

2 Doctorats: un capital d'avenir

Heinrich Eisenmann

3 Gestion des ressources à l'exemple du logement

Susanne Kytzia et Peter Baccini

6 Le lac Baïkal – Recherche fondamentale: noyau de la responsabilité écologique?

Rolf Kipfer

10 Les cours d'eau suisses: hier et aujourd'hui

Rudolf Koblet

13 C'est la dose d'énergie qui fait le poison

Giulio P. Genoni

16 Microsubstrats synthétiques: la relève du béton – Solution de rechange à l'agrandissement des STEP

Max Maurer

18 Bioélimination améliorée des phosphates dans les eaux usées

Rolf Hesselmann

21 Bientôt des crocodiles dans le lac des Quatre-Cantons?

Sybille Borner et Heinz Stalder

24 Formation continue

24 Stratégie pour l'environnement du domaine des EPF

25 PEAK: 5 ans déjà

26 PEAK programme 1998/99

27 Une institution performante a besoin de collaboratrices et de collaborateurs qualifiés

26 Communications internes

12 Prix Greinacher 1998 à J. Beer

17 De l'EAWAG à l'EPFL: H. Harms et C. Holliger

23 Prix Otto Jaag 1997 à B. Baumann

28 Heidi Bolliger vous salue!

28 Werner Stumm à l'honneur

29 Publications (2273–2376) et livres 1997

Doctorats: un capital d'avenir

Les travaux de doctorat constituent l'essentiel du travail scientifique effectué à l'EAWAG: nous contribuons largement à tous les projets ou presque, ce qui explique les nombreux articles signés par l'un ou l'autre d'entre nous dans le présent numéro. Nos travaux couvrent une large palette de sujets, de l'élimination des polluants chimiques aux paramètres sociaux de l'auto-partage, en passant par la paléoclimatologie ou le comblement des lacs.

EAWAG news
Organe d'information de l'EAWAG

Editeur

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

Rédaction

Diana Hornung, EAWAG

Traduction

Henri Chappuis, Neuchâtel

Révision

Hubert Joly, Paris

Copyright

La reproduction d'articles ou d'extraits est autorisée à condition de mentionner expressément la source: «EAWAG news 45F 1998».

Parution

Deux fois par année en français, anglais et allemand

Crédits photographiques

Sauf indication contraire: Diana Hornung ou inconnu

Graphisme

Peter Nadler, 8700 Küsnacht

Impression

sur papier recyclé 100%

Abonnements et changements d'adresse

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

ISSN 1420-3928

Page de couverture

Le lac Baïkal occupe une grande fosse continentale d'âge cénozoïque, puisqu'elle s'est formée voici 30 millions d'années, sous l'influence de l'orogénèse himalayenne. Entouré de sommets enneigés culminant vers 3000 mètres d'altitude, ce lac se distingue par ses berges en pente rapide, allant jusqu'à une profondeur maximale de plus de 1600 m (voir l'exposé de Rolf Kipfer).

Situé au cœur de la Sibérie, le lac Baïkal est régulièrement recouvert de glace de la fin du mois de décembre au mois de mai (voir couverture). Les dates d'embâcle et de débâcle ont été répertoriées depuis le début du 19^{ème} siècle. Des recherches récentes, effectuées par la Division de physique environnementale de l'EAWAG (David M. Livingstone), révèlent que les glaces ont tendance à se former de manière toujours plus tardive. Quant au dégel, il est en étroite corrélation avec la circulation des masses d'air au-dessus de l'Atlantique nord (indice OAN) et évolue par conséquent en fonction des conditions météorologiques régnant dans l'hémisphère nord.

Nous nous enrichissons en permanence au niveau scientifique, technique et sociologique. Le quotidien des laboratoires est fait d'expériences élaborées parfois jusque tard dans la nuit, pour n'obtenir souvent que des résultats décevants. C'est un dur labeur que celui d'appliquer les acquis des sciences naturelles et environnementales pour essayer de les multiplier – rien moins que cela.

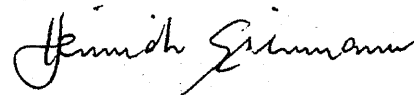
Nos travaux fascinent par leur diversité, mais sont tous portés par la même interrogation: comment utiliser les ressources naturelles sans engendrer d'impact environnemental à long terme, et ce, tout en améliorant la qualité de la vie? Cette équation paraît quasi impossible à résoudre. Mais on peut, du moins partiellement, se rapprocher d'une solution en acquérant des connaissances claires et non corrompues sur la nature ainsi que sur les améliorations technologiques et sociales qui lui sont apportées. Nous avons le privilège de poursuivre cet objectif à l'EAWAG, qui nous met à disposition une infrastructure remarquable. Par-delà l'organisation, il y a aussi le facteur humain: nous remercions toutes les collaboratrices et collaborateurs de l'EAWAG, du personnel technique à la direction, toujours accueillante, sans oublier les chargés de cours et les contribuables.

Le doctorat fascine, certes, mais il comporte également quelques zones d'ombre qu'on ne saurait occulter. Outre le fait que les doctorants sont sous-payés pendant de longues années, leurs perspectives professionnelles sont

souvent bien incertaines. Les doctorantes et doctorants sont une main-d'oeuvre bon marché, hautement motivée, soumise à un haut degré de productivité. Ce mode d'exploitation intensive laisse sourdre une insatisfaction croissante parmi les intéressés, ce qui nuit certainement aux performances. En outre, les titulaires de doctorat à la recherche d'un emploi sont devenus légion. Chère lectrice, cher lecteur, faites connaître nos projets dans votre cadre quotidien: vous encouragerez ainsi un travail scientifique essentiel pour l'avenir.

La remise des doctorats est une fête qui ne termine pas seulement un processus de maturation. C'est aussi le moment où nous nous tournons résolument vers l'avenir pour faire fructifier le capital dont nous avons hérité.

Bonne chance!



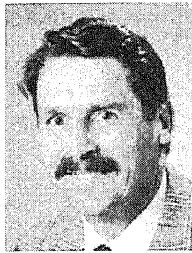
Pour les doctorantes et doctorants
de l'EAWAG
Heinrich Eisenmann

Susanne Kytzia et Peter Baccini

Gestion des ressources à l'exemple du logement



Susanne Kytzia



Peter Baccini

Les visions du développement durable ne peuvent être transformées en stratégies concrétisables que si le comportement des systèmes anthropiques est mieux connu. Or, la théorie économique peut apporter beaucoup à la recherche interdisciplinaire. Il s'agit de décrire simultanément les processus physiologiques et économiques à partir de l'analyse des flux de matières.

Le point de départ: les activités humaines

La méthode retenue (analyse des flux de matières selon [1, 2]) part de l'hypothèse que les besoins humains se subdivisent en quatre catégories, indépendamment de la culture et du niveau de vie: se nourrir, nettoyer, transporter et communiquer, habiter et travailler.

En Europe centrale, le *logement* détermine largement l'utilisation actuelle des ressources, puisqu'il absorbe un tiers de la consommation annuelle d'énergie [3] et un tiers du bilan des biens [4]. Dans les régions à forte densité de population, comme le Plateau suisse par exemple (fig. 1), 40% de l'espace construit sont réservés au logement [5]. Le bilan des matières présenté en fig. 2 montre que les flux les plus importants sont absorbés par le système *logement*, dont voici les caractéristiques principales [2]:

- Les logements constituent le plus important stock de matières des ménages privés. Sur le Plateau suisse, les logements constituent un stock de 100 tonnes de matériaux par habitant, soit environ 98% des biens stockés par les ménages privés.
- Le parc immobilier connaît une croissance et un renouvellement très lents.

Le stock de matériaux investis dans les logements croît annuellement de 1%. La rénovation, le renouvellement et la démolition contribuent à raison d'un pour cent supplémentaire au renouvellement de ce stock. La durée moyenne de stockage des matériaux est donc théoriquement de 100 ans.

- Les logements absorbent une part prépondérante de la consommation d'énergie. L'énergie nécessaire à l'exploitation des immeubles (énergie de chauffage, etc.)

est 10 fois plus importante que l'énergie nécessaire à leur construction.

Quels sont les acteurs déterminants pour le bilan des matières?

L'exploitation des immeubles et leur construction sont les deux facteurs déterminants dans le système *logement*. L'analyse économique se focalisera donc sur les acteurs qui gèrent ces processus: les propriétaires du parc immobilier d'une part, et les utilisateurs de l'espace construit d'autre part. [6].

Des bilans de matières aux «flux financiers»

Il s'agit maintenant d'intégrer dans le modèle les flux et les stocks financiers

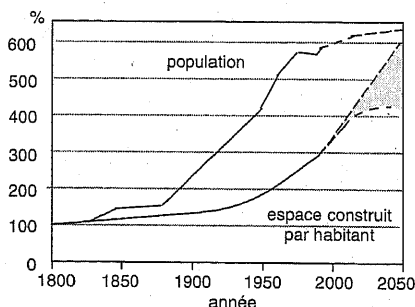


Fig. 1
L'espace habitable moyen par habitant croît plus rapidement que la population.
En pointillé: évolution démographique supposée pour deux scénarios radicalement opposés quant à l'utilisation de l'espace habitable.

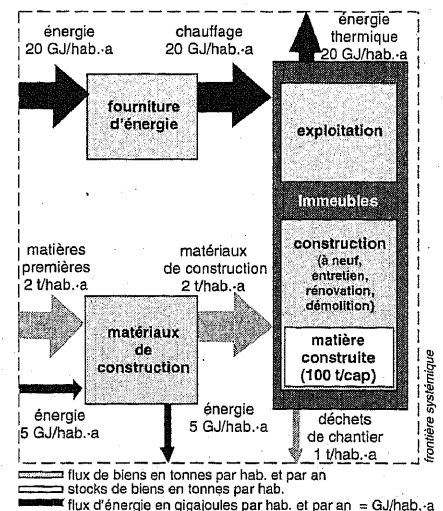


Fig. 2
Analyse des flux de biens et d'énergie pour le système «logement», à l'exemple de la ville d'Olten (année de référence 1990), en détail dans [8].

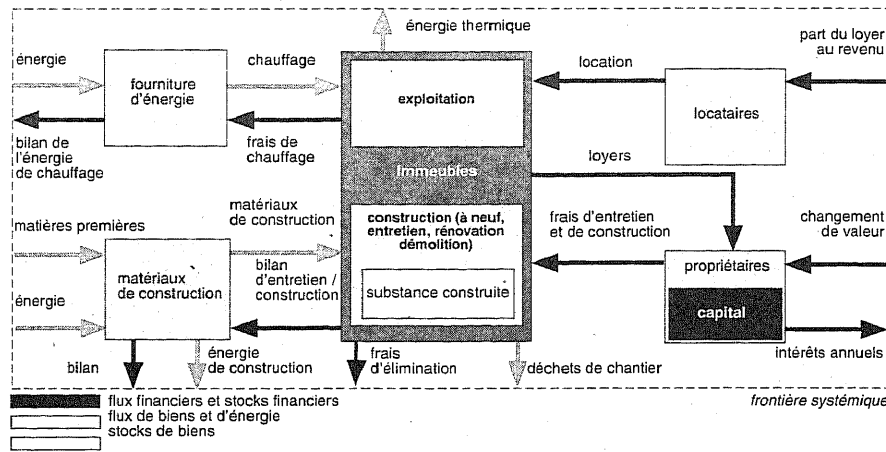


Fig. 3
 Elargissement de l'analyse systémique – Flux financiers liés aux biens et à l'énergie: frais de chauffage, d'entretien et de construction ainsi que d'élimination des déchets.
 Flux financiers immatériels: location, rendement locatif, part des locations au revenu, modification de la valeur et intérêts annuels.

(voir fig. 3), en commençant par les flux financiers directement liés aux flux de biens et d'énergie, à savoir les paiements entre acheteurs et vendeurs pour la fourniture de biens ou d'énergie.

Dans un deuxième temps, il s'agit d'estimer la valeur économique des stocks de biens et de matières. Les calculs se fondent sur la valeur marchande de ces stocks, qui dépend de leur fonction et de la valeur de revente escomptée. Celle-ci comprend la valeur du terrain occupé par le stockage des matières et la valeur de la matière stockée.

Enfin, il s'agit d'intégrer les flux financiers sans lien direct avec les flux de biens et d'énergie, en distinguant entre variation de la valeur et valeur ajoutée. Dans

le système *logement* par exemple, la valeur du capital investi dans la construction évolue en fonction du vieillissement des immeubles et de la rarefaction croissante du terrain à bâtir par rapport à l'accroissement quantitatif d'autres biens. Dans l'immobilier, la valeur ajoutée provient de la location de l'espace construit contre un loyer tenant compte de l'intérêt escompté par les propriétaires pour le capital investi.

Phénoménologie économique du logement

Les flux financiers ont été estimés sur la base des données fournies par le recensement de la population et des bâtiments

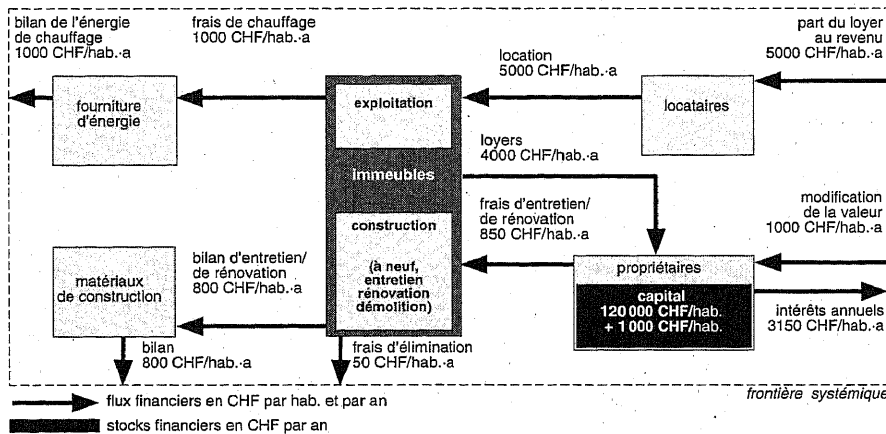


Fig. 4
 Bilan des flux financiers pour le système «logement», à l'exemple de la ville d'Olten (année de référence: 1990), compte tenu de l'hypothèse que le taux de constructions nouvelles est nul, en détail dans [8].

en 1990, des indices de référence fournis par la littérature consacrée à ce sujet ainsi que des statistiques réalisées par les auteurs pour la ville d'Olten (fig. 4). En voici les résultats:

- *Les logements constituent un capital économique significatif.*

Les logements de la ville d'Olten représentent un capital d'environ 120 000 CHF par habitant, dont un tiers pour la valeur du terrain construit et deux tiers pour la valeur des immeubles.

- *Les frais financiers sont supérieurs aux frais d'entretien et de construction.*

Bien que les loyers servent pour moitié à couvrir les frais financiers des investisseurs, ceux-ci ne réalisent qu'un rendement annuel moyen d'environ 3%.

- *Les frais d'énergie sont essentiellement supportés par les locataires.*

Les *immeubles* jouent un rôle déterminant au niveau du bilan énergétique. Les frais de chauffage constituent près de 50% des coûts non financiers des immeubles.

A l'aide d'hypothèses complémentaires, il est possible d'évaluer les effets des interventions possibles.

Exemple: augmentation des prix de l'énergie

Comment réagit le système *logement* à l'augmentation incitative du prix de l'énergie pour favoriser les économies d'énergie? L'analyse comprend les cinq hypothèses suivantes [7, 8]:

- L'augmentation des frais de chauffage est supportée par les locataires.
- En adaptant leur comportement, les locataires peuvent économiser jusqu'à 30% maximum de l'énergie consommée par mètre carré.
- La demande en logements s'adapte seulement dans un laps de temps de deux ans à cause des coûts élevés d'adaptation (frais de recherche, etc.).
- Les économies d'énergie sont de l'ordre de 60% par mètre carré en cas de rénovation, et de 85% en cas de remplacement.
- L'augmentation du nombre de logements vides freine les investissements immobiliers.

L'augmentation des prix de l'énergie aura les effets suivants:

La mesure d'incitation se répercute principalement sur les locataires par le biais des frais de chauffage.

La marge de manoeuvre des locataires est limitée à court terme.

La lenteur du système freine donc l'efficacité de l'augmentation incitative du prix de l'énergie.

Il faudra attendre le moyen terme pour que la demande en logements économes en énergie augmente. Étant donné le faible taux de rénovation et de remplacement, le parc immobilier n'évolue que lentement. Les locataires doivent se concentrer sur des logements plus petits, ce qui augmente le taux de logements vides. Cette évolution freine à son tour les investissements dans le secteur du logement, de sorte que le processus d'adaptation est encore une fois ralenti.

Une telle mesure d'incitation doit donc être accompagnée de mesures accélérant la réaction du système. La politique du logement et l'aménagement du territoire permettent d'intervenir dans ce sens.

Exemple de la transformation des immeubles

Comment réagit le système en cas de transformation accélérée des immeubles, et quelles en sont les conséquences pour les propriétaires et les locataires? Il convient ici de comparer un scénario plausible de transformation des immeubles durant ces cinquante prochaines années à un scénario de référence basé sur le statu quo (voir tab. 1), compte tenu des hypothèses suivantes [7, 8]:

Parc immobilier	Statu quo (en% des stocks de matières de l'année précédente)	Transformation
Nouvelles constructions	1.0	—
Rénovation	0.3	0.3
Renouvellement	0.5	1.4
Entretien	1.0	1.0

Tab. 1
Hypothèses concernant l'évolution du parc immobilier suisse pour les scénarios «statu quo» (référentiel) et «transformation».

- La valeur des immeubles et la consommation d'énergie de chauffage dépendent des taux de rénovation, de remplacement, d'entretien et de nouvelle construction.
- La valeur du parc immobilier croît annuellement de 2%.
- Le nombre d'habitants et le niveau des locations demeurent stables.
- Toutes les autres variables du système (flux de biens, d'énergie et d'argent) dépendent linéairement des taux de modifications du parc immobilier.

Les calculs effectués pour ce scénario aboutissent à l'évaluation suivante [8]:

A long terme, il est économiquement aussi intéressant pour les propriétaires que pour les locataires de favoriser rapidement le scénario «transformation» au lieu du scénario «construction à neuf».

La croissance constante esquissée dans le scénario de référence entraîne une augmentation des frais d'entretien, des frais financiers et des frais de chauffage. Si on admet une croissance «zéro» dans le scénario «transformation», cette augmentation est stoppée (fig. 5). Les moyens financiers ainsi libérés peuvent servir à la transformation des immeubles déjà construits.

Elaboration d'un modèle économique-écologique

À l'exemple du système *logement*, on voit que l'intégration des données économiques dans la systémique des flux de biens et d'énergie permet d'observer le fonctionnement des systèmes anthropiques. En économie, les analyses portent souvent sur des marchés particuliers. Ici en revanche, la réflexion systémique proposée intègre différents acteurs ainsi que les interactions entre leurs modèles de comportement. Cette réflexion vient donc compléter l'analyse des flux de matières, car elle permet d'évaluer le comportement des acteurs en tenant compte de facteurs qui ne sont pas directement liés aux flux de matières et d'énergie, comme par exemple les frais financiers. Le modèle proposé ici utilise le même «langage» (c'est-à-dire l'analyse des flux de matières), fondé sur une

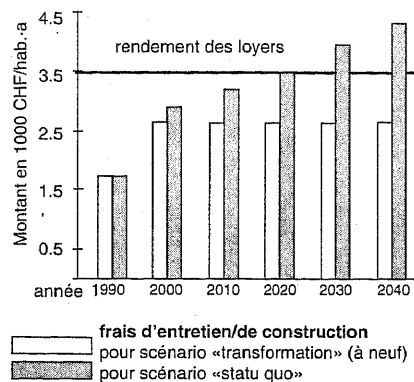


Fig. 5
Effets des scénarios «statu quo» et «transformation» sur le rendement locatif, les frais d'entretien et les coûts de construction [6, 8].

analyse tant quantitative que qualitative, pour décrire les systèmes anthropiques.

Le développement de cette méthode en est encore à ses débuts. Il s'agira par la suite d'intégrer les phénomènes économiques en rapport avec les catégories nettoyer, transporter et communiquer, se nourrir et travailler. L'analyse des aspects économiques du bilan régional des biens est à la base de toute modélisation économique-écologique plus poussée.

- [1] Baccini P., Brunner H.-P. (1991): *Metabolism of the Anthroposphere*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1991.
- [2] Baccini P., Bader H.-P. (1996): *Regionaler Stoffhaushalt*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford 1996.
- [3] Schweizerische Gesamtenergiestatistik, Sonderdruck aus Bulletin SEV/VSE, Nr. 16.
- [4] BUND/MISEREOR (Hrsg.) (1996): *Zukunftsfähiges Deutschland*. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie, Basel.
- [5] Friedrich S., Kytzia S., Fischer C., Oswald F., Baccini P. (April 1997): *Umbau des Wohnens - Werkstattbericht aus einem transdisziplinären Forschungsprojekt*. in: *Dokumente und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung (DISP)*, S. 23-29.
- [6] Kytzia S. (1998): *Wie kann man Stoffhaushaltssysteme mit ökonomischen Daten verknüpfen? Erster Ansatz am Beispiel der Wohngebäude*. in: *Lichtensteiger T., Baccini P. (Hrsg.), Ressourcen im Bau* (Publikation im Druck).
- [7] Redle M., Baccini P. (1997): *Metabolische Modelle für den Umbau urbaner Siedlungen am Beispiel der Wohngebäude* (Publikation im Druck).
- [8] Kytzia S. (1997): *Systemanalyse, Datenerfassung und Szenariorechnungen zum Modell Wohnen in Olten*. Anhang zum 2. Zwischenbericht des Projektes Synoikos. EAWAG (unveröffentlicht).

Rolf Kipfer, Roland Hohmann, Frank Peeters,
Michael Sturm et Dieter M. Imboden

Le lac Baïkal

Recherche fondamentale: noyau de la responsabilité écologique?

