

EAWAG



BIBLIOTHEQUE
 Eidg. Anstalt für Wasserversorgung,
 Abwasserreinigung u. Gewässerschutz
 Ueberlandstr. 133 8600 Dübendorf

EAWAG news

36 F

Octobre 1994

Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG), CH-8600 Dübendorf, Suisse



- 2 Editorial**
 Philippe Roch, Directeur de l'OFEFP
- 3 Evolution de l'environnement: thèses et objectifs**
 Alexander J.B. Zehnder
- 6 Les grands risques et la communication: L'exemple des changements climatiques**
 Claudia Pahl-Wostl et Carlo C. Jaeger
- 9 Jusqu'à quel point les organismes vivants et les écosystèmes supportent-ils le stress?**
 Herbert Güttinger
- 12 Écosystèmes fluviaux: importance des facteurs physiographiques**
 Tom Gosser
- 17 Premiers pas vers une gestion durable des ressources au niveau régional**
 Peter Baccini
- 19 Formulation d'objectifs concernant les métaux dans les cours d'eau**
 Renata Behra, Giulio P. Genoni et Laura Sigg
- 22 Possibilités et limites de l'assainissement biotechnologique de l'environnement**
 Jan Roelof van der Meer
- 26 Lessives et détergents: de l'écologie réactive à l'écologie préventive**
 Walter Giger, Alfredo C. Alder, Pilar Fernández et Eva Molnar
- 30 Problèmes de l'environnement dans les pays en voie de développement: une question de survie**
 Roland Schertenleib
- 33 Bilan de l'azote en Suisse – Une porte ouverte sur la gestion de l'environnement**
 Ueli Bundi
- 36 De la protection à la gestion environnementale: conséquences pour l'EAWAG**
 Ueli Bundi
- 38 Manifestations**
 - L'auto du futur sera-t-elle développée en Suisse?
- 40 Communications internes**
 - Nominations
 - Double honneur pour Jürg Hoigné
- 42 Publications**

Les sciences ont le devoir de poser des questions et d'émettre des doutes



tance pour devenir le moteur d'un progrès global. Elle appelle toutes les forces scientifiques, économiques, sociales et culturelles à fonder une civilisation d'harmonie entre l'humanité et la nature, entre les humains de toutes les régions du monde, entre le présent et l'avenir.

Cette tâche oblige chacun à sortir de son carcan pour penser, témoigner et agir en partenaire du plus beau projet qu'il nous ait jamais été donné de lancer.

Le scientifique, trop protégé par son langage codé et par une interprétation abusive de la liberté de la recherche, doit sortir de sa tour d'ivoire pour traduire ses constats, mais aussi ses questions et ses doutes dans un langage suffisamment clair pour que chacun et chacune de nous, et tout spécialement ceux et celles qui ont des responsabilités de direction, ne puissent pas ignorer leurs responsabilités dans l'établissement des fondements du développement durable.

L'EAWAG offre à cette exigence un terrain fertile d'action.

Philippe Roch, dr. ès sc.
Directeur de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage

Chères lectrices, chers lecteurs,

Jusqu'à ce jour, la protection de l'environnement reposait principalement sur deux piliers: la mise en évidence des dangers et l'adoption de normes pour réduire les atteintes. Ce système binaire s'est heurté aux limites du progrès technique et à la croissance de la consommation. Source de frictions, il est l'objet de critiques particulièrement dures en période de difficultés économiques.

La Conférence sur l'environnement et le développement qui s'est tenue à Rio de Janeiro en juin 1992 a érigé un troisième pilier de la protection de l'environnement. Sous le terme générique de développement durable, elle a mis notamment en évidence la nécessité d'intégrer la protection de l'environnement dans les stratégies économiques.

Nous sommes encore loin du but, mais une formidable dynamique s'est mise en mouvement. Elle permet d'utiliser les forces de l'économie et de la politique pour intégrer, dans chaque projet humain, l'utilisation durable des ressources, la réduction des pollutions à un niveau supportable pour les écosystèmes et la santé humaine, et le respect de la vie dans toute sa diversité.

Ainsi, la protection de l'environnement est sortie de son rôle de résis-

EAWAG



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

Editeur

Distribution et © by EAWAG, CH-8600 Dübendorf

Rédaction

Diana Hornung, EAWAG

Traduction

Henri Chappuis, Berne

Révision

Hubert Joly, Paris

Copyright

La reproduction d'articles ou d'extraits est autorisée à condition de mentionner expressément «Extrait des EAWAG NEWS 36 F 1994», et d'en informer la rédaction ainsi que les auteurs concernés.

