieux politiques et le monde scientifique au défi que constitue l'insuffisance future des ressources en eau. C'est la seule manière pour nous de prendre davantage conscience du problème que pose l'eau, et de contribuer à le résoudre. L'eau est un facteur très largement déterminant pour la survie de l'humanité. Sa régénération via la phase pluviale étant directement liée à l'énergie solaire, le bilan de l'eau est un cas idéal pour l'établissement des critères définitionnels en matière de développement durable et d'utilisation responsable des ressources.

- [1] Shikdomanov, I.A., (1993): World fresh water resources. In: Water in crisis, P.H. Gleick, Editor. Oxford University Press, pp. 13–24.
- [2] Postel, S., (1996): Dividing the waters: food security, ecosystem Health, and the new politics of scarcity. Worldwatch paper 132, Worldwatch Institute.
- [3] Rogers, P. P., (1985): Fresh water. In: The global possible: resources, development, and the new century, P. Repetto, Editor. Yale University Press, New Haven, pp. 255–298.
- [4] Kates, R.W., R.S. Chen, T.E. Downing, J.X. Kasperson, E. Messer, and S.R. Millman, (1989): The hunger report: Update 1989. Alan Shawn Feinstein World Hunger Program, Brown University.
- [5] Raskin, P., E. Hansen, and R. Margolis, (1995): Water and sustainability: a global outlook. Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- [6] Falkenmark, M. and C. Widstrand, (1992): Population and water resources: a delicate balance. Population bulletin 47:3. Washington, D.C.: Population Reference Bureau.
- [7] Campbell, B.M., R.F. Du Toit, C.A. Attwell, (1989): The Save Study. University of Zimbabwe Press, Harare.
- [8] Gleick, P. H., Editor, (1993): Water in crisis. A guide to the world's fresh water resources. Oxford University Press.

Martin Wegelin et Roland Schertenleib

Traitement approprié de l'eau: tout le monde en profite



Roland Schertenleib et Martin Wegelin

L'eau devient une denrée rare, en particulier dans de nombreux pays en développement. Son usage multiple implique qu'elle soit traitée. La pénurie des ressources favorise l'usage approprié de systèmes de traitement d'eau simples et écologiquement durables. C'est un défi autant pour les pays du Tiers-Monde que pour nous.

Détérioration de la qualité de l'eau vs croissance de la population

Au niveau planétaire, mais surtout régional, les ressources d'eau sont en train de se raréfier. Elles sont menacées tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Tous les pays dont les ressources d'eau renouvelables et utilisables (c'est-à-dire l'apport pluviométrique) ne dépassent pas les 1000 m³ par tête et année sont qualifiés de «pauvres en eau», compte tenu des connaissances actuelles et de l'utilisation des techniques et des méthodes classiques. En d'autres termes, l'eau devient un facteur limitant pour la production alimentaire, l'hygiène domestique et le développement économique. On compte déjà 26 pays dans cette catégorie, représentant une population totale de plus de 320 millions d'habitants. Aujourd'hui déjà, plus de la moitié de la population du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord vit dans des pays réputés «pauvres en eau».

L'accroissement de la population et le développement industriel aggraveront sérieusement les problèmes de pénurie d'eau durant ces prochaines années, voire ces prochaines décennies si aucune stabilisation de la population n'intervient et surtout si les ressources d'eau ne sont pas utilisées de manière plus économe. Du point de vue quantitatif, l'agriculture renferme le plus grand potentiel d'amélioration, puisqu'elle consomme, pour ne pas dire gaspille environ 70% des ressources utilisées. Beaucoup d'eau pourrait être économisée avec relativement peu d'effort moyennant des méthodes d'irrigation plus efficaces et un accroissement du taux d'utilisation des eaux usées pour l'irrigation. D'importantes quanti-

tés d'eau pourraient aussi être économisées grâce à un recyclage conséquent de l'eau dans le secteur industriel, dont la consommation atteint environ 20% des ressources d'eau. Seuls 10% des ressources d'eau sont utilisés pour l'approvisionnement en eau potable. Quantitativement négligeable, l'eau potable pose néanmoins les exigences qualitatives les plus élevées. L'accroissement de la population et le développement industriel contribuent non seulement à une aggravation quantitative des conflits entre les types d'utilisation mentionnés, mais également à une détérioration de la qualité des ressources d'eau disponibles. Il en résulte que le traitement des eaux revêt une importance croissante.

Le Département de recherche «Eau et assainissement dans les pays en développement» (SANDEC) de l'EAWAG se consacre entre autres au développement de procédés appropriés pour le traitement des eaux. Après un bref aperçu des problèmes de traitement de l'eau potable dans les pays en développement, les auteurs présenteront deux procédés mis au point principalement à l'EAWAG.

Traitement de l'eau potable: problématique

Dans la technique de traitement classique, les eaux de surface chargées de matières solides traversent en général trois étages de traitement: floculation/sédimentation, filtration rapide à sable et désinfection. Ce procédé fait appel à des additifs chimiques pour la déstabilisation de la suspension, à des agents de floculation, à des ajusteurs du pH, à des oxydants et à des désinfectants. Or, un tel traitement requiert un contrôle intensif de la qualité de l'eau, un dosage adéquat

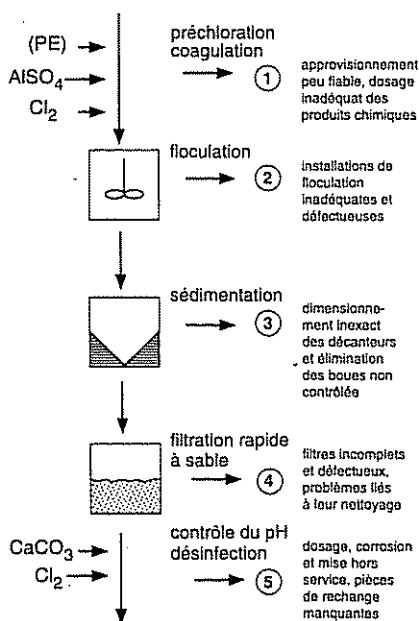


Fig. 1
Technique classique de traitement d'eau: problèmes fréquents dans les pays en développement.

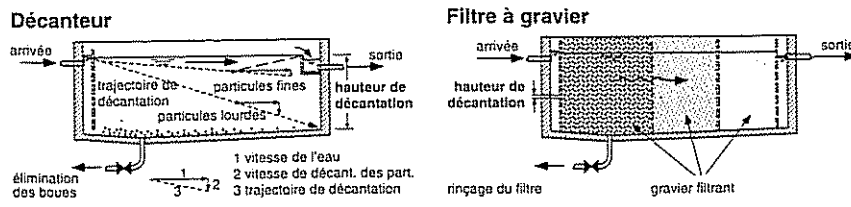


Fig. 2
Comparaison du décanneur classique et du filtre à gravier.

des produits chimiques ainsi qu'un bon entretien technique des installations. Il présuppose en outre des installations très perfectionnées, tant du point de vue opérationnel que technique. De telles installations ont été construites non seulement chez nous, mais aussi dans certains pays en développement.

Les expériences faites dans ces pays démontrent cependant que ces installations sont généralement mal exploitées, insuffisamment entretenues et souvent hors service. Les problèmes les plus fréquents sont répertoriés en figure 1. En ce qui concerne les produits chimiques, les problèmes proviennent de l'irrégularité de l'approvisionnement et de l'inexactitude des dosages. Les installations se détériorent sous l'action du climat tropical humide, et la livraison ponctuelle des pièces de rechange n'est pas assurée. Notre technique classique de production d'eau potable échoue donc souvent dans les systèmes ruraux de distribution d'eau. Voilà pourquoi il est nécessaire de développer de nouveaux procédés de traitement.

Filtres à gravier et à sable

La chloration et la filtration lente à sable sont les deux procédés qui se sont avérés les plus adéquats pour améliorer la qualité hygiénique de l'eau. Comme nous venons de l'expliquer, la chloration de l'eau potable n'est guère applicable dans la plupart des systèmes ruraux d'approvisionnement en eau des pays en développement. On est donc revenu aux filtres lents à sable. Quoi qu'il en soit, les deux procédés présupposent entre autres une eau à faible turbidité si on veut obtenir une hygiénisation efficace.

Or, l'érosion importante du sol rend la turbidité des eaux de surface tropicales très élevée, surtout durant la période des moussons, mais souvent aussi tout au long de l'année. Les matières solides peuvent être séparées grâce à un décanneur à flux horizontal comme le démon-

tre la figure 2. Lors de l'écoulement, les matières solides se déposent au fond du décanneur, bassin d'environ 2-3 m de profondeur. Les particules plus fines, dont la vitesse de décantation est plus lente, demeurent partiellement en suspension.

Il est possible d'augmenter considérablement la capacité d'épuration des décanneurs grâce aux filtres de gravier grossier. La surface de sédimentation d'un tel décanneur est centuplée du fait du gravier, et les matières solides pénétrant dans le système interstitiel du filtre ne doivent se déposer que sur quelques millimètres pour atteindre la surface du gravier. Contrairement à la sédimentation par floculation, les filtres primaires à gravier ne nécessitent pas de produits chimiques et disposent d'une stabilité et d'une sécurité opérationnelle élevée, ce qui les rend particulièrement appropriés à la séparation des matières solides dans la production d'eau potable en milieu rural dans les pays en développement.

D'intensifs travaux de recherche aux laboratoires de l'EAWAG [1] et sur le terrain avec les partenaires de SANDEC dans les pays du Tiers-Monde ont abouti au développement de la technique des filtres primaires à gravier [2]. Des études étendues dans le domaine de la filtration à gravier et à sable ont été réalisées par CINARA, le partenaire de SANDEC à Cali en Colombie [3]. Grâce aux filtres primaires à gravier, les filtres lents à sable peuvent également être utilisés pour les eaux de surface ayant une teneur élevée en matières en suspension. Appliqués de manière combinée, ces procédés permettent de réduire la concentration des coliformes fécaux de 4 à 5 unités log (l'efficacité totale de traitement s'élève à plus de 99,99%).

Désinfection solaire de l'eau

Dans les pays en développement, la population est livrée à elle-même lorsqu'il n'y a pas de système public d'approvi-

Trop d'eau au Cameroun...

Dans la province du nord-ouest, la période des moussons dure de mai à octobre, et les précipitations atteignant 4000 mm sont très abondantes. Helvetas construit depuis 30 ans des systèmes d'approvisionnement en eau dans cette région montagneuse couverte de forêts tropicales. Les filtres à sable filtrant l'eau claire des ruisseaux ont fonctionné parfaitement bien jusqu'à ces 15 dernières années. Depuis lors en effet, leur exploitation est devenue de plus en plus difficile, et quelques filtres ont même dû être mis hors de service. Que s'est-il passé ?

Les zones de captage, à l'origine bien protégées, n'ont pas résisté à la pression démographique et à la cupidité de quelques intermédiaires. Le défrichement par incendie a transformé les terres en périmètres agricoles, et le précieux bois tropical a été abattu pour l'exportation. Il en résulte une érosion du sol qui entraîne à son tour le colmatage des filtres à sable. Des filtres primaires à gravier sont en cours de construction sous l'égide de l'EAWAG afin de compléter les installations de filtres à sable. De l'eau claire et parfaitement saine coule à nouveau dans les villages, dont les habitants ont dû s'engager à protéger désormais leurs zones de captage en pratiquant une agriculture judicieuse et en reboisant, car tout système durable d'approvisionnement en eau commence effectivement par une protection des ressources.

... et trop peu en Bolivie

Dans les Andes, à 3500 m d'altitude, il ne pleut que rarement. Étant donné que la colonne annuelle des précipitations ne dépasse pas 400 mm, la végétation est par conséquent clairsemée. Dans leur habitat dispersé, les Indiens vivent d'une agriculture modeste et de l'élevage du menu bétail. L'eau peu abondante provient de petits ruisseaux contaminés. Il n'y a guère de bois à brûler, et le fumier d'animaux sert souvent de combustible. La population souffre de maladies diarrhéiques et le choléra se déclare de temps à autre.

Des bouteilles ont récemment fait leur apparition sur le marché local. Elles sont remplies d'eau et exposées au soleil. Les Indiens prennent aussi ces bouteilles avec eux sur les champs afin d'étancher leur soif après avoir achevé leur travaux. Le soleil joue un rôle capital dans leur culture; il symbolise la force et la santé, qui sont aussi transmises à l'eau. Si l'essai réussit, ce procédé pourrait bientôt s'étendre à l'ensemble des Andes où les habitants des vallées redoutent encore le choléra.

sionnement en eau ou que l'eau potable est de qualité déficiente. Les systèmes ne traitent en général que l'eau directement réservée à la boisson. La cuisson de l'eau est généralement recommandée, mais n'est guère réalisable en raison de la pénurie de bois à brûler ou de kérosène qui sont, si disponibles, essentiellement utilisés pour la préparation alimentaire. Il existe, par conséquent, un vif intérêt pour toute nouvelle méthode indivi-

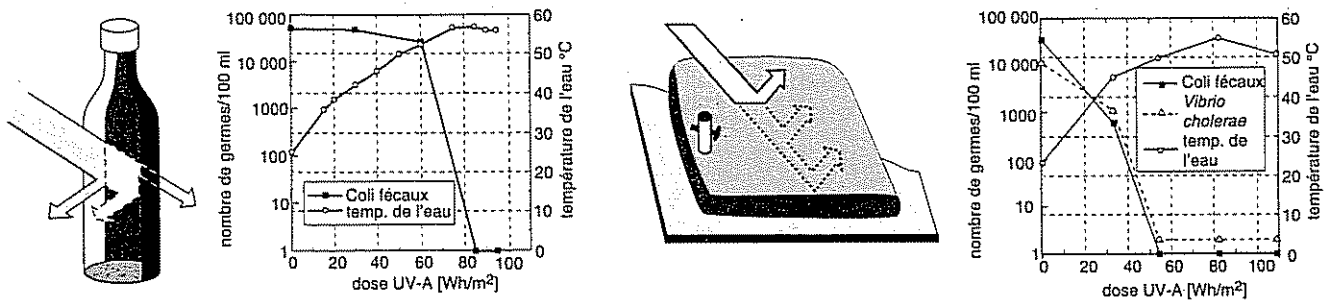


Fig. 3
Inactivation des coliformes fécaux et des *Vibrio cholerae* par désinfection solaire de l'eau contenue dans des bouteilles et dans des sacs en plastique.

duelle de traitement applicable dans des conditions de dénuement total. La désinfection solaire de l'eau est peut-être une de ces solutions.

L'effet bactéricide du soleil est connu depuis longtemps. Son utilisation pour le traitement de l'eau potable a été examinée à diverses reprises [4, 5]; ces essais sur le terrain ont livré des résultats partiellement contradictoires [6]. En 1991, des essais de laboratoire et sur le terrain furent menés par l'EAWAG afin de déterminer le potentiel d'irradiation solaire pour la désinfection de l'eau potable, et de développer des procédés de traitement appropriés. Des cultures de bactéries (*E. coli*, streptocoques fécaux et entérocoques), de virus (virus entériques et rotavirus) ainsi que des bactériophages f2 ont été utilisés lors des essais d'irradiation. Pour la désinfection de l'eau potable, on utilisait jusqu'ici l'énergie solaire soit sous forme lumineuse (traitement par irradiation), soit sous forme thermique (traitement par pasteurisation).

Étant donné les synergies, la combinaison de ces deux procédés augmente considérablement le potentiel de désinfection solaire de l'eau tel que le prouvent les essais de laboratoire [7]. Les essais sur le terrain avec un mélange de cultures naturelles effectués en Colombie, en Jordanie et en Thaïlande confirment les résultats obtenus par l'EAWAG. En outre, il a été démontré que l'organisme pathogène du choléra (*Vibrio cholerae*) est désactivé de manière efficace par la désinfection solaire [8].

L'exposition de l'eau dans des bouteilles transparentes, à moitié noircies afin d'augmenter la capacité d'absorption de la chaleur, est la manière la plus simple de désinfecter l'eau grâce au soleil. Le développement de la température et la réduction des coliformes fécaux dans des bouteilles de Coca-Cola noircies et

exposées au soleil sont démontrés en figure 3. Il est cependant préférable d'utiliser des sacs en plastique pour la désinfection de l'eau, étant donné que l'exposition de l'eau aux rayons solaires est d'autant plus intense que l'eau est peu profonde et que sa surface d'exposition est grande. Ces exemples démontrent de manière impressionnante le potentiel de désinfection solaire de l'eau.

La capacité de production d'installations de désinfection solaire peut être considérablement augmentée par des systèmes continus. Dans de tels systèmes, l'eau coule par gravité du réservoir d'eau brute, plus élevé, dans le réservoir d'eau épurée, en passant par le récipient d'exposition solaire. L'eau brute, plus froide, est chauffée au moyen d'un échangeur de chaleur par l'eau chaude traitée. L'énergie solaire ainsi absorbée par le système est récupérée, tandis que l'eau traitée est simultanément refroidie à la température désirée. La capacité journalière s'élève à env. 100 litres par m² de collecteur solaire.

L'intérêt de la désinfection solaire de même que ses possibilités d'application ont été analysés dans le cadre d'une étude de marché. Afin de déterminer la compatibilité socio-culturelle et la rentabilité de cette méthode de traitement simple, des projets de démonstration sont actuellement en cours dans neuf différents pays en développement.

Engagement local pour le bien de la population mondiale

Force est d'admettre que les personnes devant se battre journalièrement pour survivre sont bien loin de se préoccuper encore de problèmes écologiques ou même globaux. Même une sensibilisation accrue à ces problèmes ne nous incite que rarement à modifier notre comportement. L'individu a appris à

vivre avec le conflit entre sa conscience et son comportement personnel.

Mais il y a une nécessité urgente, ce qui nous oblige à agir. La voie s'ouvre ainsi aux solutions appropriées et écologiquement judicieuses. Par exemple, la désinfection solaire de l'eau, qui est une technologie simple, bon marché et utile, permet de réduire par ailleurs le déboisement mondial résultant des besoins en bois de feu.

Des changements d'attitude et de comportement sont impérativement nécessaires si on veut parvenir à une utilisation écologique des ressources. En participant au développement de technologies sobres en énergie, utilisant en particulier des ressources d'énergie renouvelables, nous investissons dans un développement durable, ce qui est en fin de compte aussi vital pour nous.

- [1] Wegelin M., Boller M. and Schertenleib R., (1987): Particle Removal by Horizontal-flow Roughing Filtration, AQUA, No. 2.
- [2] Wegelin M., (1996): Surface Water Treatment by Roughing Filters, SANDEC Report No. 2/96, Intermediate Technology Publications, London.
- [3] CINARA, Proyecto integrado de investigación y demostración de métodos de pretratamiento para sistemas de abastecimiento de Agua, (1989), CINARA/IRC.
- [4] Acra, A., Raffoul, Z., and Karahagopian, Y., (1984): Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions, UNICEF.
- [5] Acra, A., Jurdi, M., Mu'Allem, H., and Karahagopian, Y., (1990): Water disinfection by solar radiation, IDRC.
- [6] Lawand, T.A., Alward, R., Odeyemi, O., Hahn, J., Kandpal, T.C., and Ayoub, J. (Editors), (1988). Solar water disinfection, Proceedings of a workshop held at the Brace Research Institute, Montreal, Canada, IDRC.
- [7] Wegelin M., Canonica, S., Mechner, K., Fleischmann, T., Pesaro, F. and Metzler, A., (1994): Solar Water Disinfection: Scope of the Process and Analysis of Radiation Experiments, AQUA, No. 4.
- [8] Sommer B., et al., (1997): SODIS – an Emerging Water Treatment Process, AQUA, No.3, (in press).

Israël – une étude de cas sur l'utilisation de l'eau



Saul Arlosoroff

Les experts en développement et les spécialistes de l'eau qui s'intéressent au Moyen-Orient ainsi qu'à l'évolution économique des pays semi-arides se demandent souvent comment Israël peut prospérer avec moins de 300 mètres cubes d'eau par habitant et par année, alors que les organisations internationales qualifient les pays dont les ressources d'eau sont inférieures à 1000 m³ de pauvres en eau.

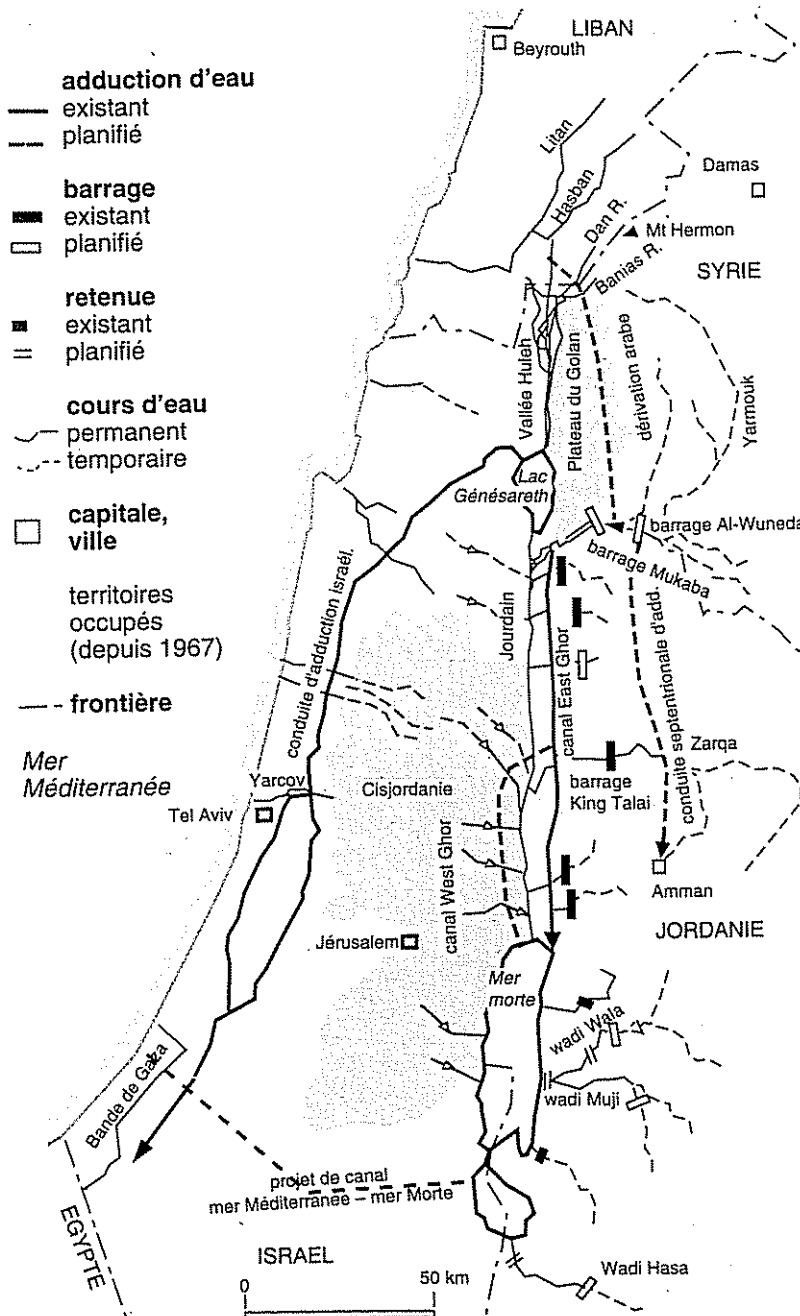


Fig.1 Bassin hydrologique du Jourdain et du Yarmouk, et plan des adductions d'eau existantes et des conduites en projet.

Le présent article tente d'expliquer le cadre politique, l'arrière-plan législatif et quelques aspects économiques qui ont permis à Israël d'obtenir un pareil succès, à savoir: un produit intérieur brut (PIB) de \$ 16'000 par habitant, la possibilité de couvrir bon nombre de ses besoins en produits agricoles (céréales exceptées), l'exportation de produits agricoles ainsi que le maintien d'un niveau de vie élevé – nonobstant des ressources en eau douce très limitées. Ci-après, je tâcherai d'expliquer la gestion de l'eau pratiquée en Israël. Celle-ci se base sur l'offre et la demande. On parle également de plan d'économie de l'eau ou de programme pour la rationalisation de l'utilisation de l'eau [1-7].

Pour faire face à la demande croissante en eau, la politique d'Israël se concentre sur la demande et l'approvisionnement ainsi que sur les investissements. La solution à long terme consisterait à dessaler de l'eau de mer. Cette solution nécessite de coûteux investissements et n'est pas bon marché à l'exploitation, de sorte que tous les efforts actuels visent à retarder le plus possible le recours à une telle solution. Ces efforts sont de trois ordres, à savoir:

● *Le recyclage des eaux usées épurées:* Grâce à de nouvelles prescriptions, le degré d'épuration des eaux usées s'est amélioré, ce qui a permis de maximaliser leur potentiel de recyclage et de réduire les risques tant pour la santé que l'environnement. De plus, les conventions portant sur l'échange de quantités réservées

* Saul Arlosoroff, Ingénieur conseil, Conseiller en chef du «Harry S. Truman Research-Institute for the Advancement of Peace», Hebrew University, Jerusalem, P.O. Box 951, Ramat-Gan 52109, IL, tél: (972 3) 731 7950, fax 7960 ou tél: (972 50) 507742, e-mail: sarlo@inter.net.il.

Consommation d'eau 1989 → 2040	Population	Consommation des ménages		Consommation industrielle totale	Superficie d'irrigation	Consommation tot. pour irrigation	Taux d'irrigation	Consommation totale
	10 ⁵	10 ⁹ m ³ /a	m ³ /a	10 ⁹ m ³ /a	ha	10 ⁹ m ³ /a	m ³ /ha/a	10 ⁹ m ³ /a
Israël	5.0 → 12.8	495 → 1280	100 → 100	115 → 260	200'000 → ND	1100 → 1900	5500 → ND	1710 → 3440
Plateau du Golan	1.0 → 3.8	35 → 380	35 → 100	5 → 40	10'000 → ND	100 → 350	10'000 → ND	140 → 770
Gaza	0.7 → 2.6	20 → 260	25 → 100	-	5000 → ND	60 → 100	11'000 → ND	80 → 360
Jordanie	3.6 → 16.9	170 → 1700	50 → 100	40 → 180	70'000 → ND	760 → 550	10'850 → ND	970 → 2430
Total	10.3 → 36.1	720 → 3620		160 → 480		2020 → 2900		2900 → 7000

Tab. 1

Consommation d'eau réelle et projections (ND = non défini) [1].

d'eau douce contre des eaux usées épurées ont été améliorées, surtout en ce qui concerne l'irrigation et les économies d'eau.

• *Mesures d'économie / utilisation plus rationnelle de l'eau*: Diverses mesures sont appliquées conjointement, dont:

(a) Cubages d'eau réservés, quantités standard et taux progressifs pour chaque secteur (MCI: ménages, commerce, eau d'irrigation ou eau destinée à l'industrie, y compris l'eau pour hôpitaux, lavage des voitures, etc.), et

(b) Recherche, développement et mise en oeuvre de techniques agricoles ainsi que de possibilités technologiques destinées à rationaliser l'utilisation de l'eau ainsi qu'à réduire la consommation dans les secteurs privé, commercial et industriel, compte tenu des systèmes modernes d'arrosage et d'irrigation pour les jardins publics, les jardins privés et l'agriculture (p.ex. des installations d'irrigation goutte à goutte à gestion hydraulique ou électronique ainsi que des installations d'arrosage économes).