Pourquoi aller sur le lac Baïkal, à plus de 7000 km d'ici? L'EAWAG et l'EPFZ voient dans leur engagement pour la physique environnementale bien plus qu'un prétexte d'exotisme et l'envie de voyager: c'est une question de responsabilité et de courage. De responsabilité d'abord, parce qu'il s'agit de préserver un écosystème protégé par l'UNESCO. De courage ensuite, parce qu'il s'agit de transmettre le savoir là où il est utile, dans des conditions loin d'être toujours faciles.

L'importance du lac Baïkal

Le lac Baïkal est le *plus grand* lac du monde. Cette simple constatation cache des dimensions vraiment impressionnantes

(fig. 1). Situé en bordure de la Sibérie orientale, par 51° N/104° E et 56° N/110° E, il couvre, sur une distance de 700 km, une superficie égale aux 2/3 de la Suisse. Il contient 23 000 km³ d'eau, soit plus de 20% des réserves d'eau douce de la planète, et plus que le volume des grands lacs américains réunis.

Le lac Baïkal n'est pas seulement le plus grand lac de la planète, mais aussi le *plus profond*, puisqu'il dépasse 1600 m de profondeur. Il est aussi le *plus ancien* plan d'eau douce du monde, puisque son âge dépasse les 20 millions d'années. A l'instar des grands lacs d'Afrique orientale, le lac Baïkal occupe une fosse tectonique apparue suite à un effondrement géologique étroitement lié à la création d'un rift continental le long de grandes zones d'instabilité tectonique.

Du point de vue topographique, le lac Baïkal se subdivise en trois bassins séparés par des seuils bien marqués (profondeur <300 m): le bassin septentrional (920 m), le bassin central (1630 m) et le bassin méridional (1430 m). Cette configuration géologique a conduit à l'individualisation des trois bassins, qui peuvent être considérés de ce fait comme des entités limnologiques largement indépendantes.

L'origine tectonique du lac Baïkal explique l'âge extraordinairement ancien. Les couches sédimentaires qui recouvrent le fond du lac atteignent plus de 7 km d'épaisseur et constituent à ce titre des archives environnementales de premier ordre, documentant l'évolution du climat en Asie centrale depuis le début du miocène.

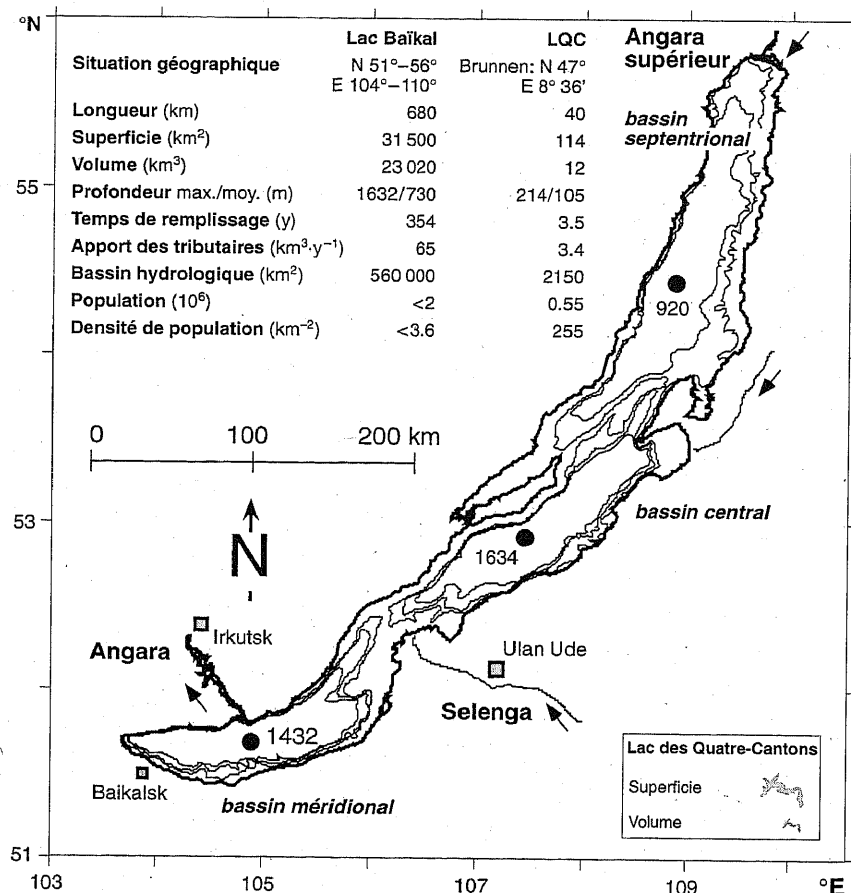


Fig. 1

Le lac Baïkal, le plus grand écosystème limnologique du monde, compte plus de 2500 espèces endémiques. Par rapport au lac des Quatre-Cantons (exemple typique de lac alpin du Plateau suisse), le lac Baïkal est 280 fois plus grand en surface et 1920 fois plus grand en volume. Ces données mettent en évidence l'importance globale de ce lac, qui constitue la plus grande réserve d'eau douce à la surface de la planète.

En russe, le lac Baïkal est surnommé avec beaucoup d'à-propos «perle de Sibérie». En effet, sa longue histoire a permis le développement d'une flore et d'une faune uniques au monde. A l'heure actuelle, il compte plus de 2500 espèces endémiques, c'est-à-dire d'espèces n'existant nulle part ailleurs. C'est donc *l'écosystème limnologique le plus riche en biodiversité*.

Contrairement à ce qu'a pu prétendre la presse, le lac Baïkal se trouve aujourd'hui encore dans un état encore largement naturel, l'impact direct des activités humaines étant très limité. La population occupant son bassin hydrologique est inférieure à deux millions d'habitants, dont seulement près d'un quart sont établis directement sur les bords du lac. La densité de population avoisine celle des régions désertiques (<3,5 personnes/km²). L'eau du lac est par conséquent d'excellente qualité et peut être bue sans subir aucun traitement.

Certes, des fabriques de cellulose rejettent des eaux industrielles non épurées dans le bassin méridionale. Toutefois, cette pollution locale «directe» ne joue pas de rôle par rapport à la grandeur du lac.

En revanche, les signes de modifications diffuses se multiplient dans le lac: ainsi, par exemple, les concentrations de substances nutritives semblent augmenter. Il s'agit là certes d'évolutions sinueuses, mais elles touchent le lac dans son ensemble et peuvent potentiellement avoir un impact écologique considérable, à la différence des pollutions locales.

Le lac Baïkal est un écosystème limnologique d'importance mondiale et a été reconnu comme tel par l'UNESCO, qui l'a porté sur la «*Liste du patrimoine mondial*». Il est ainsi placé sous la protection de la communauté internationale.

La Suisse et le BICER (Baikal International Center of Ecological Research)

Le centre de recherche *BICER* tente de concrétiser cette responsabilité au niveau international et apporte son soutien aux mesures à grande échelle visant à protéger le lac Baïkal. Michail Grachev, directeur de l'Institut limnologique d'Irkoutsk et

directeur actuel du BICER, constatant l'évolution de la situation en 1988, a pris l'initiative de fonder un *Centre de recherche international* sous le nom de BICER.

Grâce à la collaboration scientifique de ses partenaires étrangers, le BICER est pratiquement le seul institut limnologique à Irkoutsk à pouvoir maintenir une recherche de haut niveau sur le lac Baïkal. Conscient du caractère unique du lac Baïkal, le BICER en assume la responsabilité écologique, nonobstant la rupture sociale et politique qu'a connu la Russie.

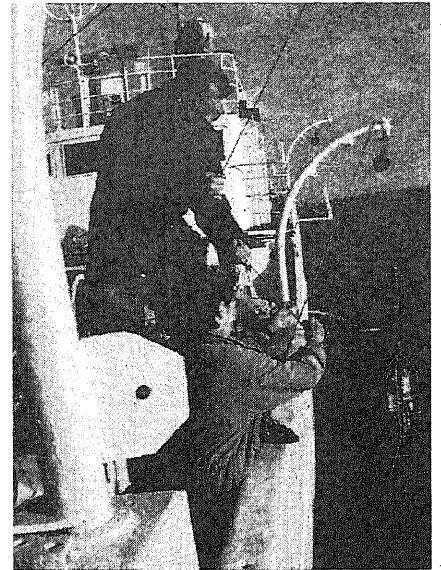
A la demande du BICER, la Suisse a adhéré en 1992 en tant que sixième et dernier membre jusqu'à nouvel avis. Elle y est représentée par l'EPFZ et par la Division de physique environnementale de l'EAWAG. L'EAWAG est ainsi en mesure de contribuer à l'étude du lac Baïkal en transmettant son savoir-faire limnologique et son expérience interdisciplinaire dans l'étude systémique des lacs.

Recherches suisses au lac Baïkal

Jusqu'à présent, la recherche suisse s'est focalisée sur les échanges et la circulation de l'eau et des matières dans le lac Baïkal. La *formation des eaux profondes et la sédimentation récente* ont été les sujets de recherche prioritaires.

Du point de vue scientifique, l'engagement helvétique s'est révélé un grand succès. Pour la première fois, on a pu décrire les phénomènes de mixtion grâce auxquels les eaux profondes sont renouvelées par les eaux provenant de l'épilimnion, à raison de 10 pour cent par année (fig. 2) [1, 2, 3]. Assez important, ce renouvellement des eaux profondes a pour conséquence que le lac Baïkal est presque saturé en oxygène jusque dans ses plus grandes profondeurs (fig. 2), une situation qui est loin d'être le cas pour de nombreux lacs suisses, en dépit de toutes les mesures prises à cet égard.

Comme les lacs suisses, le lac Baïkal fait partie des lacs dits «froids», c'est-à-dire dont l'hypolimnion reste à une température avoisinant les 4 °C, soit la température à laquelle l'eau douce atteint sa plus grande densité à la pression atmosphérique ($T[\rho_{\max}]$). Dans ce type de lacs,



Rolf Kipfer (à g.) lors d'une expédition sur le lac Baïkal (hiver 1995).

la densité de la colonne d'eau n'est pas seulement définie par le profil thermique de celle-ci, mais aussi par sa teneur en ions dissous. Dans le lac Baïkal, la teneur en ions dissous se situe aux environs de 100 mg par litre. Pour un lac dont les eaux se renouvellent relativement bien, comme le lac Baïkal, cette constatation ne manque pas d'étonner. Mais elle s'explique: du fait des faibles variations thermiques de l'hypolimnion ($\Delta T < 0,3$ °C), les variations de densité ($\Delta\rho$) demeurent minimes parce que le gradient $\Delta\rho/\Delta T$ disparaît vers 4 °C. Dans ces conditions, l'accumulation des ions augmente la densité à un point tel que l'élévation des températures ne suffit pas à contrebalancer l'augmentation de la densité. La répartition de la densité le long de la colonne d'eau est donc aussi – pour ne pas dire davantage – déterminée par les gradients ioniques plutôt que par les conditions thermiques. Dans le cas du lac Baïkal, le calcul de la densité de l'eau se complique dans la mesure où $T(\rho_{\max})$ est une fonction de la pression hydrostatique et qu'elle baisse fortement lorsque la profondeur augmente [4].

Nos analyses montrent que *les ions dissous jouent un rôle capital dans le renouvellement de l'hypolimnion* du lac Baïkal. Les variations des concentrations ioniques se distribuent sur une colonne d'eau de plus de 1000 m et sont de l'ordre de 0,5 mg/kg, ce qui est extraordinairement peu (fig. 2). Pourtant, ces variations sont responsables de la circulation de

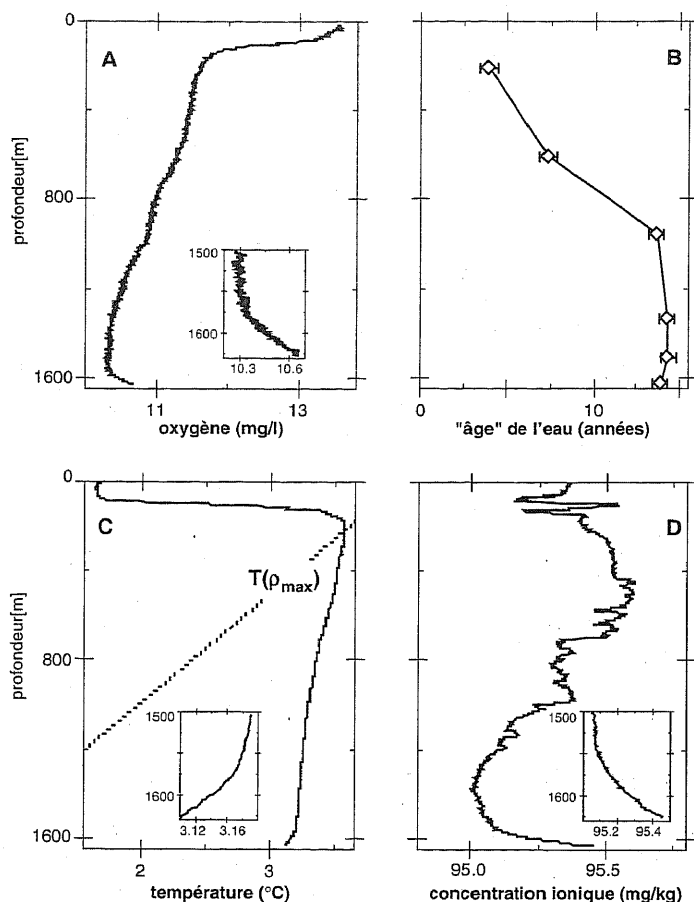


Fig. 2
Renouvellement de l'hypolimnion

A: Le lac Baïkal se distingue par des teneurs en oxygène supérieures à 80% du taux de saturation à la surface (A). Encadré: immédiatement au-dessus du fond du lac, la concentration d'oxygène ($[O_2]$) augmente comme dans les océans, à la différence des lacs suisses.

B: L'âge de l'eau indique le temps écoulé depuis la dernière fois que l'eau a échangé des gaz avec l'atmosphère. L'âge de l'eau décroît à l'approche des grands fonds. La haute teneur en oxygène et l'âge réduit des eaux se trouvant au fond du lac démontrent que celles-ci sont remplacées par des courants latéraux provenant de l'épilimnion (O_2 en saturation, âge évanescant des eaux).

C/D: Tout processus de renouvellement des eaux profondes laisse des traces au niveau de la répartition des températures et des concentrations ioniques le long de la colonne d'eau. Les eaux se trouvant au fond de la bassin centrale du lac sont d'âge jeune et saturées en oxygène; elles sont plus froides (C) et contiennent plus de particules et de ions (D) que les couches d'eau supérieures.

On trouve de l'eau avec des caractéristiques analogues dans un canyon sous-marin, situé tout près de l'endroit où la Selenga quitte son delta pour se mélanger aux eaux du lac. Au printemps, cette eau mélangée est plus froide, plus riche en ions et en particules que l'eau du lac. Elle a une densité nettement plus grande et s'écoule par le fond, en suivant la topographie du canyon. Elle atteint ainsi les plus grandes profondeurs de la bassin centrale.

l'épilimnion jusqu'à une profondeur de 400 m. En-dessous de 400 m, la mixtion des eaux est essentiellement contrôlée par les gradients de température (fig. 2, 3) [4, 5, 6].

Les données enregistrées montrent également que les tributaires du lac Baïkal introduisent dans son hypolimnion probablement plus d'ions que celui-ci n'en évacue par son émissaire. Bien que ces variations soient minimales, il se pourrait que la lente augmentation de la teneur ionique perturbe sensiblement la formation de l'hypolimnion et, partant, le bilan de l'oxygène. Cette évolution modifierait la dynamique de mixtion

dans le lac et pourrait ainsi compromettre l'équilibre de l'écosystème dans son ensemble (tab. 1).

Bien que l'état actuel du lac Baïkal soit globalement excellent, on peut aujourd'hui déjà mettre en évidence des signes de changements subreptices. Depuis quelques années, une espèce de diatomée caractéristique des cours d'eau eutrophes s'étend depuis les deltas et pénètre lentement dans les hautes eaux. L'irruption de ces algues dans le lac semble constituer un indice permettant de conclure à l'augmentation des nutriments localement disponibles. Cette augmentation des concentrations trophiques et l'équilibre

supposé des sels présents dans le lac Baïkal peuvent être considérés comme l'expression de l'impact toujours plus grand de la présence humaine dans la région du lac Baïkal. L'urbanisation croissante vient s'ajouter à l'utilisation agricole des cours d'eau pour accentuer l'érosion des sols dans le bassin hydrologique du lac Baïkal. Ces phénomènes influencent négativement le bilan des nutriments et des sels minéraux du lac Baïkal. Etant donné que l'eau du lac Baïkal se renouvelle tous les 350 ans seulement, de telles perturbations sont difficiles à percevoir en tant que telles et restent longtemps dans l'écosystème. Si, à l'instar des sociétés huma-

Renouvellement de l'hypolimnion	Effets dus à la température	Concentration ionique
Tributaires	-	+
Activité hydrothermique	+	+
Stratification thermohaline	+, -	+
Echange entre bassins	-	0, -
Total	«nul?»	+

Tab. 1

Le tableau ci-contre répertorie les processus qui contribuent au renouvellement de l'hypolimnion ainsi que leurs effets sur les variations thermiques et ioniques. Certains processus réchauffent les eaux profondes, d'autres ont un effet refroidissant. Ces effets se compensent donc et ne modifient pas la moyenne énergétique du lac. Cette constatation correspond aux séries de mesures démontrant que la température des eaux profondes demeure constante à long terme.

En revanche, tous les processus de mixtion connus semblent enrichir l'hypolimnion en ions, ce qui accroît la minéralisation du lac. Il y a lieu de supposer que des processus de mixtion amenant de l'eau jeune dans les profondeurs ou d'autres «puisards ioniques» sont encore inconnus jusqu'ici. Ou bien la concentration ionique augmente lentement, mais de manière constante. Si la deuxième interprétation est juste, la dynamique mixtionnelle du lac pourrait se modifier, étant donné que la répartition des concentrations ioniques détermine pour une large part les échanges d'eau dans le lac Baïkal.

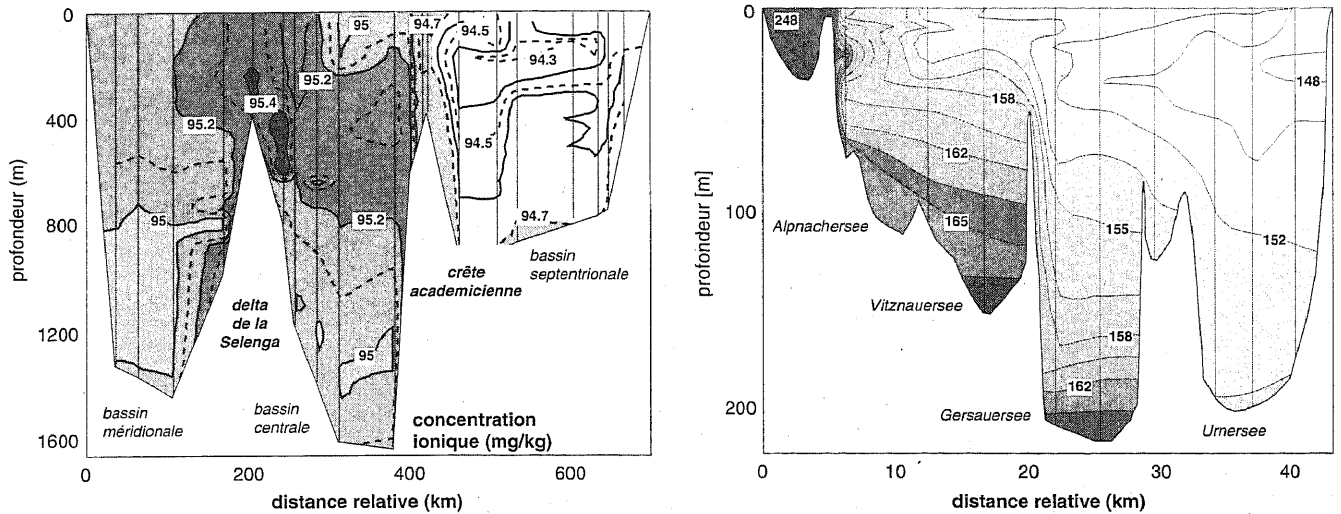


Fig. 3

Dans le lac Baïkal (g.) comme dans le lac des Quatre-Cantons (d.), la densité de l'eau évolue non seulement en fonction de la température (T), mais aussi en fonction des concentrations ioniques (S). En outre, les gradients ρ , T et S ne se forment pas seulement verticalement, mais aussi horizontalement. Ces gradients favorisent la formation des eaux profondes et contribuent à la mise en place d'une circulation thermohaline.

Les différences de concentrations ioniques entre les différents bassins du lac des Quatre-Cantons sont maintenues par les différences de teneur en sels dans les tributaires (Alpnacher Aa [bassin hydrologique calcaire, hautement minéralisé, lac d'Alpnach] et Reuss [bassin hydrologique cristallin, teneur en ions réduite, lac d'Urnen]). Le principal tributaire du lac

Baïkal, la Selenga, se déverse dans le bassin central et se distingue par une minéralisation d'environ 50% supérieure à celle du lac. L'Angara supérieur, le deuxième tributaire le plus important, s'écoule dans le bassin septentrionale. L'eau du bassin central est par conséquent le plus minéralisé des eaux du lac Baïkal.

Les gradients des teneurs en sels sont d'un ordre de grandeur très différent selon le lac considéré. Bien que le lac Baïkal soit 10 fois plus profond et 20 fois plus long que le lac des Quatre-Cantons, les différences de concentrations ioniques sont environ 200 fois plus petites. En conséquence, les gradients ioniques déterminants dans le lac Baïkal sont 3 à 4 fois plus petits que dans les lacs suisses.

nes, on prend une échelle temporelle de quelques années, il faut considérer tout changement écologique comme étant irréversible...

Afin de quantifier les modifications subtiles du lac Baïkal pour pouvoir ensuite procéder à l'analyse critique de leurs effets potentiels, le BICER a décidé d'orienter à l'avenir ses recherches vers le bassin hydrologique, le lac Baïkal comptant plus de 330 tributaires. Ces travaux permettront d'analyser dans le détail l'influence des différents apports sur la dynamique interne du lac. Dans un premier temps, il s'agit d'analyser avec une très grande précision les charges ioniques et nutritives fournies par les 3 tributaires majeurs afin de pouvoir établir des bilans globaux pour l'écosystème du lac Baïkal.