Parution

Deux fois par année en français, anglais et allemand

Mise en page

Peter Nadler, 8700 Küssnacht

Impression

sur papier recyclé 100%

Abonnements nouveaux

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

Page de couverture

Vue aérienne d'un écosystème fluvial (Middle Fork of the Flathead River, Montana, USA). On remarquera le lit majeur et la mosaïque complexe composée de différents habitats aquatiques et terrestres (voir l'article de Tom Gonsler)

Alexander J.B. Zehnder

Evolution de l'environnement: thèses et objectifs

Nous vivons actuellement une époque de profonds bouleversements au niveau des sciences, de la technologie, de la société et de leurs interactions. La raison de ces changements et les mesures qui nous permettront de maîtriser les problèmes d'avenir font l'objet de réflexions intenses. Les mutations sociales, économiques et politiques de ces dernières années ont sans aucun doute contribué à cette évolution. Les problèmes auxquels nous serons confrontés concernent en premier lieu l'exploitation intensive des ressources dans les pays industrialisés ainsi que l'explosion démographique prévue pour ces prochaines années. Dorénavant, notre souci majeur sera la durabilité, c'est-à-dire le maintien des ressources naturelles et de l'environnement.

« Nous ne pouvons pas mettre les ressources dans un musée. Nous devons apprendre à nous en servir de sorte qu'une fois utilisées, elles soient de nouveau à disposition des générations actuelles et futures. »

Population mondiale du siècle prochain

Au cours de ce siècle, la croissance de la population mondiale a été si spectaculaire qu'elle constitue un des aspects les plus frappants de l'histoire moderne. Aujourd'hui, nous sommes à l'apogée d'une évolution qui dure depuis des générations déjà. Certes, le phénomène ne continuera pas indéfiniment à ce rythme. Pourtant, le boom démographique nous donnera du fil à retordre ces cent prochaines années. En effet, l'accroissement de la population en soi n'est pas le seul aspect préoccupant de la question: la nature et la localisation de cette croissance pose également problème (fig. 1). Les taux les plus élevés s'enregistrent dans les régions les moins développées du monde, avant tout en Asie du Sud, en Afrique, en Asie orientale et en Amérique latine. En revanche, la croissance de la population stagne en Europe, de même que dans les états de l'ex-Union soviétique et en Amérique du Nord. Ce déséquilibre attise une inquiétude de plus en plus vive:

- La croissance démographique rapide des pays pauvres menace à la fois leur propre développement et le bien-être de la planète.
- Les grandes différences de revenu et les pressions populaires engendrent un climat politique tumultueux et violent, ce qui conduit à une migration internationale et transcontinen-

talement toujours plus importante. L'augmentation des vagues migratoires durant les prochaines années est une éventualité préoccupante. Certains pays craignent en effet de perdre leur élite, d'autres, d'être submergés par une masse de personnes dont le niveau de formation est moins élevé. En général, les changements démographiques finissent par s'équilibrer d'eux-mêmes, malheureusement avec une certaine période d'adaptation. Ainsi, les filles qui deviendront mères au siècle prochain sont déjà nées. Il faudra attendre une ou deux générations pour que la planification familiale active

porte ses fruits. D'ici là, la population continuera de croître sans répit. L'évolution démographique n'est pas une variable politique que les gouvernements ont tout loisir de modifier. Au lieu de s'attacher uniquement à limiter la croissance de la population, les gouvernements, de même que les milieux économiques et scientifiques devraient avant tout se pencher sur l'élaboration de programmes et de technologies qui permettront à certaines régions de se développer et de s'industrialiser. Cela signifie qu'il faut pouvoir concilier deux aspects, à savoir: le désir d'individualité, de mobilité, de confort et de sécurité d'un nombre sans cesse croissant d'individus d'une part, et la protection de l'environnement ainsi que le maintien des ressources d'autre part.

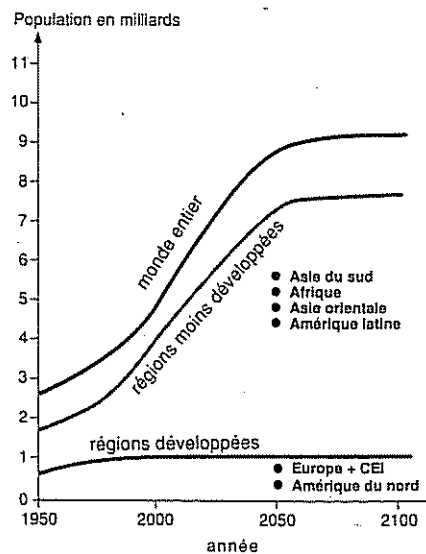


Fig. 1 Evolution démographique prévue pour le prochain millénaire. Données établies par la Banque Mondiale (1992).

De la protection de l'environnement...

Au lieu d'innover, nous avons trop longtemps capitulé devant l'ampleur des difficultés qui se présentaient. Deux raisons principales expliquent cette relative passivité.