• *Cubages d'eau attribués par secteur*: Récemment, d'importantes modifications ont été introduites pour assouplir le système, dont l'abandon des cubages réservés destinés aux agglomérations et l'introduction de mesures pour les cas où la consommation non enregistrée dépasserait les quantités supportables. La possibilité de commercialiser l'eau a été introduite par le biais de cubages réservés sur la base des conditions économiques. Ce commerce peut prendre place entre membres du même secteur, entre différents secteurs ou également entre Israël et ses voisins.

A l'heure actuelle, Israël compte env. 5,7 millions d'habitants. La croissance annuelle est d'env. 2,2–2,5%. Selon toute estimation, le nombre d'habitants en l'an 2020 se montera à 10–13 millions.

Actuellement, la consommation d'eau annuelle (privée, commerciale, industrielle) se monte en moyenne à 110 m³ par habitant. Des économies d'env. 30% ont d'ores et déjà pu être réalisées. D'ici à l'an 2020, la consommation d'eau des industries et des ménages atteindra selon toute vraisemblance 110–120 m³ par habitant et par année. Ces chiffres se basent en outre sur un niveau de vie bien plus élevé et une application très stricte et étendue de la politique en matière de consommation d'eau. Pour les agglomérations, le besoin annuel en eau se situera donc à 1,0–1,3·10⁹ m³ d'eau douce pour le nombre d'habitants prédit.

Dans le secteur agricole, le besoin annuel en eau est constant. Ce besoin est estimé à 25–30 m³ par tête pour la production des denrées périssables (p.ex. produits laitiers, oeufs et légumes), ce qui représente un supplément de 0,22–0,33·10⁹ m³/a. Rien que pour Israël, la consommation d'eau douce tant urbaine qu'agricole est estimée à quelque 1,20–1,65·10⁹ m³/a jusqu'à l'an 2020. A l'heure qu'il est, Israël dispose d'une quantité maximale de 1,70·10⁹ m³.

Le recyclage des eaux usées épurées atteindra 70–75% de la consommation totale MCI, ce qui correspondra à 100% ou presque du flux d'eaux usées épurées (d'ici à l'an 2020, tous les habitants devraient être raccordés à une station d'épuration des eaux). Le flux d'eaux usées est estimé à env. 0,7–1,0·10⁹ m³/a pour l'an 2020 (voir tab. 1, dont les données se rapportent toutefois à l'an 2040).

Demande et approvisionnement

La politique de gestion de l'eau dispose effectivement d'un grand nombre de solutions possibles susceptibles de modifier de manière déterminante la pression de la demande et de l'approvisionnement

dans ce territoire. En réduisant les subventions, le gouvernement peut influencer les prix, la demande et le financement public des projets d'infrastructure pour l'approvisionnement en eau. La politique extensive pratiquée par Israël durant les années 1970 – gestion en fonction de la demande – a conduit à une considérable plus-value par unité d'eau ou de terrain: à cette époque, la production industrielle par unité d'eau consommée a augmenté de plus de 80% (fig. 2–4).

Israël a déjà engagé bon nombre de mesures d'amélioration, telles qu'adaptations des taux d'approvisionnement, mesures d'incitation gouvernementales, mesures coercitives et crédits d'investissement. Le but consiste à rationaliser la consommation d'eau, à améliorer la recherche et le développement. Un centre de conseils a été ouvert à l'intention des agriculteurs pour toute question concernant l'eau ou le sol. A cela s'ajoute l'encouragement de la production locale de systèmes techniques de haute qualité. Ces mesures ont entraîné une diminution de la demande en eau et ont permis aux autorités de réduire les cubages réservés sans porter atteinte aux revenus nets des secteurs de la production (fig. 2 pour les principaux paramètres de la stratégie d'Israël).

Gestion basée sur la demande dans les secteurs agricole et industriel

Cet objectif requiert en permanence des efforts techniques et économiques pour réduire la consommation d'eau à l'avenir et pour rationaliser encore l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole. Les coûts supplémentaires résultant des économies d'eau en Israël se situent entre 0,04 et 0,05 \$ EU/m³. Les données relatives à l'irrigation reposent sur l'hypothèse d'une augmentation de production par

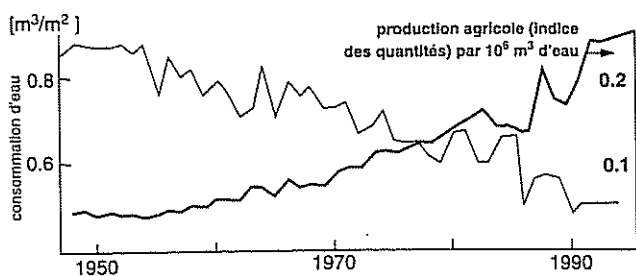


Fig. 2

Le secteur agricole (Israël):

- a) consommation d'eau pour 1948–1992 en m^3 par $100 m^2$.
b) efficacité de l'utilisation de l'eau-recirculation, à prix constant.

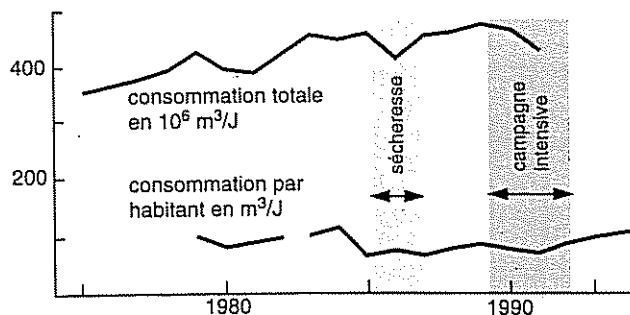


Fig. 3

Consommation totale par habitant en milieu urbain.

unité d'eau en conditions réelles; elles reflètent certaines modifications dans le cycle fondamental de production: le recours à des méthodes d'assolement plus économiques ainsi que le développement de procédés industriels. La production d'eau directe et la production d'eau indirecte (résultant des économies d'eau ou d'une utilisation plus rationnelle de l'eau) sont très importantes puisqu'elles correspondent à une réduction permanente de la demande.

Economies d'eau en milieu urbain

Les pertes d'eau non comptabilisées («unaccounted-for water», UFW) jouent un rôle significatif. Outre la perte quantitative d'eau, elles entraînent une perte financière de l'ordre de 0,15–0,30 \$ EU/ m^3 . Cet argent serait investi à meilleur escient s'il pouvait servir à financer des mesures de protection et d'entretien supplémentaires. En Israël, ce mal a pu être circonscrit au strict minimum, mais il demeure un problème grave dans d'autres pays du Moyen-Orient, où les pertes peuvent dépasser 50% dans certaines villes (dont 50% de pertes par infiltration, soit 30 m^3 par habitant).

Le recyclage des eaux épurées d'origine anthropique

En ce qui concerne la demande d'eau de la part des industries déjà existantes, Israël a pratiquement achevé l'introduction des nouveaux plans d'affectation des ressources d'eau. Les nouvelles entreprises industrielles s'équipent actuellement de systèmes réfrigérants efficaces et de systèmes en cascade préfabriqués. Le calcul des prix et la facturation de

l'évacuation des eaux usées sont progressivement introduits et contribuent à améliorer la gestion des eaux industrielles. De nombreuses entreprises se trouvent en territoire urbain et occasionnent des coûts d'exploitation supplémentaires.

Le recyclage des eaux épurées doit être envisagé dans le contexte de la protection des eaux et des mesures d'économie d'eau dans l'industrie et dans les villes. L'optimisation des résultats devrait résulter de la situation de marché, c'est-à-dire lorsque les taxes sont prélevées sur les rejets d'eau usées et que les subventions sont supprimées. Selon toute vraisemblance, le recyclage sur place pour l'irrigation agricole constitue la solution la plus économique, en particulier dans les régions où aucune pollution n'est à craindre de la part des utilisateurs en amont. L'arrosage goutte à goutte des arbres sera sans doute la solution préférée, étant donné que toutes les villes sont entourées de cultures. Il est absolument indispensable que la construction et la mise en service de systèmes de gestion des eaux soient considérées comme une priorité de premier ordre, en particulier par la population palestinienne aussi. Il est nécessaire de trouver toutefois des ressources de financement externes à cette fin. L'irrigation des légumes avec des eaux épurées devrait être évitée, ce qui présuppose un haut degré de contrôle des agriculteurs.

Le recyclage des eaux usées est une précieuse méthode pour satisfaire la demande en eau douce. Cette solution fait partie intégrante de la protection des eaux. La taxation des rejets d'eaux usées et une gestion des eaux axée sur la demande sont les deux grandes lignes qui devraient être réunies au sein d'un même projet. Si les taxes sont correctement prélevées, le secteur public pourra

renoncer à surveiller dans de nombreux cas la consommation d'eau et les économies d'eau des industries (et éventuellement celles des villes). Les coûts pour l'industrie et les décomptes d'eau des consommateurs seront réduits à un minimum par la réduction des flux d'eaux usées. De la sorte, le processus de décision est consolidé (fig. 5).

Le commerce de l'eau: une solution temporaire ou permanente?

En Israël, l'eau est utilisée en fonction de réservations pour une durée déterminée. Ces réservations ont lieu une ou plusieurs fois par année. Dans la plupart des pays, la situation est différente puisque le critère déterminant est subordonné aux droits de l'utilisateur. Dans de nombreuses régions, il suffit de posséder un terrain où de le cultiver pour avoir le droit d'utiliser l'eau qui coule sur le terrain en question, que ce soit en surface ou en souterrain. Dans d'autres régions, des systèmes de quotes-parts sur une durée déterminée permettent de réguler les quantités d'eau à disposition selon un rythme annuel, mensuel, hebdomadaire, quotidien, voire même horaire. Les personnes établies depuis longtemps gardent souvent le droit d'utiliser la ressource d'eau. Le recours aux mécanismes de la formation des prix permettrait néanmoins d'obtenir une répartition et une utilisation nettement plus rationnelles des ressources d'eau. Par exemple, le gaspillage inutile pourrait être réduit grâce à une commercialisation secondaire de l'eau ou grâce à un système qui viserait à satisfaire la demande urbaine ou industrielle via un approvisionnement assuré par les agriculteurs. En Israël, l'eau d'irri-

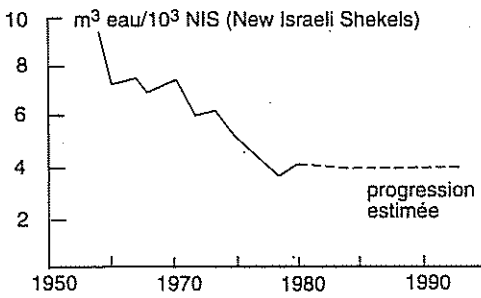


Fig. 4
Consommation industrielle moyenne en m^3 par NIS pour la production (à prix fixes).

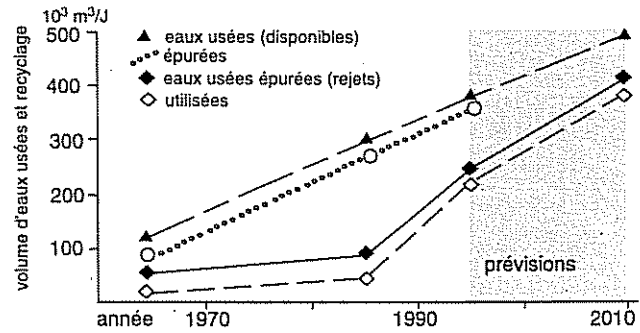


Fig. 5
Disponibilité et recyclage des eaux usées.

gation est encore partiellement subventionnée par le Service national des eaux. En instaurant un système administratif de réservation, on incite les gens à chercher de nouvelles ressources d'eau, ce qui pourrait aboutir à une surexploitation des eaux souterraines. La commercialisation de l'eau pourrait toutefois améliorer considérablement la gestion du secteur et la rationalisation de l'utilisation, si les agriculteurs pouvaient vendre aux citadins l'eau dont ceux-ci auraient besoin.

La commercialisation de l'eau est susceptible d'atténuer le problème du manque d'eau que connaît Israël. Cette solution pourrait également améliorer les rapports entre Israël et les autorités palestiniennes et la Jordanie. Il s'agit là d'une proposition s'inscrivant dans le droit fil des principes économiques classiques. Elle aurait pour avantage d'aider Israël, la Palestine et la Jordanie à faire face à la demande croissante du secteur urbain tout en encourageant les agriculteurs à rationaliser leur emploi de l'eau. Les partenaires concernés devraient toutefois pouvoir être libres de commercialiser l'eau sous le contrôle d'un service tel que la Commission de l'eau.

Conclusions

Les besoins en eau des secteurs urbain et industriel se situent actuellement autour de $0,6 \cdot 10^9 m^3/a$. Ils sont compressibles jusqu'à concurrence de 15 à 20%, ce qui permettrait d'économiser $0,080-0,120 \cdot 10^9 m^3/a$, à supposer que le programme adéquat ait été instauré dans les faits. Cette solution permettrait de repousser encore la construction d'une usine de dessalage pour eau de mer, une entreprise qui coûterait environ 400 millions de \$ EU. En outre, les mesures

prévues contribueraient vraisemblablement à réduire les coûts d'exploitation actuels d'env. $0,15-0,20$ \$ EU/ m^3 (énergie, produits chimiques, etc.) ainsi que les coûts annuels d'exploitation de l'installation de dessalage.

Etant donné que l'augmentation des besoins est surtout prévisible dans le secteur urbain et le secteur industriel, une des données fondamentale de l'approvisionnement en eau régional passe par la mise en place d'une politique de gestion globale. En 2020, la population résidant à l'ouest du Jourdain atteindra 12 millions d'âmes, de sorte que les économies potentielles seront de l'ordre d'env. $0,2 \cdot 10^9 m^3/a$. Si on multiplie cette valeur par les coûts en valeur actuelle du dessalage de l'eau de mer, les économies potentielles pourraient aller chiffrer vers les 200 millions de \$ EU. Cette somme considérable pourrait dès lors être affectée à d'autres projets en matière de protection des eaux et de recyclage des eaux épurées pour l'ensemble du pays.

Les effets d'une meilleure rationalisation se ferait même sentir au niveau de la production agricole, avec, à la clé, une rentabilité nettement plus élevée par unité d'eau, voire même des économies nettes. Sur la base des expériences réalisées en Israël, les coûts par m^3 d'eau économisée (ou la valeur correspondante à la production) sont estimés à quelque $0,10-0,15$ \$ EU, ce qui est nettement inférieur aux coûts marginaux estimés pour la mise en exploitation de ressources d'eau supplémentaires en Israël. Afin de pouvoir satisfaire à l'avenir également le besoin économique du pays en eau douce et en eaux usées, la politique doit miser sur des investissements assez conséquents, une promotion plus offensive auprès de l'opinion publique, des mesu-

res pénales, la mise en place d'un «commerce de l'eau» et une réservation judiciaire des ressources d'eau. Cet objectif présuppose une campagne sociale et politique bien orchestrée. Les coûts par m^3 d'eau épurée, auxquels s'ajoutent les frais de transport et les investissements nécessaires pour assurer l'échange simplifié d'eau douce pour des eaux épurées secondaires ou tertiaires pourraient s'avérer globalement bien inférieurs au prix du dessalage de l'eau de mer. Dans tous les cas, Israël pourrait bien être obligé de recourir à cette solution de dernière extrémité avant 2020, à moins que des échanges régionaux soient possibles à grande échelle. Le dessalage de l'eau saumâtre a déjà été intégré au système. Dans le désert du Néguev se trouve une source d'eau saumâtre qui pourrait devenir une ressource d'eau importante dans les années 2000-2010. Toutefois, ces programmes nécessitent des investissements considérables, y compris le recours à des capitaux internationaux et la participation du secteur privé.

- [1] World Bank, *Sustainable Environmental Solution in the Middle East. Various documents, 1994, 1995, Washington DC: The World Bank.*
- [2] Arlosoroff, S., (1995): *Promoting Regional Cooperation in the Middle East*, Harry S. Truman Research Institute, IGCC - University of California and others.
- [3] Arlosoroff, S., (1978): *Israel: A Model for Water Resources Management*, United Nations.
- [4] Jaust, R., Horowitz, K., and Neranyahu, S., (September 1994): *Problems and prospects in the political economy of trans-boundary water issues*, University of Maryland.
- [5] Kahana, Y., (1991): *Water Conservation Measures in Israel*. UNEP-Mediterranean Action Plan plus various other documents. Tel Aviv ICWE/Water Commission.
- [6] *Water, Peace and the Middle East* (J.A. Allan, Tauris Academic Studies, London, 1996).
- [7] *Between War and Peace* (E. Karsh, F. Cass, London, 1996).

Gestion durable des eaux en milieu résidentiel: implications techniques



Tove A. Larsen



et Willi Gujer

Le concept de développement durable met la gestion des eaux en milieu résidentiel devant de nouveaux défis. D'abord axée sur le confort de la population, puis sur la protection des eaux, la gestion des eaux doit désormais viser l'efficacité. Il s'agit désormais de recycler les nutriments, d'alléger les méthodes de construction, d'instaurer des partenariats nouveaux et d'améliorer la compréhension des nouvelles techniques. Cette nouvelle orientation caractérisera le développement de la gestion des eaux en milieux résidentiel durant ce prochain siècle.

La gestion des eaux en milieu urbain est une réalité quotidienne qu'on ne remarque plus. Eau courante, toilettes et caves sèches font désormais partie du confort habituel. Or, il a tout de même fallu plus d'un siècle de développement technique pour en arriver là. Maintenant, on ne pourrait plus imaginer d'agglomération sans ces infrastructures invisibles, mais fort coûteuses que sont la distribution d'eau potable, l'évacuation des eaux usées, le drainage des eaux superficielles et toutes les installations qui s'y rapportent.

La gestion des eaux en milieu urbain doit rester écologiquement, socialement et financièrement supportable. C'est une question de développement durable. Il faut éviter de surexploiter les ressources tout en maintenant le niveau de vie de

notre société urbaine, compte tenu du cadre financier actuel.

Dans notre analyse, nous partons du modèle présenté en fig. 1. Ce modèle s'applique à toutes les activités anthropiques, mais pour les besoins de l'analyse, nous nous limitons ici aux ménages. Comme notre modèle l'indique, les flux d'eau et de matières sont indissociables. En effet, ce sont les charges de matières et de germes présents dans l'eau qui déterminent dans quelle mesure celle-ci doit être traitée avant d'être réintroduite dans le système. Nous distinguerons les substances provenant naturellement de l'agriculture et les nombreuses substances artificielles qui s'introduisent dans le cycle de l'eau en milieu urbain.

Les ressources de la gestion des eaux en milieu urbain

Les ressources nous permettent d'agir. Le minéral, l'énergie, la démocratie, l'argent sont autant de ressources qui nous permettent d'organiser notre vie quotidienne. La nature aussi est une ressource. En la détruisant, nous détruisons notre propre sphère vitale, car l'environnement est régi par des lois très complexes, dont les effets se font parfois sentir avec un décalage considérable dans le temps. Dans notre analyse, nous distinguerons quatre types de ressources (voir fig. 2) [1].

Pour parvenir à un développement durable, il faut tenir compte des quatre types de ressources à la fois. Dès lors,

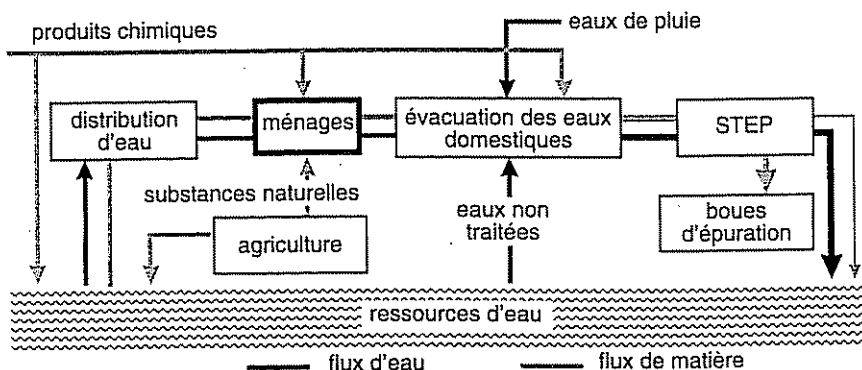


Fig. 1
Flux d'eau et de matière en milieu urbain. Les deux cycles sont étroitement liés et ne peuvent être considérés isolément l'un de l'autre.

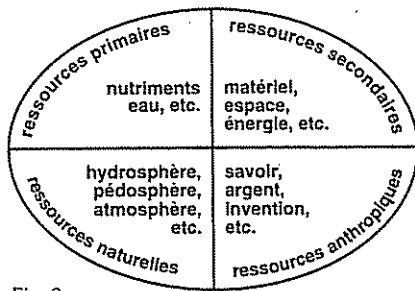


Fig. 2

Ressources de la gestion des eaux en milieu urbain. Les ressources primaires constituent l'objet de la gestion des eaux urbaines. Les ressources secondaires servent à gérer les ressources primaires. La gestion des eaux en milieu urbain est actuellement axée sur l'optimisation des ressources naturelles et d'une ressource anthropique, «l'argent».

faut-il s'attendre concrètement à un renchérissement de la gestion des eaux, à une régression de la protection des eaux pour mieux ménager les ressources secondaires?

L'industrie nous apprend que cela ne doit pas forcément être le cas. Aujourd'hui, on peut par exemple produire des téléphones à meilleur prix simplement parce que leur recyclage a déjà été pris en compte au moment de leur conception. Notre nouvelle conception de la gestion des eaux devrait aboutir à des résultats similaires, du moins l'espérons-nous.

Les prochains chapitres vont nous permettre d'établir les caractéristiques importantes de chaque type de ressources.

Ressources primaires: les nutriments

Faut-il éliminer l'azote et le phosphore au niveau des STEP ou peut-on considérer ces substances nutritives comme part du cycle naturel des matières et en faire ainsi profiter l'agriculture? Cette question se pose toujours plus souvent.

Parmi toutes les ressources en cours d'épuisement, le phosphore est celle qui posera le plus de problème. Selon les estimations, les réserves de phosphore suffisent encore pour ces 100 à 1000 prochaines années, selon la source et les possibilités d'exploitation. Dans nos contrées, les engrais phosphatés aggravent incontestablement la pollution due aux métaux lourds. En revanche, dans les régions du monde qui en auraient le plus besoin, le phosphate n'est guère utilisé parce que très onéreux à l'achat. Il s'agit là d'un paradoxe crucial [2].

De toute évidence, l'agriculture écologique est la tendance du futur. Admettons l'abandon des engrais artificiels. Mais comment gérer cette agriculture à long terme si on ne rétrocède pas à l'environnement les nutriments qu'on lui soutire via la gestion des eaux en milieu urbain? Sans cet apport de nutriments venant du milieu urbain, l'agriculture écologique reste une gageure difficile à tenir.

Que deviennent les nutriments en milieu urbain? 65% du phosphore, 85% de l'azote et du potassium et 95% du soufre sont rejetés par les ménages sous forme d'urine. Seulement en admettant que ces nutriments ne soient pas mélangés au reste des eaux usées, ils seraient disponibles sous forme concentrée. Une séparation rigoureuse de l'urine et des eaux usées rendrait en outre superflue la coûteuse élimination des substances nutritives dans les STEP [3].

Un travail de doctorat actuellement en cours tente de mettre en oeuvre techniquement le principe de l'évacuation séparée de l'urine. Dans le modèle étudié, l'urine stockée dans les maisons est évacuée vers la STEP durant la nuit (voir fig. 3). Selon les premières simulations et les premiers essais, les heures de faible débit d'eaux usées suffiraient, du moins dans les petits réseaux, pour évacuer l'urine retenue durant la journée. Toutefois, la stabilité de l'urine pose encore problème. En l'absence de toute mesure correctrice, des variations indésirables de pH engendrent des réactions de corrosion ou de précipitation à cause de l'ammoniac.

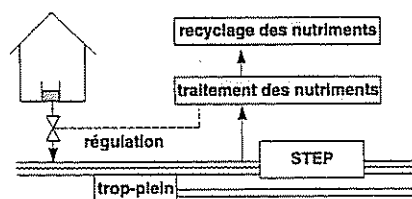


Fig. 3

Modèle d'évacuation séparée de l'urine. Durant la nuit, lorsque le débit des eaux usées est faible, l'urine parvient sous forme peu diluée à la STEP, qui peut dès lors la traiter séparément en vue d'un recyclage.

Energie électrique	1-2% (sans eau chaude)
Béton	5-10%
Gravier	10-20%

Tab. 1

Estimation de la part de la gestion des eaux à la consommation de quelques ressources importantes en Suisse.

Ressources secondaires: énergie et matériaux de construction

Il n'existe aucune donnée quantitative quant à l'utilisation de ressources secondaires par la gestion des eaux en milieu urbain. Jusqu'à présent, personne ne s'y est intéressé. Le tab. 1 présente une première estimation pour quelques paramètres en Suisse.

Cette consommation est-elle justifiée par rapport à la prestation fournie? Etant donné les objectifs fixés à l'échelle planétaire, l'utilisation des ressources doit être réduite d'un facteur 3 à 10 dans nos contrées. La tendance est donc à l'économie. Pour y parvenir, tout l'économie doit se «dématérialiser», c'est-à-dire consommer beaucoup moins de matériel et d'énergie qu'auparavant.

Comme l'a démontré le programme fédéral d'impulsion RAVEL, la rationalisation de l'énergie permet de réaliser des économies allant jusqu'à 60% dans les STEP [4]. Il n'est pas facile d'évaluer l'utilisation des ressources pour la gestion des eaux, car elle comprend non seulement la consommation effective, mais aussi les atteintes à l'environnement durant l'extraction, la production, l'utilisation et l'élimination des matériaux. Il faut comparer le ciment, l'acier, le cuivre, etc. si on veut parvenir à des améliorations déterminantes. Plusieurs institutions, dont l'EAWAG, se sont attelées à cette tâche de bénédictin en suivant la méthode de l'éco-bilan.

Ressources naturelles: mesures à la source

Durant ces 20 dernières années, la Suisse a considérablement investi en faveur de la protection des eaux. Au départ, il s'agissait de résoudre des problèmes aigus à l'échelle locale (envasement des cours d'eau, déficit d'oxygène, etc.). Aujourd'hui, l'attention se porte davantage sur les polluants d'origine anthropique ou

naturelle comme le nitrate. Plus récemment, le cuivre utilisé dans la construction a été reconnu comme micropolluant [5]. Des études réalisées à l'EAWAG [6] ont ajouté au cuivre entre autres le zinc. Il ne sert à rien de résoudre le cas d'un micropolluant de manière isolée. A peine aurait-on remplacé le cuivre par du zinc dans la plupart des cas, que les dangers du zinc seraient également à l'ordre du jour. Il faudrait alors substituer au zinc une nouvelle matière, et ainsi de suite.

L'analyse des sources potentielles de micropollution diffuse dans les ménages apporte deux éléments: d'une part, la protection des surfaces joue un rôle capital tant au niveau des conduites, du toit que des façades, etc. D'autre part, les ménages utilisent d'innombrables produits chimiques. La demande est très large. Nous voulons par exemple un lavage ménageant nos textiles modernes, mais malgré tout efficace. Or, seuls les spécialistes sont à même d'apprécier l'offre. Qui saurait distinguer la poudre à lessive la plus écologique? L'exemple des ménages montre clairement que les stratégies classiques de protection de l'environnement ne sont plus adéquates. Il faut mettre en place de nouveaux partenariats dans le but de parvenir à des solutions durables plutôt que de tester chaque nouvelle substance du point de vue de ses risques potentiels.