Perspectives de recherche au lac Baïkal

Les projets de nature «purement» scientifique continuent d'avoir de bonnes chances de recevoir le soutien des organes tant nationaux qu'internationaux. Toutefois, les fonds ainsi obtenus ne peuvent servir à financer l'infrastructure nécessaire à la

recherche – embarcations, autres moyens de transport et appareils d'analyse. Les crédits sont accordés par principe pour la recherche, et non pour le maintien de l'infrastructure russe. Durant ces six dernières années, l'infrastructure absolument nécessaire à la recherche a pu être maintenue en état de fonctionnement grâce aux ressources financières du BICER. Mais ces ressources sont près de tarir, de sorte que l'entretien de l'infrastructure russe devient de plus en plus ardu. Cette perte de substance structurelle risque de porter un coup dur aux recherches sur le lac Baïkal, voire de les rendre impossibles.

Il est donc nécessaire de trouver de nouveaux moyens financiers et de nouvelles solutions pour parvenir à sauvegarder les instituts de recherche sur le lac Baïkal. Cette nouvelle forme d'encouragement devrait moins s'orienter d'après les objectifs de recherche que d'après les lacunes infrastructurelles qui règnent sur place.

Le savoir et l'esprit critique sont à la base de la responsabilisation. L'EA Wag, l'EPFZ et, partant, la Suisse se sont donné pour objectif de sauvegarder, par leurs

travaux de recherche, l'intégrité du lac Baïkal dans l'état naturel qui est le sien aujourd'hui, afin que la richesse unique de la faune et de la flore soit préservée pour les générations futures. Cet objectif est d'autant plus urgent qu'il y a lieu de craindre que la pression anthropique sur les écosystèmes encore intacts de la Russie augmente à l'avenir.

- [1] F. Peeters, R. Kipfer, R. Hohmann, M. Hofer, D.M. Imboden, G.G. Kodenev and T. Khozder (1997): Modelling transport rates in Lake Baikal: gas exchange and deep water renewal, *Env. Sci. Technol.* 31, 2973–2982.
- [2] R. Hohmann, M. Hofer, R. Kipfer, F. Peeters and D.M. Imboden (1997): Distribution of helium and tritium in Lake Baikal, *J. Geophys. Res.* 42, 841–855.
- [3] R. Hohmann (3. August 1994): Dem Tiefenwasser des Baikalsees auf der Spur, *Neue Zürcher Zeitung* 48.
- [4] F. Peeters, G. Piepke, R. Kipfer, R. Hohmann and D.M. Imboden (1996): Description of stability and neutrally buoyant transport in freshwater lakes, *Limnol. Oceanogr.* 41, 1711–1724.
- [5] R. Hohmann, Deep-Water Renewal in Lake Baikal, ETH Zürich, Diss. ETH Nr. 12 029, 1997.
- [6] R. Hohmann, R. Kipfer, F. Peeters, G. Piepke, D.M. Imboden and M.N. Shimaraev (1997): Processes of deep water renewal in Lake Baikal, *Limnol. Oceanogr.* 42, 841–855.

Les cours d'eau suisses: hier et aujourd'hui



Rudolf Koblet

Notre réseau hydrologique nous est certes familier, mais il résulte d'une longue évolution. Voici des siècles que l'être humain utilise tout à la fois les cours d'eau et qu'il tente de se protéger contre leur puissance dévastatrice. Les modifications intervenues ces derniers siècles offrent un intérêt particulier dans la mesure où elles déterminent avant tout la physionomie actuelle de notre espace vital.

Les anciennes cartes ou les peintures des siècles passés donnent de notre pays une image inhabituelle: le paysage semble ouvert et vide. Entre les agglomérations, petites et densément groupées, il n'y a que forêts et champs. En outre, il n'y a pratiquement pas un seul cours d'eau qui soit rectiligne. Les rivières suivent leurs méandres, se dédoublent, ont des bras tantôt actifs, tantôt isolés temporairement comme des lacs. Aujourd'hui, nos cours d'eau ont été corrigés, rectifiés, endigués, et les agglomérations se sont agrandies (fig. 1).

Rares sont les méandres et les cours d'eau à ramifications qui aient survécu en Suisse. On citera par exemple le Rhône

supérieur entre le glacier du Rhône et Gletsch, le Rhin supérieur près de Rhäzüns ou le Rhin antérieur dans la Ruinaulta, près de Flims.

Mais il existe d'autres cours d'eau ayant seulement l'apparence d'un état naturel. La Maggia en est un exemple patent. Entre Cevio et Giumaglio s'étend sur plusieurs kilomètres une zone caillouteuse quasi-désertique sillonnée par des bras de rivière, une zone que les Tessinois appellent «Fiumara». Vers 1850, la coupe rase d'une forêt au-dessus de Campo et le flottage consécutif des troncs dans la Rovana, un affluent de la Maggia, ont réactivé un ancienne zone d'éboulement préhistorique. Depuis, le village de Campo glisse vers l'aval. Ces cent dernières années, l'église s'est déplacée de tout juste 30 m horizontalement, et de 6 m verticalement (fig. 2).

Le charriage de la Rovana est également devenu plus important: il n'y a plus qu'à attendre la prochaine crue! Il est possible que le glissement de Campo soit une des causes de l'état quasi-désertique de la Maggia en aval de l'embouchure de la Rovana. Les nombreuses coupes rases effectuées dans la région de la Maggia supérieure et le flottage consécutif du bois ont également contribué à la situation actuelle.

Pourquoi avoir détruit les méandres?

Un cours d'eau qui traverse une plaine ne s'écoule pratiquement jamais en ligne droite, mais crée des méandres plus ou moins amples et réguliers. Ces méandres changent constamment de forme (fig. 3).

La pente des méandres et des cours d'eau ramifiés est beaucoup moins grande

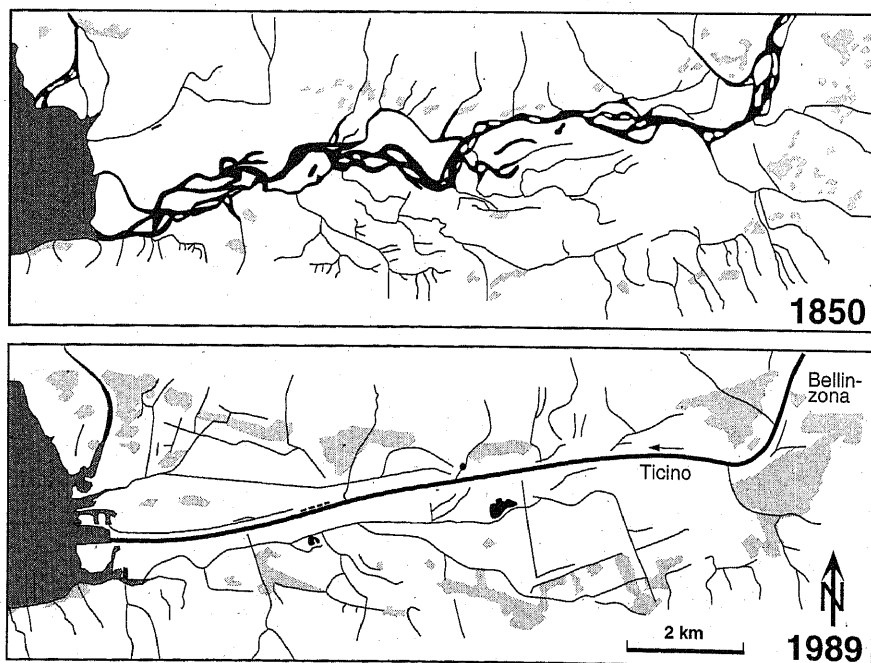


Fig. 1
Cours du Tessin dans la plaine de Magadino en 1850 et en 1989 (à g. le Lac Majeur). Les surfaces hachurées correspondent aux zones urbaines. Elles s'étendent toujours plus en direction du cours d'eau [4, 6].

que dans le cas d'une rectification théorique. Cette différence n'intervient pas tant que seule l'eau coule. Mais lorsqu'un cours d'eau en crue se met à charrier pierres et boue en provenance des montagnes, ces matériaux s'accumulent là où la perte est la moins grande. L'eau s'accumule, la plaine devient marécageuse et l'eau se fraie un nouveau passage. Dans les zones habitées, ce processus conduit à la catastrophe, un scénario qui se répète à quelques années de distance.

Autrefois, les gens restaient à distance des cours d'eau et ne colonisaient que les flancs des vallées, sachant bien qu'un cours d'eau est un compagnon imprévisible. Les voies de communication évitaient aussi de suivre le fond des vallées. A la fin du Moyen Âge, le nombre des habitants s'est fortement accru. Par opposition à aujourd'hui, il y avait encore beaucoup d'espace libre. Vers 1500, la population qui vivait sur le territoire actuel de notre pays était 10 fois moins nombreuse qu'aujourd'hui [2]. Malgré tout, le pays était surpeuplé et il a fallu trouver de nouvelles terres agricoles pour pouvoir nourrir toute la population. On s'est donc aventuré sur le terrain des cours d'eau, d'abord avec hésitation, puis de manière plus décidée: les zones alluviales n'étaient pas sûres, mais fertiles. Au départ, seuls les journaliers se risquaient à installer leurs humbles chaumières. Le

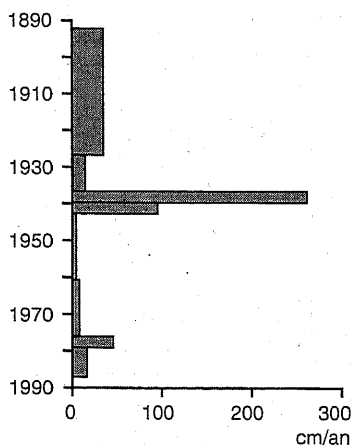


Fig. 2
Le chemin parcouru par l'église de Campo Cimalmotto dans la zone de glissement entre 1892 et 1987. Glissements en biais par année [3, 9].

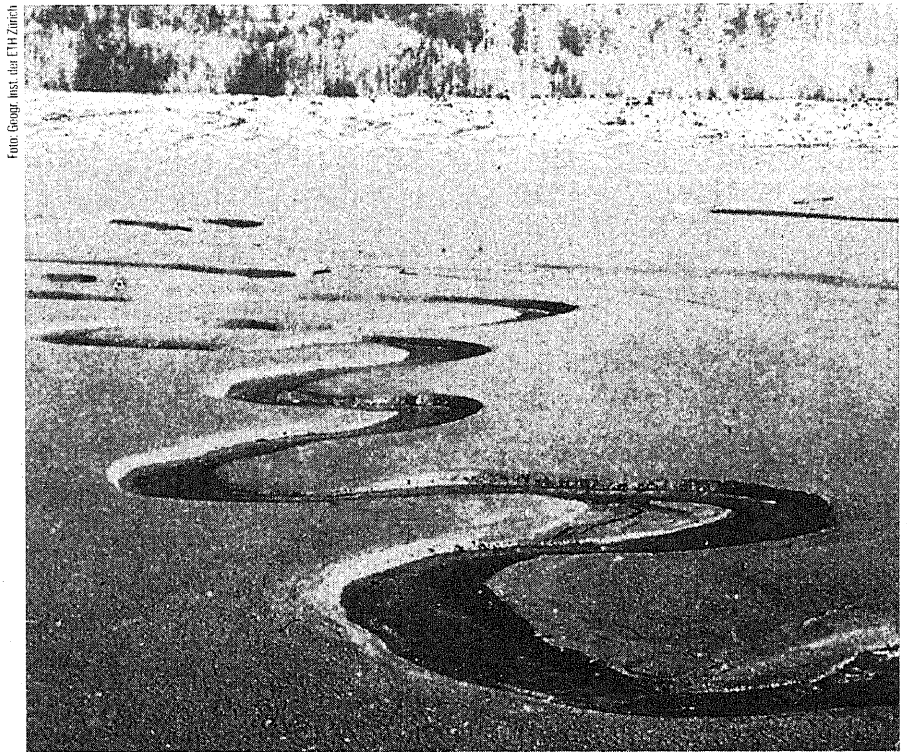


Fig. 3
Méandres sur les berges limoneuses du Klöntalersee. Une vue devenue rare aujourd'hui.

temps aidant, de vrais villages se sont développés dans les zones à risque. Le danger d'inondation était certes connu, mais on se souciait fort peu des causes possibles [3]. Il a fallu attendre encore longtemps pour qu'on commence sérieusement à corriger les cours d'eau de manière à protéger durablement les agglomérations et les cultures. Les cours d'eau ont été alors rectifiés et endigués.

Chronique de l'horreur

En Suisse, la chronique des catastrophes naturelles (crues et éboulements) est effrayante. Depuis plus de mille ans, le nombre d'événements augmente chaque siècle, les intempéries du 16^e siècle faisant exception [7].

Il est fort probable que les documents relatifs aux inondations n'ont pas tous survécu jusqu'à aujourd'hui. En outre, seules les grandes catastrophes étaient répertoriées. Aussi longtemps que les zones fluviales n'étaient pas cultivées ni habitées, les dégâts étaient naturellement limités. Mais ces problèmes de transmission historique n'enlèvent rien à la tendance générale: la fréquence des crues augmente depuis très longtemps (fig. 4).

Plus clairs et plus éloquents que les chiffres, les chroniqueurs relatent avec

une grande précision les catastrophes de leurs temps. C'est grâce à eux qu'on connaît bien la situation de la Linth, alors qu'elle s'écoulait encore dans le Walensee. A chaque printemps, les rues de Walenstadt et de Weesen n'étaient accessibles que par la voie des eaux. Durant les chaleurs estivales, les boues laissées sur place commençaient à libérer des odeurs pestilentielles ainsi que des nuées d'insectes. On comprend dès lors pourquoi la

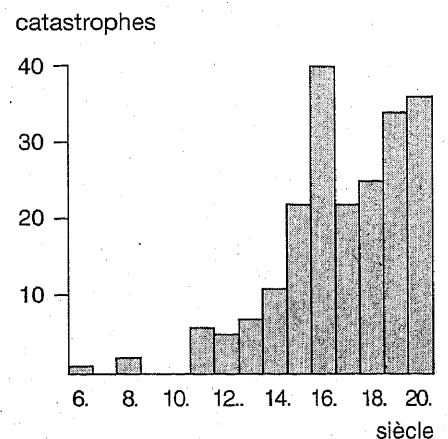


Fig. 4
Catastrophes naturelles majeures en Suisse, du 6^e au 20^e siècle (jusqu'en 1988). Les effets des intempéries de la fin du 16^e siècle sont clairement visibles [7].

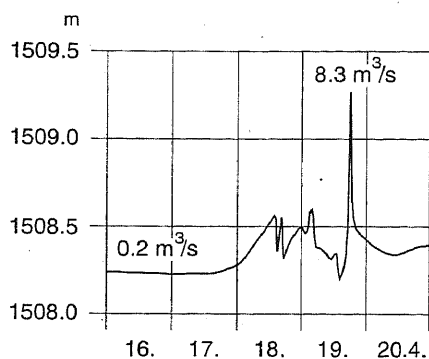


Fig. 5
Un scénario comme on en trouve chez les chroniqueurs. Les avalanches ont une action directe sur le niveau de l'Ova da Chuozza (Parc national, Zernez). Ici, en avril 1962 (niveau d'eau: 1509 m d'altitude). Si des masses d'eau percent les obstacles faisant barrage, elles peuvent provoquer des crues incroyablement importantes (source: limnigraphe non publié du Service national d'hydrologie et de géologie à Berne).

santé des populations concernées n'était pas des meilleures (d'après [1] et [8]).

Jusqu'au siècle dernier, on craignait également les épanchements du Märjelensee. Situé en périphérie du glacier d'Aletsch, ce lac d'accumulation naturelle était retenu par de la glace. Entre 1813 et 1913, il s'est complètement vidé à huit reprises, et 36 fois de manière partielle. Le poète Josef Viktor Widmann a été par hasard témoin de l'un de ces épanchements alors qu'il se trouvait à Belalp. Il raconte comment l'eau s'est précipitée vers le fond de la vallée, broyant tout sur son passage (d'après [10]).

C'est ainsi que l'on vivait encore au siècle dernier dans les régions de montagne. Durant des siècles, le Mattmarksee, lac d'accumulation naturelle du glacier de l'Allalin, situé au-dessus de Saas-Almagell, se vidait en moyenne une fois tous les dix ans. Au 19^e siècle, le Märjelensee s'épanchait presque tous les deux ans [3, 5]. La peur était là à demeure, on vivait avec elle, car on ne pouvait pas se protéger contre la nature.

Aujourd'hui, tout est différent. La nature est corsetée et doit obéir. Dans notre sensibilité quotidienne, elle ne joue plus le rôle élémentaire qu'elle avait durant les siècles passés. La nature était un élément contre lequel il fallait lutter,

mais on lui était aussi très attaché. Ces sentiments se traduisaient tour à tour par la crainte et par la célébration. Aujourd'hui, le domaine du possible a refoulé l'attitude forcément passive des temps anciens. Nous nous sommes éloignés de la nature pour mieux nous en protéger. Mais cette protection supposée n'est-elle pas aussi à l'origine de la grande peur qui nous envahit lorsque les cours d'eau ou l'environnement se déchaînent?

L'aliénation de la nature est suivie par le retour du balancier. Après avoir radicalement mis les cours d'eau sous tutelle, nous nous sommes rendus compte que les méthodes du passé ne font plus l'unanimité. Nous souhaitons à nouveau donner plus d'espace aux cours d'eau afin qu'ils puissent se développer par eux-mêmes. Parmi d'autres, l'EAWAG s'engage aussi en faveur du renouvellement des cours d'eau.

- [1] Aufruf an die Schweizerische Nation zur Rettung der durch Versumpfungen ins Elend gestürzten Bewohner der Gestade des Wallen-Sees... Merz 1807. In: «Das Linthwerk – ein Stück Schweiz» (1993). Hg.: H.C. Escher von der Linth-Ges., Mollis, S. 9–50; S. 11 ff.
- [2] Bergier, J.-F. (1990): Wirtschaftsgeschichte der Schweiz. Zürich, 2. Aufl., S. 28.
- [3] Kobler, R.: Spiel mit dem Wasser – Spiel mit dem Feuer? Geschichte und Gegenwart der Wasser in der Schweiz. Manuskript 1998.
- [4] Landeskarte der Schweiz, Wabern-Bern, Blatt 1313, Ausg. 1989.
- [5] Lütsch, O. (1926): Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge. Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes. Schweiz. Wasserwirtschaftsverband, Schr. Nr. 14, Zürich.
- [6] Martinoli, G. (1896): La correzione del fiume Ticino dal Riale di Sementina al Lago Maggiore. Einsiedeln.
- [7] Röchlisberger, G. (1991): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Ber. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft Nr. 330.
- [8] Schuler, M. (1836): Die Geschichte des Landes Glarus. Zürich. In: Hösli, H. (1966), Wandlungen der Linthebene – Zur Vollendung des Linthwerkes. Geogr. Helv. 21, 97–104.
- [9] Trucco, G. (1989): Verbauung und Umleitung der Rovana. Wasser, Energie, Luft 81, 173–182.
- [10] Widmann, J.V. (1896): Spaziergänge in den Alpen. 3. Aufl., Frauenfeld; S. 256.

Prix Greinacher 1998

Jürg Beer, chef du groupe Marqueurs radioactifs et chimiques de la Division de physique, environnementale à l'EAWAG, chargé de cours à l'EPF de Zurich, et Peter Jenni (CERN) ont reçu en commun un prix doté de 30 000 francs, décerné pour la première fois en 1998 par la Fondation Heinrich Greinacher.

Les deux scientifiques honorés ont étudié à l'Université de Berne pour entamer ensuite une brillante carrière professionnelle. Heinrich Greinacher a été Professeur de physique et Directeur de l'Institut de physique à l'Université de Berne de 1924 à 1952.

Jürg Beer reçoit cette distinction «pour ses efforts fructueux et imaginatifs donnant accès à d'intéressants domaines d'application de la spectrométrie de masse par accélérateur ainsi que pour ses contributions exceptionnelles pour l'étude de la variabilité solaire et de ses répercussions sur le climat terrestre».



Giulio P. Genoni

C'est la dose d'énergie qui fait le poison



Giulio Genoni*

*depuis février 1998:

Ch. Gabriel 4a, CH-2034 Peseux

E-mail: genoni@bluewin.ch

De nombreuses activités humaines bénéficient à l'heure actuelle des développements de la chimie. Cependant, les quelque 100 000 substances produites à l'échelle industrielle, auxquelles s'ajoutent annuellement 100 à 200 nouvelles substances, représentent un risque toxique pour l'être humain et pour l'environnement. Ces risques dépendent de la toxicité spécifique à chaque substance ainsi que des quantités en présence: «C'est la dose qui fait le poison», disait Paracelse. De nature générale, son affirmation cache une question, également générale: pourquoi la dose fait-elle le poison?

Voilà une question à laquelle il n'est pas facile de répondre, puisque la toxicité dépend et de la dose et des propriétés chimiques. De plus, toute substance chimique est susceptible d'avoir des effets positifs et des effets négatifs.

Ce qui est rare est cher

L'éthanol, par exemple, est toxique de manière aigüe pour des rats de laboratoire à partir de doses d'environ 3000 mg/kg seulement, alors que les pesticides, le cyanure, ou certains venins de serpent puissants peuvent être mortels à des doses un million de fois inférieures. Les effets toxiques de substances aussi différentes que l'éthanol ou les venins de serpents ont bien quelque chose en commun. Ils se produisent lorsque la dose, voire l'existence même de la substance est *inhabituelle* dans l'environnement ou dans l'organisme. Sans doute l'éthanol est-il une substance ordinaire et même naturelle, mais, dans la nature, il n'apparaît pas à des concentrations aussi fortes que ce que l'être humain peut produire par distillation. Les toxines des plantes et les venins d'animaux sont également naturels, mais fort rares en dehors des organes spécialisés végétaux ou animaux où ils sont élaborés. Quant aux pesticides, ce sont des substances non naturelles, nouvellement synthétisées par l'industrie chimique.