Premièrement, nous sommes partis du principe que nous ne devons raisonner qu'en termes de globalité. Il est vrai que les problèmes démographiques et écologiques doivent être résolus à l'échelle mondiale, mais les outils nécessaires pour arriver à des solutions globales manquent encore. Les raisons en sont multiples. S'il est relativement

simple de définir les problèmes globaux, il est en revanche infiniment plus complexe de les résoudre. L'idéal serait de mettre en œuvre des actions concertées. Mais les intérêts particuliers et nationaux à court terme s'y opposent. Bien que la Conférence de Rio sur l'environnement ait donné des signaux clairs, la mise en pratique – si elle a lieu – demeure très hésitante et ne s'effectue que là où elle s'avère relativement peu douloureuse. Pourtant, le temps presse et nous ne saurions attendre qu'un consensus mondial ait été trouvé. Ce que nous pouvons faire, c'est nous attaquer à la racine des problèmes globaux, à l'échelle locale et régionale. C'est en effet à ce niveau-là que les solutions sont possibles et que chacun peut apporter sa contribution personnelle en s'y identifiant. Les solutions locales et régionales augmentent le sens des responsabilités personnelles.

Deuxièmement, l'idée qu'il y a incompatibilité entre l'économie et l'écologie est encore très répandue. Depuis plus de 20 ans, la politique de l'environnement se caractérise par un clivage très clair. D'un côté, on trouve les protecteurs de l'environnement qui exigent à n'importe quel prix la suppression de toute forme de pollution et la protection des écosystèmes. Selon eux, l'économie détruit l'environnement pour l'amour du profit et est la principale responsable de tous les dégâts écologiques. De l'autre côté, on

trouve des hommes d'affaires, et tous ceux qui considèrent les prescriptions pour la protection de l'environnement comme une entrave à la croissance économique. A leurs yeux, la protection de l'environnement est un gaspillage de moyens qui font ensuite défaut dans le système économique. A la fin des années 80, des partisans clairvoyants des deux camps ont cherché à surmonter ce clivage jusqu'à en faire totalement abstraction. Les deux parties ont constaté qu'une économie vigoureuse n'excluait pas une protection efficace de l'environnement. Les mécanismes du marché libre permettent de minimiser la pollution, de maximiser la protection de l'environnement et de favoriser la croissance économique. Les récentes découvertes, entre autres dans l'industrie automobile, montrent que la conciliation entre économie et écologie peut même donner naissance à de nombreuses inventions et ouvrir de nouveaux débouchés intéressants sur le marché – nous pensons aux moteurs très économiques, aux nouveaux développements consécutifs à la loi californienne obligeant 2% des véhicules à ne plus utiliser des carburants fossiles à partir de 1998, etc.). Autant de preuves que l'écologie n'est pas un frein pour l'économie! Au contraire, l'écologie joue de plus en plus un rôle de moteur économique grâce aux possibilités d'innovation et de développement qu'elle offre. Les synergies entre le marché libre et la

protection de l'environnement ne sont pas encore très évidentes aujourd'hui. Cela est dû en partie aux déceptions de ces dernières années suite à l'entrée en vigueur de lois sur la protection de l'environnement dans différents pays. Ces législations n'ont pas toujours apporté le résultat escompté. Souvent trop prescriptives, elles insistent à outrance sur les contrôles. Dans un premier temps, elles sont sans conteste indispensables pour réduire la pollution. En revanche, leur rigidité constitue souvent un handicap pour les innovations nécessaires à la résolution des problèmes futurs.

...à la gestion de l'environnement

D'une manière générale, les problèmes démographiques suscitent de prime abord une réponse de nature défensive. Cette réaction instinctive est probablement adéquate. Mais il ne faut pas en rester là. Notre attitude doit passer de la défensive à l'offensive. Nous ne pouvons pas mettre les ressources dans un musée. Nous devons apprendre à nous en servir de sorte qu'une fois utilisées, elles soient de nouveau à disposition des générations actuelles et futures. Vue sous cet aspect, la durabilité des ressources n'est pas un processus statique. Le rapport Brundtland ne donne pas à la durabilité un sens statique ou dynamique. L'interprétation de la notion demeure ainsi ouverte. Si, jusqu'à ce jour la protection de l'environnement accordait la priorité avant tout à la limitation et à la réduction des atteintes, il nous faudra à l'avenir prévenir les atteintes inutiles et gérer les ressources. Il importe avant tout que les ressources ne s'épuisent pas de manière irréversible. Certes, certaines ressources ne sont pas renouvelables, mais la continuité n'exige pas tant le maintien d'une ressource spécifique que son remplacement par une ressource au moins comparable. La durabilité pourrait donc être schématiquement définie comme étant un mode d'exploitation des ressources globales, comprenant toutes les transformations et les mutations de ces ressources dans le temps, leur masse devant cependant rester constante (fig. 2). Les activités humaines entraînent la consommation d'une partie des res-