Ressources anthropiques: meilleur marché grâce à la planification à long terme

L'augmentation des taxes sur l'eau et les eaux usées ainsi que l'entretien d'infrastructures coûteuses, mais invisibles deviennent des facteurs toujours plus importants.

Le secteur de l'énergie ou celui des déchets illustrent bien les potentialités, mais aussi les dangers qui peuvent apparaître dans le secteur de la gestion des eaux. Ainsi, le secteur de l'énergie affectionne le principe de la *gestion à moindres coûts*. Au lieu de vendre de l'électricité, certains services publics mettent à disposition une prestation finale (par ex. de la lumière). Cette situation les pousse à distribuer des lampes économiques au

	Recyclage des nutriments	Éco-bilan	Mesures prises à la source	Gestion à moindres coûts
Ressources primaires		économies et recyclage: pas à n'importe quel prix	sert principalement à économiser les ressources primaires (eau, métaux, etc.)	peut conduire à une réduction de la consommation d'eau
Ressources secondaires	cause des STEP de plus petite taille; nécessité de trouver de nouveaux procédés		réduit le plus souvent les investissements nécessaires	les constructions minimalistes nécessitent moins d'investissement
Ressources naturelles	soulage les cours d'eau pendant les pluies	ne pas mettre en danger la protection des eaux!		auto-épuration dans les cours d'eau
Ressources anthropiques	solution pour l'agriculture écologique?	saut technologique possible pour l'industrie	prévient les surprises et les sites	

Tab. 2

Mise en relation des quatre types de ressources et des exemples de solution évoqués. Pour une meilleure compréhension globale du sujet.

lieu d'investir dans le développement d'infrastructures onéreuses. Cette stratégie se solde par des économies pour toutes les parties. En revanche, les taxes sur les sacs à ordures engendrent une réduction de la quantité de déchets, de sorte que les usines d'incinération ne tournent pas à plein régime. Cette perte de rentabilité se répercute à son tour sur les taxes des sacs à ordures.

Comment faire pour profiter de ces expériences au niveau de la gestion de l'eau? A l'instar du secteur de l'énergie, il vaudrait mieux encourager les mesures d'économie à la consommation au lieu d'investir dans le captage de nouvelles ressources d'eau. Or, les mécanismes actuels n'encouragent guère ce genre de solution. Il en va de même dans le domaine de l'épuration. Il est politiquement beaucoup plus facile de justifier des coûts de construction que de financer des études d'optimisation afin de tirer le meilleur parti des installations existantes.

Implications techniques

Quelles sont les implications techniques d'une gestion durable des eaux en milieu urbain? Jusqu'ici, nous avons traité chaque type de ressources en exposant succinctement les problèmes qui se posent actuellement. Pour obtenir une meilleure vue d'ensemble, nous avons résumé les points traités ci-dessus en un tableau (tab. 2). Les champs gris en diagonale représentent les projets «fondamentaux» dont nous venons de décrire la toile de fond. Les autres champs sont

complétés avec des exemples de questions typiques pour chacun des domaines. Les lecteurs et lectrices sont cordialement invités à réfléchir par eux-mêmes sur les autres questions qui pourraient également figurer sur ce tableau.

L'optimisation des STEP existantes ou la mise au point de procédés de construction ménageant les ressources ne sont plus les seules tâches typiques des ingénieurs. Ceux-ci doivent désormais se mettre à étudier le principe de la gestion à moindres coûts ou travailler à la réduction des micropollutions diffuses. De fait, c'est le concept même de technique qui est en cause: il s'agit moins de développer simplement des appareils et des procédés que de proposer des solutions globales, car une économie dématérialisée ne se satisfait plus de mesures «en dur».

- [1] Larsen, T.A. und Gujer, W., (1997): The Concept of Sustainable Urban Water Management. Akzeptiert für das Wat. Sci. Tech. Sondernummer «Sustainable Sanitation and River Basin Management».
- [2] Zehnder, Alexander J.B., (1996): Coup d'oeil par delà les frontières, EAWAG news, 42F p. 23.
- [3] Larsen, T.A. und Gujer, W., (1996): Separate Management of Anthropogenic Nutrient Solutions (Human Urine). Wat. Sci. Tech., 34, 87-94.
- [4] Müller, E.A., (1996): Mit Energiesparen die Betriebskosten der ARA um 10% senken. GWA, 10, pp. 800-806.
- [5] Neue Zürcher Zeitung, 29. Januar 1997: Forderung nach Verzicht auf Kupfer als Baustoff.
- [6] Boller, M., (1995): Assainissement des agglomérations et pollution des sols. EAWAG news, 38F 17-21.

Paul H. Brunner* et Christoph Lampert*

Flux de nutriments dans le bassin du Danube

Sources et puits



Christoph Lampert et Paul H. Brunner

Le delta du Danube et la mer Noire sont victimes d'une eutrophie croissante. Pour stopper cette évolution, il faudrait radicalement réduire l'apport de nutriments. Mais sans connaissance des sources, il n'est guère possible de prendre des mesures efficaces. En collaboration avec huit pays d'Europe de l'Est, les charges trophiques des affluents du Danube ont été évaluées selon une méthode uniforme. Des mesures de réduction ont également été élaborées.

Le Danube, source de vie pour 70 millions d'êtres humains

Le Danube est le fleuve d'Europe le plus important après la Volga. Des Alpes jusqu'à la mer Noire, son bassin hydrologique traverse 17 Etats et draine près d'un dixième du continent. Le Danube fournit environ 70% de l'eau parvenant dans la mer Noire. Il est exploité sous toutes les formes: production d'eau potable, irrigation, production d'électricité, pêche, tourisme et navigation. Il transporte des substances d'origine aussi bien naturelle qu'anthropique. Le beau Danube bleu ne l'est pas aussi souvent qu'on

le croit, mais il constitue néanmoins une zone de repos de haute valeur. On apprécie la beauté de ce fleuve en particulier lorsqu'on se trouve sur les prairies du Danube, à la hauteur de Vienne, ou sur le delta du Danube, placé sous la protection des Nations Unies pour sa biodiversité extrêmement riche.

Déjà durant le siècle dernier, le lit du Danube a subi d'importantes corrections au nom de la protection contre les crues, de la navigation et de la construction de ponts. En

conséquence, le régime hydrologique et l'alluvionnement du fleuve se sont profondément modifiés. Aujourd'hui, les charges de substances d'origine naturelle ou anthropique ne se déposent plus sur les zones inondées lors des crues, mais aboutissent directement dans la mer Noire, à moins qu'elles ne sédimentent derrière les ouvrages de retenue. La majorité des Etats riverains sont en train de rénover leur économie afin d'en accroître la productivité tout en visant un haut niveau de protection de l'environnement. Aujourd'hui déjà, le Danube et ses affluents sont particulièrement riches en nutriments et en micropolluants. Bien que différents d'Etat à Etat, les objectifs fixés en matière de protection des eaux ne pourront être atteints que si la pollution d'origine anthropique est systématiquement réduite durant ces prochaines décennies. Il s'agit en particulier de réduire l'apport exagéré d'azote et de phosphore provenant de l'agriculture, des stations d'épuration ainsi que des eaux usées non traitées produites par l'industrie, l'artisanat et les ménages.

Protéger la qualité de l'eau dans les Etats danubiens: mais comment faire?

Il fallait commencer par jeter les bases d'une stratégie efficace pour la protection des eaux du Danube. Dans le cadre du programme PHARE (Poland and Hungary: Assistance to the Reconstruction of the Economy), l'Union européenne a mandaté un consortium regroupant l'Université Polytechnique (UP) de

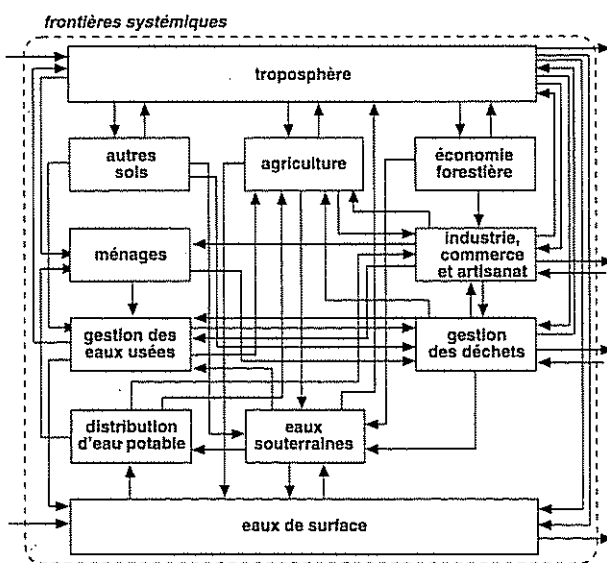


Fig. 1
Définition de l'hydrosystème danubien, comprenant les processus et les flux de matières essentiels pris en compte dans le projet. Les processus comprennent les transports, les transformations et les accumulations de matières. Chaque processus a été quantifié sur une base annuelle (intrants, extrants et variation des dépôts). Les bilans ont été établis sur les deux périodes 1988/89 et 1992.

N 1992 en %	Agriculture	Ménages	Industrie	Autres	Total	en kt N
Erosion	18	0	0	2	21	150
Rejets directs	13	5	5	0	22	164
Eaux souterraines	17	4	0	14	35	255
STEP	6	10	5	0	21	155
Total	54	20	10	16	100	730

P 1992 en %	Agriculture	Ménages	Industrie	Autres	Total	en kt P
Erosion	28	0	0	1	30	31
Rejets directs	18	7	4	0	29	30
Eaux souterraines	5	2	0	4	11	10
STEP	9	14	7	0	29	29
Total	61	23	10	5	100	102

Tab. 1

Importance relative des sources et des vecteurs de nutriments dans le bassin danubien pour 1992, en pour cent des flux globaux (730 kt/a N et 100 kt/a P). Par rapport à 1988/89, l'apport en nutriments a régressé de 15%.

Vienne et celle de Budapest pour une étude sur les possibilités de régulation du bilan des nutriments dans le bassin danubien [1]. Dans ce qui suit, nous nous concentrerons sur la question des bilans de nutriments. Réalisées sous la direction de H. Kroiss (UP Vienne) et L. Somlyódy (UP Budapest), ces recherches sur la qualité de l'eau du Danube et sur la gestion des eaux usées dans le bassin danubien figurent *in extenso* dans le rapport final du projet PHARE.

Les instituts de recherche de plusieurs Etats riverains (Allemagne, République tchèque, Slovaquie, Hongrie, Autriche, Slovénie, Moldavie, Bulgarie, Roumanie et Ukraine) se sont fixé les objectifs suivants:

1. Bilans de matières: établissement de bilans des nutriments, partiellement aussi du bilan du carbone organique total (COT) pour tous les pays concernés et pour quelques régions choisies.
2. Analyse du problème: évaluation des problèmes actuels et futurs que posent les flux de nutriments dans le bassin danubien.
3. Recherche de solutions: élaboration de solutions bon marché permettant de pallier les problèmes identifiés. A cet égard, la gestion des eaux usées revêt une importance particulière.

Suite aux événements de 1989/1990, la situation économique des pays de l'ex-bloc de l'Est s'est considérablement modifiée. Simultanément, le bilan des matières dans l'agriculture, l'industrie et l'artisanat a évolué à la baisse, dans certains cas de manière même très marquée. Les analyses ont été réalisées en 1988/

1989, puis en 1992. En outre, des scénarios ont été calculés pour les bilans de matières dans le secteur de l'agriculture, de l'industrie et des eaux usées en l'an 2005. Comme le démontrent les résultats du projet, il y a effectivement des différences au niveau des bilans de matières avant et après 1989/1990.

Bilan des nutriments: nouvelle méthode et données insuffisantes

En un premier temps, les participants à l'étude ont été convoqués à un séminaire de méthodologie consacré au bilan des matières [2], ainsi qu'aux fondements de la gestion de la qualité de l'eau et des eaux usées. Les participants sont ensuite allés appliquer cette méthode dans leurs pays respectifs. Ils ont ensuite échangé les expériences engrangées durant les études de cas régionaux lors d'une deuxième rencontre. Les résultats des études locales ont permis d'améliorer les bilans de matière à l'échelon national. En un deuxième temps, les participants ont dressé l'état actuel de la gestion de la qualité de l'eau et des eaux usées dans leurs pays respectifs. Ces résultats ont ensuite été mis en rapport avec les flux de nutriments, puis comparés aux objectifs nationaux et européens en matière de protection des eaux. En un troisième temps, les participants se sont réunis pour élaborer divers scénarios visant à faciliter la concrétisation des objectifs envisagés.

Les objectifs de ce projet étaient ambitieux. Déjà lors de la première phase des travaux, l'établissement des bilans de

nutriments a posé quelques difficultés. Pour que les résultats soient comparables entre les différents partenaires, il fallait que tous les participants recourent à la même méthode d'analyse. En conséquence, il faut définir un système identique pour tous les pays, avec des frontières systémiques identiques tant au niveau temporel que spatial; il faut également définir pour tous les processus et les flux de matière à analyser (Fig. 1).

Entièrement nouveau pour les participants, ce mode de pensée systémique est aussi très rigide (les valeurs des flux de matières sont *contrôlables* au moyen des bilans « Σ intrants = Σ extrants + variation des dépôts»). Il a donc fallu fournir des efforts considérables pour obtenir des résultats uniformes. De plus, au cours de l'établissement des bilans, les chercheurs ont été confrontés à des problèmes méthodologiques encore non résolus, comme par exemple le destin des nutriments provenant de surfaces agricoles ou forestières: en effet, il n'existe pas encore de méthode reconnue permettant d'évaluer dans le temps et l'espace les dépôts intermédiaires et les dépôts définitifs de ces nutriments.

L'acquisition des données concernant les bilans de matières a également posé problème. Sous le règne de l'économie planifiée, d'innombrables données étaient collectées sur tous les secteurs économiques (agriculture, économie forestière, industrie et artisanat, économie communale y compris gestion des eaux et des eaux usées). Depuis le passage à l'économie de marché, les données à disposition se font plus rares. Cette situation est imputable d'une part aux nouvelles organisations qui collectent moins d'informations et, d'autre part, au fait que celles-ci se vendent très cher dans de nombreux pays depuis qu'on en a saisi l'utilité. Voilà pourquoi, dans certains pays, il s'est avéré difficile d'obtenir des données fiables sur les flux de nutriments et les émissions des industries les plus importantes. Un examen critique des données a en outre démontré que le bilan nutritif d'une vache ukrainienne (env. 400 kg) ne peut être comparé à celui d'une vache autrichienne (entre 600 et 650 kg).

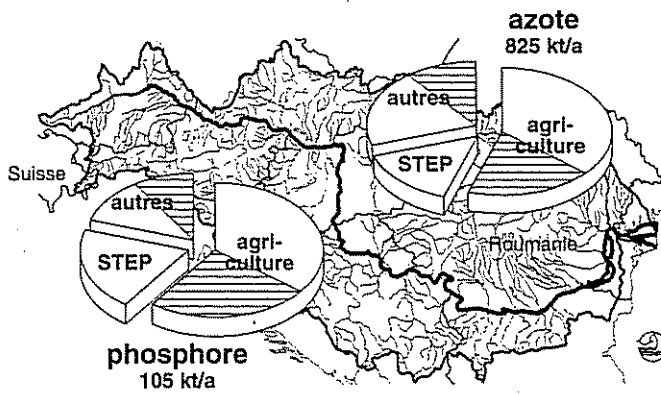


Fig. 2

Sources de nutriments dans le bassin danubien en 1992. (STEP = station d'épuration des eaux; autres = apports diffus provenant de l'économie forestière (blanc), écoulements directs provenant des ménages privés et de l'industrie (hachuré), agriculture: les surfaces hachurées représentent les rejets d'origine animale directement ou indirectement (via une STEP) déversés dans l'hydrosystème; les surfaces blanches représentent la part des nutriments emportés par érosion ou par lessivage.

La solution: l'agriculture

En dépit des différences de niveau d'expérience entre les groupes de projet, il a été possible, grâce à l'harmonisation méthodologique, de combiner tous les résultats pour obtenir une base de décision globale pour les futures mesures de protection des eaux. Actuellement, le projet se trouve dans sa phase finale. Les résultats seront publiés au début de l'été 1997 [1]. Le tab. 1 présente en résumé les premiers résultats obtenus concernant les bilans de nutriments.

La principale source de nutriment est l'agriculture. Fait étonnant, l'érosion est le vecteur principal non seulement pour P, mais aussi pour N. L'apport nutritif résultant du déversement direct de purin dans les eaux est supérieur à toute prévision. Il représente environ 15% de l'apport global de N et près de 20% de l'apport global de P. Les ménages sont la deuxième source par ordre d'importance (près de 20% de l'apport global de N et 25% de l'apport global de P). La part de l'industrie se situe autour de 10% tant pour N que pour P.

Si on considère le cheminement des nutriments, on s'aperçoit que le plus grand apport de N, soit 30% de l'apport global, provient de l'exfiltration des eaux souterraines. L'érosion, les écoulements directs et les rejets des STEP contribuent à raison de 20 à 25% par source à la charge totale de P et de N.

Près de la moitié de la charge de nutriments provient de Roumanie. L'Allemagne, l'Autriche et la Hongrie fournissent ensemble près d'un tiers de la charge de nutriment dans l'hydrosystème danubien.

Les résultats montrent que les apports de nutriments dans le Danube ont diminué d'environ 15% entre 1988/1989 et

1992. La rétention (sédimentation, dénitrification) des affluents danubiens s'élève à quelque 15% pour N durant les deux années, contre 35% en 1988/89 et 50% en 1992 pour P (voir fig. 2).

L'analyse des flux de matières: un facteur de collaboration

Le projet PHARE a eu, entre autres, pour résultat important d'apprendre aux participants à appliquer l'analyse des flux de matières. Cet instrument s'applique non seulement dans le domaine des nutriments et de la qualité de l'eau, mais également de manière plus générale dans le domaine de l'utilisation des ressources et de la protection de l'environnement. Dans les pays confrontés à de nombreux problèmes d'envergure alors que les moyens à disposition sont limités, l'analyse des flux de matières peut s'avérer particulièrement utile pour ordonner judicieusement les priorités. A cet effet, il convient d'ores et déjà d'envisager l'encadrement des partenaires par-delà le cadre du présent projet.

Grâce au projet PHARE, huit pays se sont associés pour discuter de leurs bilans de nutriments et de leurs stratégies respectives en matière de protection des eaux. Cette expérience unique leur a permis de mieux comprendre les efforts particuliers développés par chacun d'eux en faveur de la protection des eaux. Le Danube est manifestement un vecteur d'évacuation pour les rejets des riverains situés en amont. Tout est donc une question de gestion. L'avenir se présente lui-même sous forme d'interrogation: comment faire pour diminuer la pollution du Danube et sauvegarder à long terme l'intégrité du delta danubien et de la mer Noire, alors que l'évolution démographique, le niveau de vie et le bilan de

matières par habitant tendent à la hausse dans les pays de l'Europe de l'Est? Les facteurs décisifs seront les suivants: quel sera le mode d'exploitation agricole, quelles seront les normes antipollution pour l'industrie, les ménages et les eaux usées des STEP, et dans quelle mesure ces règles seront respectées?

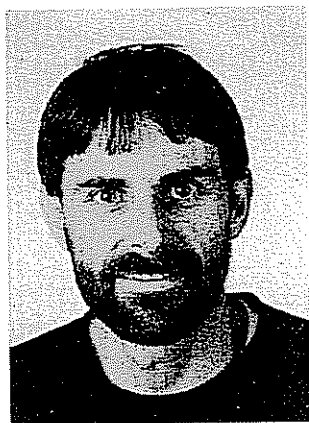
Encore un mot très personnel

Comme on peut le constater, le contenu scientifique du projet PHARE (auquel l'EAWAG a largement contribué) n'est pas le seul aspect intéressant. Ce projet a surtout permis de poser une question globale, d'où est née une collaboration entre huit pays de l'Europe de l'Est. Ce fut pour moi une expérience toute nouvelle que de devoir surveiller que les crédits de recherche parviennent à bon port, quitte à aller remettre l'argent de la main à la main à quelques partenaires. Le voyage vers le plus proche de ces pays dure au bas mot 18 heures. Le procédé est inhabituel, mais il laisse un souvenir inoubliable. Il ne fallait pas plus de trois jours de séminaire à bord d'un bateau de recherche de notre partenaire roumain pour comprendre, au milieu du delta danubien, que le puisard de toutes substances nutritives venant du cours supérieur, c'est précisément ici. De quoi ne pas oublier que la décharge de tous les Viennois va jusque dans la mer Noire.

- [1] PHARE, (1997): Nutrient Balances for Danube Countries; EU/AR/102A/91. Le rapport final de ce projet sera disponible à partir de septembre 1997 auprès du Danube Programme Coordination Unit (PCU), à Vienne.
- [2] Baccini P. und Brunner P.H., (1991): Metabolism of the Anthroposphere, Springer Verlag, New York und Heidelberg.

Ozonation de l'eau potable

oxydation des micropolluants



Urs von Gunten

¹ EAWAG² Service des eaux de Zurich

L'utilisation de l'eau du lac pour la production d'eau potable exige un traitement en plusieurs étapes. D'après la nouvelle loi sur les denrées alimentaires, les usines de traitement des eaux doivent évaluer l'efficacité de leurs étages de traitement selon «les bonnes pratiques de fabrication» afin de prévoir le degré d'efficacité de leurs installations – même en cas de pollution accidentelle. Nous allons montrer ici comment on peut estimer le degré d'oxydation d'un réacteur d'ozonation en utilisant des traceurs conservateurs et réactifs.

Introduction

La Suisse connaît une protection des eaux si étendue que l'eau brute peut être considérée comme potable en grande partie sans traitement (38%) ou après une seule étape de traitement (33%). Dans ces cas, l'eau provient soit d'aquifères souterrains, soit de sources [1]. Parallèlement, on trouve aussi en Suisse de coûteuses installations de traitement en plusieurs étapes. Il s'agit avant tout des usines de traitement des eaux de lac pour les grandes agglomérations, lesquelles fournissent env. 20% de l'eau potable [1]. On peut considérer les lacs comme des réservoirs ouverts, d'où le grand risque d'altération par les eaux usées ou par des accidents chimiques.

Un accident dû au phénol dans le lac de Zurich en 1967 a montré à quel point une usine de traitement peut réagir à la qualité des eaux du lac. Le phénol, parvenu dans une usine de traitement des eaux de la ville de Zurich, s'est transformé en chlorophénol après la chloration, ce qui a entraîné une détérioration du goût de l'eau potable de façon très désagréable. Pour 80'000 personnes, l'eau était devenue inconsommable [2]. A la suite de cet accident, on a ajouté un étage

de traitement supplémentaire aux usines de traitement des eaux de Zurich ainsi qu'à d'autres villes et communes.

Le traitement de l'eau à l'ozone

Même des eaux fortement polluées (eaux de surface, sources karstiques) peuvent satisfaire, après un traitement en plusieurs étapes selon fig.1, aux exigences de qualité pour l'eau potable (pas de turbidité, eau incolore, saveur et odeur inaltérée, hygiène irréprochable, composition chimique selon les indications de l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires et du Manuel suisse des denrées alimentaires, chap. 27 A «Eau de boisson»). Tout d'abord, on soumet l'eau brute à une préozonation qui permet une désinfection et une première oxydation des composants. Au cours du deuxième étage de traitement, on sépare physiquement les particules par floculation/sédimentation et filtration. Puis vient l'ozonation intermédiaire: nouvelle désinfection et oxydation dans des conditions définies. On enchaîne par la filtration au carbone actif; elle sert d'une part à éliminer l'ozone superflue, d'autre part à adsorber les composants hydrophobes.

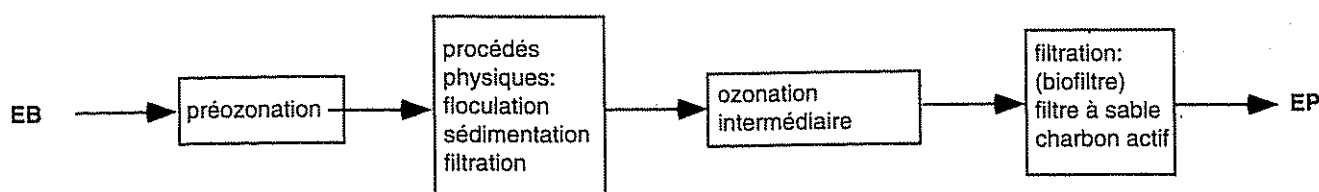
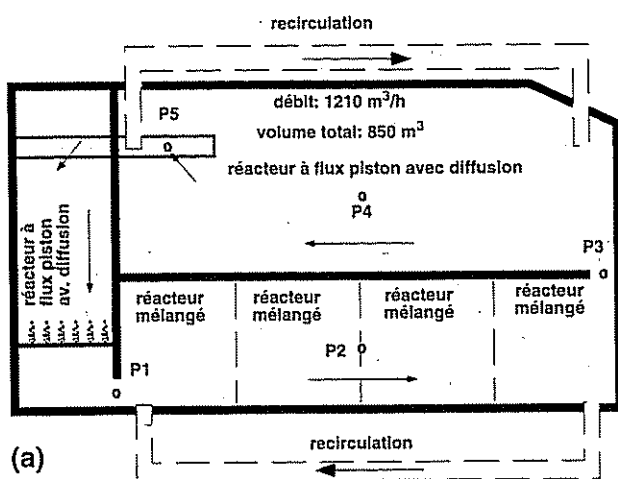
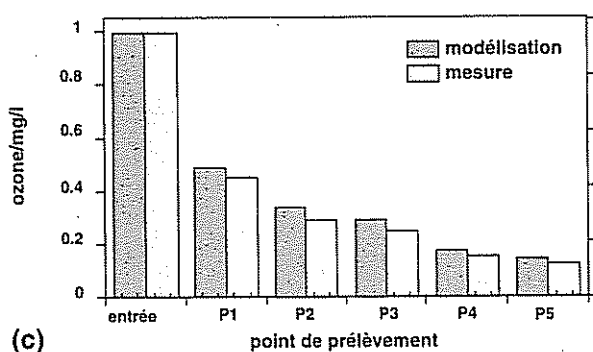


Fig. 1

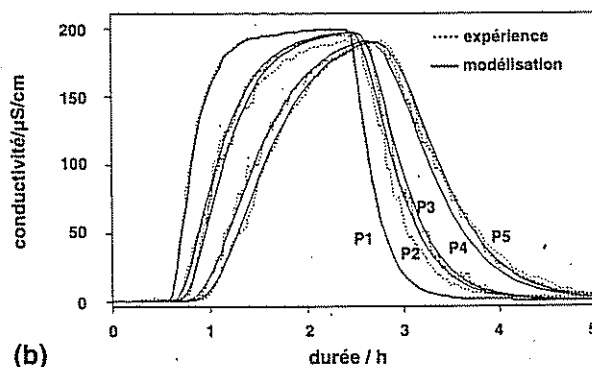
Etages de traitement pour les eaux de surface (et les eaux karstiques en partie). EB: eau brute, EP: eau potable.