De telles substances, rares et parfois complexes, peuvent donc avoir un effet du fait qu'elles ont été concentrées ou élaborées à partir de substances simples et ordinaires. Et de concentrer ou

d'élaborer une substance, cela coûte de l'énergie!

Il s'agit non seulement de l'énergie nécessaire à la réaction du point de vue thermodynamique, mais de tout ce qui permet son bon déroulement (extraction, régulation, stockage, et entretien de l'équipement), autrement dit l'*«énergie grise»* qui se cache derrière le produit.

On peut décrire tout processus biologique ou chimique comme une série de transferts d'énergie (fig. 1); par exemple, une chaîne alimentaire herbe-lièvres-oiseaux de proie, ou encore une synthèse ou concentration chimique (substrat-produit). La majeure partie de l'énergie traversant le système est dissipée sous forme de chaleur (dans un organisme, il s'agit de la chaleur de respiration). L'énergie restante décroît, et le «coût relatif en énergie» du travail utile effectué à chaque étape augmente de gauche à droite. L'herbe et les substances ordinaires ont un coût relatif en énergie *faible*. Les oiseaux de proie et les substances complexes ont un coût relatif en énergie *élevé* et ils sont rares, car ils présupposent une concentration de matière et d'énergie à partir des niveaux inférieurs.

Dans une chaîne alimentaire, les différences de coût relatif en énergie entre échelons trophiques successifs avoisinent souvent un ordre de grandeur, car à chaque échelon la respiration constitue la majeure partie des dépenses d'énergie [1]. Par exemple, dans le cours d'eau de Silver Springs, en Floride, 1000 fois plus d'énergie est nécessaire par joule de production des prédateurs que par joule de production des plantes [2].

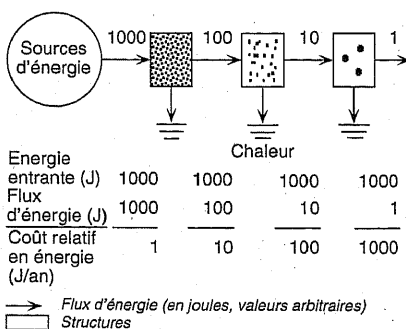
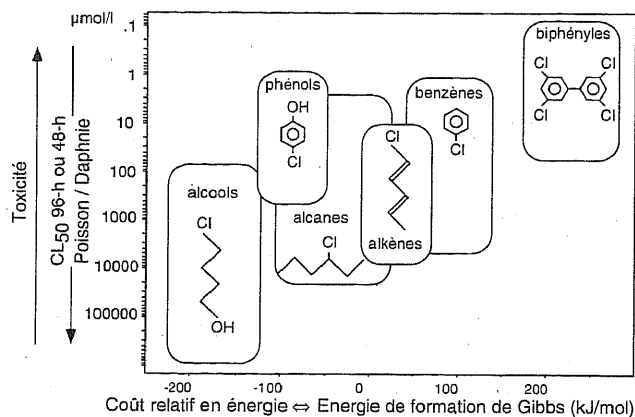


Fig. 1
Hiérarchies dans les systèmes thermodynamiques: L'énergie entrante nécessaire au déroulement du processus est dissipée en grande partie sous forme de chaleur le long de la chaîne. Le coût relatif en énergie du travail utile augmente de gauche à droite. Les échelons supérieurs ont un coût relatif élevé et sont peu nombreux (le pointillé symbolise la dispersion spatiale).

Fig. 2

Corrélation entre le coût relatif en énergie (estimé par l'énergie de formation de Gibbs) et la toxicité aiguë envers le poisson (le Cyprinidé *Pimephales*) et la puce d'eau, pour 70 composés organiques de 6 classes chimiques, comportant 0, 1, 2 ou plusieurs atomes de chlore substitués (un exemple en est montré pour chaque classe). La toxicité aiguë est inversement proportionnelle à la concentration létale pour 50% des animaux (CL_{50}) en 48 h (pour la puce d'eau) ou 96 h (pour le poisson).



Howard T. Odum, l'un des fondateurs de la théorie des systèmes, a démontré que le simple rapport entre l'énergie restante et l'énergie entrante donne une mesure du coût relatif en énergie des parties d'un système. Il a nommé ce rapport *transformité* [1]. Ce calcul est parfois utilisé dans les comptes économiques de l'environnement afin de mesurer la valeur énergétique réelle de processus très divers. Odum a également remarqué que ce qui diffère par le coût relatif en énergie diffère aussi par la fonction. Les substances simples, bien qu'ayant une faible influence par unité de masse, se trouvent en grandes quantités et jouent par là un grand rôle, voire plusieurs rôles, tels que celui d'élément de construction cellulaire ou d'intermédiaire métabolique à fonction générale (par exemple, éléments nutritifs ou acides aminés). Les substances complexes et/ou rares ont en revanche une forte influence par unité de masse et ont des fonctions spécifiques: oligo-éléments, enzymes, hormones, etc. [3].

Pour un système biologique, des substances et doses ordinaires sont faciles à métaboliser, alors que des substances ou doses rares font intervenir des mécanismes de traitement spécialisés et coûteux en énergie. Étant difficiles à métaboliser, les substances rares donnent lieu à une bioaccumulation (concentration) le long des chaînes alimentaires [3].

Les substances ont le double visage de Janus

La question de l'utilité ou de la nocivité d'une substance est subjective: L'éthanol a aussi bien des effets positifs (car il peut

favoriser le bien-être personnel ou social), que des effets nocifs (car il peut provoquer la fatigue ou la violence). Les doses ou les substances très actives ont aussi ce double visage de Janus, mais de façon encore plus spectaculaire: lorsque l'être humain se sert de pesticides ou de médicaments antibactériens, lorsque le serpent injecte son venin, il y a un bénéfice pour une espèce, qui est d'en intoxiquer une autre!

Résultats d'investigations (éco)toxicologiques

On a de nombreuses preuves indirectes à l'appui d'une telle corrélation entre la rareté et la complexité, et, partant, de l'énergie nécessaire pour former ou concentrer une substance, avec sa tendance à la bioaccumulation, son efficacité et sa spécificité d'action: Tout comme le vivant, l'industrie chimique investit de l'énergie pour concentrer et élaborer des substances inhabituelles, chimiquement complexes, efficaces et spécifiques dans leur mode d'action (en pharmacologie et en agriculture, par ex.). Des preuves plus directes nous sont données par la corrélation observée entre le volume moléculaire, qui souvent contribue à la complexité de la molécule, et la bioaccumulation, la toxicité et la spécificité d'action, comme c'est le cas pour les hydrocarbures chez le poisson [4,5].

Nous pouvons rechercher des preuves plus directes encore en calculant le coût relatif en énergie de diverses substances et en le comparant à leur toxicité, leur spécificité d'action et

leur tendance à la bioaccumulation. Dans la littérature (éco)toxicologique, des données sur la toxicité et la bioaccumulation sont disponibles pour de nombreuses substances. Il est par contre difficile d'estimer leur coût relatif en énergie, parce que tous les flux d'énergie concernés ne sont pas connus.

Pour ce qui est du coût en énergie des composés chimiques, on peut se servir en première approximation de l'énergie de formation de Gibbs, laquelle est connue pour de nombreuses substances. Ce paramètre croît lors des réactions de structuration qui augmentent le niveau de connexion chimique entre atomes [6]. Mais il est probable qu'il sous-estime la transformité, car il ne prend en compte ni l'énergie nécessaire pour transporter une substance jusqu'au site d'interaction, ni l'énergie d'activation qui doit être fournie à chaque étape de transformation.

Pour ce qui est du coût en énergie des éléments, une estimation nous en est fournie par l'énergie que les systèmes biologiques utilisent pour maintenir une concentration interne différente de celle de leur milieu physico-chimique: c'est l'énergie de formation de Gibbs inhérente à la différence de concentration [7]. Mais cela aussi tend à sous-estimer la transformité: Par exemple, pour l'azote, cela ne tient pas compte du fait que cet élément se trouve principalement sous forme de sucres et de protéines dans

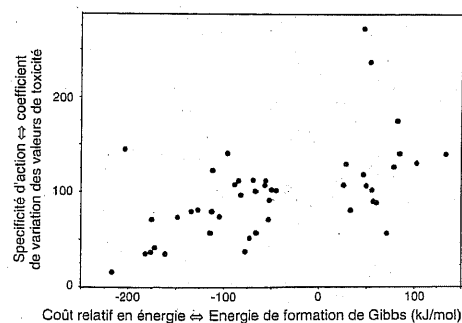


Fig. 3

Corrélation entre le coût relatif en énergie (estimé par l'énergie de formation de Gibbs) et la spécificité de la toxicité aiguë envers 21 espèces aquatiques (estimée par le coefficient de variation) pour 45 composés organiques de 6 classes chimiques, comportant 0, 1, 2 ou plusieurs atomes de chlore substitués (un exemple en est montré pour chaque classe).

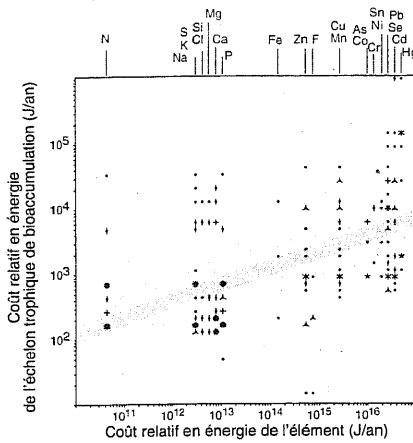


Fig. 4
Corrélation entre le coût relatif en énergie (estimé par l'énergie de formation de Gibbs de la différence de concentration entre la biocénose et son milieu) et la bioaccumulation (estimée par le coût relatif en énergie de l'échelon trophique où l'accumulation est la plus forte) pour 23 éléments. Les points superposés sont symbolisés par des étoiles.

l'organisme, et sous forme de N_2 dans le milieu.

Par ces méthodes, nous avons vérifié que, pour un groupe de substances organiques d'utilisation industrielle courante, le coût relatif en énergie est corrélé avec la toxicité (fig. 2) [7] ainsi qu'avec la spécificité d'action (fig. 3) [7]. En outre, pour une série d'éléments, il est corrélé avec la tendance à la bioaccumulation dans les chaînes alimentaires (fig. 4) [7]. Les «hiérarchies» de composés et d'éléments qui ressortent de ces travaux confirment les connaissances empiriques. Parmi les éléments, par exemple, les métaux alcalins et alcalino-terreux se situent dans le bas de la gamme des coûts relatifs en énergie ainsi que de la bioaccumulation, alors que les métaux lourds sont dans le haut de la gamme.

Une vaste palette de substances

Dans tous ces exemples, on observe que les coûts en énergie s'étendent sur une large gamme d'ordres de grandeur. Ceci permet de mieux comprendre pourquoi la toxicité peut elle-même varier sur de nombreux ordres de grandeur. A la diversité chimique du milieu, vaste palette de substances énergétiquement «bon marché» ou «coûteuses», répond une grande diversité de mécanismes de traitement chez les systèmes biologiques. Cela explique d'ailleurs aussi le pourquoi des

si grandes différences de sensibilité aux toxiques observées parmi les organismes. Dans un écosystème, les organismes des niveaux trophiques inférieurs ne peuvent traiter de manière efficace les substances inhabituelles. Pour un niveau trophique élevé, par contre, de telles substances représentent une charge moins lourde, car il dispose d'un équipement métabolique plus sophistiqué. De manière générale, si un organisme a lui-même un coût relatif en énergie élevé, il pourra composer avec des apports d'énergie plus élevés. On observe souvent, d'ailleurs, que les systèmes biologiques de grande taille ou les stades matures sont plus résistants (par unité de masse) que des systèmes de petite taille ou que des stades juvéniles.

Conclusion et conséquences pour la gestion de l'environnement

Les substances ou doses rares sont le résultat d'une forte concentration d'énergie chimique, et elles ont par conséquent des effets sensibles, pour le meilleur et pour le pire: C'est la dose d'énergie qui fait le poison... ou le remède. De plus, les niveaux élevés d'un processus biologique ou les systèmes matures sont les plus résistants envers les perturbations: C'est la dose d'énergie qui rend résistant.

Certaines des interprétations générales de cette idée n'ont rien de nouveau: Les substances ordinaires sont moins toxiques, agissent moins spécifiquement, et tendent moins à la bioaccumulation; un écosystème sain est plus à même de supporter une agression toxique qu'un écosystème déjà endommagé; les stades intermédiaires de développement sont plus résistants que les stades juvéniles ou sénescents.

Il s'ensuit que l'énergie chimique mise en jeu par les activités humaines ne devrait pas dépasser la gamme de ce que les systèmes biologiques peuvent affronter. L'actuelle production de substances, dont certaines sont nouvelles et complexes, d'autres utilisées en quantités énormes, représente un danger pour la biosphère, et ce d'autant plus que la diversité biologique de cette dernière est en rapide déclin (fig. 5).

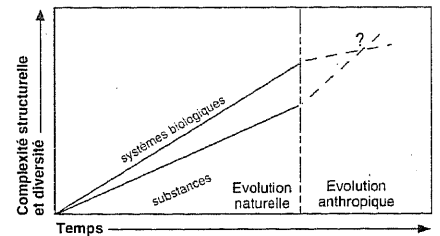


Fig. 5
Les activités humaines actuelles diminuent la complexité et la diversité biologiques tout en augmentant la complexité et la diversité chimiques. Cela peut mettre en danger la capacité de traitement qu'ont les systèmes biologiques.

La méthode du coût relatif en énergie peut-elle être appliquée à la gestion de l'environnement? Sans doute elle peut être utilisée dans l'analyse du cycle de vie des produits chimiques. Ses utilisations possibles s'étendent même aux comptes économiques de l'environnement et à l'ingénierie environnementale. Pritchard [8], par exemple, s'en est servi pour évaluer les alternatives pour la récupération du plomb des batteries d'automobiles.

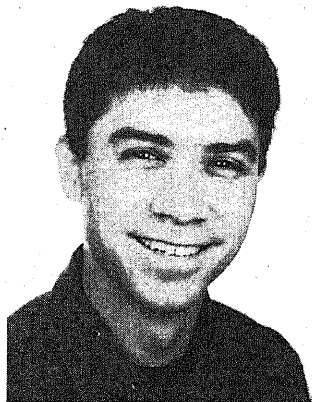
A l'heure actuelle, de telles applications sont limitées par les difficultés méthodologiques de la mesure des flux d'énergie et de matière dans les systèmes économiques et biologiques. Une tâche primordiale pour la gestion de l'environnement sera donc un perfectionnement de ces méthodes et le développement d'une banque de données adéquate.

- [1] Odum, H.T. (1983): Systems ecology. Wiley, New York.
- [2] Costanza, R., und Neill, R. (1984): Energy intensities, interdependence, and value in ecological systems: A linear programming approach. *J. theor. Biol.* 106, 41-57.
- [3] Williams, R.J.P. und da Silva, J.J.R. (1996): The natural selection of the chemical elements. Clarendon Press, Oxford.
- [4] Hermens, J.L.M. (1990): Quantitative structure-activity relationships for predicting fish toxicity. - In: Karcher, W. und Devillers, J. (eds.), Practical applications of quantitative structure-activity relationships (QSAR) in environmental chemistry and toxicology. ECSC, Brussels, pp. 263-280.
- [5] Kishino, T. und Kobayashi, K. (1995): Relation between toxicity and accumulation of chlorophenols at various pH, and their absorption mechanism in fish. *Wat. Res.* 29, 431-442.
- [6] Wicken, J.S. (1980): A thermodynamic theory of evolution. *J. theor. Biol.* 87, 9-23.
- [7] Genoni, G.P. (1997): Towards a conceptual synthesis in ecotoxicology. *Oikos* 80, 96-106.
- [8] Pritchard, L. (1992): The ecological economics of natural wetland retention of lead. M.S. Thesis, Univ. of Florida, Gainesville, FL, USA.

Max Maurer

Microsubstrats synthétiques: la relève du béton

Solution de rechange à l'agrandissement des STEP



Max Maurer

Nombreuses sont les STEP suisses en cours de rénovation et d'agrandissement. Un nouveau procédé inventé en Norvège devrait permettre d'augmenter les capacités d'épuration sans nécessiter la construction d'un bassin. En collaboration avec le Syndicat d'épuration Baden-Wettingen et l'OFEFP, la Division des sciences de l'ingénierie teste les aptitudes du procédé pour l'élimination de l'azote. Rapport intermédiaire.

Agrandissement des STEP

Ces 30 dernières années, 92 pour cent de la population suisse ont été raccordés à l'une des 1000 stations d'épuration communales. La première génération de STEP était conçue pour la décantation de la phase solide et pour l'oxygénation suffisante des eaux usées. Depuis, on a constaté qu'il fallait également éliminer certaines substances ayant un effet indirect sur les écosystèmes aquatiques. Ces exigences supplémentaires sont résolues par l'agrandissement des installations existantes dans le cadre de rénovations devenues par ailleurs nécessaires.

Le procédé par lit fluidisé recourt à des microsubstrats en matière synthétique, dont le diamètre est de l'ordre de quelques millimètres (voir exemple en fig. 1). Ces microéléments servent de substrats pour le développement des microorganismes et sont maintenus en suspension et en mouvement (fluidisés) dans un bassin normal.

Lit fluidisé ou boues activées

Pour pouvoir atteindre les objectifs fixés à la STEP de Laufäcker, soit l'élimination de l'azote et du phosphore durant toute l'année, il faudrait aménager des bassins

Systèmes d'épuration

La STEP «Laufäcker» à Turgi, qui traite les eaux usées de la région Baden-Wettingen (soit env. 80 000 équivalents-habitants) est à l'heure du choix. Deux systèmes entrent en lice:

- *La méthode conventionnelle des boues activées:*

Ce procédé tire parti de l'aptitude qu'ont certains microorganismes à former des colonies ressemblant à des flocons. Ces flocons de boue sont énergiquement mélangés aux eaux usées, puis séparés après un certain temps de réaction et réutilisés lors du prochain cycle d'épuration.

- *La méthode du lit fluidisé, nouvelle en Suisse:*

Il s'agit d'un procédé d'épuration qui se fonde sur le principe du biofilm. Le biofilm est formé par des microorganismes capables de dégrader les substances polluantes présentes dans les eaux usées.

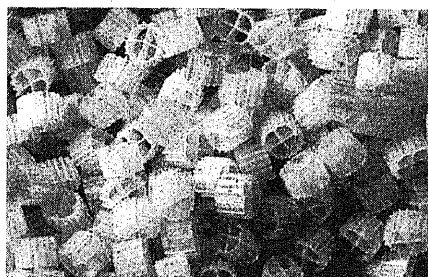


Fig. 1

Un microsubstrat disponible dans le commerce pour le procédé d'épuration par lit fluidisé (Kaldnes). Les petites «roues à aubes» en polyéthylène ont un diamètre de 1 cm et flottent à la surface de l'eau.

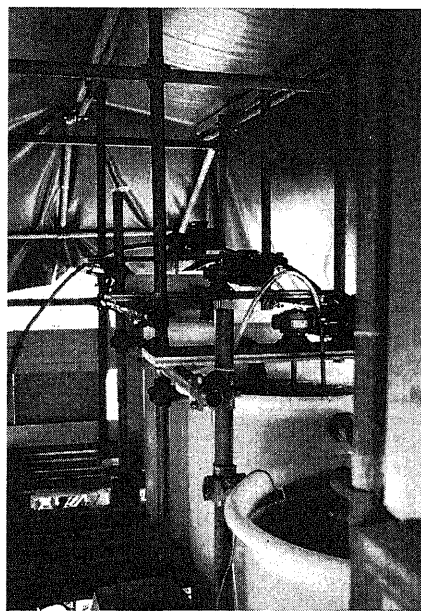


Fig. 2

Vue des installations d'essai à la STEP Laufäcker (Turgi, AG). Sous la bâche visible en arrière-plan se trouve l'installation semi-industrielle.

supplémentaires pour l'activation des boues. Etant donné la grande expérience dont on dispose actuellement par rapport aux méthodes déjà utilisées, il est possible de prévoir exactement les performances des nouvelles installations. De même, les conditions d'exploitation n'ont plus de secret.

En revanche, la technique du lit fluidisé permettrait de se satisfaire des bassins existants. Mais les problèmes d'exploitation et l'efficacité de la méthodes sont encore inconnus.

Collaboration avec les praticiens

Au vu de ces incertitudes, le comité directeur du Syndicat d'épuration Baden-Wettingen décide d'exploiter à titre temporaire l'un de ses bassins selon ce nouveau procédé. Le bassin d'essai, d'une capacité d'environ 820 m³, est subdivisé par des parois intermédiaires, puis équipé de malaxeurs et d'une aération à grosses bulles (fig. 2).

Pour la Division de l'ingénierie à l'EAWAG, il s'agit là d'une occasion extraordinaire, puisqu'elle permet de tester en conditions d'exploitation un procédé dont l'avenir pourrait être très prometteur en Suisse. Au printemps 1997, le Syndicat d'épuration, l'OFEPF et l'EAWAG mettent sur pied un projet commun sous le titre «Dénitrification par lit fluidisé» (voir encadré).

Installation pilote semi-industrielle

En parallèle au bassin d'essai, une installation semi-industrielle est construite (fig. 3). Celle-ci se compose de 6 bassins d'une capacité totale de 1650 l. Les quelque 5000 litres d'eaux usées traitées par jour sont prélevés dans le décanteur primaire de la STEP. De manière analogue au bassin d'essai, l'installation commence par deux étages de dénitrification (transformation microbienne du nitrate en azote atmosphérique), et dépourvus par conséquent d'aération. Les autres bassins sont en revanche aérés avec de l'air sous pression.