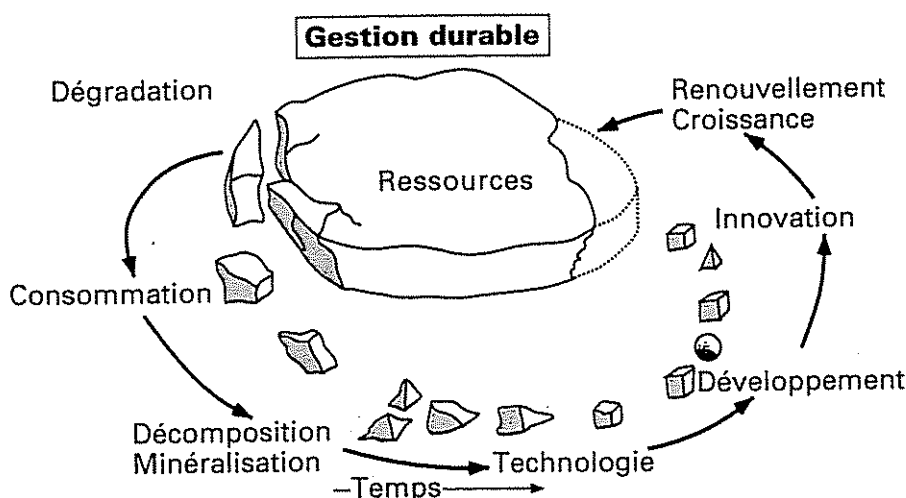


Fig. 2 Représentation schématique de l'équilibre dynamique que représente la gestion durable en fonction du temps. Les ressources demeurent globalement constantes: la technologie, le développement et l'innovation permettent de remplacer les ressources dégradées par l'utilisation, si bien que cette régénération permet à son tour d'accroître les ressources à disposition.

sources. Cette consommation ne peut et ne doit pas être supprimée, sauf en cas d'excès (en particulier dans les pays industrialisés). Des innovations doivent permettre la mutation des ressources consommées en ressources équivalentes. Un tel modèle permet à la consommation de coexister avec le développement et la croissance. L'importance et la rapidité d'une éventuelle croissance dépendent d'une part de la consommation et d'autre part des nouveautés technologiques et de l'innovation, c'est-à-dire de notre esprit créatif. Dans le fond, ce processus correspond au cycle naturel des éléments. En effet, la minéralisation et la recombinaison des éléments en molécules complexes sont des processus simultanés. Par conséquent, il faudrait également définir la durabilité comme étant le cycle de toutes les ressources. L'humanité doit apprendre à s'intégrer à ce cycle, même si les conditions sont plus difficiles aujourd'hui puisque la croissance de la population tend constamment à le déséquilibrer. Nous devons répondre à l'explosion démographique par une explosion d'innovations si nous voulons refermer chaque fois le cycle des ressources aussi rapidement que possible.

Comment faire?

Jusqu'ici, il n'est pas difficile d'être de mon avis. Mais comment procéder pour arriver à une véritable gestion des ressources? Trois objectifs nous permettront de passer de la protection de l'environnement à sa gestion. J'aimerais maintenant vous présenter ces trois thèses.

Thèse 1

Il faut placer la gestion de l'environnement et des ressources au centre de nos décisions et ne plus la considérer comme un mal nécessaire.

L'effet de nos décisions s'améliorera dans la mesure où nous développerons des procédés permettant de fixer les prix en fonction des coûts effectifs d'une pollution ou de la consommation d'une ressource donnée. La science a pour tâche d'élaborer les critères et méthodes d'évaluation adéquats. De ce point de vue, nous sommes sur la bonne voie si l'on considère les études

de compatibilité environnementale et les écobilans pratiqués en Suisse. Toutefois, les stimulations économiques et l'esprit d'innovation doivent s'affirmer plus clairement encore et restent indispensables, sans quoi ces méthodes demeureront un mal nécessaire. Pour arriver à une économie respectueuse de l'environnement, il faut commencer par augmenter progressivement les taxes sur la consommation des ressources et redistribuer directement les moyens financiers (sans influencer sur la quote-part de l'Etat) pour stimuler les innovations propres à réduire la consommation, ou le développement de solutions de remplacement.

Thèse 2

Chacun porte la responsabilité de sa propre consommation des ressources et de ses atteintes directes à l'environnement.

Très souvent, la protection de l'environnement et, de plus en plus, la gestion de l'environnement sont considérées comme étant le «problème des autres». Si nous voulons une gestion saine de l'environnement, chacun doit se sentir concerné par les problèmes écologiques, en particulier par ceux de la consommation des ressources. Pour sensibiliser les consommateurs, il faut absolument mener une politique judicieusement concertée sur le plan de la formation, de l'information et de la taxation.

Thèse 3

Tous les habitants de ce pays, vous, moi, devront diminuer leur consommation actuelle des ressources de deux tiers en moyenne au cours des prochaines années (ordre de grandeur: 30 ans).