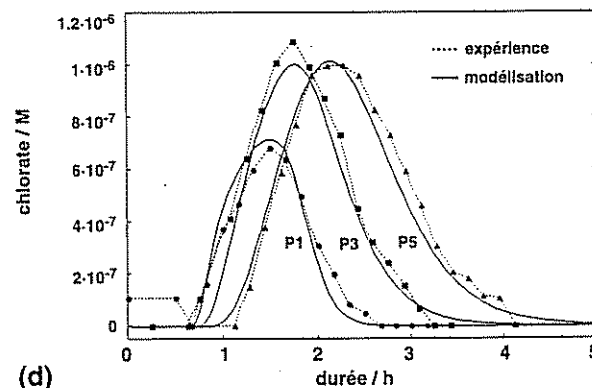
(a)



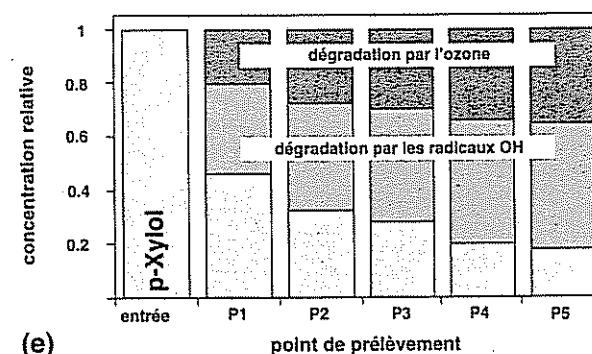
(c)



(b)



(d)



(e)

Fig. 2

- a) Réacteur d'ozonation de l'usine de traitement de lac (Zurich). Subdivision du réacteur qui a servi à simuler les conditions hydrauliques.
 b) Ordre d'apparition de l'agent traceur conservatif (NaCl): expérience et simulation pour les points de prélèvement P1-P5.
 c) Concentrations d'ozone dans le réacteur: mesures et résultats de la simulation
 d) Le chlorate comme agent traceur réactif: expérience et simulation
 e) Estimation de la dégradation du p-xylène par l'ozone et les radicaux OH.

De plus elle permet aux micro-organismes de dégrader les substances organiques (acides, aldéhydes, cétone) qui sont produites au cours de l'oxydation de la matière organique naturelle (MON) par l'ozone. Par ce moyen, on élimine déjà partiellement dans l'usine de traitement les nutriments qui pourraient provoquer par la suite une contamination du réseau de distribution. Cet effet est encore amélioré si on le fait suivre d'une filtration lente sur biofiltre. Avant d'introduire l'eau potable dans le réseau de distribution, on y ajoute le plus souvent un germicide (chlore ou/et bioxyde de chlore) pour garantir la qualité hygiénique de l'eau jusqu'à sa consommation.

Toutefois, en plus des effets désirés, l'ozonation de l'eau engendre aussi de nombreux sous-produits [3]. Ainsi, le bromate, résultant de l'ozonation d'eaux

qui contiennent du bromure [4], est aujourd'hui le plus important sous-produit de la désinfection à l'ozone. Vu son potentiel cancérigène, on a dû fixer au début des années nonante de nouvelles concentrations maximales [5]; la teneur maximale de bromate est comparable aux concentrations maximales de trihalogénure de méthane produit pendant la chloration de l'eau potable. Cependant, le bromate joue en Suisse un rôle mineur du fait que les eaux brutes sont généralement pauvres en bromure.

Dans de nombreuses usines de traitement en Europe et aux Etats-Unis par contre, il faut optimiser l'apport d'ozone de manière à permettre la désinfection et l'oxydation tout en réduisant au minimum les sous-produits (surtout le bromate). Ce but est atteignable seulement si on connaît bien les conditions hydrau-

liques et la répartition de la concentration des agents oxydants dans le réacteur d'ozonation.

Caractérisation d'un réacteur d'ozonation

Dans la plupart des cas, on ne connaît pas vraiment ni les caractéristiques hydrauliques ni les concentrations d'oxydants. La nouvelle loi sur les denrées alimentaires du 1^{er} juillet 1995 exige cependant des usines de traitement qu'elles respectent les «bonnes pratiques de fabrication», et qu'elles en assurent l'autocontrôle [6]. Pour remplir ces exigences, les responsables des usines de traitement doivent évaluer leurs étages de traitement, afin de pouvoir estimer même dans des situations critiques (pollution) le degré d'efficacité de l'installation. Dans

le présent article, on veut montrer à titre d'exemple comment caractériser l'étage d'ozonation. Tout d'abord, des expériences avec un micropolluant conservateur ont permis de décrire l'hydraulique du réacteur. Puis, par simulation (AQUASIM [7]), on combine l'hydraulique et les processus chimiques. Des micropolluants réactifs ont servi à valider le modèle en deux étapes: 1. la dégradation de l'ozone, 2. la réaction de l'ozone et de l'hypochlorite (OCl^-).

Expériences avec les micropolluants

On a pourvu le réacteur de préozonation de l'usine de traitement de Lengg (Service des eaux de Zurich) de cinq points de prélèvement (P1-P5) dans le but de caractériser l'hydraulique et les processus chimiques dans le réacteur (fig. 2a). Dans la première chambre, l'ozone est injecté dans l'eau. Deux chambres suivent, qui servent à la désinfection et l'oxydation. Bien que conçu comme réacteur à flux piston, un fort mélange a lieu dans le réacteur.

La bonne concordance entre les expériences avec micropolluants et la simulation telle qu'elle est représentée en fig. 2b a été obtenue en divisant le réacteur selon fig. 2a; il faut en outre tenir compte d'une importante recirculation. Ce reflux se manifeste rien qu'en comparant les prélèvements aux points 2 et 3. Bien qu'ils soient séparés par une certaine distance, les micropolluants apparaissent pratiquement en même temps à ces deux points. Il en est de même pour les prélèvements 4 et 5.

Dégradation de l'ozone

Dans l'eau, l'ozone a une courte durée de vie, il se dégrade en oxydants secondaires, principalement des radicaux OH. Déterminée en laboratoire, la cinétique de dégradation de l'ozone dans l'eau de lac sert à la simulation. En comparant les concentrations mesurées dans le réacteur avec celles calculées par le modèle, on voit qu'elles concordent (fig. 2c).

Réaction de l'ozone et de l'hypochlorite

Pour éviter que la conduite de captage ne se couvre de dreissènes (dreyssenia), on la nettoie une fois par mois au moyen

d'une chloration intermittente. A cet effet, on injecte dans la conduite d'eau brute une solution de 10 mg Cl_2 /l. Il suffit de laisser agir pendant 8 heures, puis d'enclencher les pompes et la solution chlorée, dont la concentration se situe 5 mg Cl_2 /l, parvient dans le réacteur de préozonation. Cette forte chloration routinière peut donc nous servir à tester le modèle pour une substance-trace réactive. Entre l'ozone (O_3) et l'hypochlorite (OCl^-) ont lieu les réactions suivantes dont on connaît la cinétique [8]:



L'ozone réagit seulement avec l'hypochlorite, mais non avec l'acide hypochloreux (HOCl), c'est pourquoi il faut tenir compte de l'équilibre acide-base (4). Comme on connaît, grâce au schéma de réactions ci-dessus, la quantité d'hypochlorite qui a été oxydée pour former du chlorate (ClO_3^-), on peut contrôler la validité du modèle par la formation de chlorate. La fig. 2d compare le chlorate mesuré dans le réacteur avec les résultats obtenus par modélisation lors d'une expérience de chloration intermittente. La concordance des points entre les deux séries d'expériences montre à nouveau que la cinétique des réactions déterminée en laboratoire peut être appliquée telle quelle sur une installation importante, du moment que l'on tient compte des conditions hydrauliques.

L'oxydation des substances organiques

Comme on l'a vu plus haut, l'ozone se dégrade dans l'eau pour former des radicaux OH ($\cdot\text{OH}$), qui se distinguent par leur forte réactivité à l'égard de la plupart des composants aqueux. Les plus importants agents d'absorption des radicaux OH dans l'eau potable sont le carbonate/bicarbonate et la matière organique d'origine naturelle (MON). Comme ces composés sont présents dans l'eau en quantités relativement importantes, la concentration restante des radicaux OH est si faible qu'on peut à peine les déceler par analyse directe (par ex. électrode, spectrophotométrie). C'est pourquoi on

doit déterminer la concentration des radicaux OH indirectement (par exemple en mesurant l'élimination d'un micropolluant organique). Ces mesures de laboratoire ont abouti à la fraction $[\cdot\text{OH}]/[\text{O}_3]$, laquelle est constante en cas d'ozonation à grande échelle. Dans le cas de l'eau potable, on peut donc se servir de l'analyse routinière d'ozone pour déterminer la concentration des radicaux OH. A partir de cette donnée, on peut calculer l'élimination des micropolluants organiques (comme les pesticides, les hydrocarbures chlorés, le méthyle-benzène, etc.). La fig. 2e représente une simulation par ordinateur de l'élimination du p-xylène. On voit que ce micropolluant est dégradé à 35% par l'ozone et à 47% par les radicaux OH dans le réacteur de préozonation.

Cette étude montre qu'en déterminant l'hydraulique d'un réacteur et en mesurant l'élimination de l'ozone (y compris la fraction $[\cdot\text{OH}]/[\text{O}_3]$), on peut décrire dans sa totalité le processus d'oxydation d'un réacteur d'ozonation. Par ce moyen, on peut prévoir à quelle vitesse se dégrade un certain polluant organique durant l'ozonation. En cas de pollution accidentelle, on saura de même quelles mesures prendre.

- [1] Situation der Wasserversorgung in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 212, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1993.
- [2] Nägeli, F. Auswirkungen des Phenolunfalles vom 20. September 1967 im Wasserwerk der Stadt Zürich, Gas-Wasser-Abwasser 49, 1969.
- [3] Glaze, H.W. and Weinberg, H.S., (1993): Identification and occurrence of ozonation by-products in drinking water. Report AWWA Research Foundation.
- [4] von Gunten, U. and Hoigné, J., (1994): Bromate formation during ozonation of bromide-containing waters: interaction of ozone and hydroxyl radical reactions. Environ. Sci. Technol. 28: 1234-1242.
- [5] World Health Organisation, (1993): Guidelines for Drinking Water Quality, Geneva.
- [6] Tremp, E., (1995): Neue gesetzliche Bestimmungen über Trinkwasser und Anlagen oder Apparate zur Aufbereitung von Trinkwasser. Gas-Wasser-Abwasser 8: 671-673.
- [7] Reichert, P., (1994): Concepts underlying a computer program for the identification and simulation of aquatic systems. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 7, Dübendorf.
- [8] Haag, W.R. and Hoigné, J., (1983): Ozonation of water containing chlorine or chloramines. Water Res. 17: 1397-1402.

Achim Albrecht, Gerrit Goudsmit, Jin Qian, Laura Sigg, HanBin Xue, Daniel Kobler, Alfred Lück et Yvo Weidmann

Transport du cobalt dans le lac de Biene

A la recherche de l'Aar



Achim Albrecht, Gerrit Goudsmit, Jin Qian, Laura Sigg, HanBin Xue, Daniel Kobler, Alfred Lück et Yvo Weidmann

Le comportement des métaux dans les systèmes naturels suscite un intérêt croissant depuis qu'on connaît mieux leur mobilité et les risques possibles de migration à partir des sites contaminés tels qu'anciennes décharges et autres stockages finaux. Dans le lac de Biene, nous avons étudié le comportement du cobalt dans le but de mieux comprendre et de quantifier les processus importants que sont l'adsorption, la sédimentation et le transport des métaux. Dans ce domaine, les particules et la forme des métaux en solution jouent un rôle capital.

Les métaux présents dans les systèmes aquatiques peuvent schématiquement se comporter de deux manières (fig. 1). Si un métal donné se trouve en solution, il se comporte de la même manière que l'eau, son vecteur de transport. Par contre, s'il réagit avec des particules, des colloïdes ou des substances organiques dissoutes, son sort est lié à celui du substrat sur lequel il s'est fixé. Il peut dès lors être transporté au loin, se retrouver dans les sédiments ou être directement adsorbé à la surface de substrats immobiles. Chaque réaction possible peut s'effectuer dans les deux sens en fonction des conditions chimiques locales. Le schéma de la fig. 1 s'applique aussi bien aux processus se déroulant dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines. Cependant,

les eaux de surface présentent une hydrologie plus simple et plus facile d'accès que les eaux souterraines.

Par ailleurs, le secteur étudié, qui comprend l'Aar et le lac de Biene (voir fig. 2), offre un avantage unique dans la mesure où le ^{60}Co radioactif présent dans ces systèmes aquatiques provient exclusivement de la centrale nucléaire de Mühleberg et que, par conséquent, on en connaît la quantité exacte.

Celle-ci est de loin inférieure à la limite fixée par les autorités. Comme le lac de Biene est très fortement influencé par les eaux de l'Aar, il est facile d'établir les bilans des eaux, des particules et des métaux.

Répartition granulométrique et nature des particules

L'adsorption des métaux dépend de quatre facteurs clés. Il s'agit premièrement de la granulométrie des particules, du fait que les particules de moindre taille adsorbent plus de métaux en raison du rapport supérieur entre leur superficie et leur masse. En effet, des différences considérables ont été mises en évidence au niveau de la granulométrie des particules grâce à la comparaison d'échantillons prélevés en juillet 1996 dans des

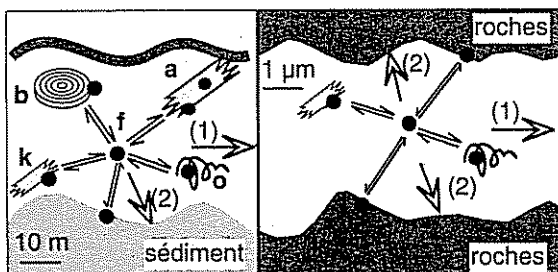


Fig. 1 Représentation schématique du comportement des métaux (points noirs) dans les lacs et les cours d'eau (à gauche) et dans le sous-sol (à droite). Dans les deux systèmes, les métaux sont soit transportés (1) soit retenus par adsorption à la surface des sédiments ou des corps minéraux (2).

Abréviations: f = métal libre, b = particule biologique, a = particule inorganique, k = colloïde, o = substance organique en solution.

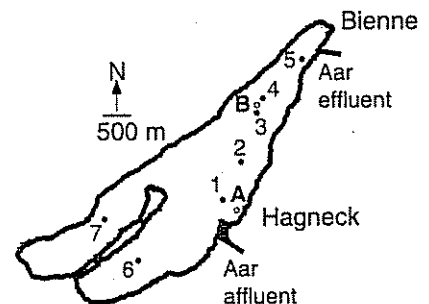


Fig. 2 Carte du lac de Biene indiquant l'emplacement des points de mesures (1-7 carottes, A + B pour les trappes).

trappes collectant les sédiments situées dans le bassin nord-est (emplacement B sur la fig. 2), partie la plus profonde du lac de Biemme, et dans le delta de l'Aar (emplacement A sur la fig. 2). Pour les particules se trouvant dans le delta, la médiane granulométrique est supérieure à 25 μm , tandis qu'elle est inférieure à 15 μm pour les particules se trouvant dans le bassin. Le deuxième facteur clé est la composition minéralogique (tab. 1). Etant donné leur constitution de phyllosilicates, les minéraux argileux adsorbent les ions métalliques beaucoup plus efficacement que les tectosilicates (quartz ou feldspath) ou les carbonates (calcite). De plus, les silicates (argiles, quartz et feldspath) permettent d'évaluer l'importance des particules venant de l'Aar directement sur les lieux du prélèvement. En

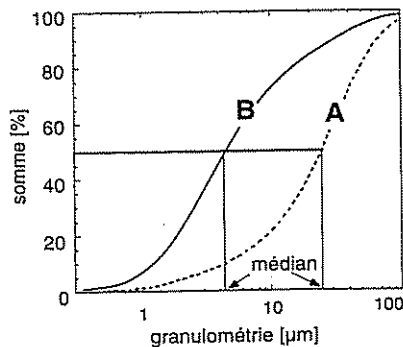


Fig. 3
Caractérisation de particules provenant du delta de l'Aar (A) et de particules du fond du lac par granulométrie (B) et par analyse au microscope électronique à balayage. Le témoin correspond à 30 μm .

Points de prélèvement	Flux ^{60}Co [$\text{Bq m}^{-2} \text{d}^{-1}$]	Taux de sédimentation [$\text{cm}/\text{année}$]	Granulométrie [moyenne en μm]	Parts d'azote [%]	Quartz [%]	Feldspath [%]
Carottes						
1	0.29	3.7	23.6	0.17	18	14
2	0.44	1.4	8.8	0.23	21	7
3	0.97	2.0	7.5	0.34	12	2
4	0.38	1.7	8.9	0.47	—	—
5	0.48	2.0	14.5	0.5	—	—
6	0.65	1.5	11.6	0.39	9	1
7	0.43	1.4	8.5	0.33	14	2
Trappes						
A	—	—	27.1	0.2	19	3
B	0.41	—	14.9	0.33	8	1

Tab. 1
Flux de cobalt et nature des particules.

effet, ces particules proviennent exclusivement de l'érosion des roches dans le bassin versant de l'Aar et ne se forment pas dans le lac, à la différence des carbonates. Plus on s'éloigne du delta de l'Aar, plus la teneur en quartz et en feldspath diminue (de 30 à 10%). Le troisième facteur clé est la phase des particules d'origine organique. Celles-ci se distinguent par leur capacité d'adsorption face aux métaux. La concentration en azote des particules (tab. 1) permet d'évaluer la part relative des particules d'origine organique dans les échantillons prélevés. Quant au quatrième facteur clé, il s'agit des hydroxydes de fer et de manganèse. Etant donné que ces composés apparaissent très souvent en combinaison avec d'autres particules, ils ne peuvent guère être analysés de manière isolée. En conséquence, nous ferons tout d'abord abstraction de ces particules. Les tendances en ce qui concerne la courbe granulométrique, l'augmentation de la phase d'origine organique et la diminution de la teneur en quartz et en feldspath sont autant d'indices révélant les variations de l'influence des particules charriées par l'Aar (voir tab. 1).

Taux d'activité de ^{60}Co et inventaire

Si on mesure les taux d'activité de ^{60}Co des échantillons de sédiments et de particules, on obtient un inventaire représentatif pour le lac. La conversion de l'activité mesurée [Bq/kg ; fig. 4] en termes de flux [$\text{Bq m}^{-2} \text{jour}^{-1}$] nécessite un rapport entre la masse d'échantillonnage

et la période de sédimentation, laquelle peut être déterminée par datation au ^{137}Cs pour les carottes sédimentaires (fig. 4). Les maximums de l'activité ^{137}Cs correspondent à des couches sédimentaires plus riches du fait d'essais nucléaires atmosphériques (maximum en 1963), de Tschernobyl (1986) et de la centrale nucléaire de Mühleberg (1976–78). ^{60}Co rend compte des émissions de Mühleberg, qui atteignent leur plus haut point en 1982. La distribution des radionucléides sur une certaine profondeur permet de dater l'ensemble des carottes prélevées dans le lac de Biemme, et de les classer par période de sédimentation. Ce procédé permet de corriger la diminution de l'activité du ^{60}Co due à la désintégration

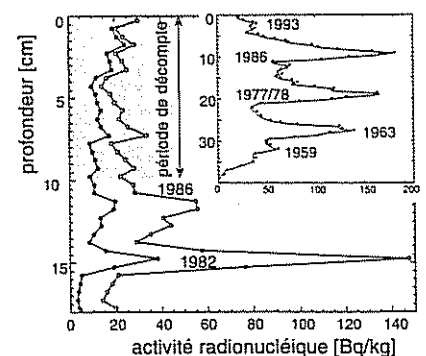


Fig. 4
Concentration des radionucléides ^{60}Co (grand graphique jusqu'à 20 cm de profondeur) et ^{137}Cs (petit graphique de droite, jusqu'à 40 cm de profondeur) dans la carotte no. 2. Etant donné la répartition de ^{137}Cs , il est possible de procéder à la datation de chaque échantillon. Etant donné la radioactivité mesurée, (points noirs) il est possible de déterminer l'activité durant la sédimentation après correction pour désintégration radioactive (petits ronds blancs).

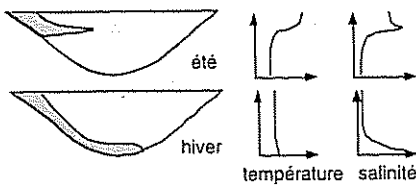


Fig. 5
Représentation schématique de la stratification de l'Aar dans le lac de Biemme. Durant les mois d'été, l'Aar se situe dans la première couche d'eau (en haut). En hiver, la salinité élevée a pour effet que l'Aar plonge dans les parties plus profondes (en bas). La salinité est un bon indicateur pour l'eau de l'Aar (à droite).

au moment de la sédimentation. Ainsi, il est possible de calculer le flux moyen pour le ^{60}Co pour la période à partir de 1986 (tab. 1). Il est particulièrement frappant de voir que la valeur maximale ($0,97 \text{ Bq m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$, carotte 3) et un minimum relatif ($0,38 \text{ Bq m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$, carotte 4) proviennent de carottes immédiatement voisines. On en conclura que les variations sédimentologiques locales jouent un rôle au moins aussi important que la répartition spatiale des radionucléides dans le lac. En conséquence, la sédimentation globale a été calculée comme la moyenne arithmétique de toutes les carottes. En multipliant la surface de sédimentation du lac de Biemme ($3 \times 10^7 \text{ m}^2$) par le flux de radioactivité moyenne ($0,52 \text{ Bq m}^{-2} \text{ jour}^{-1}$), on obtient la déposition moyenne de ^{60}Co par jour, soit $1,6 \times 10^7 \text{ Bq jour}^{-1}$. Si on considère la radioactivité émise quotidiennement par Mühleberg, soit $3,0 \times 10^7 \text{ Bq jour}^{-1}$ en moyenne (pour la période 1986–octobre 1996), la part du ^{60}Co sédimenté dans le lac de Biemme atteint 52%. Ces résultats ont été confortés par les données collectées au moyen des trappes de sédiments aménagées au bassin le plus profond du lac. Du début juillet à fin septembre 1996, nous avons relevé une déposition moyenne de $1,2 \times 10^7 \text{ Bq jour}^{-1}$ dans les trois trappes de sédiments. Comparée à une émission moyenne de Mühleberg de $1,9 \times 10^7 \text{ Bq jour}^{-1}$, la partie sédimentée se calcule à 66%.

Intrusion de l'Aar

La dynamique des ions métalliques dépend étroitement de l'intrusion de l'eau de l'Aar dans le lac. Ce phénomène hydrodynamique détermine la durée moyenne de séjour dans le lac et, partant,

le temps à disposition pour l'adsorption des métaux par les particules ou les colloïdes. La profondeur d'intrusion d'un affluent dépend de la différence de densité entre les masses d'eau en présence. La densité de l'eau se définit elle-même en fonction de la température, de la salinité et de la charge de matières en suspension.

Durant les mois d'été, le lac de Biemme se distingue par une forte stratification. La couche supérieure du lac de Biemme est en règle générale plus chaude et contient moins de sels dissous que l'eau de l'Aar. Ce cours d'eau s'introduit donc directement en dessous de cette première strate, dans la thermocline (fig. 5). Compte tenu de cette intrusion et du débit relativement élevé de l'Aar par rapport à la taille du lac de Biemme, l'eau de l'affluent ne met guère plus d'une semaine pour transiter durant l'été. Des essais par coloration ont confirmé cette donnée.

Durant les mois d'hiver, le lac de Biemme n'est que très faiblement stratifié (fig. 5), et la température ne varie que de quelques dixièmes de degrés. Comme la température des deux systèmes aquatiques descend à environ 4°C , la salinité devient déterminante pour la densité et, par conséquent, la profondeur de l'intrusion. Si on prend un graphe de salinité typique, on s'aperçoit que l'Aar, qui contient plus de sels dissous que le lac de Biemme, plonge vers la profondeur durant l'hiver. Le temps de séjour moyen de l'eau déversée par l'Aar est de ce fait beaucoup plus long que pendant la période estivale (> 60 jours).

Traversée du lac de Biemme

Durant la saison chaude, l'eau de l'Aar reste dans la première couche d'eau du lac. Sa liberté de mouvement s'en trouve limitée, ce qui facilite la détection des masses d'eau provenant de l'Aar. Afin de parvenir à des résultats univoques, nous avons procédé à un test *in situ* en ajoutant une charge de colorant (uranine) à l'eau de l'Aar, en plus du rejet ordinaire des eaux usées de la centrale de Mühleberg. L'expérience a débuté le 19.8.96, près de ladite centrale, pour s'achever le 27.8.96 sur le lac de Biemme, près de l'effluent (fig. 6). L'arrivée du colorant a

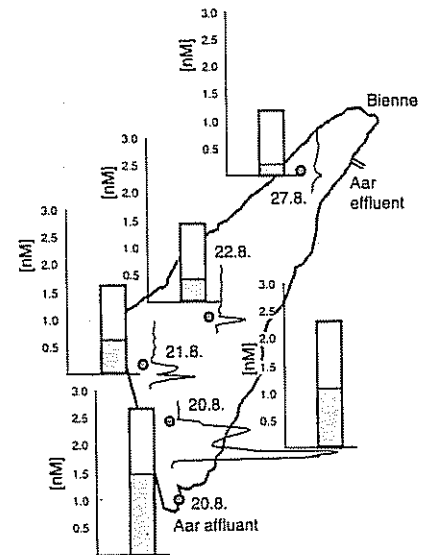


Fig. 6
Grâce à la coloration et à la mesure des concentrations en profondeur, il est possible de voir où passe l'eau de l'Aar. Outre la localisation, les courbes de concentration permettent d'évaluer la mixtion relative de l'eau fluviale et de l'eau lacustre. Nous avons représenté ici les concentrations de cobalt et la concentration de la phase particulaire (pointillé). La diminution de la concentration de 2,7 à 1,2 nM permet d'estimer la part du cobalt retenu dans le lac (environ 50%). L'importance des particules se manifeste dans la diminution de la part du cobalt adsorbé, laquelle passe de 55% à 16%.

été constatée le lendemain de la coloration déjà, à la hauteur de Hagneck. L'échantillon alors prélevé a servi à déterminer la teneur en cobalt et la concentration particulaire. D'autres échantillons ont été prélevés dans le lac les 20, 21, 22 et 27.8.96. L'emplacement et la profondeur de l'uranine (ou plus exactement de l'eau de l'Aar) ont été mesurés au moyen de sondes, ce qui nous a permis de suivre l'eau de l'Aar à la trace. La concentration du colorant en fonction de la profondeur dans le lac renseigne sur la mixtion croissante de l'eau de l'Aar avec l'eau du lac. Etant donné l'activité moindre de ^{60}Co dans les rejets de la centrale de Mühleberg, il a seulement été possible de mesurer une activité à Hagneck ($1,1 \text{ Bq m}^{-3}$, soit $4,4 \times 10^{-7} \text{ nM}$), la phase particulaire étant de 58% (particules $> 0,45 \mu\text{m}$). Dans le reste du lac, l'activité de ^{60}Co est descendu en dessous du seuil de détection.

La teneur en ^{59}Co , élément stable et présent naturellement dans l'environnement, a pu être déterminée près de Hagneck et dans le lac (fig. 6). A la hauteur de

Hagneck, la concentration mesurée est de 2,7 nM. Plus on s'éloigne de l'affluent, plus cette concentration diminue. Elle atteint son point le plus bas près de Biene (1,2 nM). La concentration particulaire évolue de manière similaire pour ^{59}Co et pour ^{60}Co . A la hauteur de Hagneck, cette concentration atteint encore 55% pour les deux isotopes et décroît régulièrement jusqu'à 16% pour ^{59}Co . La diminution en ^{59}Co , durant la traversée du lac, se calcule à 55%, ce qui semble concorder parfaitement (peut-être par hasard) avec la diminution de la teneur en ^{60}Co aussi bien au niveau des sédiments (52%) que des trappes sédimentaires (66%).