A la fois flexible et maniable, cette installation pilote permet de réaliser des

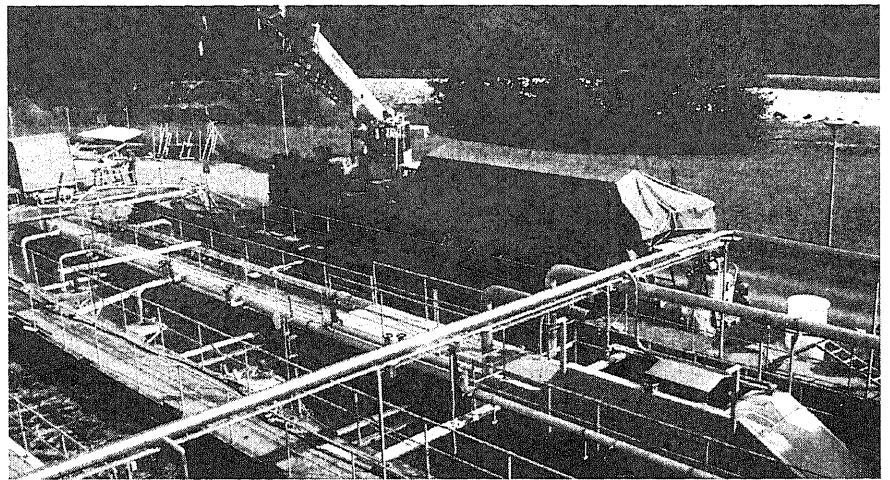


Fig. 3
Vue des premiers étages de l'installation d'essai semi-industrielle. Devant, on voit les deux bassins brassés, mais non aérés, suivis d'un bassin brassé et aéré. Les autres bassins sont seulement aérés.

essais avec divers microsubstrats. Dans le bassin d'essai, le microsubstrat utilisé est un produit disponible sur le marché. La comparaison entre l'installation pilote et le bassin d'essai permet d'apprécier les propriétés distinctives des différents microsubstrats et leur performance en termes d'épuration. Dans une première phase, le microsubstrat est constitué de petits dés en caoutchouc cellulaire.

Premiers résultats

L'installation d'essai de taille industrielle n'a pas encore livré de résultats quant aux performances d'épuration. En revanche, l'exploitation de l'installation semi-industrielle durant l'été permet déjà de tirer quelques conclusions provisoires. Le taux d'épuration atteint est comparable au système des boues activées. Les analyses portant sur les taux de dégradation

maximum indiquent que le système dispose encore de réserves significatives. Des analyses exhaustives sont en cours à ce propos.

Les étapes suivantes du projet portent sur l'analyse de la capacité d'épuration durant la période hivernale et la comparaison des différents microsubstrats. Le projet débouchera ensuite sur la formulation de recommandations pour le dimensionnement des installations à lit fluidisé. La publication de ces résultats est attendue pour l'hiver 98/99.

«Dénitrification par lit fluidisé» est un projet commun regroupant la Division d'ingénierie de l'EAWAG, le Syndicat d'épuration Baden-Wettingen et l'OFEPF.

Par ailleurs, nous remercions cordialement le personnel de la STEP Laufäckler et le bureau d'ingénieurs Hollinger SA de leur précieuse collaboration.

De l'EAWAG à l'EPFL



Hauke Harms et Christof Holliger ont été appelés au Département du Génie Rural de l'EPFL, à Lausanne.

Hauke Harms (à gauche), depuis 5 ans à la Division de microbiologie, se consacrera à partir du 1^{er} septembre 1998 aux activités bactériennes dans les systèmes terrestres en tant qu'assistant à la chaire de microbiologie des sols au Laboratoire de Pédologie. (hauke.harms@epfl.ch, tél. +41-21-693 37 73, fax 56 70)



Christof Holliger (à droite), depuis six ans à la Division de biogéochimie, s'occupera à partir du 1^{er} octobre 1998 de la dégradation des polluants et de l'épuration des eaux usées industrielles en tant qu'assistant à la chaire de biotechnologie environnementale du Laboratoire de Génie Biologique. (christof.holliger@epfl.ch, tél. +41-21-693 47 24, fax 22)

Rolf Hesselmann¹, Dittmar Hahn², Jan Roelof van der Meer¹ et Alexander J.B. Zehnder^{1*}

Bioélimination améliorée des phosphates dans les eaux usées

A la recherche d'organismes adéquats



De g. à d.: Alexander J.B. Zehnder, Jan Roelof van der Meer, Dittmar Hahn, Rolf Hesselmann

* en collaboration avec Dietmar Stax, Ricarda von Rummell et Sol M. Resnick

¹ EAWAG

² Institut d'écologie terrestre, EPFZ

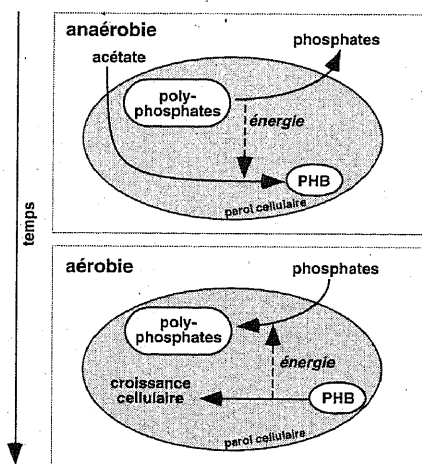


Fig. 1
Représentation schématique du métabolisme d'une cellule Bio-P.

L'ARN ribosomique (ARN_r) est un constituant des ribosomes (responsables de la synthèse des protéines). Cette synthèse fait en outre appel à deux autres types de molécules ARN, l'ARN messenger (ARN_m) et l'ARN de transfert (ARN_t). L'information génétique relative aux ARN_r fait partie de l'ADN nucléaire et appartient par conséquent au patrimoine génétique des organismes. Une cellule compte nettement plus de 500 ribosomes identiques, répartis dans la totalité du plasma cellulaire. Etant donné que la cible génétique visée par les sondes est présente en plusieurs centaines d'exemplaires de ribosomes, la réponse à la sonde est nettement plus sensible que si les séquences d'ADN étaient prises comme objectif.

Pour la première fois, il a été possible de détecter une bactérie spécifique permettant d'améliorer la bioélimination des phosphates dans les stations d'épuration (STEP). Les connaissances acquises sur cette nouvelle bactérie en permettent la classification par apparentement avec d'autres bactéries déjà connues. Ce progrès majeur couronne de longues années de recherche sur l'élevage bactériologique en réacteur de laboratoire, mettant en oeuvre les méthodes modernes de la biologie moléculaire.

L'amélioration de la bioélimination du phosphate (Bio-P) constitue une solution prometteuse pour remplacer l'élimination chimique des phosphates présents dans les eaux usées [1]. L'élimination biologique permet de réduire la quantité d'agents de précipitation au strict minimum, voire d'en supprimer entièrement l'usage. Il en résulte une réduction du volume des boues d'épuration, des coûts inhérents à l'usage d'agents de précipitation, ainsi que de la charge en métaux lourds provenant des impuretés des agents de précipitation. Dans de nombreux cas, le procédé Bio-P constitue la solution la plus durable pour la bioélimination des phosphates [2]. C'est pourquoi, dans les pays voisins, ce procédé est appliqué de plus en plus souvent, bien que la connaissance des processus microbiologiques sous-jacents soit encore très rudimentaire. Ainsi, les organismes clés (bactéries Bio-P) n'ont pas encore pu être identifiés jusqu'à ce jour [3]. Ces lacunes empêchent toute optimisation du processus et devraient donc être comblées. Les travaux présentés ici s'inscrivent dans cette optique.

Modèle physiologique

Le principe de la bioélimination des phosphates consiste à introduire des fixateurs de polyphosphates dans les bactéries. Les cellules sont ainsi capables de fixer davantage de phosphates qu'elles n'en ont besoin pour leur développement. La fixation des polyphosphates est activée par l'alternance d'états aérobies et

d'états anaérobies. Techniquement, cette fixation nécessite l'intégration d'un bassin non aéré dans l'étage biologique des STEP.

Le modèle le plus simple de bioélimination des phosphates fait intervenir l'acétate comme substrat [4]: en condition anaérobie, l'acétate est stocké sous forme de polyhydroxybutyrate (PHB) (fig. 1). L'énergie de stockage provient de la dégradation des polyphosphates intracellulaires. Il en résulte d'abord une augmentation de la concentration des phosphates dans l'eau. Ensuite, le PHB stocké est consommé en condition aérobie par la croissance cellulaire et par la fixation des polyphosphates. L'oxydation du PHB engendre un surplus d'énergie temporaire dans les cellules, qui favorise la synthèse des polyphosphates. Celle-ci dépasse alors le taux de dégradation des polyphosphates lors de la phase précédente. Dans l'ensemble, ce processus se solde par une élimination conséquente des phosphates. Aussi bien les polyphosphates que le PHB sont emmagasinés par les cellules sous forme de particules osmotiquement inertes.

Quelles bactéries sont concernées?

Jusqu'à présent, on n'avait pas réussi à élever en laboratoire une culture bactériologiquement pure, c'est-à-dire créée à l'aide d'une seule cellule, d'abord isolée, puis multipliée, qui corresponde au modèle présenté ci-dessus. Comme les méthodes microbiologiques classiques

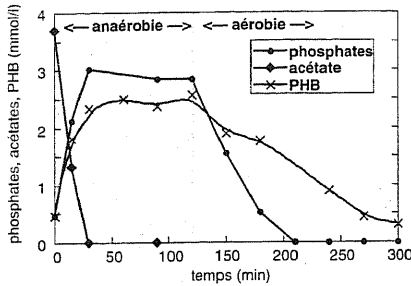


Fig. 2
Dynamique du métabolisme dans une culture d'enrichissement. Après 35 min. en phase anaérobie, l'acétate est entièrement absorbé par les cellules qui le stockent sous forme de PHB. L'augmentation simultanée de la concentration des phosphates permet de déduire qu'il y a simultanément dégradation des polyphosphates. Durant la phase aérobique, les phosphates sont entièrement fixés par les cellules, tandis que les réserves de PHB sont alors consommées.

ne peuvent identifier que les bactéries provenant de cultures pures, il n'avait pas été possible, jusqu'à ce jour, d'identifier clairement les bactéries Bio-P. Or, une nouvelle méthode de biologie moléculaire permet désormais de pallier à ces difficultés. Par mesure de simplification, les essais ont d'abord eu lieu avec des cultures mixtes aussi riches que possible en bactéries Bio-P.

Culture en réacteur de laboratoire

Pendant trois ans, un réacteur de laboratoire a été exploité dans les conditions optimales requises pour obtenir une concentration élevée de bactéries Bio-P. A cet effet, des boues activées ont été cultivées avec de l'acétate comme seul

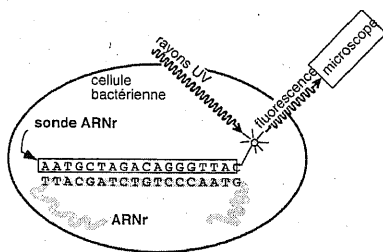


Fig. 3
Une sonde ARNr composée de 18 nucléotides et d'un colorant fluorescent s'est amarrée à une séquence de base complémentaire le long de la chaîne d'ARNr d'une bactérie. Après activation par rayons UV, le colorant émet de la lumière par fluorescence. La préparation est alors observée au microscope. Une bactérie comptant plus de 500 ribosomes répartis de manière régulière dans toute la cellule, l'ensemble de la cellule devient fluorescent.

substrat organique dans des conditions alternativement aérobies et anaérobies. L'acétate, qui était ajouté au début de chaque phase anaérobie, se trouvait entièrement absorbé par les cellules avant le début de la phase aérobique suivante. Etant donné qu'en condition strictement anaérobie, l'acétate ne peut être consommé que par certains organismes, les bactéries Bio-P ont été avantagées par sélection naturelle. Comme il fallait s'y attendre, cette culture s'est distinguée par une activité Bio-P élevée (fig. 2), ce qui a considérablement simplifié l'application des méthodes de biologie moléculaire.

ARN ribosomique et classification phylogénétique

La biologie moléculaire a développé des méthodes permettant d'isoler et de caractériser des bactéries sans pour autant dépendre des monocultures. Ce genre de méthode se base sur la mise en évidence de séquences d'ARN ribosomique (ARNr) spécifiques [5]. Les similitudes typiques de ces séquences génétiques permettent de classer les bactéries par apparemment avec d'autres bactéries. C'est ainsi que depuis la fin des années soixante-dix, se constitue peu à peu l'arbre généalogique des bactéries. Cette «classification phylogénétique» représente aujourd'hui l'une des principales méthodes de classification des micro-organismes (gr. *phylon.*: espèce; *genesis.*: origine).

Les séquences ARNr se prêtent à la fabrication de sondes permettant de distinguer des bactéries spécifiques dans des populations mixtes. A cet effet, on synthétise des brins de nucléotides capables de s'amarrer à des endroits caractéristiques de l'ARNr. Ces sondes sont en outre liées à un colorant fluorescent, de sorte qu'on peut visualiser l'emplacement de ces brins à l'aide d'un microscope à épifluorescence: les bactéries recherchées deviennent fluorescentes lorsqu'elles sont activées par rayons UV (fig. 3).

Les sondes ARNr peuvent être adaptées à des besoins spécifiques. Ils permettent par exemple de déterminer la répartition pourcentuelle de grands groupes (degré de parenté défini sur une large

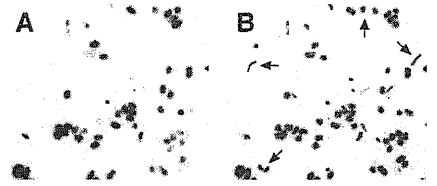


Fig. 4
Echantillon de la culture d'enrichissement (clichés obtenus par épifluorescence inversée).
A: Marquage avec une sonde ARNr pour protéobactéries bêta (sonde bêta).
B: Même cadrage que A, toutefois après marquage non spécifique de toutes les cellules (au moyen du colorant à fluorescence DAPI) (cf. illustration A).

base) au sein d'une population inconnue. Les groupes recherchés peuvent ensuite être pourvus de sondes spécifiques, ce qui permet un classement par sous-groupes, par familles, par genres et, enfin, par espèces.

Composition de la population cultivée

La culture considérée a d'abord été analysée grâce à des sondes génétiques qui permettent de distinguer certains groupes principaux parmi toutes les bactéries. Or, les résultats ont mis en évidence que plus de 80% des organismes appartenaient au groupe des protéobactéries bêta (fig. 4). Le recours à deux sondes ARNr distinctives ont permis de cerner encore mieux l'apparement des bactéries (2^e sous-groupe des protéobactéries bêta). Une fois cette délimitation opérée, une nouvelle sonde génétique spécifique a été développée pour le genre *Rhodocyclus*. Même avec cette sonde déjà très spécifique, près de 80% de tous les organismes présents ont encore réagi. On peut donc en conclure que la culture en laboratoire a permis d'obtenir une population bactérienne hautement spécialisée, comprenant des bactéries d'un seul et unique groupe appartenant au genre *Rhodocyclus* ou lui étant étroitement apparenté.

Délimitation par rapport au genre *Rhodocyclus*

Les représentants du genre *Rhodocyclus* sont capables de se multiplier par phototrophie en condition anaérobie. Cette propriété physiologique est un critère important de classification des espèces de bactéries appartenant au genre des rho-

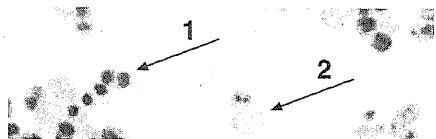


Fig. 5
Echantillon prélevé à la fin de la phase aérobie, après coloration des globules de polyphosphates (cliché Hellfeld après coloration de Neisser).
1: cellule avec deux globules de polyphosphates
2: cellule sans globule.

docytes [6]. Or, des essais de vérification sur la culture de laboratoire ont démontré que la bactérie Bio-P dominante n'est pas en mesure d'assurer sa croissance par phototrophie en condition anaérobie. Notre bactérie Bio-P semble par conséquent être étroitement apparentée au genre *Rhodocyclus*, mais s'en distingue toutefois nettement du point de vue physiologique. En l'état actuel de nos connaissances, notre bactérie Bio-P appartient à un genre encore inconnu que nous baptiserons provisoirement pseudo-rhodocycles. Il s'agira de la caractériser plus en détail lors de prochains travaux.

Jusqu'ici, nous avons en quelque sorte répertorié les «empreintes digitales» de notre bactérie, que nous pouvons désormais suivre à la trace. Nous ne pouvons toutefois pas encore la distinguer de ses «semblables» et ne connaissons pas encore entièrement sa «fiche signalétique».

Pour l'heure, nous sommes en train d'étudier la séquence ARNr entière de la bactérie dominante. Cette séquence complète permettra de procéder à une classification plus précise et de développer des sondes génétiques encore plus spécifiques qui permettront une délimitation directe par rapport aux rhodocycles.

Mise en évidence des polyphosphates et du PHB

Le haut degré d'enrichissement de la culture en laboratoire a permis de confirmer par microscopie indirecte le fait que la bactérie dominante est effectivement une bactérie Bio-P. On a utilisé à cette fin des techniques de coloration qui permettent de marquer de manière spécifique les globules de polyphosphates et de PHB [7]. Dans des échantillons prélevés à la fin de la phase aérobie, la présence des globules de polyphosphates est clairement démontrée pour 80% de toutes les cellules présentes (fig. 5).

Dans des échantillons prélevés en fin de phase anaérobie, la coloration du PHB permet d'obtenir des résultats analogues: plus de 80% des cellules se distinguent nettement par leurs globules de PHB (fig. 6). Mais il n'est pas possible de recourir simultanément à la sonde ARNr et à la coloration des globules pour la même préparation destinée à l'étude microscopique. On ne peut donc affirmer que la capacité de fixer les polyphosphates et le PHB soit une propriété directe des «pseudo-rhodocycles». Les pourcentages de cellules biomarquées étant toutefois très élevés (>50%), l'intersection entre les trois ensembles peut être considérée comme indirectement prouvée et, qui plus est, relativement importante. Par ailleurs, la majorité des bactéries se trouvant dans cette zone d'intersection ont la même forme cellulaire. On peut donc admettre que la synthèse et la dégradation des polyphosphates et du PHB ont lieu dans les mêmes cellules. C'est la première fois que ce phénomène a pu être démontré sur la base de cette évidence. La bactérie dominante de notre culture est par conséquent une «vraie» bactérie Bio-P, qui correspond à toutes les hypothèses de modélisation.

Perspectives pour l'emploi des sondes ARNr

Grâce à la réalisation de la sonde génétique, il est désormais possible, moyennant un investissement moindre, de chercher les bactéries spécifiques dans les installations Bio-P les plus différentes. Les analyses de ce genre montreront dans quelle mesure l'élimination des phosphates est corrélée au nombre de ces bactéries. En tout état de cause, nos résultats ne signifient pas que notre bactérie dominante est la seule ou la plus importante bactérie Bio-P. L'une des prochaines tâches consistera à répondre à cette question.

La sonde à rhodocycles peut très bien être utilisée à d'autres fins, par exemple à la détection d'individus isolés dans les cultures Bio-P mixtes. Nous avons nous-mêmes procédé à de tels tests sur des monocultures issues de notre réacteur. Il s'est avéré qu'aucune des bactéries isolées n'était identique à la bactérie Bio-P. Cette

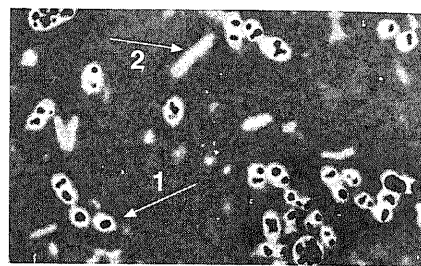


Fig. 6
Echantillon prélevé à la fin de la phase anaérobie après coloration des globules de PHB (cliché obtenu par épifluorescence après coloration au bleu de Nil). La mise en évidence des cellules a été obtenue en superposant un cliché à phases inversées.

1: cellule comptant un globule de PHB (point sombre au centre de la paroi cellulaire)
2: cellule sans globule.

constatation confirme combien il est difficile, comme chacun sait, d'obtenir une monoculture de bactéries Bio-P.

Les bactéries Bio-P ne sont pas un cas isolé. De nombreuses bactéries existant à l'état naturel n'ont pas pu être cultivées en laboratoire jusqu'à présent. C'est une des raisons pour lesquelles les espèces de bactéries connues à ce jour sont très peu nombreuses. Le présent travail ne contribue donc pas seulement à mieux comprendre comment l'élimination biologique des phosphates peut être améliorée, mais illustre également les nouvelles possibilités méthodologiques qui s'offrent pour l'analyse de systèmes biologiques complexes en général.

- [1] Siegrist H. (1995): Elimination des substances nutritives dans les installations d'activation des boues. EAWAG news 37F 11-16.
- [2] Max Maurer und Willi Gujer (1996): Erhöhte biologische Phosphorelimination. gwa, 76, Jahrgang, 867-876.
- [3] Kortstee G.J.J., Appeldoorn K.J., Bonting C.E.C. and E.W.J. van Niel (1994): Biology of polyphosphate-accumulating bacteria involved in enhanced biological phosphorus removal: FEMS Microbiol. Rev., 15, 137-153.
- [4] Comeau Y., Hall K.J., Hancock R.E.W. and W.K. Oldham (1986): Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal. Water Research, 20, 1511-1521.
- [5] Amann R.L., Ludwig W. and K.H. Schleifer (1995): Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation: Microbiol. Rev., 59, 143-69.
- [6] Trüper H.G. and J.F. Imhoff (1992): The genera *Rhodocyclus* and *Rubrivivax*, in A. Balows, H.G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder, and K.-H. Schleifer, eds., *The prokaryotes*, Springer-Verlag, New-York, 2556-2561.
- [7] Rees G.N., Vasiladis G., May J.W. and R.C. Bayly (1992): Differentiation of polyphosphate and poly- β -hydroxybutyrate granules in an *Acinetobacter* sp. isolated from activated sludge: FEMS Microbiology Letters, 94, 171-174.

Sybille Borner et Heinz Stalder

Bientôt des crocodiles dans le lac des Quatre-Cantons?