Ce dernier objectif correspond en fait à la quantification des deux premiers. Le délai imparti est suffisant pour permettre aux développements techniques d'arriver à maturité dans les secteurs les plus divers. Une politique de taxation concertée visant à stimuler les innovations permettra d'atteindre cet objectif. Le nombre des développements et des améliorations de ces 20 dernières années a montré que cet objectif est réaliste. A ce propos, veuillez aussi lire les articles de Baccini et de Schertenleib dans le même numéro.

Questions non résolues?

Il ne suffit pas de satisfaire aux trois exigences formulées ci-avant. En effet, deux problèmes demeurent: celui de l'ordre de grandeur et celui du partage des ressources entre les différents peuples de ce monde. La question de savoir quelle grandeur peut avoir une économie globale et respectueuse de l'environnement n'est pas encore claire, surtout si l'on considère l'industrialisation des régions moins développées du globe.

La population mondiale croît avant tout dans les régions où les ressources du sol et, partant, les ressources alimentaires, sont limitées. Au niveau local, les besoins alimentaires ne peuvent être encore couverts que pour un laps relativement court (quelques années, voire quelques décennies). La qualité du sol souffre aujourd'hui déjà d'une exploitation trop intensive. On estime qu'au cours des 40 dernières années, 11% des sols cultivables ont déjà été détruits. La destruction augmente au rythme de la croissance démographique et de l'industrialisation. Dans un proche avenir, les pays industrialisés les moins peuplés devront produire une part importante des denrées alimentaires nécessaires aux régions à forte densité démographique. Or, la plupart de ces produits doivent être acheminés d'un bout à l'autre des continents, voire d'un continent à l'autre. A ce propos, nous ne disposons actuellement que de vagues estimations sur les coûts de transport et d'énergie ainsi que sur la consommation supplémentaire des ressources que cela représente.

L'eau est une ressource-clé. L'eau douce existe en quantité suffisante sur la terre, mais souvent, sa répartition et sa qualité ne correspondent pas aux besoins des êtres humains. La croissance économique des régions moins développées entraîne forcément une augmentation de la consommation d'eau et exerce ainsi une pression supplémentaire sur cette ressource.

Le désir légitime de l'homme d'accroître sans cesse son bien-être (c'est-à-dire de découvrir de nouvelles ressources) est le moteur des migrations transcontinentales actuelles toujours plus fortes. Toutefois, ces déplacements en

masse vers les ressources ne seront bientôt plus possibles. A l'avenir, les ressources et les produits devront de plus en plus être apportés aux consommateurs, à travers les continents. La manière dont nous résoudrons le problème de leur répartition constitue un défi supplémentaire très important.

A ce propos, les ressources biologiques représentent un cas particulier. Les organismes se sont développés au cours de milliards d'années d'évolution et de sélection. Ces deux processus ont

créé une variété infinie de combinaisons génétiques. Contraintes de s'améliorer, les espèces biologiques ont développé tout un réseau de systèmes d'adaptation, d'évolution et de sélection, dont l'efficacité est optimale. La disparition des espèces et l'appauvrissement de la diversité biologique peuvent engendrer des dégâts irréversibles dans ce réseau, détruire les ressources biologiques potentielles et avoir pour conséquence des déséquilibres écologiques sérieux.

La bibliographie suivante permet d'approfondir les questions abordées dans le présent article.

- Alper, J. 1993. Protecting the environment with the power of the market. *Science* 260:1884-1885.
- Brown, L.R. et al. 1990. State of the World. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. Unwin Paperbacks, London.
- Göran, O. 1992. The population concern. *Ambio* 21:6-9.
- Gore, A. 1992. Earth in the Balance. Earthscan Publications Ltd., London.
- Lincoln, D.W. 1993. Reproductive health, population growth, economic development and environmental change. In *Environmental Change and Human Health*. Wiley, Chichester (Ciba Foundation Symposium 175) p. 197-214.
- Malone, T.E. 1993. Ferment and change: science, technology and society. *Environ. Sci. Technol.* 27: 1026-1031.
- Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling, and W.G. Sombroek. 1990. World map of status of human-induced soil degradation: An explanatory note. Rev. 2d. ed. Wageningen, The Netherlands, International Soil Reference and Information Center.
- The World Bank. 1992. World Development Report 1992; Development and the Environment, Oxford University Press, Oxford.
- World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future, (The Brundtland Report). Oxford University Press, Oxford.

Contribution de l'EAWAG

La concrétisation des objectifs formulés ci-dessus représente un défi pour chacun de nous; elle exige à la fois du dynamisme, de l'innovation ainsi qu'une collaboration étroite entre sciences, économie et société. L'EAWAG relève ce défi et veut contribuer à la réalisation des trois objectifs visés. Pour le premier, l'EAWAG veut participer au développement de programmes permettant d'arriver à une économie respectueuse de l'environnement. Pour le deuxième, l'EAWAG voit avant tout sa contribution dans le domaine de la formation et de l'information. Pour le troisième enfin, nous aimerions encourager la compréhension fondamentale des processus naturels et des principes écologiques. Sur la base de cette compréhension, nous aimerions stimuler le développement de programmes, de structures sociales et de technologies nouveaux. Vous pourrez lire dans les autres articles du présent EAWAG news comment nous concevons concrètement notre contribution dans quelques domaines choisis.