La concordance entre les deux isotopes de cobalt ne saurait être considérée comme banale, si on considère la multiplicité des espèces chimiques, la coexistence de deux formes d'oxydation et l'origine différente des isotopes de cobalt [2]. Mais cette concordance permet néanmoins de faire un pas important, lequel consiste à utiliser les données chimiques du cobalt stable pour l'interprétation du ^{60}Co radioactif. On peut ainsi, grâce à des méthodes polarographiques, mettre en évidence la forme du cobalt. Ce genre de méthode permet en outre de distinguer les cations libres et positivement chargés des complexes organiques, le plus souvent chargés négativement. Mais cette mise en évidence n'est possible qu'à partir d'une concentration minimale de

0,06 nM, ce qui est de loin supérieur à la concentration du ^{60}Co . Comme le démontrent les premiers résultats, les complexes organiques constituent une part de plus de 75% dans tous les échantillons prélevés. Toutefois, on observe que le cobalt a nettement tendance à se complexer davantage entre l'Aar (77%) et le lac (93%). Ces données nécessaires à la spéciation du cobalt nous permettent de progresser dans notre compréhension du transport des métaux. Le cobalt est très enclin à se lier avec des substances organiques en solution, ce qui augmente le nombre de concurrents dans la course aux ions métalliques. En règle générale, cette situation conduit à diminuer l'adsorption par les particules. Le cobalt complexé par les substances organiques reste en solution et, dans notre cas, sort du lac de Biene.

Les particules isolées durant l'expérience se comportent de manière similaire, comme le montrent nos mesures sur les échantillons sédimentaires. Par exemple, la part de l'azote à la phase particulaire en suspension a passé de 0,78% le 20.8.97 dans l'Aar à 1,3% le 21, et à 1,6% le 22.8.97 dans le lac. Malgré ces disparités, la répartition de ^{60}Co dans le lac est assez homogène. On peut donc en déduire que les particules responsables du transport du cobalt sont de dimensions très petites de sorte que leur répartition par les courants du lac atteint une assez grande homogénéité. La répartition

des métaux est donc «gérée» par des particules ultrafines, et des substances organiques en solution qui réagissent avec ces particules. Cet état de fait nous permet de comparer directement les processus se déroulant en milieu lacustre avec ceux qui ont lieu dans le sous-sol (fig. 1). Il y a là bien sûr matière à échange d'information entre spécialistes des deux systèmes.

Remerciements

Nous avons bénéficié du soutien logistique de la centrale de Mühleberg, du Groupe des forces motrices du Seeland, ainsi que du Laboratoire pour la protection des eaux et de l'environnement du canton de Berne. Nous aimerions remercier ici tous ceux qui nous ont prêté main forte. Les analyses de diffraction aux rayons X ont été réalisées à l'Université de Neuchâtel, à l'Institut de géologie. Nos travaux de recherche ont par ailleurs été financés par la Division principale de la sécurité des installations nucléaires.

- [1] Reiser, R., Toljander, H., Albrecht, A., and Giger, W., (1997): Alkylbenzenesulfonates in recent lake sediments as molecular markers for the environmental behavior of detergent-derived chemicals. in: Eganhouse R.P., Ed., Molecular markers in environmental geochemistry, Amer. Chem. Soc. Symposium Series, volume 671, chapter 13.
- [2] Leonard, K.S., McCubbin, D. and Harvey, B.R., (1993): A radiochemical procedure for the determination and speciation of radiocobalt in environmental waters. The science of the total environment. 130/131: 237-251.

Markus Boller agrégé professeur

Le Conseil des EPF a investi Markus Boller du titre de professeur de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich en reconnaissance de ses prestations hors du commun tant au niveau scientifique que didactique.

Markus Boller a commencé son activité à l'EAWAG en 1973, après avoir terminé des études en génie rural à l'EPFZ et en Sanitary Engineering à l'Université Technique de Delft. Il s'est d'abord attaché, notamment dans le cadre d'une thèse de doctorat, à la filtration par floculation. Plus de deux décen-

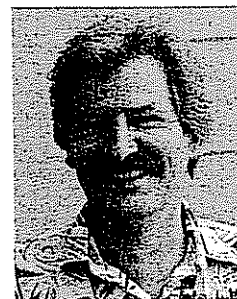
nies plus tard, il entreprenait une vaste activité en tant qu'ingénieur de l'environnement mettant principalement l'accent sur les aspects techniques de la gestion des eaux en milieu urbain.

Depuis 1983, il participe activement à l'enseignement de l'EPFZ ainsi qu'à des cours mis sur pied par des associations professionnelles. Dans le cadre des cours PEAK de l'EAWAG, Markus Boller a profondément marqué la formation continue dans le domaine de l'eau potable et des eaux usées. Il fait partie du peloton de tête des conférenciers aux journées

d'information annuelles organisées par l'EAWAG.

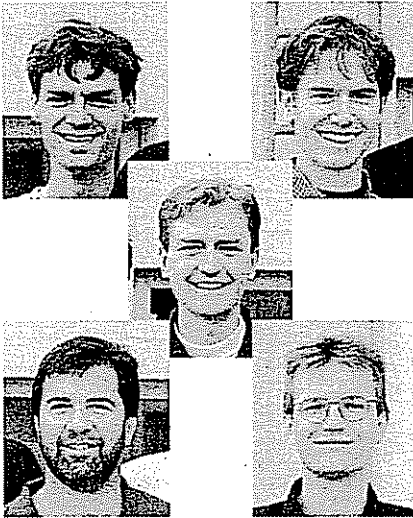
Ses grandes qualités scientifiques et personnelles mises à part, Markus Boller s'est également fait un nom à l'EAWAG en tant que poète. Il a enrichi de nombreuses cérémonies (fêtes de fin d'année, anniversaires de toutes sortes, départs à la retraite) par de petits poèmes en vers.

Walter Giger



Jan Roelof van der Meer, Marco Jaspers, Patrick Sticher,
Ronen Tchelet et Hauke Harms

Les bactéries peuvent indiquer la concentration de polluant biodisponible



Jan Roelof van der Meer, Marco Jaspers, Patrick Sticher, Ronen Tchelet et Hauke Harms

La grande sensibilité et spécificité des protéines pour certaines substances (composés chimiques) est une chose dont nous faisons l'expérience tous les jours sans nous en rendre compte. Par exemple, notre odorat est basé sur l'interaction de molécules aromatiques, naturelles ou synthétiques, avec des protéines réceptrices. Même les bactéries sont capables de sentir leur environnement, très souvent par une sorte «d'odorat». Cette façon de sentir des bactéries peut être utilisée pour indiquer, de manière simple, les concentrations biodisponibles de divers polluants.

Qu'est-ce que la biodisponibilité?

Beaucoup de polluants, pourtant biodégradables, persistent dans l'environnement. Ceci n'est pas dû au manque d'appétit des bactéries, mais plutôt à leur incapacité à atteindre ces polluants assez facilement. Les bactéries du sol ne sont capables de se nourrir que des substances dissoutes dans l'eau. Etant donné que la majorité des polluants du sol n'est pas soluble dans l'eau, mais se trouve sous forme de gouttelettes d'huile ou adsorbée

à des particules, il est très difficile aux bactéries d'y accéder (fig. 1). Ceci explique, dans la plupart des cas, la faible efficacité de dégradation des bactéries. La raison pour laquelle beaucoup de composés chimiques se dissolvent mal dans l'eau est que ceux-ci sont conçus comme huile hydraulique ou comme dissolvant chimique pour le nettoyage à sec. Les bactéries ne peuvent dégrader que les quelques molécules de ces substances qui se sont dissoutes dans la phase aqueuse et ont diffusé à travers les petits pores du sol jusqu'à elles. La tendance des bactéries à se coller aux particules les protège contre la prédation d'autres organismes, mais les empêche d'aller elles-mêmes à la rencontre des polluants.

Comment peut-on déterminer si la biodégradation est vraiment limitée par le manque de polluant disponible pour les bactéries?

Cette question ne peut pas être résolue par les analyses chimiques conventionnelles mesurant les teneurs totales en polluant, ce qui dans la plupart des cas nous laisserait croire qu'il y a suffisamment de nourriture. D'autre part, on peut très souvent isoler des bactéries capables de dégrader les substances polluantes, mais on ne peut pas vérifier si elles sont vraiment actives. Ce serait un progrès d'avoir une méthode à disposition qui permette de mesurer précisément les concentrations de polluant utilisable par les bactéries.

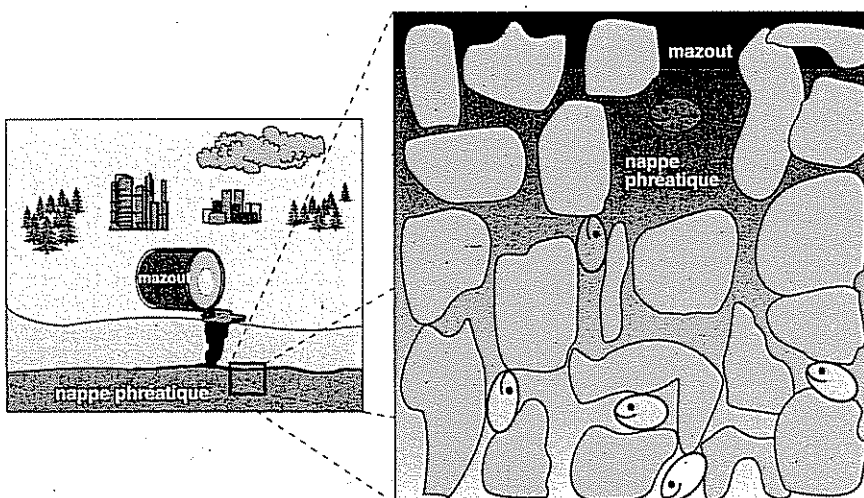


Fig. 1
Le mazout introduit dans l'environnement flotte à la surface des eaux souterraines à cause de sa faible densité. La mauvaise solubilité de certains composants de l'essence fait que sa biodégradation est faible. En s'éloignant de la phase huileuse, les concentrations de composants dissous diminuent tellement qu'elles ne suffisent plus pour permettre une dégradation bactérienne.

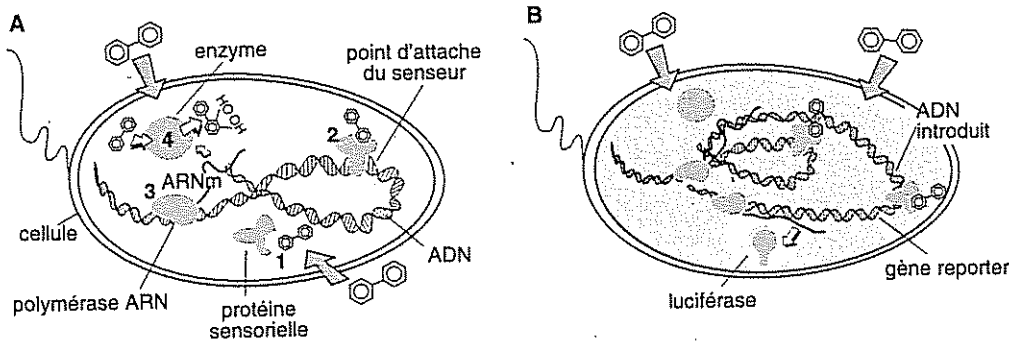


Fig. 2 Schéma du processus de perception chez les bactéries dans une bactérie naturelle (A) et dans une bactérie reporter (B).

(A) La protéine sensorielle/régulatrice reconnaît une molécule entrée dans la cellule comme nourriture (1), et s'attache à l'ADN à une place spécifique (2). Ensuite, l'enzyme RNA polymérase lit l'information sur le gène avoisinant (3) et une nouvelle protéine est synthétisée. Dans ce cas, il s'agira d'une enzyme nécessaire pour la décomposition d'une molécule de nourriture (4).

(B) Dans la bactérie reporter, un deuxième point d'attache sur l'ADN est introduit pour la protéine sensorielle/régulatrice et fusionné avec un fragment d'ADN contenant l'information pour l'enzyme luciférase. Dans ce cas, si une molécule de nourriture est reconnue, cela conduit à la synthèse de la luciférase (donc émission de lumière).

Biocapteurs pour indiquer la biodisponibilité des polluants

Il est évident que l'information la plus précise sur la quantité de polluant présente dans l'environnement et interagissant avec les microorganismes peut être obtenue par ces organismes eux-mêmes. Les systèmes biologiques capables de livrer ce genre d'information sont appelés *biocapteurs* [2]. Les biocapteurs sont généralement formés de deux constituants: l'un capable de sentir son environnement (ici le microorganisme), l'autre capable de transmettre cette information. Les exigences requises par un biocapteurs sont indiquées dans la case ci-dessous. Notre groupe de recherche a décidé de développer des biocapteurs (que nous appelons bactéries «reporter») pour une série de polluants en se servant de bactéries capables d'utiliser ces polluants comme source de nourriture.

Perception d'un stimulus chez les bactéries

Pour la construction de bactéries reporter, nous nous appuyons sur le fait que les bactéries ont aussi une sorte de perception. Elles sont tout à fait capables de reconnaître des changements dans leur environnement et de réagir en conséquence. En utilisant des méthodes de biologie moléculaire, il est possible de relier artificiellement ce genre de réaction cellulaire à un signal mesurable, comme,

par exemple, l'émission de lumière (bioluminescence) [1], la fluorescence ou une coloration. Les bactéries, ainsi modifiées, peuvent maintenant nous signaler un changement dans leur environnement.

Pour mieux comprendre le fonctionnement des bactéries reporter, leurs avantages, leurs désavantages et les problèmes survenant lors de l'interprétation des signaux, il est nécessaire de mieux connaître le processus de perception chez les bactéries. Au niveau moléculaire, il faut se représenter la perception des bactéries comme une suite d'interactions entre des composés chimiques, des protéines et l'ADN (fig. 2A). La première interaction est celle d'un stimulus (molécule chimique) avec une protéine *sensorielle* spécifique. Cela pourrait être, par exemple, une substance chimique entrée dans la cellule et reconnue comme nourriture. Ou bien un soudain manque d'oxygène auquel la cellule doit réagir. Par cette interaction, la protéine est légèrement modifiée.

Cette modification entraîne la réaction de la cellule. La protéine modifiée va interagir avec d'autres protéines de la cellule, qui à leur tour seront modifiées. Finalement une protéine, appelée *protéine régulatrice*, interagira avec l'ADN. Ces protéines reconnaissent des séquences spécifiques sur l'ADN, qui se trouvent très souvent devant des gènes (les gènes sont des régions sur l'ADN qui codent pour la synthèse de protéines). Cette liaison a pour effet une déforma-

tion de la structure de l'ADN à cet endroit. Cette modification permet la régulation de l'expression des gènes avoisinants. Elle peut, par exemple, stimuler l'expression d'un gène, ce qui entraîne la formation d'une nouvelle protéine; ou alors réprimer l'expression d'un gène, ce qui entraîne l'inhibition de la synthèse de cette protéine. Dans les deux cas, la cellule a réagi à un stimulus extérieur.

Les cellules possèdent un grand nombre de protéines sensorielles et régulatrices

pour pouvoir réagir aux changements. Bien que ces protéines aient toutes une fonction semblable, elles sont très différentes et n'interagissent que très spécifiquement. Ceci est très important pour éviter toute fausse réaction à un stimulus. Une manière de résoudre le problème est d'avoir des régions très spécifiques pour la liaison des protéines régulatrices et sensorielles sur l'ADN. D'un autre côté, l'interaction moléculaire du stimulus avec les protéines sensorielles peut être

Exigences requises par un biocapteur

- Les biocapteurs doivent être suffisamment sensibles. Pour leur application lors de la bioremédiation du sol, ils doivent être capables de détecter les polluants jusqu'à des concentrations inférieures aux valeurs limites fixées par la loi pour un sol propre.
- Les biocapteurs doivent être suffisamment spécifiques. C'est-à-dire qu'ils ne doivent détecter que les substances pour lesquelles ils ont été conçus et ignorer les autres.
- Les biocapteurs doivent émettre un signal facilement mesurable. Comme la structure du sol joue un grand rôle pour la biodisponibilité, il est préférable de ne pas déranger le sol lors de l'application des biocapteurs. L'utilisation de signaux lumineux (ou fluorescents), qui peuvent être détectés à distance, semble donc très appropriée.
- Les biocapteurs doivent être robustes, mais ne pas se laisser déranger trop facilement par la présence d'autres substances (toxiques) dans l'environnement. Il doivent aussi avoir une durée de vie raisonnable.

moins spécifique. Par exemple, différentes substances chimiques ayant une structure semblable seront reconnues comme nourriture par la même protéine régulatrice.

Construction des bactéries reporter

Lors de la construction de bactéries reporter, on relie la région de l'ADN où s'attache la protéine régulatrice avec un gène codant pour une protéine reporter (c'est-à-dire ayant une activité ou des propriétés facilement mesurables). Cette fusion est un procédé relativement facile en laboratoire. Dans nos expériences, nous avons précisément isolé les régions d'ADN servant à la régulation de l'utilisation de divers hydroxydes de carbone. Ces régions ont été isolées de différentes bactéries pouvant utiliser ces substances intégralement. Par exemple, on a isolé de la bactérie *Pseudomonas oleovorans*, qui est capable d'utiliser des alcanes d'une longueur de 6 à 12 atomes de carbone, la partie de l'ADN servant d'attache pour la protéine sensorielle/régulatrice (AlkS) [3]. D'un *Pseudomonas putida*, capable d'utiliser du toluène, nous avons isolé la partie de l'ADN servant d'attache pour la protéine sensorielle/régulatrice pour le toluène et de même d'un *Pseudomonas azelaica* celle pour le 2-hydroxobiphényle.

Ensuite, tous ces fragments d'ADN ont été fusionnés avec un autre fragment d'ADN contenant le gène bactérien pour la luciférase (fig. 2B). La luciférase est une enzyme pouvant émettre de la lumière par un processus biochimique appelé bioluminescence [1]. Ces fragments d'ADN recombinés (c'est-à-dire les véritables gènes «reporter») ont ensuite été replacés dans les bactéries d'origine. Ces nouvelles bactéries ne remarquent aucune différence entre leur ADN et l'ADN reporter. Maintenant, lorsque les bactéries se trouvent en présence d'alcane, de toluène ou de 2-hydroxobiphényle, elles synthétiseront non seulement les protéines pour la dégradation des différentes substances, mais aussi la protéine reporter. Les protéines sensorielles/régulatrices dans la cellule reconnaissent

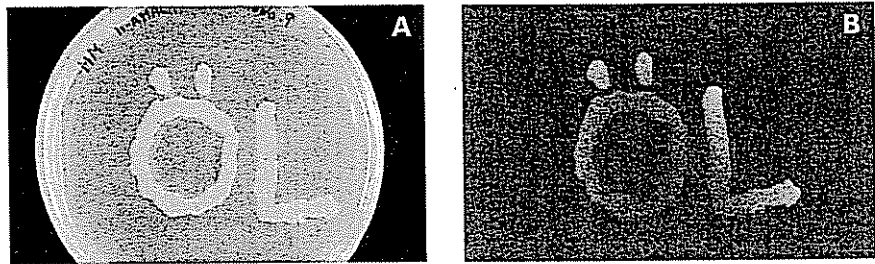


Fig. 3 La bactérie reporter capable de dégrader des alcanes émet de la lumière bleue lorsqu'elle est cultivée en grande quantité sur des boîtes d'agar (ici formant ensemble le mot *oil* (huile)) (A), puis incubée avec de la vapeur d'octane (B).

tout aussi bien le point d'attache original sur l'ADN que le nouveau, puisqu'ils sont identiques. La réaction des bactéries à leur source de nourriture peut être mesurée grâce à la bioluminescence. Dans une des expériences, nous avons utilisé une bactérie capable seulement de «sentir» la présence d'alcane, mais non de l'utiliser. La bioluminescence émise par cette bactérie en présence de différentes concentrations d'octane (avec 8 atomes de carbone) est montrée dans les fig. 3 et 4 [3].

Vision futuriste

Les résultats obtenus jusqu'à présent (voir aussi le rapport annuel 1996 de l'EAWAG) nous ont encouragés dans l'idée que les bactéries reporter puissent livrer des informations intéressantes et significatives sur la quantité de polluant qui leur est disponible. Elles nous permettent d'aborder les questions très com-

plexes liées à la dégradation de substances peu solubles et adsorbées. Il est évident que nos premières expériences ne sont que des demi-succès qui soulèvent de nombreuses questions d'ordre biologique, technique et social. Par exemple, quelle spécificité ont les bactéries reporter envers des composés chimiques de structure semblable, ou envers les substances toxiques? De plus, les bactéries reporter sont des microorganismes manipulés génétiquement et doivent être traités comme telles. C'est-à-dire qu'on ne peut pas les utiliser en dehors du laboratoire, parce qu'elles doivent être maintenues dans un environnement fermé et des précautions doivent être prises pour empêcher qu'elles ne survivent en dehors du laboratoire.

Une solution pourrait être d'immobiliser ce genre de bactéries à la pointe d'une fibre optique d'où elles ne pourraient pas s'échapper. Il faut, par contre, que les polluants puissent diffuser jusqu'aux bactéries. Le signal lumineux pourrait être mesuré à l'autre bout de la fibre optique à l'aide d'un luminomètre. Si cela pouvait se réaliser, alors le développement d'un système mobile pour la détection de la biodisponibilité de substances chimiques pour les bactéries ne serait plus utopique.

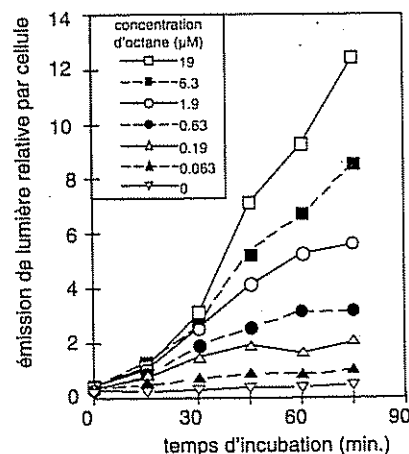
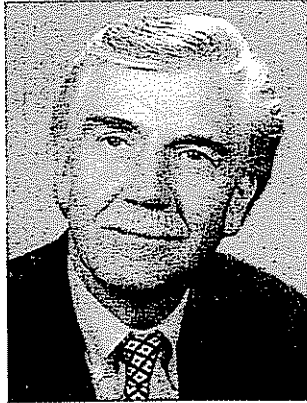


Fig. 4 Emission de lumière en fonction de la concentration après adjonction d'octane à la bactérie reporter.

- [1] R.S. Burlage, A.V. Palumbo, A. Heitzer, G. Sayler, (1994): Bioluminescent reporter bacteria detect contaminants in soil samples. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 45: 731-740.
- [2] S.M. Sreiner, E. J. Poziomek, W. H. Engelmann, K.R. Rogers, (1995): A review of environmental applications of bioluminescence measurements. *Chemosphere* 30: 2155-2197.
- [3] P. Sticher, M.C.M. Jaspers, K. Stemmler, H. Harms, J.R. van der Meer, A.J.B. Zehnder. Development and characterization of a whole cell bioluminescent sensor for bioavailable middle-chain alkanes in contaminated groundwater samples. Submitted to *Appl. Environ. Microbiol.*

James V. Ward

Nouveaux débouchés pour la recherche en limnologie



James V. Ward

La Division de limnologie élargit son horizon scientifique en mettant davantage l'accent sur l'écologie des cours d'eau, en incluant la recherche sur les eaux souterraines et en tenant compte de l'écologie des berges et des zones humides ainsi que de la génétique écologique. Issus des horizons scientifiques les plus divers, de nouveaux collègues permettent à notre Division de s'ouvrir à de nouveaux domaines ainsi qu'à l'analyse de systèmes complexes.

Introduction

La limnologie est une science multidisciplinaire qui réunit les aspects physiques, chimiques, géologiques et biologiques des cours d'eau intérieurs (fig. 1). Dans tous ces domaines, des recherches limnologiques sont réalisées par différentes divisions de l'EAWAG. Bien que la Division de limnologie étudie elle aussi les phénomènes physiques, chimiques et géologiques, son mandat primaire de recherche porte sur la limnologie biologique. Née à l'origine de la recherche lacustre, la limnologie inclut aujourd'hui également les cours d'eau, les eaux souterraines et les zones humides [2].

Nous aimerions présenter ici les programmes prioritaires de recherche de la Division de limnologie et vous permettre de mieux connaître les nouveaux collègues qui participent à la réalisation de ces programmes. Tout progrès en limnologie est tributaire d'une bonne collaboration, et l'EAWAG est l'un des rares instituts qui se prête aussi bien à cette interdisciplinarité. A cet égard, la Division de limnologie peut servir de plate-forme appropriée pour intégrer le savoir des différentes divisions.

Portrait de la Division

A l'heure actuelle, la Division de limnologie occupe 18 universitaires, 10 assistants techniques et 11 doctorants. Certains d'entre eux travaillent à temps partiel. Trois des

collaborateurs universitaires partagent leur place de travail avec leurs assistants et doctorants à Kastanienbaum.

Notre recherche est axée sur les organismes et leur écologie, sur la génétique, la biogéographie et l'évolution. Comme nous intégrons ces études dans la recherche environnementale générale, il s'agit dans beaucoup de domaines limnologiques «d'écologie classique». Nous pouvons ainsi traiter des sujets complexes, tels que les questions relatives à la biodiversité, à la biodynamique, à la structure des biocénoses, à la succession, aux phénomènes de concurrence et aux interactions comportementales ainsi qu'aux réseaux alimentaires et aux cascades trophiques. Mais nous pouvons aussi contribuer de manière globale et multidisciplinaire à résoudre des problèmes d'environnement tels que la question des espèces menacées ou celle de la destruction et de la dégradation des biotopes, l'écotoxicologie, l'acidification, le changement climatique ainsi que l'assainissement des lacs et des cours d'eau.

La Division de limnologie a une longue tradition en matière d'étude des processus biologiques dans la zone pélagique des grands lacs suisses. Etudié en collaboration avec d'autres divisions de l'EAWAG, ce domaine de recherche a permis à la Suisse d'acquérir une renommée internationale dans le domaine de l'eutrophisation et de l'assainissement des lacs. De plus, la Division de limnologie s'est dotée ainsi d'une

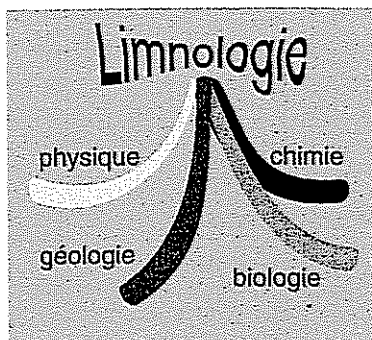


Fig. 1
Nature multidisciplinaire de la limnologie (d'après [1]).

très précieuse collection de données d'observation de longue durée pour des projets tant présents que futurs portant sur les interactions écologiques dans les réseaux alimentaires pélagiques ainsi qu'au niveau du plancton, sur les cycles du carbone et du phosphore ainsi que sur l'influence du rayonnement solaire sur la production primaire.