Sibylle Borner¹Heinz Stalder²

Depuis des siècles, l'humain manipule la composition naturelle de la faune et de la flore, que ce soit volontairement ou par hasard. Dans toutes les régions du monde, nous trouvons aujourd'hui des espèces allogènes. Les conséquences suscitent la controverse. Alors que les environmentalistes tirent la sonnette d'alarme pour prévenir tout déséquilibre biologique et que les médecins vétérinaires et les agronomes avancent le risque de nouvelles maladies, d'autres se réjouissent du prétendu enrichissement de la faune et de la flore indigènes.

A l'EAWAG, les espèces allogènes font l'objet d'une attention toute particulière depuis un certain temps, surtout dans le domaine de l'ichtyofaune. En 1996/97, une nouvelle espèce est apparue sans crier gare: l'écrevisse rouge de Louisiane (*Procambarus clarkii*, voir fig. 1). Cette écrevisse a fait l'objet de nombreux débats animés au cours de ces derniers mois. Il est temps de faire le point de la situation et de replacer le problème dans un contexte plus général.

Allogène ou indigène

La question des «espèces allogènes» ne peut être traitée sans commencer par définir les notions «allogène» et «indigène». On s'aperçoit rapidement que les frontières délimitant ces deux notions sont floues et parfois même artificielles. De manière générale, les espèces animales et végétales qui ont colonisé notre pays après l'an 1500 sont considérées comme allogènes (néophytes et néozènes) [1]. L'année choisie est un critère un peu arbitraire, mais correspond à la traversée de l'Atlantique par Christophe Colomb. Elle définit le début de l'ère moderne. Le développement du commerce, les migrations, les guerres, les grandes découvertes ont encouragé les échanges et le déplacement d'espèces jusque-là endémiques. Toutefois, la transformation à grande échelle de la nature originelle ne date pas de 1500. La transformation générale du paysage naturel en paysage cultivé a débuté bien avant, et les espèces allogènes ont profité de la situation pour s'installer dans les prairies, les champs et les espaces rudéraux. Parmi les espèces apparues

avant 1500 et considérées de ce fait comme indigènes, on citera notamment la verveine, le bleuet, le coquelicot, le châtaignier, le noyer, l'alouette des champs et l'hirondelle des cheminées. Les associations phytosociologiques de la flore agricole sont venues pour ainsi dire clandestinement du Proche-Orient, à la faveur de l'importation de diverses espèces de céréales. Il y a plus de 6500 ans que l'agriculture s'est introduite en Europe centrale via la Grèce, les Balkans, par le sud-ouest de l'Europe et la vallée du Rhône. Les associations phytosociologiques ont très rapidement gagné des zones reculées, ce qui s'explique par le fait que les graines restaient accrochées à la fourrure, aux sabots et aux griffes des animaux. La sélection insuffisante du bon grain et l'absence de méthodes phytosanitaires efficaces ont permis à ces espèces de subsister de manière extensive jusqu'à ces dernières décennies. Aujourd'hui, on admet que 16% de toutes les espèces végétales d'Europe centrale ont été directement ou indirectement importés par la civilisation. Dans quelques cas, comme pour les associations végétales et animales du domaine agricole, certaines espèces sont aujourd'hui favorisées de manière ciblée dans le cadre des cultures biologiques pour contribuer à la lutte contre les parasites ou pour améliorer la fertilité des sols agricoles.

La fig. 2 montre l'énorme influence qu'ont eue au Moyen Âge l'agriculture et, dans une moindre mesure, la sylviculture, sur le nombre des espèces (espèces végétales dans la région de Zurich) [d'après 1]. Suite à l'intensification de l'agriculture et à l'abandon de certaines

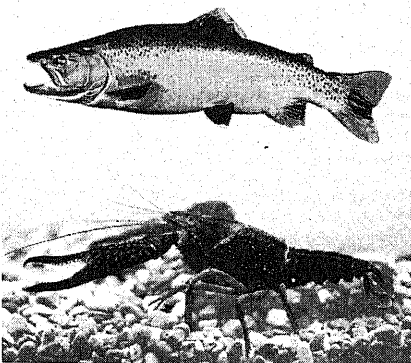


Photo: Armin Peter und Thomas Stucki

Fig. 1
Aussi bien la truite arc-en-ciel que l'écrevisse rouge de Louisiane mènent la vie dure aux espèces indigènes depuis leur acclimatation.

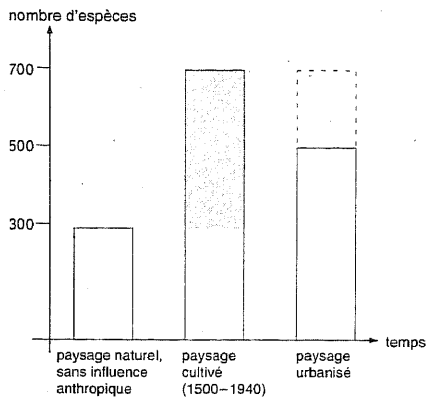


Fig. 2
 Ces cinq derniers siècles, de nombreuses espèces ont émigré en Europe suite aux activités sylvicoles et agricoles (colonne hachurée). L'exploitation intensive du sol durant ces dernières décennies a toutefois entraîné une réduction considérable du nombre d'espèces (colonne en pointillé).

plantés comme le lin, de nombreuses espèces acclimatées, souvent caractéristiques de certaines techniques agricoles, ont à nouveau disparu. Les zones de colonisation peuvent aussi s'agrandir naturellement lorsque les zones connexes offrent des conditions de vie avantageuses. Ainsi, par exemple, la colombe de Turquie a progressivement gagné du terrain depuis l'Asie mineure pour atteindre le continent européen durant ce siècle-ci. En Suisse, non moins de 32 espèces se sont acclimatées depuis 1940 et sont désormais considérées comme étant des espèces couveuses indigènes. On voit donc que la distinction entre espèces allogènes et espèces indigènes est, dans la plupart des cas, une question de point de vue et qu'elle dépend de l'horizon chronologique retenu.

Particulièrement menacées: la flore et la faune insulaires

Les espèces insulaires sont particulièrement menacées par les espèces allogènes. De par l'isolation géographique par rapport à la terre ferme, la faune et la flore insulaires se développent de manière indépendante et sont entièrement démunies face aux maladies et aux prédateurs importés, par manque de mécanisme protecteur [2]. La colonisation de la Nouvelle-Zélande par les chats, les chiens et les rats importés par les Européens au cours du 19^e siècle s'est révélée catastrophique pour les oiseaux indigènes incapables de voler. Aux Galapagos, les

marins ont introduit des chèvres et des cochons comme bétail de boucherie. Ces animaux ravagent aujourd'hui encore l'écosystème remarquable des îles des Galapagos, dévorant tout sur leur passage – sans compter les nombreux autres facteurs de menace. Enfin, l'expérience montre qu'il n'est pas possible d'éradiquer une espèce allogène, même en y consacrant toute l'énergie nécessaire.

Exemples récents de végétaux allogènes

L'humain influence la biodiversité de deux manières: il permet d'une part à des organismes d'arriver à des endroits qui leur auraient été par ailleurs inaccessibles et, d'autre part, il crée de nombreux biotopes par son travail (bas-marais, prairies demi-sèches, vergers, etc.). Parmi les espèces autrefois allogènes, un grand nombre sont des plantes utiles: pommes de terre, tomates, maïs, haricots, carottes, poireaux, tabac, etc. Il suffit de regarder dans n'importe quel jardin pour constater que les plantes d'ornement ont été et sont encore importées en masse. Un grand nombre d'entre elles exigent beaucoup de soins et ne peuvent s'étendre en dehors des jardins. Il leur manque par exemple des mécanismes de protection contre les rigueurs hivernales, ou bien elles sont tenues en échec par des espèces concurrentes, elles grandissent trop lentement ou elles ne trouvent pas suffisamment d'eau et de nutriments. Quelques espèces sont néanmoins très concurrentielles et se multiplient dès lors à grande échelle. La Gerbe d'or (*Solidago canadensis*), plante à fleurs jaunes atteignant jusqu'à 2 m de hauteur, colonise aujourd'hui les talus des voies ferrées, les surfaces rudérales et les prairies à litière, à tel point qu'elle constitue un problème pour la protection de l'environnement. La Balsamine asiatique (*Impatiens glandulifera*), plante de couleur rose, fortement odorante, se répand le long des cours d'eau sur tout le Plateau. Dans le cas de la gerbe d'or, on fait de grands efforts pour amoindrir les peuplements locaux en suivant des rythmes de fauchage calculés ou en appliquant des méthodes de traitement particulières

(brûlage, recouvrement, desherbage). Ces mesures sont restées sans effet jusqu'à présent.

Exemples récents d'animaux allogènes

L'ichtyofaune suisse est actuellement dominée par la truite arc-en-ciel, qui vient en tête des espèces allogènes dans nos cours d'eau. Dans le monde, 160 espèces de poissons ont été ainsi élevées en pisciculture, puis introduites à grande échelle. Depuis, la truite arc-en-ciel est devenue l'espèce de poisson la plus répandue dans les cours d'eau suisses. Importée au départ pour la gastronomie, elle conquiert de nouveaux biotopes depuis la fin du 19^e siècle, grâce à son instinct migratoire et à sa vigueur concurrentielle. L'écrevisse rouge de Louisiane est également un exemple de ce genre. Originaires de l'Amérique du Nord, elle a été mise en liberté pour les mêmes raisons que de nombreux poissons. Sa croissance rapide et ses besoins modestes en font une espèce facile à élever. Dans la plupart des pays de l'Europe de l'Ouest, elle parvient déjà à se reproduire en dehors des piscicultures. En Suisse aussi, l'écrevisse rouge a été attestée dans les cantons d'Argovie et de Zurich. L'intérêt des médias pour cette espèce d'écrevisse pourrait donner à penser qu'il s'agit là de l'unique espèce d'écrevisse allogène en Suisse. Ce n'est toutefois pas le cas. Deux espèces également en provenance d'Amérique du Nord et une espèce originaire de l'Europe de l'Est font également concurrence à nos trois espèces indigènes. En l'occurrence, le plus grand danger ne vient pas directement de la lutte concurrentielle entre ces espèces, mais d'un champignon pathogène responsable de la «peste de l'écrevisse». Ce champignon est colporté par les espèces américaines qui n'en sont pas affectées. En revanche, les écrevisses indigènes n'y résistent pas longtemps.

Le tourisme, porte ouverte aux échanges

Outre le commerce mondial de matériel organique, le tourisme constitue égale-

ment un vecteur de propagation pour les espèces. Le grand nombre de touristes et la petitesse des éléments végétaux tels que graines ou boutures rendent tout contrôle douanier illusoire. Il faut donc mettre davantage l'accent sur l'information et l'autoresponsabilisation des voyageurs. Le colportage des maladies est un risque majeur. C'est pour cette raison que l'importation de rosacées est par exemple défendue. Le feu bactérien est une maladie végétale affectant particulièrement les rosacées et pourrait de ce fait être facilement importé. Cette maladie s'attaque ensuite aux plantes d'ornement et aux arbres fruitiers tels que les pommiers et les poiriers. Les espèces animales et végétales provenant d'autres pays ne doivent donc pas être ramenées dans la valise.

Perspectives

A l'avenir, le taux d'immigration des plantes évoluera plutôt à la baisse, étant donné que les espèces jouissant d'un grand potentiel de diffusion se seront bientôt répandues dans le monde entier [4]. Toutefois, les changements climatiques contribueront à modifier les rapports de concurrence entre différentes espèces, ce qui entraînera l'apparition locale de nouvelles espèces et la disparition d'autres espèces existantes [4]. L'équilibre phytosociologique manipulé que nous connaissons actuellement peut être considéré comme une vaste expérience sur l'évolution biologique. En quelques siècles à peine, nous avons perturbé la répartition géographique des espèces à tel point qu'il n'est pas possible d'en estimer les conséquences à long terme [5].

Attitude face aux espèces alloènes

Nous ne pouvons inverser simplement la vapeur: l'acclimatation d'espèces alloènes est un fait. Toutefois, il convient de veiller au maintien de la biodiversité actuelle pour l'avenir. A cet égard, la préservation de biotopes proches de l'état naturel est un objectif prioritaire. De grands efforts doivent encore être fournis dans cette direction.

Les espèces alloènes constituent un facteur de stress supplémentaire alors que les écosystèmes sont déjà très fortement mis à contribution. Aucune prévision ne peut être établie quant à la prolifération et à l'impact des espèces exotiques parvenant dans un environnement nouveau [6, 7]. Au vu de la situation, il faut agir selon le principe de la prévoyance, c'est-à-dire en interdisant par principe toute importation et mise en liberté d'espèces animales ou végétales de provenance étrangère. La législation actuelle contient déjà des dispositions correspondantes. Le même raisonnement s'applique aux organismes génétiquement modifiés (OGM)

qui doivent être manipulés avec les mêmes précautions que les espèces alloènes. Leur généralisation constitue un risque incalculable pour les écosystèmes. Le commerce des espèces porteuses de maladies ou susceptibles de se multiplier et de se propager de manière incontrôlable doit faire l'objet d'une surveillance stricte. En ce qui concerne les espèces déjà acclimatées, il faut essayer par des mesures adéquates de garder la situation sous contrôle.

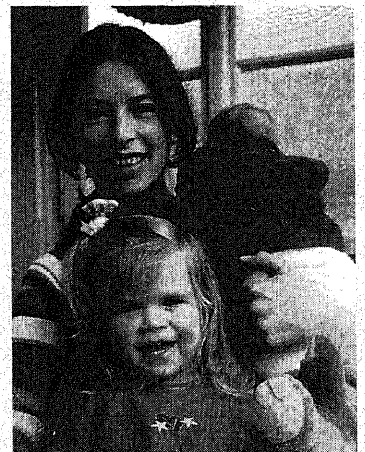
Il convient enfin de faire comprendre à la population et aux voyageurs la nécessité de ces dispositions restrictives en les informant des dangers encourus.

- [1] Gigon A. (1994): Was ist Naturschutz? Wieso Naturschutz? Skript ETH Zürich, unveröffentlicht.
- [2] Loope L.L. & Müller-Dombois D. (1989): Characteristics of invaded islands, with special reference to Hawaii. Eds. Drake J.A. et al., SCOPE, 37, S. 257-280.
- [3] Kornas J. (1990): Plant invasion in central Europe: historical and ecological aspects. In: Biological invasions in Europe and the mediterranean basin, Eds. di Castri F., Hansen A.J. and Debussche M., Kluwer Academic Publishers, Vol 65, S. 19-36.
- [4] Di Casri G. (1990): On invading species and invaded ecosystems: the interplay of historical chance and biological necessity. In: Biological invasions in Europe and the mediterranean basin, Eds. di Castri F., Hansen A.J. and Debussche M., Kluwer Academic Publishers, Vol 65, S. 3-16.
- [5] Ian A.W., Loope L.L., Usher M.B. and Hamann O. (1989): Wildlife conservation and the invasion of nature reserves by introduced species: a global perspective. Eds. Drake J.A. et al., SCOPE 37, S. 215-256.
- [6] Ashton P.J., Mitzhell D.S. (1989): Aquatic plants: patterns and modes of invasion, attributes of invading species and assessment of control programmes. Eds. Drake J.A. et al., SCOPE 37, S. 111-154.
- [7] Kruger F.J., Breytenbach G.J., Macdonalds I.A.W. and Richardson D.M. (1989): Eds. Drake J.A. et al., SCOPE 37, S. 181-214.

Prix Otto Jaag de la protection des eaux 1997

Le prix Otto Jaag de la protection des eaux 1997 a été décerné à Madame Barbara Baumann, ex-doctorante de la Division de microbiologie, pour sa thèse *Dynamics of Denitrification in Paracoccus denitrificans*.

Dans sa thèse, Barbara Baumann a appliqué avec succès les méthodes classiques de culture microbiologique en association avec des techniques de génétique moléculaire, ce qui lui a permis de mettre en évidence la réponse très rapide des cellules bactériennes au changement de conditions environnementales. Elle s'est en particulier penchée sur la capacité des bactéries dénitrifiantes à transformer le nitrate en azote atmosphérique en condition anoxyque. Les bactéries constatent très rapidement l'absence d'oxygène et engagent alors les systèmes enzymatiques requis pour dégrader le nitrate au lieu de l'oxygène. Une des principales découvertes de B. Baumann a été de constater que l'induction de la réductase du nitrite intervient plus tard que l'induction des réductases du nitrate et du N_2O . Il en résulte un déséquilibre temporel et une accumulation du nitrite toxique. La concentration du nitrite doit toutefois être maintenue à un niveau aussi bas que possible pour garantir une dénitrification optimale.



Conférence de presse de janvier 1998: échos dans la presse

Noch ein Drittel Strom pro Kopf

Zürich: Die ETH geht mit der Vision einer 2000-Watt-Gesellschaft in die Energie-Offensive

Die ETH lanciert eine Offensive im Bereich des...

2000-Watt-Bürger als Ziel des ETH-Bereichs

Nachhaltigkeit – Thema von Lehre, Forschung und Diensten

Der ETH-Rat betrachtet die...
technischen Hochschu...
eine Strategie...

ETH-Forschung lanciert eine Umweltoffensive

Techni...
ihre...

2000 Watt sind genug

Die ETH will sich für eine nachhaltige Anwendung der Energie einsetzen.

Neuausrichtung griff zu bekund...
der ETH-Bereich die Leitidee...
2000-Watt-Gesellschaft...
Weltbevölkerung soll...

Le domaine des EPF, qui comprend les deux Ecoles polytechniques fédérales de Zurich et de Lausanne ainsi que les instituts de recherche PSI, FNP, EMPA et EAWAG, s'engage en faveur d'un développement durable à l'échelle planétaire. Il entend relever ce défi à venir grâce à sa «Stratégie pour l'environnement» dans le cadre de laquelle il réorientera son enseignement, ses recherches et ses prestations de service. A cet effet, il s'est donné comme idée directrice le modèle d'une société à 2000 watts.

A long terme, la consommation d'énergie de la population mondiale ne doit pas dépasser plus de 2000 watts par habitant et par année. Grâce au développement et à la mise en oeuvre d'innovations visant à augmenter l'efficacité énergétique, l'utilisation de l'énergie doit devenir plus rationnelle. En Suisse, l'objectif de 2000 watts par habitant doit pouvoir être envisageable dans un laps de 20 à 30 ans, pratiquement sans porter préjudice à la prestation énergétique utile.

Une consommation mondiale de 2 kW/hab. permettrait de réduire la concentration atmosphérique de CO₂ à

560 ppm (soit 560 particules CO₂ par million de particules présentes dans l'air). Le réchauffement de l'atmosphère pourrait ainsi être maintenu dans des limites raisonnables. En Suisse, la consommation actuelle est de 6500 watts par personne. Il s'agit donc d'optimiser l'utilisation de l'énergie tout en la réduisant de deux tiers.

Le Conseil des EPF souhaite concrétiser ses innovations pour un avenir durable en étroite collaboration avec les milieux économiques de manière à renforcer la vigueur de la place économique suisse et à assurer l'emploi.

Manques reconnus?

En 1995, le Conseil des EPF a mandaté une analyse sous le titre «Sciences de l'environnement dans le domaine des EPF». Selon les résultats de cette analyse, il n'y a aucune lacune à relever en ce qui concerne l'enseignement et la recherche dans en sciences naturelles qu'en sciences de l'ingénierie. Mais les aspects relevant de l'économie et des sciences sociales ne sont pas suffisamment pris en compte.

Sur la base de ce constat, le Conseil des EPF a lancé son projet «Stratégie pour l'environnement». Le domaine des EPF entend ainsi contribuer de manière déterminante à la mise en place d'une société durable conjointement avec ses partenaires tant nationaux qu'internationaux. Outre les améliorations internes

de la recherche, de l'enseignement et des prestations pour l'industrie, il s'agira de favoriser la collaboration avec l'économie et la place financière suisse dans le domaine de l'environnement.

Répercussions sur les études

Si notre société veut se convertir aux formes de vie et d'économie durables afin de ménager l'environnement, la réflexion doit également s'étendre à la formation universitaire qui, elle aussi, doit changer d'approche. Les étudiantes et les étudiants auront une plus grande latitude dans l'organisation de leurs études.

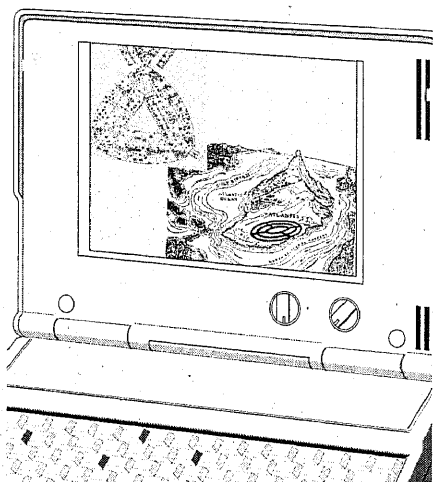
Grâce à un système uniformisé de points, les étudiants pourront se faire créditer un certain nombre de points pour les cours obligatoires, dont le nombre sera réduit. Ils pourront donc acquérir les points supplémentaires pour l'obtention d'un diplôme en choisissant librement des combinaisons de cours proposées par d'autres départements ou écoles, par exemple dans le domaine des sciences environnementales, de l'administration ou des sciences sociales.

Dialogue entre sciences et économie

En collaboration avec les milieux économiques, le Conseil des EPF souhaite mettre sur pied une plate-forme destinée en particulier à favoriser le développement commun de technologies durables débouchant sur des produits concurrentiels. Les projets seront placés sous la direction de professeurs spécialement mandatés par cette plate-forme. Ces professeurs se distingueront non seulement par leurs qualités professionnelles, mais aussi par leur esprit d'entreprise et d'initiative pour les questions de durabilité.

Culture du risque à l'innovation

Désormais accessible par Internet, la région urbaine virtuelle Nova Atlantis constitue l'instrument par lequel le Conseil des EPF souhaite faire connaître au monde entier son engagement pour la cause de l'environnement et inviter la communauté internationale à collaborer.



Voie libre pour la planification urbaine virtuelle de Nova Atlantis (en h. à g.: éco-gratte-ciel [Fingerhuth, «Die Gestalt der postmodernen Stadt»]; en b. à d.: Atlantis de Paul Schliemann [Richner]).