Claudia Pahl-Wostl et Carlo C. Jaeger

Les grands risques et la communication

L'exemple des changements climatiques

Les interactions entre société et systèmes environnementaux complexes ne vont pas sans incertitudes considérables. Les collectivités et le monde scientifique doivent trouver de nouvelles formes de dialogue.

La convention sur le climat signée à Rio en 1992 exige la stabilisation des émissions de gaz à effet de serre à un niveau tel que le système climatique planétaire ne soit pas mis en danger. Si l'on entend atteindre cet objectif, il faut réagir avant que la société n'ait déjà provoqué de grandes catastrophes climatiques, et instituer un délai qui permette aux écosystèmes de s'adapter naturellement à un changement climatique anthropogène. Ce principe fondamental doit permettre de garantir la continuité de la production de denrées alimentaires ainsi qu'un dévelop-

pement économique respectueux de l'environnement. La convention susmentionnée postule donc une valeur-limite pour les émissions de gaz à effet

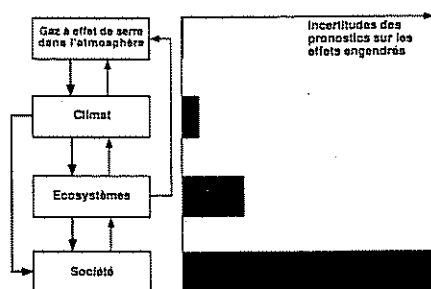


Fig. 1 Enchaînement causal d'incertitudes

de serre sans en préciser la valeur précise. C'est ici que la science intervient: elle est en effet appelée à conceptualiser, à modéliser et à quantifier la chaîne causale *société → gaz à effet de serre → climat → écosystème → société* ainsi que la dynamique des rétroactions significatives entre chacun de ces éléments.

Le comportement de systèmes interdépendants est-il prédictible?

Or, les hypothèses concrètes que dressent les scientifiques sont grevées d'un certain degré d'incertitude, comme l montre la fig. 1.

Voici le scénario de base: étant donné une certaine quantité de gaz à effet

de serre, il faut évaluer les effets qui devraient se produire sur le climat, les écosystèmes et la société. La fig. 1 montre de manière schématique comment les incertitudes se multiplient à chaque étape de l'évaluation, et ce, pour des raisons d'enchaînement causal. Mais elle veut aussi montrer que les incertitudes de cette évaluation augmentent à mesure qu'on passe de systèmes plutôt physiques à des systèmes biologiques pour arriver enfin aux systèmes humains. Il convient de souligner que le schéma ne va pas jusqu'à tenir compte des rétroactions entre les systèmes. Force est de conclure que la synthèse des diverses appréciations établies en fonction d'hypothèses particulières autorise de moins en moins une conclusion sûre à propos du système global. Les incertitudes qui surgissent sont de diverses natures. Abstraction faite du niveau insuffisant de connaissances – ce que des recherches intensives peuvent améliorer –, la nature dynamique des systèmes considéré suscite autant d'interrogations que de réflexions.

L'interdépendance systémique n'est pas synonyme de continuité

L'EAWAG participe à la recherche dans ce domaine par l'entremise de sa division «Physique de l'environnement», laquelle analyse des archives environnementales (sédiments marins, carottes de glace provenant du Groenland). Les examens montrent que les changements tant climatiques qu'écosystémiques ne se produisent pas de manière continue, mais plutôt par à-coups, comme le montre clairement l'exemple suivant: les sédiments du Baldeggersee passent brusquement de l'état oxygéné à l'état désoxygéné – la fig. 2 montre le net changement de couleur (du clair vers le noir) d'une carotte sédimentaire provenant du Baldeggersee.

De tels changements par à-coups sont le fait caractéristique de systèmes non linéaires. Ils mettent souvent des bornes temporelles assez étroites aux conjectures relatives aux systèmes en question. Un autre exemple illustre bien le problème: il est difficile de faire des prévisions météorologiques pour la région alpine, ne serait-ce que quel-

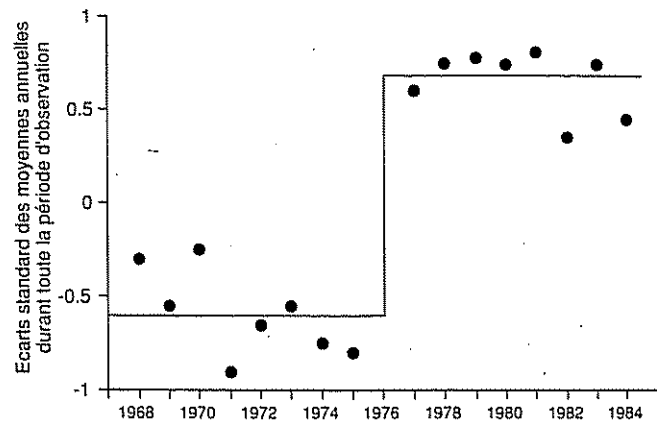


Fig. 3 Brusque changement climatique dans le Pacifique Nord, scientifiquement démontré sur la base d'un index comprenant 40 variables environnementales exerçant une influence sur le climat (d'après Kerr, 1992, Science, 255:1508).