Nouveaux objectifs de recherche

Grâce à ses nouveaux collègues, la Division de limnologie renforce et élargit ses domaines de recherche actuels. Leur bagage aussi considérable que varié permet à la Division de s'ouvrir à de nouveaux horizons. Un avenir captivant nous attend, car des objectifs de recherche supplémentaire pourront être concrétisés et de nouvelles initiatives réalisées. Grâce à ces nouveaux venus, la Division de limnologie dispose actuellement de compétences élargies dans les domaines de recherche suivants:

- écologie des lacs et des plans d'eau
- écologie des cours d'eau
- écologie des eaux souterraines
- écologie des zones humides et des zones alluviales, ainsi que des abords des lacs et des cours d'eau
- génétique écologique
- biologie de l'évolution
- modélisation
- écotoxicologie.

Le but premier de la Division consiste à développer la recherche fondamentale et la recherche appliquée. A cet égard, les facteurs déterminants sont les suivants: des systèmes soigneusement élaborés, une vision globale, des dimensions spatio-temporelles différentes et, finalement, une meilleure compréhension des lois et des processus environnementaux (tab. 1).

Nouveaux domaines de recherche

Nous vous présentons ci-après quatre projets de recherche, qui en sont

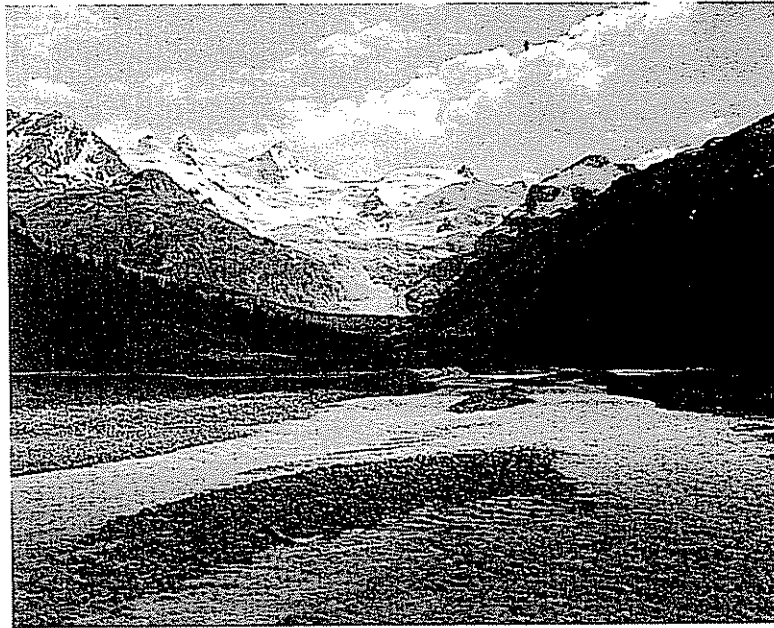


Fig. 2
Le Val Roseg, exemple de plaine alluviale glaciaire.

encore à leurs prémices. Ils font partie d'une vaste série de projets encore au stade de la préparation ou déjà en cours au sein de la Division.

Le Val Roseg – une plaine alluviale glaciaire

Le Val Roseg (situé sur le cours supérieur de l'Inn près de Pontresina/St-Moritz) est une plaine glaciaire qui se trouve à l'extrémité de plusieurs glaciers (fig. 2). Cette plaine se caractérise par des cours d'eau fortement ramifiés et très diversifiés du point de vue du biotope, ce qui renforce encore l'origine diverse de

l'eau (glaciers, eaux souterraines et affluents latéraux). Les plaines alluviales alpines réagissent de manière très sensible aux changements climatiques; mais on ne connaît pratiquement rien de leur écologie. Les études menées dans ce domaine portent sur la signification écologique des perturbations, l'identification des gradients environnementaux, l'interconnexion de plusieurs secteurs biotiques ainsi que sur les aspects spatio-temporels de la biodiversité du zoobenthos, de la faune des eaux souterraines et du périphyton. A cela s'ajoute l'étude des

Sujets	Domaines de recherche
Solutions biologiques	Limnologie alpine
Méthodes de recherche éprouvées	Biodiversité
Méthode hiérarchique/progressive	Rôle des perturbations
Perspective spatio-temporelle	Lois et processus en fonction des gradients environnementaux
Perturbation = facteur de structuration	Métapopulations
Interdisciplinarité	Dynamique de la matière organique
In situ/in vitro – expérimentation et modélisation	Assainissement des lacs et cours d'eau
Gestion des écosystèmes	Evaluation de l'état des cours d'eau
Mécanismes de relaxation et de régénération des biocénoses	Écologie comportementale
	Interactions du réseau trophique
	Autorégénération des écosystèmes
	Régulation biologique des flux de matières

Tab. 1
Futurs domaines de recherche de la Division de limnologie.

Nouveaux collègues



Mark O. Gessner vient du Centre de recherche sur les écosystèmes de l'Université de Kiel. En 1991, il a présenté son travail de diplôme à l'Université de Fribourg-en-Brigau. Il est connu pour ses travaux sur la dynamique des substances organiques dans les systèmes aquatiques et pour ses études quantitatives déterminant le rôle des hyphomycètes (champignons)

dans les processus de dégradation. M. Gessner vient de soutenir sa thèse à l'Université de Kiel.

Dernière publication: Gessner, M.O. et al., (1996): A partial budget of primary organic carbon flows in the littoral zone of a hardwater lake. Aquatic Botany 55: 93-105.



Tom Gonser

collaborait jusqu'ici au sein de la Division Recherches piscicoles de l'EAWAG. Sa thèse, réalisée sous l'égide de l'Université de Fribourg (1990), étudie la biologie et l'écologie des éphémères chiliens (Ephemeroptera). Ensuite, M. Gonser a acquis de riches expériences en matière d'écologie des eaux souterraines dans le cadre d'un post-

doctorat à la «Flathead Lake Biological Station» à Montana, USA.

Dernière publication: Brunke, M. & T. Gonser, (1996): The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. Freshwater Biology (in press).



Florian Malard

est post-doctorant. Sa thèse, placée sous la direction de l'Université de Lyon (1995), traite de la biologie des aquifères karstiques. M. Malard a déjà publié plusieurs travaux dans différents domaines de l'écologie des eaux souterraines.

Dernière publication: Malard, F. et al., (1996): Developments in sampling the fauna of deep aquifers. Arch. Hydrobiol. (in press).



Piet Spaak

a étudié la génétique écologique et la biologie de l'évolution. Il vient tout droit d'un emploi de post-doctorant à l'Institut Max-Planck pour limnologie à Plön. Sa thèse, réalisée à l'Université d'Utrecht (1994), traite de l'hybridation chez les daphnies. M. Spaak proposera un nouveau cours à l'EPFZ sur la génétique écologique des organismes aquatiques.

Dernière publication: Spaak, P. & J.R. Hoekstra, (1995): Life history variation and the coexistence of a Daphnia hybrid with its parental species. Ecology 76:553-564.



Christopher T. Robinson

bénéficie d'une vaste formation dans le domaine de l'écologie des systèmes fluviaux. Il a présenté sa thèse à la Idaho State University (1992). Il a publié des travaux sur les macro-invertébrés, le périphyton et les poissons, sur la signification écologique des perturbations, les structures de biocénoses, la dynamique de colonisation, les analyses

de qualité biologique et la génétique des populations. M. Robinson a participé à des projets limnologiques en Russie et en Lettonie.

Dernière publication: Minshall, G.W., C.T. Robinson & D.E. Lawrence, (1997): Immediate and mid-term responses of lotic ecosystems in Yellowstone National Park, USA, to wildfire. Can. J. Fish. Aquat. Sci. (in press).



Klement Tockner

a été post-doctorant à l'université de Vienne, où il a coordonné un projet de revitalisation des prairies du Danube. Sa thèse (1993) traite de l'écologie des biocénoses du zoobenthos sur les rives du Danube. M. Tockner s'intéresse au lien écologique entre les biotopes «Systèmes fluviaux» et «Zone humide», notamment à leur signification pour la

biodiversité et la transformation de substances organiques. Il propose un nouveau cours à l'EPFZ sur l'écologie des zones humides.

Dernière publication: Tockner, K., (1996): Colonization experiments for biomonitoring riparian communities of a large regulated river, the Danube (Austria). Arch. Hydrobiol. Suppl. 113: 433-442.

processus écosystémiques, tels que les processus de production et de décomposition. Coordinateur du projet: U. Uehlinger.

Le fleuve Tagliamento - modèle d'un système fluvial alpin naturel

Le fleuve Tagliamento est le seul cours d'eau de l'arc alpin à connaître encore un régime de crues largement naturel et à présenter cette dynamique spatio-temporelle indispensable à la conservation de l'intégrité écologique des écosystèmes fluviaux [3].

En collaboration avec le Professeur Peter Edwards de l'Institut de géobotanique de l'EPFZ et du Professeur B. Rossaro de l'Université de Milan, la Division de limnologie teste les modèles écologiques généraux d'écosystèmes fluviaux et étudie les lois et processus sur la base de la faune aquatique, de la végétation des rives et de la dynamique des substances organiques. Cet écosystème fluvial se prête tout particulièrement à l'étude de la biodiversité (diversité alpha, bêta et gamma) ainsi qu'à

l'identification des facteurs qui déterminent cette biodiversité. Coordinateur du projet: K. Tockner.

Rôle écologique du bois mort en tant qu'élément structurel dans les cours d'eau européens

En Europe, le bois mort est régulièrement retiré des cours d'eau. On ne peut minimiser les répercussions qui en découlent pour la qualité de l'eau, la morphologie fluviale, les biotopes aquatiques ainsi que pour l'intégrité de ces écosystèmes [4].

Plusieurs pays européens ont mis au point un projet conjoint visant d'une part à estimer la valeur du bois mort pour la gestion des eaux et, d'autre part, à étudier la possibilité d'appliquer à l'Europe les résultats obtenus en Amérique du Nord.

Le projet a été lancé par les professeurs A. Gurnell et G. Petts (University of Birmingham, UK). La Division de limnologie (EAWAG) et l'Institut de géobotanique (ETH) en sont les partenaires suisses. Coordinateur du projet: (Suisse): C. Robinson.

Fragmentation des écosystèmes fluviaux alpins et conséquences pour la biodiversité

Les cours supérieurs des systèmes fluviaux sont de plus en plus menacés par la fragmentation de leurs biotopes [5, 6]. Mais on ignore encore la plupart des conséquences qui en découlent pour la biodiversité aquatique. Plus le niveau des mers

augmente, plus la superficie des habitats diminue, tandis que «l'insularité» augmente [7]. La Division de limnologie élabore actuellement un projet visant à

- 1) dresser l'état de fragmentation des réseaux fluviaux dans les bassins hydrologiques alpins,
- 2) étudier les rapports entre la biodiversité et la fragmentation des biotopes,
- 3) établir le lien entre la structure génétique (méta-modèle de population) et la fragmentation du biotope, et enfin à
- 4) élaborer des mesures de protection permettant de réduire au maximum la mise en danger de la biodiversité dans les bassins hydrologiques alpins.

Coordinateur du projet: C. Robinson & P. Spaak.

Je tiens à remercier mes collègues P. Bossard, R. Gächter, M. Gessner, T. Gonser, F. Malard, C. Robinson,

P. Spaak, K. Tockner et U. Uehlinger de leurs suggestions.

- [1] Lewis, W.M., S.W. Chisholm, C.F. d'Elia, E.J. Fee, N.G. Hairston, J.E. Hobbie, G.E. Likens, S.T. Threlkeld & R.G. Wetzel, (1995): Challenges for limnology in the United States and Canada: An assessment of the discipline in the 1990's. *Bull. Am. Soc. Limnol. Oceanogr.* 4: 1-20.
- [2] Margalef, R.(ed.), (1994): *Limnology* Now. Elsevier, Amsterdam. 553 p.
- [3] Müller, N., (1995): River dynamics and floodplain vegetation and their alterations due to human impact. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 101: 477-512.
- [4] Gurnell, A.M., K.J. Gregory & G.E. Petts, (1995): The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications for management. *Aquatic Conservation* 5: 143-166
- [5] Zwick, P., (1992): Stream habitat fragmentation - a threat to biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 1: 80-97.
- [6] Dynesius, M. and C. Nilsson, (1994). Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266: 753-762.
- [7] Ward, J.V., (1994): Ecology of alpine streams. *Freshwater Biology* 32: 277-294.

Départ du professeur Alistair Kerr

A la fin du semestre d'été 1996, le professeur Alistair Kerr a remis ses fonctions à l'EAWAG et l'EPFZ. Après des études de chimie à Edimbourg et Birmingham, Alistair Kerr a travaillé pendant de longues années dans le Pays de Galle. Puis il est retourné à l'Université de Birmingham pour y enseigner la chimie physique. Il s'est alors entièrement consacré à la cinétique chimique en phase gazeuse, qu'il considérait comme étant la base de la chimie atmosphérique. Ce dernier domaine lui a également permis d'aller donner des cours comme professeur invité dans les principaux instituts de recherche américains. En 1989, il est venu à l'EAWAG où il a dirigé un groupe de recherche en cinétique des réactions en phase gazeuse. Il a également enseigné la chimie atmosphérique à l'EPFZ, à la Division des sciences de l'environnement. Entre Dubendorf et Zurich, Alistair Kerr

était non seulement une personnalité réfléchie et extrêmement compétente, mais aussi un collègue apprécié et reconnu par tout le monde. Ses leçons étaient un modèle de didactique et étaient particulièrement appréciées. Le Conseil des EPF l'a investi du titre de professeur en 1994. Après son départ de Suisse, il

est retourné à Birmingham, où il a notamment accepté de devenir membre de l'équipe rédactionnelle du magazine *Environmental Science and Technology* de la Société américaine de chimie.

Nous lui souhaitons une bonne santé et un avenir riche en activité.

Walter Giger



d.g.à.d.: Konrad Stemmler, Alistair Kerr, Stephan Seefeld, Gerrit Locke et Wolfgang Mengon.



Alistair Kerr

D'origine écossaise, il avait mis ses plus beaux atours pour sa fête d'adieu en été 1996. Il pourra désormais mieux profiter de son costume dans son pays d'origine. Il vient de recevoir un thermomètre géant en guise de remerciement pour ses fidèles services.

Prof. J.A. Kerr
The School of Chemistry
University of Birmingham
Birmingham B15 2TT
UK
tél. +44 121 472 5682
fax +44 121 249 0789
E-mail: A.KERR@bham.ac.uk

Alistair Kerr

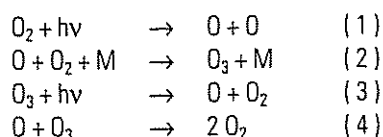
Réactions chimiques dans l'atmosphère – Rétrospective et prospective

L'atmosphère terrestre peut être subdivisée en plusieurs couches selon l'évolution de la température. La couche inférieure, la troposphère, commence à la surface de la terre et va jusqu'à une altitude de 10 à 15 km. Après la troposphère vient la stratosphère, jusqu'à une altitude d'environ 50 km. Etant donné que les échanges de gaz micropolluants s'effectuent très lentement entre ces deux couches atmosphériques alors que les processus de mélange dans la troposphère s'effectuent assez rapidement en comparaison, les processus chimiques sont souvent considérés séparément pour ces deux couches atmosphériques.

Chimie stratosphérique

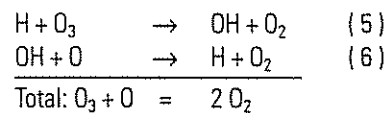
Au début, seule la stratosphère intéressait les chimistes de l'atmosphère.

En 1929, la première conférence sur l'ozone a eu lieu à Paris. A cette occasion, Dobson a présenté les premiers résultats de ses mesures approfondies sur l'ozone. Chapman, qui avait assisté à cette présentation, présente l'année suivante la première théorie photochimique de la formation de l'ozone dans la stratosphère [1, 2], sur la base des quatre réactions suivantes:

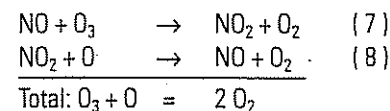


Dans les années 50, les mesures des constantes de réaction ont montré que la réaction (4) est beaucoup plus lente que cela avait été admis du temps de Chapman. En conséquence, les concentrations d'ozone qui avaient été calculées sur la base de ces quatre réactions sont trop élevées par rapport aux concentrations effectivement mesurées dans l'atmosphère. Cette situation a conduit Hunt [3] à faire l'hypothèse qu'il existait encore des réactions cycliques ou catalytiques absorbant l'ozone «manquant». Il a alors complété la réaction lente (4) par des réactions de radicaux HO_x (H, HO, HO₂) qui avaient été formulées à

l'origine par Bates et Nicolet [4]. La formule complétée par Hunt contient par exemple le mécanisme de dégradation de l'ozone suivant:

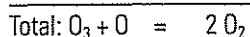
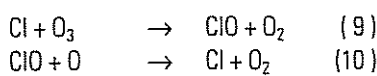


Au début des années septante, la théorie de la formation d'ozone stratosphérique de Crutzen [5] a été complétée par l'introduction de réactions cycliques et catalytiques des oxydes d'azote (NO et NO₂). Au même moment, Johnston [6] tire la sonnette d'alarme: les oxydes d'azote rejetés directement dans la stratosphère par les avions supersoniques contribuent à une réduction significative de l'ozone stratosphérique, ce qui conduirait à une exposition accrue de la terre aux rayons ultraviolets, avec toutes les conséquences que cela entraîne pour les organismes terrestres:



En 1974, la problématique des oxydes d'azote s'est doublée de celle des atomes de chlore libérés par la photodécomposition des chlorofluorocarbures (CFC). Ces atomes de chlore peuvent conduire à une destruction considérable de l'ozone stratosphérique (9, 10). Molina et Rowland [7] ont été les premiers

à reconnaître la gravité de ce problème.



La concentration des CFC dans l'atmosphère a rapidement augmenté. On s'est vite rendu compte que la durée de vie atmosphérique de ces composés était si longue qu'on ne pouvait espérer maîtriser en temps utile les effets négatifs des CFC. Il était donc nécessaire de développer des modèles mathématiques pour simuler et prédire le comportement de la couche d'ozone.

Durant ces 20 dernières années, de nombreux efforts ont été fournis pour développer de tels modèles. Les premiers modèles, unidimensionnels, ne tenaient compte que de l'altitude. Ils ont été remplacés par des modèles plus complexes, bidimensionnels (avec l'étendue géographique) ou tridimensionnels (la longueur en plus). Ces modèles comprennent jusqu'à 200 réactions élémentaires. Leur qualité et les données de cinétique chimique qui leur sont sous-jacentes ont fait périodiquement l'objet de recensements critiques afin de parvenir à des résultats scientifiques de haute qualité. A cet effet, un conseil international d'experts a été institué en 1977. Parmi ses membres, on trouve des spécialistes de photochimie et de cinétique. Ce conseil a pour mandat de fournir les données nécessaires à la constitution des modèles stratosphériques. Cette commission IUPAC est actuellement placée sous la direction du Professeur J.A. Kerr et a publié deux grandes études critiques de données durant les années de J.A. Kerr à l'EAWAG [8, 9].

En 1985, les travaux réalisés sur la raréfaction de l'ozone au-dessus du pôle sud durant le printemps antarctique ont suscité de vives réactions. Il s'agit bien sûr du fameux trou d'ozone sur l'antarctique.

Personne ne l'avait prévu. La transformation des CFC en radicaux

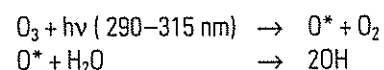
chlorés nécessite des rayons ultraviolets à courte longueur d'onde. Or, ce rayonnement UV n'est pas très fort durant cette saison au Pôle sud. La découverte du trou d'ozone a déclenché une forte activité de recherche au niveau international, aussi bien dans le domaine de la cinétique que sur le plan des recherches *in situ*. Il s'est bien vite avéré qu'on avait négligé certains processus chimiques intervenant dans la formation de l'ozone. Ces processus comprennent des réactions hétérogènes à la surface des nuages stratosphériques qui peuvent se former au dessus du Pôle sud à partir d'eau condensée et d'acide nitrique. Ces réactions aboutissent à la transformation de composés chlorés non réactifs en une forme catalysante. La recherche s'est dès lors concentrée sur la chimie du chlore. Les composés chlorés sont les facteurs qui jouent le plus grand rôle dans la destruction de l'ozone stratosphérique. De nombreux efforts ont été faits pour remplacer les CFC par des substances analogues, mais plus facilement dégradables dans l'atmosphère, par ex. par réaction avec les radicaux OH dans la troposphère. Ces recherches ont atteint un point culminant en 1995, lorsque Crutzen, Molina et Rowland ont été honorés du prix Nobel de Chimie pour leurs travaux sur la chimie stratosphérique. Ils ont livré d'importantes données fondamentales pour la recherche sur le rôle des composés chlorés dans la destruction de l'ozone stratosphérique. Il leur revient en bonne partie le mérite d'avoir contribué à la signature du traité de Montréal et de ses amendements successifs, toujours plus stricts, ce qui constitue encore un exemple unique de solution globale.

Chimie troposphérique

Le phénomène photochimique du smog estival a été reconnu pour la première fois à la fin des années quarante à Los Angeles. Les altéra-

tions végétales, les irritations oculaires et la réduction de la visibilité ont poussé de nombreux laboratoires à s'intéresser au comportement de certaines substances en conditions quasi-atmosphériques. Haagen-Smit et ses collaborateurs [10, 11], du California Institute of Technology à Pasadena, ont été les premiers à démontrer que l'ozone naît de l'action du rayonnement ultraviolet sur les hydrocarbures et l'oxyde d'azote contenus dans l'air. Il s'agit donc également d'un problème de nature photochimique.

En 1961, Leighton a décrit dans son ouvrage devenu classique [12] l'application des principes de la chimie physique au problème de la pollution photochimique de l'air. La compréhension du smog estival a fait un grand pas en avant en 1971, lorsque Levy [13] constate que des concentrations significatives de radicaux OH et HO₂ se forment dans l'atmosphère en cas de forte insolation. Les radicaux OH sont les agents de dégradation pour beaucoup de composés organiques volatiles (COV) dans la troposphère. Ces radicaux se forment suite à la photolyse de l'ozone sous-jacent et à la réaction de l'atome d'oxygène activé (O*) avec l'eau atmosphérique:



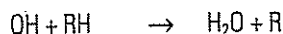
Activités de Alistair Kerr

L'auteur a lui-même commencé son activité dans le domaine de la chimie atmosphérique en 1970, alors qu'il travaillait pour trois ans avec Jack Calvert de l'Ohio State University. C'est là qu'il a développé le premier mécanisme complet décrivant la formation photochimique des oxydants [14].

Le mécanisme détaillé de la dégradation des COV est complexe et se fonde sur des centaines de réactions élémentaires en phase gazeuse. Pour pouvoir comprendre ces processus, il faut mesurer en laboratoire les cons-

tantes de réaction et les produits de réaction.

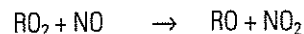
Les phases importantes de ce mécanisme sont l'extraction d'un atome d'hydrogène d'un COV (RH) par un radical OH:



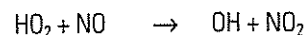
Cette réaction est suivie par l'oxydation rapide du radical alkyle ainsi formé (R), ce qui donne un radical de peroxyde d'alkyle, moins réactif (RO_2) moyennant une liaison à l'oxygène de l'air:



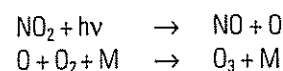
Lorsque l'atmosphère est polluée, les radicaux RO_2 réagissent rapidement avec NO et se transforment en radicaux alkoxydes (RO):



Cette réaction s'additionne à la réaction analogue de HO_2



pour convertir NO en NO_2 . Cet enchaînement de réactions est responsable de la production d'ozone:



Les radicaux alkoxydes ainsi générés peuvent participer à un grand nombre de réactions atmosphériques qui aboutissent en règle générale à la formation de composés carbonyles tels qu'aldéhydes et cétones. Quelques-uns de ces produits peuvent être convertis par oxydation atmosphérique en nitrate de peroxyacétyle (PAN = $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NO}_2$), un photooxydant puissamment irritant pour les yeux.

Depuis les années septante, de nombreuses études de laboratoire ont été réalisées sur les composés organiques qui se trouvent dans l'atmosphère. Ainsi, nous avons fait de constants progrès dans la compréhension des mécanismes. Chaque classe de composés (alkanes, alkènes, aromates, alcools, éthers, aldéhydes, cétones, etc.) requiert une étude exhaustive des réactions d'oxydation

déclenchées par les radicaux OH et de leur sous-produits. Durant ces sept dernières années, le groupe de chimie atmosphérique de l'EAWAG a effectué des analyses de ce genre, profitant de l'expérience unique de l'EAWAG en matière de chimie analytique. Les résultats les plus marquants sont les suivants:

- i) observation pour la première fois d'hydroxycarbonyles produits par isomérisation de radicaux alkoxydes en conditions atmosphériques;
- ii) étude détaillée des mécanismes de dégradation des composés analogues aux éthers;
- iii) mesures précises et étendues de la cinétique de production de PAN.

Ces études cinétiques servent de base aux modèles sur ordinateur capables de calculer le potentiel de formation d'oxydants pour chaque COV. Il s'agit là d'une base scientifique bien étayée qui permet d'élaborer des stratégies de contrôle des émissions.

Toutes les réflexions qui viennent d'être présentées se rapportent à des réactions en phase gazeuse. Mais dans l'atmosphère réelle, d'autres réactions interviennent également, notamment celles qui se déroulent en phase liquide ou à la surface des corps solides. Ces dernières sont particulièrement importantes pour la formation des aérosols et les processus conduisant à une réduction de la visibilité. Dans le domaine de la chimie aquatique de l'atmosphère, on peut par exemple citer l'oxydation de SO_2 en H_2SO_4 . Cette réaction joue un rôle essentiel dans la problématique des pluies acides. Le SO_2 , composé à l'état gazeux, est un produit de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre. Parvenant dans l'atmosphère en phase gazeuse, il n'est que lentement oxydé en H_2SO_4 . Mais comme SO_2 est facilement soluble dans l'eau atmosphérique, il s'accumule dans les gouttes d'eau des nuages et des brouillards. Là, il est rapidement oxydé en SO_4^{2-} par des agents en solutions tels que

H_2O_2 et O_3 . Ce type de réaction combinant la chimie aquatique et la chimie atmosphérique a longtemps intéressé plusieurs groupes de l'EAWAG.

Perspectives de la chimie atmosphérique

Bien que, durant ces 20 dernières années, la chimie atmosphérique ait réalisé de grands progrès, il reste encore beaucoup à faire, comme par exemple au niveau de la stratosphère, où la destruction de l'ozone n'a pas seulement été constatée au pôle sud, mais aussi sous des latitudes moyennes. A ce propos, il convient de clarifier le rôle des aérosols de sulfate. Ces particules de poussière sont formées par l'oxydation atmosphérique du carbonylsulfide (COS) ou du bioxyde de soufre (SO_2). De violentes éruptions volcaniques permettent au SO_2 d'atteindre la stratosphère. Le sulfate particulaire pourrait bénéficier de réactions comparables à celles des nuages stratosphériques des régions polaires et contribuer ainsi à la destruction de l'ozone sous les latitudes moyennes. A l'heure actuelle, d'autres sujets préoccupent les spécialistes de la chimie stratosphérique, à savoir le rôle des dérivés du brome, en particulier le méthylbromure (CH_3Br), un produit phytosanitaire largement répandu, ainsi que les composés iodés tels que le trifluorométhyl iodure (CF_3I). Les dérivés du brome ou du iode qui parviennent dans la stratosphère sont nettement plus destructeurs pour la couche d'ozone que les composés chlorés. La chimie troposphérique semble sur le point de découvrir l'explication des mécanismes d'oxydation atmosphériques des composés aromatiques. Des travaux de laboratoire considérables ont été réalisés pour mieux comprendre les réactions des radicaux alkoxydes. En effet, il s'agit là de produits intermédiaires atmosphériques de grande importance, car ils sont largement responsables de la formation de

chacun des produits individuels des COV dans l'atmosphère. Malheureusement, les radicaux alkoxydes font partie des composés les plus difficiles à analyser en chimie atmosphérique. C'est pourquoi il ne faut pas s'attendre à des progrès immédiats dans ce domaine.