Formation continue d'environnementaliste: un dialogue entre recherche et pratique

PEAK: 5 ans déjà

La formation continue est la solution la plus rapide et la plus efficace pour le transfert des connaissances issues de la recherche. Dans le cadre du programme PEAK (Praxisorientierte EAWAG-Kurse), mis sur pied en 1993, l'EAWAG offre à l'intention des professionnels de l'économie du secteur privé et de l'administration des cours de formation continue. Pendant les cours les membres de toutes les départements de l'EAWAG ainsi que d'institutions partenaires présentent des résultats de leurs recherches. Les cours PEAK sont généralement de courte durée (quelques jours), interdisciplinaires et ne sont pas répétés.

Les cours de 1993 à 1997

Voici près de 10 ans, les sciences environnementales ont commencé à figurer dans les programmes d'étude standards. Il n'y avait alors pas beaucoup de possibilité de perfectionnement pour les environnementalistes engagés dans la vie professionnelle, lesquels devaient récolter les informations durant les conférences et par leurs études autodidactes. Les spécialistes cantonaux de la protection des eaux se sont alors approchés de l'EAWAG pour demander la mise sur pied d'un programme de formation continue. Le résultat est là: PEAK.

Du 13 au 17 septembre 1993, le premier cours PEAK a eu lieu au centre de recherches limnologiques

de Kastanienbaum (LU), sous le titre «Signification de la morphologie et des types de cours d'eau pour les organismes aquatiques». Depuis lors, 32 cours PEAK ont été organisés, soit 156 jours de séminaires. Les sujets interdisciplinaires traités dans ce cadre témoignent de la diversité des sujets traités à l'EAWAG et mettent l'accent sur l'épuration des eaux, la production d'eau potable, la chimie analytique, le comportement des substances dans les systèmes naturels, la potamologie, la gestion durable des ressources ainsi que l'élimination des eaux usées et des matières fécales dans les pays en voie de développement.

En 1994/95, l'EPFZ a institué le diplôme d'étude post-grade «Gestion des eaux urbaines et protection des eaux». Les cours PEAK font partie intégrante de ce nouveau cursus, qui dure une année. Afin de satisfaire aux exigences, le programme PEAK a dû être étoffé, tandis que la durée des cours a été prolongée (voir tableau). Les 53 jours de cours par an et d'une durée moyenne des cours de 6,6 jours ont dès lors constitué un pensum considérable pour les chargés de cours de l'EAWAG et ont causé des problèmes d'organisation parmi la clientèle professionnelle. Ceux-ci ont fait savoir qu'il leur était difficile de suivre des cours de plus de 2 à 3 jours. Actuellement, l'offre des cours s'est stabilisée autour de 30 jours par an.

Année	Cours	Jours	Jours/ cours	Participants
1993	3	10	3.3	105
1994	5	14	2.8	143
1995	8	53	6.6	215
1996	9	47	5.2	180
1997	7	32	4.6	143
Total	32	156	4.9	786

Statistique des cours PEAK organisés depuis 1993. En 1995, les candidats au diplôme post-grade «Gestion des eaux urbaines et protection des eaux» de l'EPFZ prennent part pour la première fois aux cours PEAK.

Les cours PEAK se distinguent par le fait qu'ils couvrent un large éventail de sujets et qu'ils ne se répètent presque jamais. Le cercle des intéressés se renouvelle donc constamment. D'ailleurs, la majorité des participants et participantes n'ont assisté qu'à un seul cours. En cinq ans, notre clientèle compte 65 auditeurs individuels, environ 160 entreprises et quelque 90 services, offices ou laboratoires publics. Chaque entreprise et chaque service public a été représenté trois fois à un cours PEAK.

Réactions des participant(e)s aux cours

Il va de soi que les chargés de cours ressentent directement l'ambiance régnant dans l'auditoire. Cette perception est toutefois subjective et ponctuelle. Avec le recul, elle apparaît positive. Les participants aux cours PEAK sont donc priés à chaque fois de remplir un questionnaire relativement détaillé. Nous disposons ainsi d'une évaluation des cours du point de vue de notre clientèle, mais surtout d'un «puits aux idées» très suggestif quant à la conception du programme. En guise d'illustration, voici quelques extraits des remarques faites par les participants:

«L'input scientifique de l'EAWAG est d'une aide précieuse pour les praticiens et les autorités administratives. Il faudrait développer ce secteur.»

«Les conférences étaient trop stressées (pour des raisons de temps).»

«L'excursion dans les Alpes m'a beaucoup impressionné.»

«Mesurer les utopies à l'aune de la réalité, mais aussi propager les utopies.»

«La partie (théorie fondamentale) était plus importante que prévu.»

«Pour certains participants, les cours n'ont pas de logique pratique.»

«L'ambiance détendue et la motivation des organisateurs m'ont beaucoup plu.»

«L'EAWAG devrait étendre ses cours de formation dans les domaines Gestion des eaux et agriculture, bilan des matières dans l'exploitation, aspects économiques.»

Dans l'ensemble, les participants ont donné une appréciation positive et ont fait de précieuses suggestions pour l'amélioration des cours. Ces avis nous encouragent et contribuent à détendre l'atmosphère des cours, qui fait l'objet de fréquentes appréciations positives. J'aimerais encore mentionner tout particulièrement un point qui revient dans les avis des participants: il vaut la peine d'annoncer les cours en détaillant avec soin leur contenu, afin de cibler le public au plus près et de ne pas éveiller de fausses attentes.

PEAK: quo vadis?

Les besoins et l'offre en formation continue sont en constante augmentation. La technologie de l'information ouvre de nouvelles voies dans la transmission des connaissances ou plutôt du dialogue sur ces connaissances. L'EAWAG entend relever ces défis et développer les PEAK en conséquence. A cet égard, l'EAWAG entend renforcer la collaboration avec les autres hautes écoles, les hautes écoles spécialisées et le monde professionnel, mieux intégrer les participants grâce aux méthodes didactiques modernes et recourir aux possibilités des nouvelles technologies de l'information. Outre les cours ponctuels, un cours intégral figurera désormais au programme PEAK. Ce cours traitera des principales questions relatives à la technologie de l'eau et à la protection des eaux. Il doit permettre de faire passer tout le potentiel multidisciplinaire et interdisciplinaire de l'EAWAG, et sera organisé avec le concours de partenaires externes. *Herbert Güttinger, Responsable PEAK*

Programme des cours

PEAK 1998/99

1998 (Les cours sont décrits dans la langue parlée au cours.)

10.-12.11.98 **Ecotoxicologie pratique: le test MICROTOX®**
Kristin Becker (EPFL); Herbert Güttinger

1999

16.-19.3.99 **Taxonomie und Ökologie aquatischer Organismen, Teil 2: Hydracarina (A9/99)**

Die Erforschung der biologischen Vielfalt von Flüssen, Feuchtgebieten, Grundwässern und Seen setzt gute systematische Kenntnisse der Art- und Lebensgemeinschaften voraus. Auf Initiative der Abteilung Hydrobiologie/Limnologie startet die EAWAG daher eine Kursserie zur Ausbildung in der Taxonomie der aquatischen Fauna. In dreijährigen Zyklen sollen jeweils sechs ausgewählte Tiergruppen vorgestellt und besprochen werden. Zur Teilnahme sind DiplomandInnen, DoktorandInnen und Mitarbeiter der EAWAG und ETH, insbesondere aber auch MitarbeiterInnen von Ökobüros, kantonalen Ämtern und Umweltschutzorganisationen eingeladen.

Morphologische Grundmerkmale aquatischer Milben (hauptsächlich Hydrachnidia, echte Süßwassermilben) sowie der wichtigsten Gattungen europäischer Still-, Quell- und Fließgewässer. Bestimmungsarbeiten anhand einer Vergleichssammlung europäischer Hydrachnidia-Gattungen.
Reinhard Gerecke (Tübingen), Klement Tockner

23.-25.6.99 **Siedlungshygiene in Entwicklungsländern: Abfallwirtschaft (V19/99)**

Probleme der Abfallentsorgung städtischer Regionen. Erfahrungen, Lehren und Lösungsvorschläge aus der Praxis.
Roland Schertenleib, Christian Zurbrugg

24.-26.8.99 **«Natürliche» Tracer in der Umwelt: Grundlagen und Nutzungsmöglichkeiten (B8/99)**

Einführung in die Theorie und Methodik der Nutzung radioaktiver und chemischer Tracer zum Verständnis von Umweltphänomenen (Transportprozesse, Altersbestimmung, etc.).
Werner Aeschbach, Jürg Beer, Rolf Kipfer

30.8.-1.9.99 **Stoffflüsse in Fließgewässern (V9/99, Wiederholung von V9/96)**

(6.-8.) 9.99 Datenerfassung (Probenahme und Untersuchung), Auswertung und Interpretation der Daten im Zusammenhang mit den wichtigen chemischen, physikalischen und biologischen Prozessen.
René Gächter, Jürg Zobrist

15.-17.9.99 **Taxonomie und Ökologie aquatischer Organismen Teil 3: Chironomidae (A10/99)**

Einführung in die Taxonomie, Biologie, Anatomie und Morphologie der Chironomidae, Übersicht über die Literatur, über Sammel- und Konservierungstechniken. Bestimmungsarbeiten mit Beispielen aus den wichtigsten Familien.
Berthold Janecek (Univ. Wien), Klement Tockner

14.9.99 **Infotag 1999: Grundwasser**
Theresa Büsser et al.

27.-28.9.99 **System Identification and Modelling with AQUASIM (B7/99, Wiederholung des Kurses B7/98)**

Introduction to the use of AQUASIM, a flexible computer program for the analysis of data and for the simulation of natural and technical aquatic systems. The course will be given in English.
Gerrit Goudsmit, Peter Reichert, Oskar Wanner

29.-30.9.99 **Modelling of Lakes with AQUASIM (V20/99)**

Usage of AQUASIM for the simulation of stratification, turbulence, substance transport and conversion processes in lakes. The course will be given in English.

Gerrit Goudsmit, Peter Reichert, Oskar Wanner, Alfred Wüest

Inscription: Secrétariat PEAK, EAWAG, CH-8600 Dubendorf.
Fax: 0041-1-823 53 75; e-mail: heidi.gruber@eawag.ch
Programme actuel: voir <http://www.eawag.ch/Courses/peak.html>

Une institution performante a besoin de collaboratrices et de collaborateurs qualifiés

La formation continue fait partie intégrante de la vie professionnelle. Celui qui vaque à la même activité des années durant sans s'ouvrir aux nouveaux développements de son domaine ou de la société ne pourra plus, tôt ou tard, satisfaire aux exigences quotidiennes.

Cette constatation s'applique d'autant plus au travail scientifique que les connaissances ne cessent de s'accroître dans tous les domaines. De plus, il faut développer de nouvelles stratégies de travail, par exemple lorsque des disciplines traditionnelles sont remplacées par de nouvelles disciplines ou qu'elles s'associent à des disciplines connexes. Enfin, les contacts avec la pratique sont de plus en plus importants afin que les résultats obtenus par la recherche puissent être mis en oeuvre au plus vite.

La formation de la personnalité gagne du terrain

En plus de cet aspect scientifique, l'accent porte de plus en plus sur la «formation de la personnalité»: à l'extérieur, une institution est représentée par ses collaboratrices et ses collaborateurs. Elle doit donc veiller à ce que ceux-ci soient en mesure de satisfaire entièrement à leur tâche. Elle doit également veiller à disposer de bonnes structures internes capables de créer un climat de travail créatif que n'entravent ni querelles de personnel ni difficultés d'ordre organisationnel.

Auto-enrichissement de l'EAWAG

L'EAWAG est sur la bonne voie: ses collaboratrices et collaborateurs ont le droit (et en principe également le devoir) de consacrer 5% de leur temps de travail à la formation continue. Contraignant depuis 1996, ce concept découle des directives de la Confédération ainsi que de l'Image directrice à laquelle se tient l'EAWAG depuis 1994. L'objectif consiste à faire des collaboratrices et collaborateurs des personnalités professionnellement compétentes, ayant l'esprit d'équipe et pouvant travailler de manière autonome et

responsable. A tous les échelons, l'aptitude à la conduite et la responsabilisation sont renforcées en mettant l'accent sur quatre points forts:

- la formation professionnelle spécifique,
- la formation générale (par exemple didactique),
- la formation de la personnalité,
- la formation en matière de conduite.

Situation actuelle

Une enquête menée en 1997 auprès de l'ensemble du personnel de l'EAWAG a révélé un immense hiatus entre les désirs de formation continue et les cours effectivement suivis. Le nombre des personnes souhaitant une offre précise dépasse de trois fois le nombre des personnes ayant déjà profité d'un cours. Comblé ces lacunes sera l'une des plus grandes tâches de l'avenir.

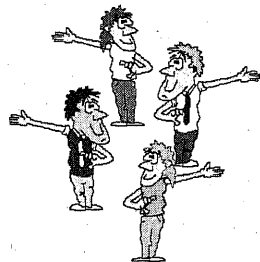
Les collaboratrices et collaborateurs s'attachent actuellement à l'approfondissement des compétences dans leur propre domaine, au transfert des connaissances aux scientifiques et aux profanes, à la planification des projets et du travail ainsi qu'à l'acquisition d'importantes qualifications supplémentaires telles que connaissances linguistiques ou informatiques. Cependant, tout le monde ne souhaite pas intensifier la transdisciplinarité: une partie croissante des collaboratrices et collaborateurs s'intéressent certes à l'organisation de projets en collaboration

avec d'autres partenaires, mais seul un petit nombre estiment indispensable l'acquisition de connaissances dans de nouveaux domaines.

Divers comités s'efforcent de répondre aux souhaits du personnel. Ainsi, par exemple, la formation linguistique offerte depuis un certain temps a pu être stabilisée à un haut niveau et des cours de communication et de gestion des projets sont en planification. Depuis 1993 déjà, un propre cours de gestion est proposé. Même si l'EAWAG ne peut pas répondre lui-même à tous les besoins de ses collaboratrices et collaborateurs, il est étroitement lié à l'EPF et aux services fédéraux, qui disposent eux-mêmes d'une riche palette de programmes de formation continue.

Formation continue pour doctorants

La formation des doctorants prend elle aussi toujours plus d'importance. Jusqu'en 1992, des études post-grade étaient exigées à titre de qualification supplémentaire à la thèse en tant que telle dans le domaine des EPF. Dès lors, la formation continue des doctorants ressortait aux divisions de recherche des instituts concernés et faisait, de ce fait, l'objet de traitements différents. Cependant, afin de garantir à tous les doctorants un accès identique aux programmes de formation continue et de leur assurer ainsi une formation continue minimale, un nouveau concept cadre de formation continue est actuellement élaboré au niveau des EPF. Les doctorants de l'EAWAG ont rédigé leurs propres propositions, qui ont pu être prises en compte. La formation continue est explicitement décrite comme faisant partie intégrante du temps consacré à la thèse. Outre une partie obligatoire, un cadre temporel généreux est également prévu pour la formation continue facultative approfondie. L'EAWAG a pris connaissance de ces propositions dans un esprit d'ouverture et s'efforce d'offrir aussi des cours à ses doctorants ou de leur offrir la possibilité d'en suivre.



Communiqué de presse

Tâches futures

En résumé, les innovations sont légion. Pourtant, les nombreuses possibilités de formation continue n'empêchent pas certaines voix de s'élever pour demander si la formation continue ne fait pas perdre du temps précieux pour le travail. Dans certains cas, l'obligation de justifier son inscription à un cours de formation continue peut avoir un effet dissuasif, de sorte qu'on préfère

renoncer à participer à un cours de formation continue plutôt que de devoir affronter de longues discussions au sein de sa division. Chaque cadre devrait considérer la formation continue non pas comme une charge, mais comme une chance et encourager ses collègues à exprimer leurs besoins et à s'inscrire régulièrement à des cours de formation continue. La Commission du personnel de l'EAWAG soutient de telles acti-

vités et fait office d'intermédiaire entre le personnel et les responsables de la formation continue. Elle est là aussi bien pour répondre à des souhaits concrets et pour mettre en oeuvre des mesures de formation continue que pour résoudre les problèmes auxquels les divisions sont confrontées.

*Sylvia Harms
Membre de la Commission
du personnel*

Heidi Bolliger vous salue!



Voici 30 ans, elle fit irruption à l'EAWAG et se mit à dessiner tout ce qu'on lui donnait. C'était l'ère des crayons et des chablons. Sur son immense pupitre, la cartouche d'encre le disputait au papier calque. Assidûment courbée sur sa planche à dessin, que n'a-t-elle pas dessiné? Tout pour l'eau, son traitement, son épuration et sa protection. Parmi ses adorateurs fervents, on comptait bon nombre de chimistes, d'ingénieurs et de microbiologistes. Elle avait ce don de la représentation – pas un diagramme qui ne lui résiste. Elle avait aussi cette imagination aérée à laquelle l'EAWAG doit surtout son image de marque – un nuage et trois accolades gracieuses exprimant à la fois la beauté de la

nature, sa complexité scientifique et la polysystémisme de la nature.

Elle dut, elle aussi, tirer un trait sur son passé et se tourner vers les techniques d'avenir. Fini, la planche à dessin familière – voici la conception assistée par ordinateur, avec tout son cortège de matériel et de logiciels. Elle dessine encore et toujours, mais avec le stylet et la souris. A la gomme se substitue le clic, au ciseau, le clic, à la cartouche, le clic. Il n'y a plus qu'à cliquer Menu, Options, copier, coller, «encore un désir?» Clic. Prêt fini, plus la peine d'en parler. C'est ainsi que les oeuvres signées H.B., toujours aussi soignées et désormais produites quasi industriellement, ont conquis le monde pour mieux défendre

Werner Stumm à l'honneur



La International Society for «lifetime achievement» (Société int. du savoir-réussir) dans les sciences géochimiques a attribué à Werner Stumm, professeur émérite de géochimie et directeur de l'EAWAG de 1970 à 1992, la médaille Goldschmidt, sa plus haute distinction honorifique.

l'environnement. Plus une conférence sans un graphique sortant de son atelier. Rares sont les scientifiques qui aient séjourné à l'EAWAG sans faire appel à ses services.

Enfin, après tant de travail, elle s'en va goûter un repos bien mérité. Nous lui sommes reconnaissants et, tous en coeur, lui souhaitons de pouvoir désormais dessiner pour son plaisir.

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

Publications

- 2273 **Ferrari, S.** (1997): Chemische Charakterisierung des Kohlenstoffes in Rückständen von Müllverbrennungsanlagen Methoden und Anwendungen, Diss. ETHZ Nr. 12 200, Zürich und Dübendorf.
- 2274 **Simon, A.** (1997): Turbulent mixing in the surface boundary layer of lakes, Diss. ETHZ No. 12 272, Zürich.
- 2275 **Wellnitz, T.A.** (1997): Biotic and abiotic constraints on algal communities in streams the role of light, nutrients, scouring and herbivory, Diss. ETHZ No. 12 301, Zürich.
- 2276 **Bloesch, J.** (1997): Revitalisierung der Fliessgewässer im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees, Mitt. Naturforsch. Ges. Luzern 35, 9–28.
- 2277 **Baccini, P.** (1997): A city's metabolism towards the sustainable development of urban systems, J. Urban Technol. 4, No. 2, 27–39.
- 2278 **van der Wal, A., Norde, W., Bendinger, B., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Chemical analysis of isolated cell walls of gram-positive bacteria and determination of the cell wall to cell mass ratio, J. Microbiol. Methods. 28, 147–157.
- 2279 **van der Wal, A., Norde, W., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Determination of the total charge in the cell walls of gram-positive bacteria, Colloids & Surfaces B Biointerfaces 9, 81–100.
- 2280 **Larsen, T.A., Gujer, W.** (1997): The concept of sustainable urban water management, Water Sci. Technol. 35, No. 9, 3–10.
- 2281 **Krebs, P., Larsen, T.A.** (1997): Guiding the development of urban drainage systems by sustainability criteria, Water Sci. Technol. 35, No. 9, 89–98.
- 2282 **von Gunten, U., Oliveras, Y.** (1997): Kinetics of the reaction between hydrogen peroxide and hydrobromous acid implication on water treatment and natural systems, Water Res. 31, No. 4, 900–906.
- 2283 **Maurer, M., Gujer, W., Hany, R., Bachmann, S.** (1997): Intracellular carbon flow in phosphorus accumulating organisms from activated sludge systems, Water Res. 31, No. 4, 907–917.
- 2284 **Wild, D., Kisliakova, A., Siegrist, H.** (1997): Prediction of recycle phosphorus loads from anaerobic digestion, Water Res. 31, No. 9, 2300–2308.
- 2285 **Holliger, C., Gaspard, S., Glod, G., Hejman, C., Schumacher, W., Schwarzenbach, R.P., Vazquez, F.** (1997): Contaminated environments in the subsurface and bioremediation organic contaminants. FEMS Microbiol. Reviews. 20, 517–523.
- 2286 **Schumacher, W., Holliger, C., Zehnder, A.J.B., Hagen, W.R.** (1997): Redox chemistry of cobalamin and iron-sulfur cofactors in the tetrachloroethene reductase of *Dehalobacter restrictus*, FEBS Letters 409, 421–425.
- 2287 **Morris, E.M., Bader, H.-P., Weilenmann, P.** (1997): Modelling temperature variations in polar snow using DAISY., J. Glaciology 43, No. 143, 180–191.
- 2288 **Livingstone, D.M., Imboden, D.M.** (1997): Reply – the prediction of hypolimnetic oxygen profiles a plea for a deductive approach, Canad. J. Fisheries & Aquatic Sci. 54, No. 3, 740–741.
- 2289 **Genoni, G.P.** (1997): Towards a conceptual synthesis in ecotoxicology, Oikos 80, 96–106.
- 2290 **Kovárová, K., Käch, A., Chaloupka, V., Egli, T.** (1996): Cultivation of *Escherichia coli* with mixtures of 3-phenylpropionic acid and glucose dynamics of growth and substrate consumption, Biodegradation 7, 445–353.
- 2291 **Kovárová, K., Käch, A., Zehnder, A.J.B., Egli, T.** (1997): Cultivation of *Escherichia coli* with mixtures of 3-phenylpropionic acid and glucose steady-state growth kinetics, Appl. Environ. Microbiol. 63, No. 7, 2619–2624.
- 2292 **Knauer, K., Behra, R., Sigg, L.** (1997): Adsorption and uptake of copper by the green alga *Scenedesmus subspicatus* (Chlorophyta), J. Phycology 33, 596–601.
- 2293 **Egli, T.** (1997): Multiple-nutrient-limited growth of microorganisms what are the consequences for bioremediation processes? In «Environmental Biotechnology, Part I», H. Verachtert, W. Verstraete (Eds.). Int. Sympos. of 94th event Eur. Fed. Biotechnology, Oostende, April 21–23, pp. 189–193.
- 2294 **Suske, W.A., Held, M., Schmid, A., Fleischmann, T., Wubolts, M.G., Kohler, H.-P.E.** (1997): Purification and characterization of 2-hydroxybiphenyl 3-monoxygenase, a novel NADH-dependent, FAD-containing aromatic hydroxylase from *Pseudomonas azelaica* HBP1, J. Biol. Chem. 272, No. 39, 24 257–24 265.
- 2295 **Kohler, H.-P.E., Zipper-Duss, C., Nickel, K.** (1997): Umweltdynamik chiraler Schadstoffe – die Notwendigkeit einer Stereoisomeren-spezifischen Betrachtung, In «Umwelt und Chemie», E. Bayer, K. Ballschmitter et al. (Eds.). Bd. 8, Monogr. Ges. Dt. Chemiker, Ulm, S. 263–372.
- 2296 **Stemmler, K., Mengon, W., Kerr, J.A.** (1997): Hydroxyl-radical-initiated oxidation of isobutyl isopropyl ether under laboratory conditions related to the troposphere. Product studies and proposed mechanism, J. Chem. Soc., Faraday Trans. 93 (16), 2865–2875.
- 2297 **Bader, H.-P., Baccini, P.** (1997): System-Modelle und Simulations-Programme im Umweltmanagement – Eine kritische Analyse zum Stand der Technik, GAIA 5, No. 6, 263–275.
- 2298 **Goss, K.-U.** (1997): Considerations about the adsorption of organic molecules from the gas phase to surfaces: Implications for inverse gas chromatography and the prediction of adsorption coefficients, J. Colloid & Interface Sci. 190, 241–249.
- 2299 **Gasol, J.M., Zehnder, A.J.B.** (1997): Note: A simple method for the detection and the «a posteriori» correction of the interference of sulfide on phosphorus measurements, Sci. Marina 61(2), 213–219.
- 2300 **Boller, M.** (1995): Die Rolle der Siedlungsentwässerung bei der Schadstoffanreicherung in Böden, EAWAG news 38D, 17–21.
- 2301 **Binswanger, S., Siegrist, H., Lais, P.** (1997): Simultane Nitrifikation/Denitrifikation von stark ammoniumbelasteten Abwässern ohne organische Kohlenstoffquellen, Korrespondenz Abwasser 44, Nr. 9, 1573–1580.
- 2302 **Bratrich, C., Bloesch, J.** (1997): Zeitgemässer Hochwasserschutz an Fliessgewässern. Chancen und Grenzen einer neuen Philosophie am Beispiel der Engberger Aa, Wasser, Energie, Luft 89, H. 5/6, 123–130.
- 2303 **Stoll, J.-M.A., Giger, W.** (1997): Determination of detergent-derived fluorescent whitening agent isomers in lake sediments and surface waters by liquid chromatography, Analyt. Chem. 69, No. 13, 2594–2599.