ques jours en avance. L'apparition et la brusque disparition du foehn constituent un changement par à-coups dont l'éventualité limite sérieusement les prévisions. Le projet «CLEAR – Climate and Environment in Alpine Regions» du Programme Suisse sur l'Environnement est consacré à l'étude des limites temporelles dans lesquelles les prévisions scientifiques doivent s'insérer à cause de changements climatiques imminents. L'EAWAG participe de manière déterminante audit projet.

Les décisions politiques doivent-elles toujours se baser sur des résultats scientifiques éprouvés?

Pour évaluer les limites des prévisions sur l'évolution climatique à venir, il convient de tenir compte des résultats de recherches selon lesquelles les océans changent aussi brusquement d'état (fig. 3). Les océans jouent un rôle primordial dans l'évolution climatique à long terme et, surtout, dans la différenciation régionale de cette évolution. De vastes programmes de mesure et des modèles mathématiques complexes seront nécessaires pour mieux comprendre ce rôle. Au demeurant, il faut s'attendre à ce que l'approfondissement des connaissances permette – à l'instar de la météorologie – moins d'élargir l'horizon prévisionnel que de mieux comprendre pourquoi les limites des prévisions sont relativement étroites.

Il ne faut pas en déduire que les résultats scientifiques relatifs à la problématique du climat ne permettent pas des affirmations importantes sur le plan politique. Des recherches effectuées sur des carottes de glace provenant du Groenland montrent que le climat global des derniers siècles est plutôt stable, comparé à des époques plus anciennes. L'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre risque de changer la situation. Il faudrait s'attendre alors à une accumulation d'événements extrêmes imprévisibles. On peut donc conclure avec certitude à une menace globale alors que les hypothèses concernant les évolutions régionales concrètes demeurent largement ouvertes.

Pareils résultats ne correspondent guère à l'image traditionnelle de la



Fig. 2 Carotte sédimentaire du Baldeggersee

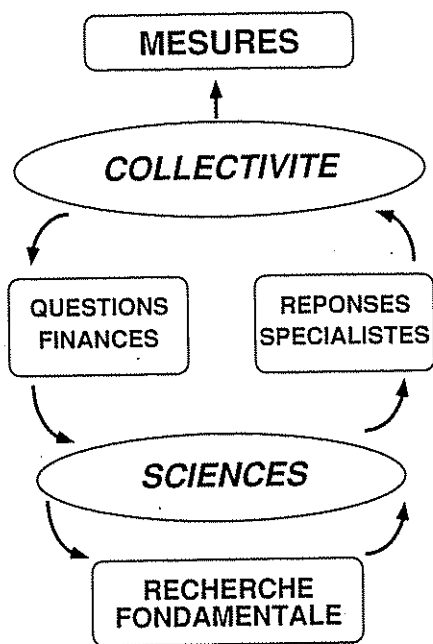


Fig. 4 Schéma de communication traditionnel entre milieux scientifiques et monde politique.

science, source de connaissances sûres servant de base à des mesures politiques en faveur de l'environnement. On peut se demander si la structure de communication qui s'est instaurée dans d'autres domaines entre milieux scientifiques et politiques peut s'appliquer en matière d'environnement. La fig. 4 représente cette structure.

Quel est le rôle de la science en matière de politique climatique?

La collectivité finance les milieux scientifiques et leur soumet des questions. Par exemple, à quelle dose une substance donnée devient-elle toxique pour les êtres humains et les autres êtres vivants? La science trouve des réponses à cette question et forme des experts capables de les comprendre et de les mettre en pratique. Les connaissances accumulées sont ainsi constamment mises à jour et approfondies. Les autorités politiques se basent sur les réponses apportées à leurs questions par la science pour prendre des mesures devant résoudre les problèmes rencontrés. A titre d'exemple, mentionnons l'importance des valeurs-limites auxquelles la politique environnementale recourt fréquemment.