A l'avenir, l'influence des aérosols particuliers en phase tant liquide que solide sera certainement un des sujets de recherche en chimie troposphérique. Mais ici également, les progrès seront plutôt lents, car la fabrication et la caractérisation contrôlée de ces particules en laboratoire

ainsi que la mesure des vitesses et des mécanismes de réaction à la surface des particules renferment des difficultés considérables.

Une certitude demeure: l'avenir de la chimie atmosphérique nous réserve encore bien des surprises.

- [1] Chapman S., (1930): A theory of upper atmospheric ozone, Mem. Roy. Met. Soc. 3, 103.
- [2] Chapman S., (1930): On ozone and atomic oxygen in the upper atmosphere, Philos. Mag. 10, 369.
- [3] Hunt B.G., (1966): Photochemistry of ozone in moist air, J. Geophys. Res. 71, 1385.
- [4] Bates D.R., Nicolet M., (1950): The photochemistry of water vapor, J. Geophys. Res. 55, 301.
- [5] Crutzen P.J., (1970): The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content, Quart. J. Roy. Met. Soc. 96, 320.
- [6] Johnston H.S., (1971): Reduction of stratospheric ozone by oxides of nitrogen catalysts from supersonic transport exhaust, Science 173, 517.
- [7] Molina M.J., Rowland F.S., (1974): Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone, Nature 249, 810.
- [8] Atkinson R., Baulch D.L., Cox R.A., Hampson Jr. R.F., Kerr J.A., Troe, J., (1992): Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry. Supplement IV, IUPAC Subcommittee on Gas Kinetic Data Evaluation for Atmospheric Chemistry, J. Phys. Chem. Ref. Data 21, 1125.
- [9] Atkinson R., Baulch D.L., Cox R.A., Hampson Jr. R.F., Kerr J.A., Rossi M.J., Troe, J., (1997): Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry. Supplement V, IUPAC Subcommittee on Gas Kinetic Data Evaluation for Atmospheric Chemistry, J. Phys. Chem. Ref. Data 26, 521.
- [10] Haagen-Smit A.J., (1952): Ind. Eng. Chem. 44, 1342.
- [11] Haagen-Smit A.J., Bradley C.E., (1953): Ind. Eng. Chem. 45, 2086.
- [12] Leighton P.A., *Photochemistry of Air Pollution*, Academic Press, New York, 1961.
- [13] Levy II H., (1971): Normal atmosphere: large radical and formaldehyde concentrations predicted, Science 173, 141.
- [14] Demerjian K.L., Kerr J.A., Calvert J.G., (1974): The mechanism of photochemical smog formation, Advan. Environ. Sci. Technol. 4, 1.

Prix Otto Jaag 1996

Le prix Otto Jaag a été décerné à parts égales à Jörg Klausen (EAWAG) et à Michael Gfeller (ETHZ/ITÖ) pour leurs thèses de doctorat. Ces deux travaux étudient les transformations de composés organiques en présence de phases minérales solides.

La thèse de Jörg Klausen s'intitule «Abiotic Redox Transformations of Aromatic Nitro and Amino Compounds in Suspensions of Soil Minerals: Laboratory Studies in Batch and Flow-Through Reactors». Les composés aromatiques nitreux et aminés sont produits en grandes quantités et utilisés en tant que produits intermédiaires, pesticides ou substances explosives. Etant donné leur utilisation multiple et un stockage inadapté dans de nombreuses décharges de munitions, voire dans des sites de production, ces composés entraînent aujourd'hui d'innom-

brables micropollutions dans les eaux souterraines et le sol. Nombre d'entre eux, dont le trinitrotoluène (TNT) ou le 3,4-dichloroaniline, sont extrêmement résistants à la biodégradation. Pourtant, ces composés se transforment plus ou moins facilement compte tenu de certaines conditions rédox dans le sous-sol. Ainsi, des nitroaromates peuvent être réduits en composés aminés, alors que les anilines sont soumises à des oxydations qui engendrent généralement un grand nombre de produits de réaction. Du point de vue (éco)toxicologique, les oxydo-réductions de tels composés sont souvent problématiques, parce qu'elles peuvent donner naissance à des produits extrêmement toxiques. Par ailleurs, elles ouvrent d'intéressantes perspectives pour les technologies d'assainissement *in situ*, puisque certains produits problématiques sont



Jörg Klausen

immobilisés par de tels procédés ou alors mieux dégradables. Dans tous les cas, des connaissances approfondies sur les importants partenaires rédox naturels et les mécanismes de réaction correspondants sont indispensables pour évaluer de tels processus.

La première partie de la thèse décrit des expériences par lot destinées à étudier la cinétique de réduction des nitrobenzènes monosubstitués par Fe(II) adsorbé dans des suspensions de minéraux courants dans le

sol. Les résultats montrent que Fe(II), qui est adsorbé à des oxydes ou hydroxydes de fer ou à des couches superficielles correspondantes, peut jouer un rôle important lors de la réduction des polluants organiques contenus dans le sous-sol. Les résultats permettent également de

mieux comprendre chaque processus rédox qui intervient lors de l'utilisation technique du fer sous forme élémentaire pour le traitement par réduction des eaux souterraines.

Quant à la seconde partie, elle traite de la cinétique d'oxydation des anilines monosubstituées par MnO_2

dans des réacteurs par lot et dans des réacteurs en continu, notamment en ce qui concerne le comportement à long terme de tels systèmes hétérogènes. Les résultats montrent que MnO_2 peut jouer un rôle déterminant dans l'oxydation des polluants organiques.

Vladimir Krejci et Hans Rudolf Wasmer

Collaboration avec l'Europe de l'Est: Expériences et objectifs

Le changement politique qu'a connu l'Europe de l'Est en 1989 a entre autres eu pour conséquence de faciliter les échanges entre scientifiques «de l'Est» et scientifiques «de l'Ouest», comme par exemple entre l'EAWAG et l'Université technique tchèque de Prague (Ceske Vysoke Ucení Technické Praha, désignée ci-après par UTP). En 1993, l'idée d'une collaboration systématique a été abordée.

La collaboration envisagée avait pour objectif d'instituer, dans le cadre de la Faculté du génie civil de l'UTP, un groupe de travail qui soit à même d'assumer ses tâches universitaires d'enseignement et de recherche dans le domaine de la gestion des eaux en milieu domestique. Ce groupe devrait en outre être reconnu tant au niveau national qu'international.

Cette démarche était motivée par les raisons suivantes:

- intérêt partagé pour la problématique de la gestion des eaux en milieu urbain;
- grand besoin d'investissements aussi bien en République tchèque (investissements à neuf et renouvellement des infrastructures) qu'en Suisse (essentiellement pour le renouvellement des infrastructures);
- nombre limité de spécialistes en gestion des eaux dans les deux pays;
- rôle mondialement reconnu de l'EAWAG dans ce domaine;

- structures d'échange déjà mises en place entre les deux institutions;
- attitude favorable du gouvernement suisse face à l'idée de soutenir la collaboration avec les pays de l'Europe de l'Est.

La collaboration envisagée devrait durer 7 à 9 ans, à compter à partir de 1995.

La Suisse s'est déclarée prête à s'engager pour la rémunération du directeur de projet, les acquisitions de matériel et les frais d'échange entre étudiants et doctorants, soit au total un financement estimé à environ Fr. 850'000.— CHE L'UTP assure quant à elle le salaire des collaborateurs tchèques, met l'infrastructure nécessaire à disposition et couvre également une partie des frais d'exploitation. Des moyens financiers supplémentaires ont été demandés par le ministère de l'environnement pour l'élaboration d'une étude régionale; ces moyens ont été accordés.

Activités universitaires dans le domaine de la gestion des eaux en République tchèque

La gestion des eaux en milieu urbain jouit d'une longue tradition en République tchèque. En 1897 déjà,

Etapes de la collaboration	Année	Contenu
Etude de faisabilité	1994	<ul style="list-style-type: none"> • examen des conditions pour une collaboration à moyen ou à long terme • préparation d'un projet de recherche en gestion des eaux
1 ^{ère} étape	1995-1997	<ul style="list-style-type: none"> • mise sur pied et consolidation du groupe de travail • réalisation du projet (étude régionale) • intégration des étudiants et des doctorants dans les travaux de recherche • transfert des résultats dans l'enseignement • transfert des résultats dans la pratique
2 ^{ème} étape	après 1997	va être défini fin 1997

Tab. 1
Les étapes de la collaboration.

L'UTP a introduit une chaire de génie rural, d'approvisionnement en eau potable et d'évacuation des eaux. Aujourd'hui, cette spécialisation figure au programme d'enseignement de nombreuses institutions. Dans cette branche, le nombre des diplômés se situe autour de quelque 200 par année, dont un tiers environ choisit d'approfondir encore le sujet.

De nombreux diplômés universitaires n'exercent toutefois pas le métier pour lequel ils ont été formés, alors que les emplois vacants ne manquent pas. Les banques et les entreprises informatiques proposent aux jeunes ingénieurs non seulement des salaires plus que confortables, mais aussi des perspectives de développement plus prometteuses. En conséquence, on manque de jeunes spécialistes et surtout de bons spécialistes connaissant bien la gestion des eaux en milieu urbain.

Les universitaires de l'UCP sont essentiellement engagés dans leur enseignement. La consultance et la recherche ne constituent que des activités occasionnelles. Les travaux administratifs constituent également une lourde charge infructueuse, de sorte que le temps manque pour les recherches systématiques. Cette situation procède de la séparation entre recherche et enseignement qui a été pratiquée durant ces cinquante dernières années. La direction de l'UTP s'efforce de soutenir systématiquement la recherche en dépit des difficultés et des résistances. Dans cette optique, elle salue évidemment la collaboration entre les instituts de l'UTP et l'EAWAG.

Soutien de l'UTP par l'EAWAG

La collaboration de l'EAWAG offre entre autres la possibilité aux collègues tchèques de développer leurs activités scientifiques. Grâce à un travail de recherche régional, il est également possible d'offrir des travaux de diplôme et des sujets de thèse. La concentration des activi-

tés de recherche dans une région géographique donnée facilite par ailleurs l'acquisition des données, leur utilisation multiple et favorise la communication entre tous les intéressés. Les aspects globaux et interdisciplinaires jouent ici un rôle primordial. Du point de vue du contenu, la recherche doit mettre l'accent sur les stratégies futures de l'évacuation des eaux, avec un élargissement progressif vers le domaine de l'approvisionnement en eau potable, la protection des lacs et cours d'eau ainsi que celle des eaux souterraines.

Après deux ans de collaboration, le bilan qu'on peut tirer de cette expérience est largement positif. Toutefois, les objectifs de l'EAWAG ne se sont (pour l'heure) pas encore réalisés.

Mise sur pied d'un groupe de travail

Un groupe de travail «Systèmes de gestion des eaux en milieu urbain» a d'ores et déjà vu le jour. Ses débuts ont été très prometteurs. Le sujet a séduit plusieurs jeunes assistants, qui ont également motivé les étudiants. Plusieurs travaux de diplôme et doctorat sont ainsi nés. Simultanément, les échanges se sont multipliés au niveau international. Peu à peu, un groupe «Hydrologie de l'habitat» s'est constitué à l'Institut de gestion des eaux. Bien que sans statut officiel, cette équipe de chercheurs s'est acquis un statut de fait tant interne qu'externe. Jeunes et dynamiques, les membres de ce groupe n'ont pas réussi d'intégrer les collaborateurs plus âgés de l'Institut, ni même de les gagner à la cause de cette équipe. Suite aux tensions internes, plusieurs jeunes ont jeté l'éponge pour répondre aux offres alléchantes de l'industrie privée. Ce groupe existe encore, mais n'est plus rattaché administrativement à l'Institut de gestion des eaux. Les membres de ce groupe ont été mutés dans un autre département de l'UTP. L'EAWAG soutient

de manière très large leurs recherches. Au début de 1997, la direction de l'UTP s'est vu proposer la création d'une unité sous le titre «Laboratory of ecological risks of urban drainage». Cette proposition s'inscrit dans le cadre d'un programme du ministère tchèque de l'éducation visant à soutenir les jeunes universitaires et leurs travaux scientifiques dans les hautes écoles supérieures. Le projet en question se réfère explicitement à la collaboration avec l'EAWAG dont il reprend pratiquement intégralement les objectifs. Cette proposition a été soumise par le Conseil scientifique de l'UTP au Ministère de l'éducation, qui l'a acceptée en mai 1997, assurant ainsi les capacités nécessaires, soit 10 postes pendant 4 ans à partir du 1^{er} janvier 1998.

Transfert des résultats de la recherche dans l'enseignement

Le transfert des connaissances entre recherche et enseignement s'est tout d'abord effectué de manière simple et réussie. Depuis la séparation administrative du groupe de travail «Hydrologie de l'habitat», les échanges avec les étudiants sont devenus plus ardues. Néanmoins, des travaux de diplôme modernes et exigeants continuent d'être proposés dans le cadre de la collaboration avec l'EAWAG.

Transfert des résultats de la recherche dans la pratique

Le transfert des connaissances entre la recherche et la pratique est couronné de succès. Les contributions sont significatives et pourraient même faire date. Citons par exemple le recours à des méthodes de calcul modernes, l'élaboration de plans généraux d'évacuation des eaux, le traitement des eaux usées dans les régions rurales, l'optimisation de la consommation énergétique dans le traitement des eaux usées.

La République tchèque et la gestion des eaux en milieu urbain

Plus de 85% des Tchèques sont raccordés au réseau de distribution d'eau potable. La consommation d'eau moyenne spécifique des ménages a baissé entre 1990 et 1994 (de 174 l/h/jour à 129 l/h/jour) suite à l'augmentation massive du prix de l'eau (de 0,60 Cc/m³ à plus de 10 Cc/m³). De même, la consommation d'eau de l'industrie et de l'agriculture a évolué dans le même sens. Outre la nouvelle politique des prix, il faut considérer la réduction de la production industrielle et une utilisation plus économe des ressources en eau.

Le taux de raccordement à l'épuration des eaux (le plus souvent mécanique/biologique) gravite actuellement autour de 73%. Tant le taux de raccordement que le développement des STEP sont en constante progression, notamment dans le bassin de l'Elbe (surtout sous l'impulsion du projet de collaboration et de recherche tchéco-allemand «Elbe»).

L'état des conduites d'adduction et d'évacuation des eaux ainsi que celui des usines de traitement et des stations d'épuration est déplorable. Les pertes enregistrées durant le transport de l'eau potable ont été d'environ 280 mio m³/an en 1994, soit 29% de la production d'eau potable. Les coûts de renouvellement de ces infrastructures ne pourront être financés à court et à moyen terme ni par l'Etat, ni par les communes. Il faut donc chercher des sources de financement ailleurs, soit auprès des banques, etc.

La collaboration avec les milieux praticiens est très enrichissante pour les jeunes scientifiques. Elle nécessite toutefois beaucoup de temps, ce qui peut nuire au bon déroulement des études universitaires en général et compromettre la qualité du travail en particulier. Les échanges avec les milieux praticiens contribuent néanmoins à la bonne réputation de l'UTP.

Echanges d'étudiants, de doctorants et de post-doctorants

Les échanges de ce genre entre l'EAWAG et l'UTP demeurent encore assez rares.

- Plusieurs étudiants de l'UTP ont effectué un stage à l'EAWAG entre 1995 et 1996, durant lequel ils ont également poursuivi leur travail de diplôme. Ces étudiants ont pu largement profiter de leur séjour, tant sur le plan linguistique que scientifique.

- Jusqu'à présent, aucun doctorant de l'UTP n'a profité de cette possibilité, en dépit des offres renouvelées de la part de l'EAWAG. C'est que le nombre de doctorants à l'UTP est particulièrement petit. De plus, les rares doctorants travaillant à l'Institut de gestion des eaux ne sont visiblement pas prêts à envisager d'écrire une partie de leur thèse à l'étranger. Les motifs ont trait à des questions de famille, d'activité secondaire, de craintes face aux critiques, de difficultés linguistiques et de confort. Les

étudiants pragoïses savent désormais ce qui les attend à l'EAWAG: des exigences scientifiques élevées, un travail intensif, des travaux de recherche essentiellement théorique, tandis que les doctorats de l'UTP sont relativement peu exigeants, rapidement réalisables et essentiellement axés sur la pratique. On ne saurait donc s'étonner de leur manque de motivation à venir en Suisse pour y poursuivre leur thèse.

Qu'avons-nous appris ?

Les leçons que nous pouvons en tirer sont les suivantes:

- On a davantage à préparer soigneusement la collaboration, en toute connaissance de la situation locale.

- La structure de l'EAWAG et son domaine de travail sont inhabituels pour les partenaires des pays européens du centre et de l'est. C'est pourquoi ils ont de la peine à situer l'EAWAG.

- L'élaboration d'un projet concret, par exemple d'une étude de cas, est le meilleur moyen pour connaître le potentiel de l'Institut partenaire et de ses membres.

- La consolidation de la situation politique et économique du pays facilite grandement les projets de collaboration. Les entreprises (privées) constatent peu à peu les déficits en matière de formation professionnelle et de perfectionnement, de sorte qu'elles manifestent de plus en plus leur intérêt pour des études universitaires de haut niveau.

- Il existe aujourd'hui des entreprises privées qui sont à même d'offrir de bons salaires et des perspectives professionnelles alléchantes. Ces entreprises «drainent» toutefois les jeunes cerveaux universitaires, ce qui met en danger la formation de la relève universitaire, et notamment des futurs professeurs.

- Au début de la collaboration, la question des finances semblait être le problème le plus important. Le soutien financier de la recherche est certes insuffisant en République tchèque, mais le problème majeur est autre: c'est l'attitude des enseignants face aux tâches universitaires modernes. L'état des connaissances, l'intérêt pour les nouvelles découvertes, le sens des responsabilités et des risques mesurés, ainsi que l'attitude professionnelle (ne fournir et n'accepter que des travaux de haute qualité) sont des obstacles au moins aussi importants que les finances.

Perspectives

Le contrat pour la première étape de collaboration touche à son terme en 1997. Le projet a été soumis à une appréciation par la Direction de l'EAWAG et les représentants du Conseil des EPF. En outre, des négociations ont eu lieu en janvier 1997 avec les représentants de l'UTP, de l'industrie privée, des instituts de recherche et du monde politique. Nous sommes parvenus aux conclusions provisoires suivantes:

- La collaboration entre l'EAWAG et l'UTP a joué un rôle déterminant sur le développement futur de la gestion des eaux en milieu urbain en République tchèque. Cet impact favorable ne se fait pas seulement sentir dans le cadre universitaire, mais aussi à l'extérieur. D'éminents représentants des milieux politiques, économiques et scientifiques l'ont confirmé.

- La collaboration sera maintenue après 1997. La forme qu'elle prendra ainsi que son organisation seront reformulées au cours de l'année 1997.

Application des méthodes de l'EAWAG pour l'évaluation des systèmes fluviaux

Depuis 1991, l'EAWAG élabore des solutions interdisciplinaires pour l'évaluation des cours d'eau. Un compte rendu a été publié dans le numéro 39 des EAWAG news (1995). Paru en 1994, le «Programme d'évaluation et de développement des ruisseaux et des petits systèmes fluviaux dans le canton de Zurich» contient des méthodes d'évaluation morphologique, biolo-

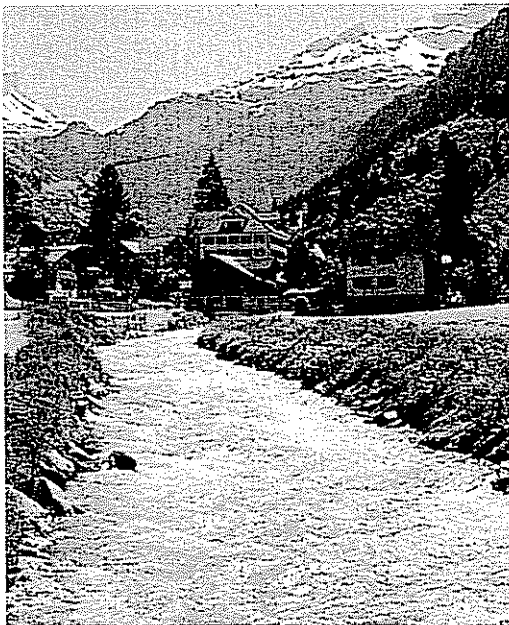
gique et chimique ainsi qu'un guide pour le futur aménagement quasi-naturel des cours d'eau. En 1995, un projet de «Directives concernant l'évaluation des cours d'eau suisses» a été publié avec des méthodes portant sur l'écomorphologie, l'hydrologie et l'ichtyobiologie.

Les méthodes élaborées à l'EAWAG en collaboration avec d'autres groupes scientifiques et représentants de services fédéraux ont été testées à l'EPF Zurich et à l'Université d'Innsbruck dans le cadre de travaux de diplôme. De telles méthodes permettent aussi l'intégration des données d'autres régions géographiques (par exemple Luxembourg) et de grands fleuves (Rhin supérieur). Actuellement, tous les affluents de moyenne et de grande importance de l'Inn dans le Tyrol autrichien sont recensés sur la base de la méthode d'évaluation écomorphologique. Le

Tyrol italien, quant à lui, fait également l'objet d'une cartographie écomorphologique complète réalisée à partir de la méthode de l'EAWAG.

En collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEPF) et l'Office fédéral de l'économie des eaux (OFEE), les méthodes susmentionnées sont désormais développées en vue d'une application générale en Suisse. Il est prévu de publier en 1997 encore le projet d'évaluation globale ainsi que la méthode d'évaluation écomorphologique des systèmes fluviaux.

M. Hütte, U. Bundi



Vorder Schächen, aménagement près de Unterschächen (Uri/CH).

Journées des portes ouvertes à Kastanienbaum

Le Centre de recherches limnologiques à Kastanienbaum a ouvert ses portes le vendredi 13 juin, de 16–20 heures, et le samedi 14 juin, de 9–17 heures.

Trois circuits fléchés avaient été prévus pour familiariser les visiteurs avec la vie secrète des lacs, ce bien précieux qu'est l'eau potable et les habitants des rivières et des cours d'eau.

Theresa Büsser

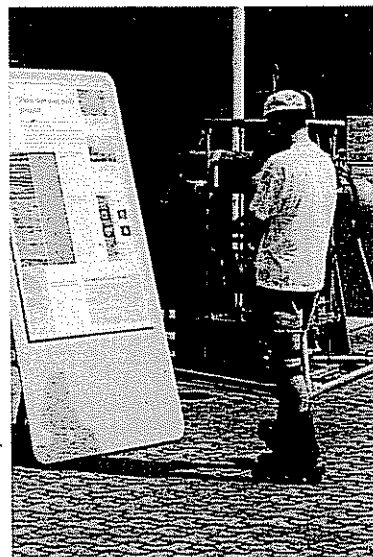
Séminaire au centre de limnologie à Kastanienbaum

Du 16 au 18 septembre 1996, 47 physiciens spécialisés en hydrologie se sont réunis au centre de limnologie de Kastanienbaum. Venu de toute l'Europe (D, H, S, Est, I, E, F et CH), ces experts ont participé à un séminaire consacré aux processus

physiques se déroulant dans les plans d'eau. Les points forts du séminaire étaient les suivants: courants de densité, processus interfaciaux et vagues/mixtion internes.

Ce séminaire a bénéficié du cadre fraîchement rénové du centre limnologique de Kastanienbaum, lequel convient à des réunions allant jusqu'à 50 participants. A la fois tranquille et idyllique, le centre bénéficie d'une situation propice aux échanges entre participants. Et ceux-ci sont loin de s'être plaints!

A. Wüest et D.M. Imboden



Cours d'écotoxicologie «coetox»*

Qui doit veiller à ce que l'eau soit potable en tout temps et en tout lieu? Les eaux usées sont-elles suffisamment épurées dans les STEP? Quelles sont les causes de la mort des poissons ou de la disparition des populations de rapaces? Quel taux de nocivité les sites contaminés et les sols peuvent-ils avoir? Où vont les dizaines de milliers de substances que nous utilisons chaque jour? Quels effets engendrent-elles? Quel en est le taux de nocivité? Comment obtenir des informations sur l'écotoxicité, comment les interpréter et les évaluer? Telles sont les questions qui relèvent de l'écotoxicologie.

Désireux de faire connaître cette science relativement jeune et de favoriser l'échange d'expériences, l'Institut de Génie de l'Environnement de l'EPF Lausanne et les écotoxicologues de l'EAWAG organisent depuis 1994, conjointement à l'OFEPF et à d'autres partenaires issus des milieux économiques, des hautes écoles et de l'administration, des cours sur l'écotoxicologie.

Jusqu'à présent, entre 15 et 30 personnes ont participé aux cours organisés. Les participants se sont déclarés très satisfaits de ces cours. Outre les exercices pratiques et les visites, les participants ont surtout apprécié les échanges d'expériences entre collègues. Représentant pour la plupart les autorités, les bureaux d'ingénieurs et les experts-consultants, les milieux industriels et scientifiques, les participants bénéficiaient d'un bagage en sciences naturelles.

Ces cours ont donné lieu à des échanges qui ont mis en lumière les considérations suivantes:

- La pratique bute contre des problèmes écotoxicologiques concrets. La recherche de solutions pratiques nécessite une collaboration entre les scientifiques et l'administration et une interaction avec des disciplines très diverses, telles que l'écologie, la physiologie, la physique, la chimie, l'analyse de risques, etc.
- L'innocuité d'une substance ne peut être ni démontrée ni garantie. Les problèmes potentiels doivent

être extrapolés à partir d'effets nocifs observés. Ces hypothèses doivent être considérées avec les réserves d'usage. Pour ce faire, il faut disposer de connaissances spécialisées et d'expérience pratique.

• L'écotoxicologie est en plein développement. Les besoins en ce qui concerne la formation continue demeureront donc importants au cours de ces prochaines années. De nouveaux concepts, tels que les rapports bénéfiques/risques et les éco-bilans (Life Cycle Assessment), doivent être mis au point et mis en pratique. Il faudra compter avec des moyens auxiliaires supplémentaires et améliorés, tels que logiciels, banques de données en ligne, systèmes de test.