- 2304 **Xue, H., Sunda, W.G.** (1997): Comparison of $[Cu^{2+}]$ measurements in lake water determined by ligand exchange and cathodic stripping voltammetry and ion-selective electrode, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, No. 7, 1902–1909.
- 2305 **Müller, S.R., Berg, M., Ulrich, M.M., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Atrazine and its primary metabolites in Swiss lakes input characteristics and long-term behavior in the water column, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, No. 7, 2104–2113.
- 2306 **Arnold, C.G., Weidenhaupt, A., David, M.M., Müller, S.R., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Aqueous speciation and 1-octanol-water partitioning of tributyl- and triphenyltin effect of pH and ion composition, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, No. 9, 2596–2602.
- 2307 **Weidenhaupt, A., Arnold, C.G., Müller, S.R., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Sorption of organotin biocides to mineral surfaces, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, No. 9, 2603–2609.
- 2308 **Klausen, J., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Oxidation of substituted anilines by aqueous MnO_2 effect of co-solutes on initial and quasi-steady-state kinetics, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, No. 9, 2642–2649.
- 2309 **Krejci, V., Schilling, W., Gamme-ter, S.** (1994): Receiving water protection during wet weather, *Water Sci. Tech.* **29**, Nr. 1–2, 219–229.
- 2310 **Hug, S.J., Bürge, I.J., Weidler, P.G.** (1997): Transformations of chromium in the environment, *Analisis Magazine* **25**, No. 7, M12–M15.
- 2311 **Suter, M.J.F., Riediker, S., Zipper, C., Kohler, H.P.E., Giger, W.** (1997): Polar organic compounds in landfill leachates, *Analisis Magazine* **25**, No. 7, M23–M29.
- 2312 **von Gunten, U., Elovioz, M., Kaiser, H.P.** (1997): Characterization of ozonation processes with conservative and reactive tracers prediction of the degradation of micropollutants, *Analisis Magazine* **25**, No. 7, M29–M31.
- 2313 **Stemmler, K., Mengon, W., Kinnison, D.J., Kerr, J.A.** (1997): OH radical-initiated oxidation of 2-butoxyethanol under laboratory conditions related to the troposphere product studies and proposed mechanism, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, 1496–1504.
- 2314 **Seefeld, S., Kerr, J.A.** (1997): Kinetics of the reactions of propionylperoxy radicals with NO and NO_2 peroxypropionyl nitrate formation under laboratory conditions related to the troposphere, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, 2949–2953.
- 2315 **Peeters, F., Kipfer, R., Hohmann, R., Hofer, M., Imboden, D.M., Kodenev, G.G., Khozder, T.** (1997): Modeling transport rates in lake Baikal gas exchange and deep water renewal, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, 2973–2982.
- 2316 **Glod, G., Brodmann, U., Angst, W., Holliger, C., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Cobalamin-mediated reduction of *cis*- and *trans*-dichloroethene, 1,1-dichloroethene, and vinyl chloride in homogeneous aqueous solution reaction kinetics and mechanistic considerations, *Environ. Sci. & Technol.* **31**, 3154–3160.
- 2317 **Sedlak, D.L., Hoigné, J., David, M.M., Colville, R.N., Seyffer, E., Acker, K., Wiepercht, W., Lind, J.A., Fuzzi, S.** (1997): The cloudwater chemistry of iron and copper at Great Dunfell, U.K, *Atmospheric Environment* **11**, No. 16, 2515–2526.
- 2318 **Schosseler, P.M., Wehrli, B., Schweiger, A.** (1997): Complexation of copper(II) with carbonate ligands in aqueous solution a CW and pulse EPR study, *Inorg. Chem.* **36**, No. 20, 4490–4499.
- 2319 **Sticher, P., Jaspers, M.C.M., Stemmler, K., Harms, H., Zehnder, A.J.B., van der Meer, J.R.** (1997): Development and characterization of a whole-cell bioluminescent sensor for bioavailable middle-chain alkanes in contaminated groundwater samples, *Appl. Environ. Microbiol.* **63**, No. 10, 4053–4060.
- 2320 **Fioramonti, E., Semlitsch, R.D., Reyser, H.-U., Fent, K.** (1997): Effects of triphenyltin and pH on the growth and development of *Rana lessonae* and *Rana esculenta* tadpoles, *Environ. Toxicol. & Chem.* **16**, No. 9, 1940–1947.
- 2321 **Boller, M., Tschui, M., Gujer, W.** (1997): Effects of transient nutrient concentrations in tertiary biofilm reactors, *Water Sci. Tech.* **36**, No. 1, 101–109.
- 2322 **Koch, G., Siegrist, H.** (1997): Denitrification with methanol in tertiary filtration at wastewater treatment plant Zürich-Werdhölzli, *Water Sci. Tech.* **36**, No. 1, 165–172.
- 2323 **Bürgi, H.-R., Uehlinger, U.** (1997): Die Algenbiozönose eines Gletscherbaches im Einzugsgebiet der Donau, *Wiss. Referate Internat. Arbeitsgemeinschaft für Donauforschung*, **32**. Konferenz der IAD, *Limnol. Ber. Donau, Wien*, S. 133–136.
- 2324 **Eisenmann, H., Traunspurger, W., Meyer, E.I.** (1997): A new device to extract sediment cages colonized by microfauna from coarse gravel river sediments, *Arch. Hydrobiol.* **139**, No. 4, 547–561.
- 2325 **Mengis, M., Gächter, R., Wehrli, B.** (1997): Sources and sinks of nitrous oxide (N_2O) in deep lakes, *Biogeochem.* **38**, 281–301.
- 2326 **Tockner, K., Schiemer, F.** (1997): Ecological aspects of the restoration strategy for a river-floodplain system on the Danube River in Austria, *Global Ecol. & Biogeography Lett.* **6**, 321–329.
- 2327 **Tien, A.J.** (1997): The physiology of a defined four-membered mixed bacterial culture during continuous cultivation with mixtures of three pollutants in synthetic sewage, *Diss. ETHZ No. 11 905*, Zürich.
- 2328 **Knobel, H.-R.** (1997): Genetic study of bacterial nitrilotriacetate degrading enzymes, *Diss. ETHZ No. 12 146*, Zürich.
- 2329 **Seefeld, S.** (1997): Laboratory kinetic and atmospheric modelling studies of the role of peroxyacyl nitrates in tropospheric photo-oxidant formation, *Diss. ETHZ No. 12 235*, Zürich.
- 2330 **Fesch C.** (1997): Transport of organic pollutants in aggregated media effects of nonlinear and competitive sorption under unsaturated conditions, *Diss. ETHZ No. 12 225*, Zürich.
- 2331 **Stoll, J.-M.A.** (1997): Fluorescent whitening agents in natural waters, *Diss. ETHZ No. 12 355*, Zürich.
- 2332 **Schäfer, A.** (1997): Bacterial transport and pollutant degradation influences of air-water interfaces and solid surfaces, *Diss. ETHZ No. 12 416*, Zürich.
- 2333 **Reiser, R., Toljander, H., Albrecht, A., Giger, W.** (1997): Alkylbenzenesulfonates in recent lake sediments as molecular markers for the environmental behavior of detergent-derived chemicals, In «Molecular

markers in environmental geochemistry», Eganhouse, R.P. (Ed.), chapter 13. Amer. Chem. Soc., Symposium Ser. 671, Washington, pp. 196–212.

2334 **Stoll, J.-M.A., Poiger, T.F., Lotter, A.F., Sturm, M., Giger, W.** (1997): Fluorescent whitening agents as molecular markers for domestic wastewater in recent sediments of Greifensee, Switzerland, In «Molecular markers in environmental geochemistry», Eganhouse, R.P., (Ed.). Amer. Chem. Soc., Washington. pp. 231–241.

2335 **Matthäi, C.D., Werthmüller, D., Frutiger, A.** (1997): Invertebrate recovery from a bed-moving spate the role of drift versus movements inside or over the substratum, Arch. Hydrobiol. 140/2, 221–235.

2336 **Tockner, K., Malard, F., Burgherr, P., Robinson, C.T., Uehlinger, U., Zah, R., Ward, J.V.** (1997): Physico-chemical characterization of channel types in a glacial floodplain ecosystem (Val Roseg, Switzerland), Arch. Hydrobiol. 140/4, 433–463.

2337 **Fent, K.** (1997): Perspektiven und Probleme in der Ökotoxikologie. 5. Statuskolloquium Projekt «Angewandte Ökologie», Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 22, 223–229.

2338 **Suter, M.J.-F.** (1997): The determination of polar compounds in the aquatic environment, In «Selected topics and mass spectrometry in the biomolecular sciences». R.M. Caprioli et al. (Eds.). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp.559–573.

2339 **Schlatter, J.W., Wüest, A., Imboden, D.M.** (1997): Hypolimnetic density currents traced by sulphur hexafluoride (HF₆), Aquatic Sci. 59, 225–242.

2340 **Stumm, W.** (1998): [Water] properties, In «Kirk/Othmer Encyclopedia of chemical technology», 4th Ed., John Wiley & Sons, New York 1998, Vol. 25., pp. 382–405.

2341 **Strauss, M., Larmie, S.A., Heinss, U.** (1997): Treatment of sludges from on-site sanitation low-cost options, Water Sci. Tech. 35, No. 6, 129–136.

2342 **Boller, M., Kobler, D., Koch, G.** (1997): Particle separation, solids budgets and headless development in different bio-filters, Water Sci. Tech. 36, No. 4, 239–247.

2343 **Kobler, D., Boller, M.** (1997): Particle removal in different filtration systems for

tertiary wastewater treatment – a comparison, Water Sci. Tech. 36, No. 4, 259–267.

2344 **Reichert, P.** (1997): On the necessity of using imprecise probabilities for modelling environmental systems, Water Sci. Tech. 36(5), 149–156.

2345 **Carstensen, J., Vanrolleghem, P., Rauch, W., Reichert, P.** (1997): Terminology and methodology in modelling for water quality management – a discussion starter, Water Sci. Tech. 36(5), 157–168.

2346 **Kersten M., Moor H.C., Johnson C.A.** (1997): Speciation of trace metals in leachate from a MSWI bottom ash landfill, Appl. Geochem., 12, 675–683.

2347 **Koch, G., Siegrist, H.** (1997): Denitrification with methanol in tertiary filtration, Water Res. 31, No. 12, 3029–3038.

2348 **Langenhoff, A.A.M., Nijenhuis, Y., Tan, N.C.G., Briglia, M., Zehnder, A.J.B., Schraa, G.** (1997): Characterisation of a manganese-reducing, toluene-degrading enrichment culture, FEMS Microbiol. Ecol. 24, 113–125.

2349 **Jucker, B.A., Harms, H., Hug, S.J., Zehnder, A.J.B.** (1997): Adsorption of bacterial surface polysaccharides on mineral oxides is mediated by hydrogen bonds, Colloids & Surfaces 9, 332–343.

2350 **Leveau, J. H. J., van der Meer, J.R.** (1997): Genetic characterization of insertion sequence ISJP4 on plasmid pJP4 from *Ralstonia eutropha* JMP134, Gene 202, 103–114.

2351 **von Gunten, U., Oliveras, Y.** (1998): Advanced oxidation of bromide-containing waters bromate formation mechanisms, Environ. Sci. & Technol. 32, 63–70.

2352 **van der Wal, A., Minor, M., Norde, W., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Conductivity and dielectric dispersion of gram-positive bacterial cells, J. Colloids & Interface Sci. 186, 71–79.

2353 **van der Wal, A., Minor, M., Norde, W., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Electrokinetic potential of bacterial cells, Langmuir 13, 165–171.

2354 **Kovárová, K., Egli, T.** (1997): Effects of naturally occurring substrates on the biodegradation of pollutants at low concentrations, In «Environmental Biotechnology», Part I, Verachert, H., Verstraete, W. (Eds.).

Int. Sympos., 94th event Eur. Fed. Biotechnology, Oostende, April 21–23, pp. 99–103.

2355 **Egli, T.** (1997): Biodegradation of pollutants at extremely low concentrations and in the presence of easily degradable organic carbon of natural origin, In «Biotechnology for Water Use and Conservation», The Mexico '96 Workshop, OECD Documents, Paris, pp. 271–276.

2356 **Egli, T., Durner, R.** (1997): Microbial growth under multiple-nutrient-limited cultivation conditions, with special reference to the accumulation of PHA, Proc. 1996 Internat. Sympos. on Bacterial Polyhydroxyalkanoates, Davos, Switzerland, G. Eggink et al. (Eds.), NRC Press, Ottawa, pp. 171–177.

2357 **Nickel, K., Suter, M.J.-F., Kohler, H.-P.E.** (1997): Involvement of two α -ketoglutarate-dependent dioxygenases in enantioselective degradation of (*R*)- and (*S*)-Mecoprop by *Sphingomonas herbicidovorans* MH, J. Bacteriol. 179, No. 21, 6674–6679.

2358 **Witschel, M., Nagel, S., Egli, T.** (1997): Identification and characterization of the two-enzyme system catalyzing the oxidation of EDTA in the EDTA-degrading bacterial strain DSM 9103, J. Bacteriol. 179, 6937–6943.

2359 **Reiser R., Toljander H., Giger, W.** (1997): Determination of Alkylbenzenesulfonates in recent sediments by gas chromatography/mass spectrometry, Analyt. Chem. 69(23), 4923–4930.

2360 **Giger, W.** (1997): Trace determinations of individual organic pollutants – 25 years of research at the Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Chimia 51, No. 10, 729–732.

2361 **Müller, S.R.** (1997): Quantifying the dynamics of pesticides in natural waters, Chimia 51, No. 10, 753–755.

2362 **Giger, W., Sigg, L.** (1997): Homage to Werner Stumm, Kurt Grob, and Jürg Hoigné, Chimia 51, No. 12, 859–860.

2363 **Wehrli, B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): From molecules to ecosystems topics, challenges, and players in environmental chemistry, Chimia, 51, No. 12, 865–870.

2364 **Suter, M.J.-F., Alder, A.C., Berg, M., McArdell, C.S., Riediker, S., Giger, W.** (1997): Determination of hydrophilic and

amphiphilic organic pollutants in the aquatic environment, *Chimia* 51, No. 12, 871–877.

2365 **Hug, S.J., Johnson, A., Friedl, G., Lichtensteiger, T., Belevi, H., Sturm, M.** (1997): Characterization of environmental solids and surfaces, *Chimia* 51, No. 12, 884–892.

2366 **Sulzberger, B., Canonica, S., Egli, T., Giger, W., Klausen, J., von Gunten, U.** (1997): Oxidative transformations of contaminants in natural and in technical systems, *Chimia* 51, No. 12, 900–907.

2367 **Schwarzenbach, R.P., Angst, W., Holliger, C., Hug, S.J., Klausen, J.** (1997): Reductive transformations of anthropogenic chemicals in natural and technical systems, *Chimia*, 51, No. 12, 908–914.

2368 **Escher, B.I., Behra, R., Eggen, R.I.L., Fent, K.** (1997): Molecular mechanisms in ecotoxicology an interplay between environmental chemistry and biology, *Chimia* 51, No. 12, 915–921.

2369 **Alder, A.C., Siegrist, H., Fent, K., Egli, T., Molnar, E., Poiger, T., Schaffner, C., Giger, W.** (1997): The fate of organic pollutants in wastewater and sludge treatment significant processes and impact of compound properties, *Chimia* 51, No. 12, 922–928.

2370 **Müller, S.R., Wehrli, B., Wüest, A., Xue, H., Sigg, L.** (1997): The fate of trace pollutants in natural waters – lakes as

«real-world test tubes», *Chimia* 51, No. 12, 935–940.

2371 **Kohler, H.-P.E., Angst, W., Giger, W., Kanz, C., Müller, S., Suter, M.J.-F.** (1997): Environmental fate of chiral pollutants – the necessity of considering stereochemistry, *Chimia* 51, No. 12, 947–951.

2372 **Ward, J.V.** (1998): Riverine landscapes biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation, *Biol. Conservation* 83, No. 3, 269–278.

2373 **Sigg, L., Goss, K.-U., Haderlein, S., Harms, H., Hug, S.J., Ludwig, C.** (1997): Sorption phenomena at environmental solid surfaces. *Chimia* 51, 893–899.

2374 **Hofer, M., Aeschbach-Hertig, W., Beyerle, U., Haderlein, S.B., Hoehn, E., Hofstetter, T.B., Johnson, A., Kipfer, R., Ulrich, A., Imboden, D.M.** (1997): Tracers as essential tools for the investigation of physical and chemical processes in ground-water systems. *Chimia* 51, 941–946.

2375 **Amirbahman, A., Sigg, L., von Gunten, U.** (1997): Reductive dissolution of Fe(III) (hydr)oxides by cysteine: kinetics and mechanism. *J. Coll. & Interface Sci.* 194, 194–206.

2376 **Zehnder, A.J.B.** (1998). Is water the first resource to control demographic development. In «Food & water a question of survival». Forum Engelberg, 8th Conf. 18.–21.3.1997. vdf, Zürich 1997, pp. 85–98.

Livres et publications de l'EAWAG

Ackermann-Liebrich, U., Arquit Niederberger, A., Becker van Slooten, K., Brunner, U., Bürgenmeier, B., Bürki, T., Dürrenberger, G. et al.: Visionen der Forschenden. Forschung zu Nachhaltigkeit und Globalem Wandel – Wissenschafts-politische Visionen der Schweizer Forschenden. ProClim – Forum für Klima und Global Change, Bern 1997, 32 S.

Forstenlechner, F., Hütte, M., Bundi, U., Eichenberger, E., Peter, A. und Zobrist, J.: Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung im alpinen Raum, vdf Hochschulverlag an der ETHZ, ISBN 3-7281-2468-0, Zürich, 100 Seiten, 1997.

Frauenlob, G., Bloesch, J.: Bibliographie Inn. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 11, Dübendorf 1997, 312 S., ISBN 3-906484-15-7.

Matta, V., Sturm, M., Lotter, A.: Post-Symposium Excursion F: Lacustrine Environmental Archives of Central Switzerland. 7th International Symposium on Paleolimnology. Heiligkreuztal, BRD. 143 p. (1997).

Rüede, A., Garaventa, A., Hunziker, P.: Lebendiges Linsental. Ein Forschungsprojekt des Forschungsschwerpunktes der EAWAG 1994–1997. EAWAG, Dübendorf 1997.

Wegelin, M.: Traitement d'Eau de Surface par des Préfiltres à Gravier. Un manuel de Conception, de Construction et d'Exploitation. SANDEC Report No. 3/97, Dübendorf 1997.

BULLETIN DE COMMANDE

45 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