Cours sur les effets estrogènes et collaboration avec les milieux économiques

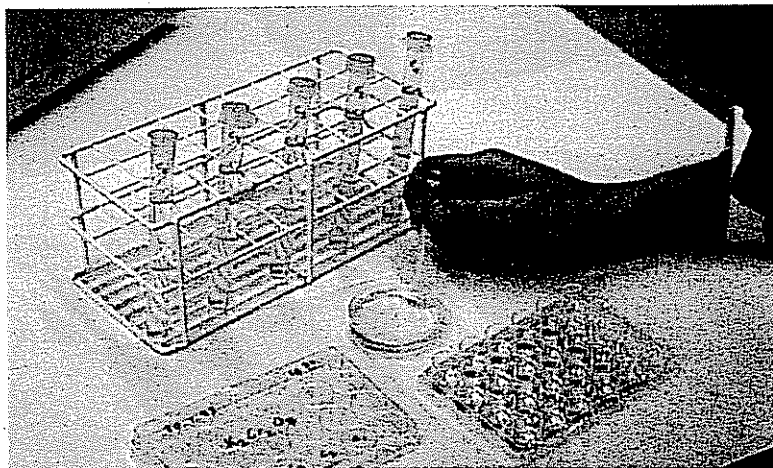
Parmi les cours proposés, nous aimerions apporter ci-après quelques remarques au sujet du cours 8

Cours ayant déjà eu lieu:

1. *Block: Einführung in die Ökotoxikologie (Juni 94)*
- 2^{ème} *Block: Ecotoxicologie expérimentale (septembre 94)*
3. *Block: Schicksal und Wirkung von Chemikalien in künstlichen und natürlichen Ökosystemen (November 94)*
4. *Block: Ökobilanzen und Ökolabels – Eine Einführung in die ökologische Beurteilung von Produkten (August 95)*
- 5^{ème} *Block: Ecotoxicologie des décharges et des sites contaminés (octobre 95)*
6. *Block: Workshop, Ökotoxikologische Risiken und gesellschaftlicher Nutzen – Verantwortlichkeiten und Kompetenzen (wurde mangels TeilnehmerInnen nicht durchgeführt)*
- 7^{ème} *Block: Méthodes immunologiques et biomarqueurs en écotoxicologie (juin 96)*
8. *Block: Umgang mit (öko-)toxischen Spurenstoffen am Beispiel von Nonylphenolethoxylaten (Okt. 96)*
9. *Block: Einführung in die Ökotoxikologie. Theorie und Praxis (9.–11. Sept. 1997)*

«Micropolluants (éco)toxiques: que faire? Le cas des nonylphénoléthoxylates».

Ce cours traitait d'un problème d'actualité: l'effet estrogène de certaines substances chimiques présentes dans l'environnement. Comme plus de la moitié des participants provenaient des milieux industriels, ils étaient au fait de la question. A cause de l'impact hormonal de leurs produits de dégradation (nonylphénols), les nonylphénoléthoxylates sont tombés sous le feu des critiques. La presse s'est notamment intéressée au recul du nombre de spermatozoïdes constaté chez les hommes, ce



Test des algues pour contrôler la toxicité de substances chimiques.

* coetox = collaboration en écotoxicologie, une convention de collaboration entre l'EAWAG et l'Institut de génie de l'environnement de l'EPFL

Moyen d'expression: le poster

qui a provoqué non seulement des controverses scientifiques, mais aussi des réactions politiques. Dans certaines applications, soit les nonylphénoléthoxylates sont déjà interdits, soit ils ont été retirés volontairement; dans d'autres, la décision devrait être prise incessamment. L'intention d'OSPAR (*Oslo and Paris Conventions for the Prevention of Marine Pollution*) d'interdire les nonylphénols a mobilisé les fabricants concernés. Ces derniers ne veulent pas simplement abandonner leurs marchés (d'une valeur estimée à plusieurs centaines de millions de francs), et ce non seulement pour des intérêts économiques, mais aussi parce qu'il n'y a pas de succédanés écologiquement compatibles pour tous les produits. La question de l'évaluation des bénéfices et des risques se pose à nouveau et, une fois de plus, ne peut pas être résolue de manière satisfaisante.

Dans le cadre du cours, les milieux industriels se sont certes montrés intéressés à des produits respectueux de l'environnement, mais ils entendent surtout maintenir leurs parts de marché. De leur côté, les représentants des sciences de l'environnement sont embourbés dans une situation de «manque de preuves» en ce qui concerne l'impact sur l'environnement, c'est-à-dire l'innocuité des substances et leur évaluation. De tels conflits d'intérêt font partie du quotidien et ne peuvent être écartés ou résolus définitivement. Les parties concernées doivent collaborer pour trouver un équilibre entre l'intérêt public (à long terme) et commercial (à court terme). Ce processus est déjà engagé pour les substances estrogènes.

Globalement, la collaboration de l'EPFL et de l'EAWAG s'est révélée positive pour l'organisation des cours et nous avons décidé de poursuivre sur notre lancée: Une introduction à l'écotoxicologie a été réorganisée en 1997.

*Herbert Güttinger (EAWAG)
Joseph Taradellas (IGE/EPFL)*

En novembre de l'année passée, des membres de l'Institut d'écologie expérimentale de l'EPFZ ont pris l'initiative d'organiser un congrès pour les doctorants en écologie terrestre. Plusieurs ateliers étaient prévus dans ce cadre. L'un d'eux s'intitulait «Powerful Posters».

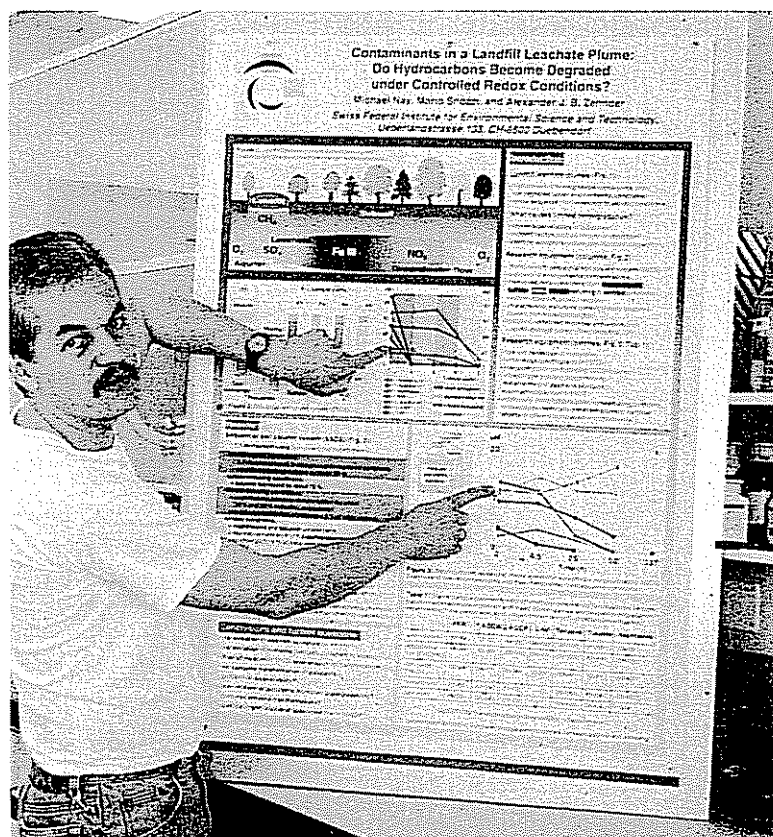
Durant cet atelier, les 15 participants ont établi une liste des caractéristiques pertinentes pour une présentation efficace par poster. Une fois le congrès terminé, ces caractéristiques ont été publiées sur la page WWW du Centre de didactique de l'EPFZ (<http://www.diz.ethz.ch/DiZ/>).

A peine l'atelier susmentionné était-il terminé que la première annonce de succès parvenait par E-mail! Un participant à l'atelier de novembre, Michael Nay (doctorant à l'EAWAG), venait de présenter à St-Gall, à l'occasion du congrès annuel de la Société suisse de microbiologie, ses tous derniers résultats de recherche sous forme de poster (*Contaminants in a Landfill Leachate*

Plume: do hydrocarbons become degraded under controlled redox conditions? M. Nay, M. Snozzi, A.J.B. Zehnder). Ses efforts de présentation ont rapidement été récompensés par les quelque 50 participants, qui lui ont décerné le prix du meilleur poster! Le jury a surtout apprécié la codification chromatique qui permet une parfaite mise en parallèle de la situation sur le terrain et de sa transposition en expérience de laboratoire. Cette clarté graphique rend superflue toute adjonction de texte, car les principaux liens sont présentés sous forme abrégée par des flèches, ce qui facilite la lecture et permet de loger davantage d'information sur un espace limité et ce, avec une police de caractères bien lisible.

Il va de soi que l'auteur ou l'autrice n'est pas seulement responsable de la présentation, mais que la qualité du contenu lui incombe elle aussi entièrement.

*Pamela Alean-Kirkpatrick
Centre de didactique de l'EPFZ*



Publications

- 2139 **Mengis, M., Gächter, R., Wehrli, B.:** Nitrous oxide emissions to the atmosphere from an artificially oxygenated lake. *Limnol. Oceanogr.* 41, 548–553 (1996).
- 2140 **Aeschbach-Hertig, W., Kipfer, R., Hofer, M., Imboden, D.M.:** Density-driven exchange between the basins of Lake Lucerne (Switzerland) traced with the ^3H - ^3He method. *Limnol. Oceanogr.* 41, 707–721 (1996).
- 2141 **Naegeli, M.W., Huggenberger, P., Uehlinger, U.:** Ground penetrating radar for assessing sediment structures in the hyporheic zone of a prealpine river. *J. North. Amer. Benthol. Soc.* 15, 353–366 (1996).
- 2142 **Krejci, V.:** Integrated approach to the point-non point-pollution abatement in urban drainage. *Water Sci. Tech.* 33, No. 4–5, 9–15 (1996).
- 2143 **Purtschert, I., Siegrist, H., Gujer, W.:** Enhanced denitrification with methanol at WWTP Zürich Werdhölzli. *Water Sci. Tech.* 33, No. 12, 117–126 (1996).
- 2144 **Wild, D., Kisliakova, A., Siegrist, H.:** P-Fixation by Mg, Ca and zeolite A during stabilization of excess sludge from enhanced biological P-removal. *Water Sci. Tech.* 33, No. 1–2, 391–398 (1996).
- 2145 **Siegrist, H.:** Nitrogen removal from digester supernatant – comparison of chemical and biological methods. *Water Sci. Tech.* 33, No. 1–2, 399–406 (1996).
- 2146 **Fent, K.:** Organotin compounds in municipal wastewater and sewage sludge: contamination, fate in treatment process and ecotoxicological consequences. *The Sci. of the Total Environment* 185, 151–159 (1996).
- 2147 **Fent, K., Hunn, J.:** Cytotoxicity of organic environmental chemicals to fish liver cells (PLHC-1). *Marine Environ. Res.* 42, 377–382 (1996).
- 2148 **Sigg, L., Kistler, D., Ulrich, M.M.:** Seasonal variations of zinc in a eutrophic lake. *Aquatic Geochem.* 1, 313–328 (1996).
- 2149 **Tockner, K.:** Colonization experiments for biomonitoring riparian communities of a large regulated river, the Danube (Austria). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 113, Large Rivers 10, 433–442 (1996).
- 2150 **Stumm, W.:** Surface chemical theory and predicting the distribution of contaminants in the aquatic environment. 11th Ches-
ter C. Kiesel memorial lecture, University of Arizona, Dept of Hydrology and Water Resources, Tucson, April 15, 1992.
- 2151 **Guthruf, J.:** Populationsdynamik und Habitatwahl der Äsche (*Thymallus thymallus* L.) in drei verschiedenen Gewässern des schweizerischen Mittellandes. Diss. ETHZ Nr. 11'720, Zürich 1996.
- 2152 **Matthäi, C.D.:** Disturbance and invertebrate patch dynamics in a prealpine river. Diss. ETHZ No. 11'765, Zürich 1996.
- 2153 **Gammeter, S.:** Einfüsse der Siedlungsentwässerung auf die Invertebraten-Zönose kleiner Fließgewässer. Diss. ETHZ Nr. 11'673, Zürich 1996.
- 2154 **Lemcke, G.:** Paläoklimarekonstruktion am Van See (Ostanatolien, Türkei). Siss. ETHZ Nr. 11'786, Zürich 1996.
- 2155 **Knauer, K.:** Interactions of trace metals (Cu, Zn and Mn) with freshwater phytoplankton. Diss. ETHZ. No. 11'802, Zürich 1996.
- 2156 **Jans, U.:** Radikalbildung aus Ozon in atmosphärischen Wassern – Einfluss von Licht, gelösten Stoffen und Russpartikeln. Diss. ETHZ. Nr. 11'814, Zürich 1996.
- 2157 **Holiencin, A.:** Nitritumsatz in nitrifizierenden Belebungsanlagen. Diss. ETHZ Nr. 11'875, Zürich 1996.
- 2158 **Diekmann, A., Jaeger, C.C.:** Aufgaben und Perspektiven der Umweltsoziologie. In: «Umweltsoziologie», A. Diekmann, C.C. Jaeger (Hrsg.). Westdeutscher Verlag GmbH, Oplanden 1996, S. 11–27.
- 2159 **Jaeger, C.C.:** Humanökologie und der blinde Fleck der Wissenschaft. In: «Umweltsoziologie», A. Diekmann, C.C. Jaeger (Hrsg.). Westdeutscher Verlag GmbH, Oplanden 1996, S. 164–190.
- 2160 **Huggenberger, P.:** Prozesse im Grundwasser und ihre Modellierung; geologische Ansätze zur Bestimmung der Heterogenität des Untergrundes – geologisch-hydraulische Charakteristika. In: «Instabile Hänge und andere risikorelevante Prozesse», Monte Verità. Birkhäuser Verlag, Basel 1996, S. 307–320.
- 2161 **Tockner, K., Bretschko, G.:** Spatial distribution of particulate organic matter (POM) and benthic invertebrates in a river-floodplain transect (Danube, Austria): importance of hydrological connectivity. *Arch. Hydrobiol.* 115, Large Rivers 11, 1, 11–27 Dez. 1996.
- 2162 **Wanner, O.:** Modelling of Biofilms. *Biofouling* 10(1–3), 31–41 (1996).
- 2163 **Fent, K.:** Permanent fish cell cultures as novel tools in environmental toxicology. *3R-Info-Bull.* Nr. 9, 1, 1996.
- 2164 **Johnson, C.A., Kersten, M., Ziegler, F., Moor, H.C.:** Leaching behaviour and solubility – controlling solid phases of heavy metals in municipal solid waste incinerator ash. *Waste Management* 16, No. 1–3, 129–134 (1996).
- 2165 **Rijnaarts, H.H.M., Norde, W., Brouwer, E.J., Lyklema, J., Zehnder, A.J.B.:** Bacterial deposition in porous media related to clean bed collision efficiency and to substratum blocking by attached cells. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 2869–2876 (1996).
- 2166 **Rijnaarts, H.H.M., Norde, W., Brouwer, E.J., Lyklema, J., Zehnder, A.J.B.:** Bacterial deposition in porous media: effects of cell-coating, substratum hydrophobicity, and electrolyte concentration. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 2877–2883 (1996).
- 2167 **Moor, H.C., Schaller, T., Sturm, M.:** recent changes in stable lead isotope ratios in sediments of Lake Zug, Switzerland. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 2928–2933 (1996).
- 2168 **Escher, B.I., Snozzi, M., Schwarzenbach, R.P.:** Uptake, speciation, and uncoupling activity of substituted phenols in energy transducing membranes. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 3071–3079 (1996).
- 2169 **Perlinger, J.A., Angst, W., Schwarzenbach, R.P.:** Kinetics of the reduction of hexachloroethane by juglone in solutions containing hydrogen sulfide. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 3408–3417 (1996).
- 2170 **Uehlinger, U., Bühner, H., Reichert, P.:** Periphyton dynamics in a flood-prone prealpine river: evaluation of significant processes by modelling. *Freshwater Biol.* 36, 249–263 (1996).
- 2171 **Frutiger, A.:** Embryogenesis of *Dinocras cephalotes*, *Perla grandis* and *P. marginata* (Plecoptera: Perlidae) in different temperature regimes. *Freshwater Biol.* 36, 497–508 (1996).
- 2172 **Krebs, P.:** Numerische Modellierung der Prozesse in Nachklärbecken. VSA-Verb.

- Ber. Nr. 511, 201. Mitgl. Verslg., Zürich 12.11.1996, S. 12–24.
- 2173 **Voelz, N.J., Ward, J.V.:** Microdistributions, food resources and feeding habits of filter-feeding trichoptera in the Upper Colorado River. *Arch. Hydrobiol.* 137, 3, 325–248 (1996).
- 2174 **Tros, M.E., Bosma, T.N.P., Schraa, G., Zehnder, A.J.B.:** Measurement of minimum substrate concentrations (S_{min}) in a recycling fermentor and its prediction from the kinetic parameters of *Pseudomonas* sp. strain B13 from batch and chemostat cultures. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 3655–3661 (1996).
- 2175 **Knobel, H.-R., Egli, T., Van der Meer, J.R.:** Cloning and characterization of the genes encoding nitrilotriacetate mono-oxygenase of *Chelatobacter heintzii* ATCC 29600. *J. Bacteriol.* 178, 6123–6132 (1996).
- 2176 **Stanford, J.A., Ward, J.V., Liss, W.J., Frissell, C.A., Williams, R.N., Lichatowich, J.A., Coutant, C.C.:** A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Res. & Management* 12, 391–413 (1996).
- 2177 **Wüest, A., Piepke, G., Halfman, J.D.:** Combined effects of dissolved solids and temperature on the density stratification of Lake Malawi. In: «The limnology, climatology and paleoclimatology of the East African lakes», T.C. Johnson, E.O. Odada (Eds.). Gordon & Breach, Toronto 1996, pp.183–202.
- 2178 **Atkinson, R., Baulch, D.L., Cox, R.A., Hampson jr., R.F., Kerr, J.A., Rossi, M.J., Troe, J.:** Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry: Supplement V. *Atmospheric Environ.* 30, 3903–3904 (1996).
- 2179 **Krebs, P., Stamou, A.I., Garcia-Heras, J.L., Rodi, W.:** Influence of inlet and outlet configuration on the flow in secondary clarifiers. *Water Sci. Tech.* 34, No. 5–6, 1–9 (1996).
- 2180 **Larsen, T.A., Gujer, W.:** Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Sci. Tech.* 34, No. 3–4, 87–94 (1996).
- 2181 **Baumer, P., Volkart, P., Krebs, P.:** Dynamical loading tests for final settling tanks. *Water Sci. Tech.* 34, No. 3–4, 267–274 (1996).
- 2182 **Eggleston, C.M., Ehrhardt, J.-J., Stumm, W.:** Surface structural controls on pyrite oxidation kinetics: an XPS-UPS, STM, and modeling study. *Amer. Mineralogist* 81, 1036–1056 (1996).
- 2183 **Fankhauser, R.:** Measurement properties of tipping bucket rain gauges and their influence on urban runoff simulation. 7th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Hannover 1996. SuG Verlagsges. Hannover 1996, pp. 109–114.
- 2184 **Krebs, P., Krejci, V., Fankhauser, R., Siegrist, H.:** Reducing the overall impact on a small receiving water. 7th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Hannover 1996. SuG Verlagsges. Hannover 1996, pp. 365–370.
- 2185 **Casey, W.H., Ludwig, C.:** Silicate mineral dissolution as a ligand-exchange reaction. In: «Chemical weathering rates of silicate minerals», A.F. White, S.L. Brantley (Eds.). *Reviews in Mineralogy* Vol. 31 (1995), pp. 87–117.
- 2186 **Furrer, G., Lothenbach, B., Schärli, H., Ludwig, C.:** Interactions between polynuclear aluminium compounds and heavy metal ions. *J. Ecol. Chem.* 3, No. 3, 303–312 (special issue) (1994).
- 2187 **Ludwig, C., Devidal, J.-L., Casey, W.H.:** The effect of different functional groups on the ligand-promoted dissolution of NiO and other oxide minerals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, No. 2, 213–224 (1996).
- 2188 **Ludwig, C., Casey, W.H., Rock, P.A.:** Prediction of ligand-promoted dissolution rates from the reactivities of aqueous complexes. *Nature* 375, 44–47, 4 May 1995.
- 2189 **Casey, W.C., Ludwig, C.:** The mechanism of dissolution of oxide minerals. *Nature* 381, 506–509, 6 June 1996.
- 2190 **Ludwig, C., Schindler, P.W.:** Surface complexation on TiO₂. I. Adsorption of H⁺ and Cu²⁺ ions onto TiO₂ (anatase). *J. Colloid & Interface Sci.* 169, 284–290 (1995).
- 2191 **Ludwig, C., Schindler, P.W.:** Surface complexation on TiO₂. II. Ternary surface complexes: coadsorption of Cu(II) and organic ligands (2,2'-bipyridyl, 8-aminoquinoline, and *o*-Phenylenediamine) onto TiO₂ (anatase). *J. Colloid & Interface Sci.* 169, 291–299 (1995).
- 2192 **Ludwig, C., Casey, W.H.:** On the mechanism of dissolution of bunsenite [NiO(s)] and other simple oxide minerals. *J. Colloid & Interface Sci.* 178, 176–185 (1996).
- 2193 **Gasser, U.G., Dahlgren, R.A., Ludwig, C., Läuchli, A.E.:** Release kinetics of surface-associated Mn and Ni in serpentine soils: pH effects. *Soil Sci.* 160, No. 4, 273–280 (1995).
- 2194 **Hug, S.J., Laubscher, H.U., James, B.R.:** Iron(III) catalyzed photochemical reduction of chromium(VI) by oxalate and citrate in aqueous solutions. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 160–170 (1997).
- 2195 **Weissmahr, K.W., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P., Hany, R., Nüesch, R.:** *In situ* spectroscopic investigations of adsorption mechanisms of nitroaromatic compounds at clay minerals. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 240–247 (1997).
- 2196 **Seefeld, S., Kinnison, D.J., Kerr, J.A.:** Relative rate study of the reactions of acetylperoxy radicals with NO and NO₂; peroxyacetyl nitrate formation under laboratory conditions related to the troposphere. *The J. of Phys. Chem.* 101, 55–59 (1997).
- 2197 **Kerr, J.A., Stocker, D.W., Semadeni, M., Eberhard, J., Müller, C.:** The rates and mechanisms for VOC photo-oxidation reactions under simulated tropospheric conditions. In: «Transport and chemical transformation of pollutants in the troposphere», Vol. 3, «Chemical processes in atmospheric oxidation», G. Le Bras (Ed.). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1997, pp.128–134.
- 2198 **Fent, K.:** Organotins in municipal wastewater and sewage sludge. In: «Organotin», M.A. Champ, P.F. Seligman (Eds.), Chapman & Hall, London 1996, pp. 581–600.
- 2199 **Brüschweiler, B.J., Würigler, F.E., Fent, K.:** Inhibitory effects of heavy metals on cytochrome P4501A induction in permanent fish hepatoma cells. *Arch. Environ. Toxicol.* 31, 475–482 (1996).
- 2200 **Koch, G., Siegrist, H., Gujer, W.:** Denitrifikation mit Methanol in der Flockungsfiltration. *Gas, Wasser, Abwasser* 76, 859–866 (1996).
- 2201 **Bosma, T.N.P., Middeldorp, P.J.M., Schraa, G., Zehnder, A.J.B.:** Mass transfer limitation of biotransformation; quantifying bioavailability. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 248–252 (1997).

- 2202 **Glod, G., Angst, W., Holliger, C., Schwarzenbach, R.P.:** Corrinoid-mediated reduction of tetrachloroethene, trichloroethene, and trichlorofluoroethene in homogeneous aqueous solution: reaction kinetics and reaction mechanisms. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 253-260 (1997).
- 2203 **Furrer, G., Von Gunten, U., Zobrist, J.:** Steady-state modelling of biogeochemical processes in columns with aquifer material. 1. Speciation and mass balances. *Chem. Geol.* 133, 15-28 (1996).
- 2204 **Zipper, C., Nickel, K., Angst, W., Kohler, H.-P.E.:** Complete microbial degradation of both enantiomers of the chiral herbicide mecoprop [(RS)-2-(4-Chloro-2-Methylphenoxy)propionic acid] in an enantioselective manner by *Sphingomonas herbidivorus* sp. nov. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 4318-4322 (1996).
- 2205 **Leveau, J.H.J., Van der Meer, J.R.:** The *tfdR* gene product can successfully take over the role of the insertion element-inactivated TfdT protein as a transcriptional activator of the *tfdCDEF* gene cluster, which encodes chlorocatechol degradation in *Ralstonia eutropha* JMP134(pJP4). *J. Bacteriol.* 178, 6824-6832 (1996).
- 2206 **Mikkelsen, P.S., Häfliger, M., Ochs, M., Tjell, J.C., Jacobsen, P., Boiler, M.:** Experimental assessment of soil and groundwater contamination from two old infiltration systems for road run-off in Switzerland. *The Sci. of the Total Environment* 189/190, 341-347 (1996).
- 2207 **Binder, C.R.:** The early recognition of environmental impacts of human activities in developing countries. Diss. ETHZ No. 11'748, Zürich 1996.
- 2208 **Langenhoff, A.A.M., Brouwers-Ceiler, D.L., Engelberting, J.H.L., Quist, J.J., Wolkenfelt, J.G.P.N., Zehnder, A.J.B., Schraa, G.:** Microbial reduction of manganese coupled to toluene oxidation. *FEMS Microbial Ecology* 22, 119-127 (1997).
- 2209 **Brunner, I., Luster, J., Ochs, M., Blaser, P.:** Phytotoxic effects of the high molecular weight fraction of an aqueous leaf litter extract on barley root development. *Plant and Soil* 178, 83-93 (1996).
- 2210 **Ochs, M.:** Influence of humified and non-humified natural organic compounds on mineral dissolution. *Chem. Geol.* 132, 119-124 (1996).
- 2211 **Goudsmit, G.-H., Reichert, P., Wüest, A.:** Modelling of physical and bio-geochemical properties in lakes using AQUASIM. *Hydroinformatics '96, Proc. 2nd Internat. Conf. on Hydroinformatics, Zürich 9-13. Sept. 1996, A. Müller (Ed.) Balkema, Rotterdam 1996, pp.779-786. ISBN 90-5410-852-5.*
- 2212 **Bloesch, J.:** Towards a new generation of sediment traps and a better measurement/understanding of settling particle flux in lakes and oceans: a hydrodynamical protocol. *Aquatic Sci.* 58/4, 283-296 (1996).
- 2213 **Kovářová, Karin:** Growth kinetics of *Escherichia coli*: Effect of temperature, mixed substrate utilization, and adaptation to carbon-limited growth. Diss. ETHZ No. 11'727, [Zürich 1996].
- 2214 **Schaller, T.L.:** Redox-sensitive metals in recent lake sediments. Proxy-indicators of deep-water oxygen and climate conditions. Diss. ETHZ No. 11'901, Zürich 1996.
- 2215 **Mengis, M.:** Nitrogen elimination in lakes by N₂ and N₂O emission. Diss. ETHZ No. 11'927, Lucerne 1996.
- 2216 **Kramer, J.B.:** Photodegradation of fluorescent whitening agents on sunlit natural waters. Diss. ETHZ No. 11'934, [Zürich] 1996.
- 2217 **Naegeli, M.W.:** Sediment structure, organic matter storage, and metabolism in the hyporheic zone of a prealpine gravel bed river. Diss. ETHZ No. 11'987, Zürich 1997.
- 2218 **Glod, G.:** Cobalamin-mediated reductive dehalogenation of chlorinated ethenes. Diss. ETHZ No. 12'053, Kastanienbaum 1997.
- 2219 **Maurer Max:** Erhöhte biologische Phosphorelimination. Diss. ETH Nr. 11920, Zürich 1996.

BULLETIN DE COMMANDE

43 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