Un tel procédé ne semble pas très prometteur en politique climatique. Que des résultats scientifiques puissent

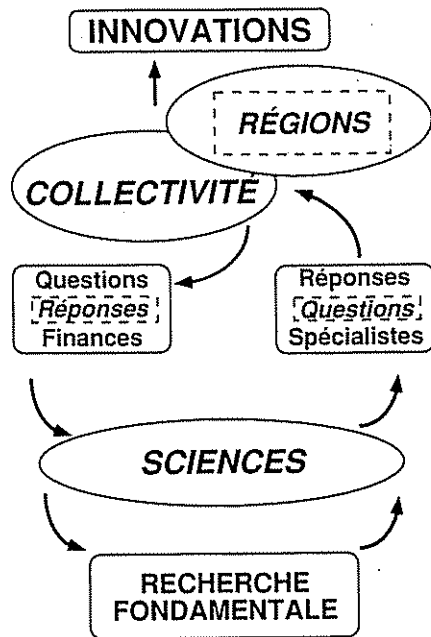


Fig. 5 Schéma de communication axé sur l'esprit d'innovation dans les relations entre milieux scientifiques et monde politique.

permettre de définir l'augmentation maximale autorisée des émissions de gaz à effet de serre n'a pas l'air très plausible. Il est encore plus difficile d'imaginer que des valeurs-limites puissent être fixées pour ce type d'émissions grâce à des résultats scientifiques.

A l'avenir encore plus qu'auparavant, la science devra s'investir dans un dialogue ouvert avec la société pour aboutir à des réponses innovatrices face aux dangers que représentent les changements climatiques anthropogènes. Les objectifs de la convention sur le climat ne sauraient être atteints uniquement par le biais d'une définition quantitative des valeurs-limites d'émission globales, fondées par déduction sur des résultats scientifiques, puis concrétisées au niveau des politiques nationales. Il faut y ajouter un processus inductif complémentaire à la faveur duquel nous développerons et mettrons à l'épreuve des innovations technologiques et sociales visant à réduire les gaz à effet de serre. La science ne se limitera pas exclusivement à répondre aux questions posées en politique de l'environnement. Elle se mettra de plus en plus à jeter un regard critique sur la manière dont la politique de l'environnement résout les problèmes actuels et, le cas échéant, soulèvera des questions auxquelles seul le monde politique peut répondre.

Il faut miser sur le potentiel d'innovation dont disposent les régions

Des recherches assez récentes menées à propos de la recherche sur l'innovation mettent en évidence que, de nos jours, les innovations naissent souvent dans des cadres régionaux où le savoir-faire nécessaire à certains types de problèmes s'accumule au point d'engendrer des méthodes d'apprentissage collectives. Silicon-Valley en Californie, différentes régions au centre de l'Italie et dans le sud de l'Allemagne, mais aussi la région horlogère du Jura suisse constituent autant d'exemples notoires. Une orientation consciente vers des milieux régionaux de ce genre pourrait représenter une caractéristique importante d'une politique de l'environnement tournée vers l'innovation (fig. 5).

Un tel cadre épistémologique permet d'aboutir à des solutions visant à instaurer un développement régional durable (DRD). Compte tenu des changements climatiques, ces solutions doivent remplir trois conditions:

- elles s'efforceront d'obtenir des taux d'émissions de gaz à effet de serre par habitant qui pourraient s'appliquer à toute la population mondiale;
- elles doivent être compétitives compte tenu de la situation économique actuelle;
- elles doivent produire des effets exemplaires au niveau international et contribuer ainsi à une réduction efficace des émissions totales de gaz à effet de serre.

A l'EAUWAG, le groupe d'écologie humaine étudie les possibilités d'un DRD à la lumière des nouveaux moyens de transport tels que la Swatchmobil par exemple, et d'un aménagement de l'habitat exigeant moins de déplacements, notamment grâce à la décentralisation du lieu de travail. Les spécialistes du groupe en question accordent une attention toute particulière au rôle possible de la taxe sur le CO₂ ainsi que des taxes sur l'énergie. Devant les incertitudes actuelles, l'ouverture d'un dialogue entre les milieux scientifiques et les groupes sociaux concernés peut permettre un débat régional à propos des problèmes globaux de l'environnement et favoriser ainsi l'esprit d'entreprise et d'innovation.

Herbert Güttinger

Jusqu'à quel point les organismes vivants et les écosystèmes supportent-ils le stress?

Analyse écotoxicologique

La biosphère en stress

En pathologie, *stress* désigne l'ensemble des perturbations excessives provoquées par des agressions extérieures et intérieures sur un organisme donné. La notion englobe toutes les réactions d'adaptation et de défense des organismes, quelle que soit l'espèce. A titre d'exemple, on citera les facteurs d'agression suivants: chaleur, froid, surmenage, manque d'oxygène, sous-alimentation, infections, interventions chirurgicales et excitation psychique. Le stress comporte trois phases : premièrement, la phase d'alarme, immédiate et brève, puis la phase de défense, et enfin la phase de réparation accompagnée d'un syndrome adaptatif. Cette définition peut aussi s'appliquer de manière analogue aux organismes de la biosphère qui n'appartiennent pas à l'espèce humaine.

La protection de l'environnement s'intéresse surtout aux agressions extérieures provoquées par les activités humaines: il faut les réduire quand elles dépassent la «normale». Mais qu'entend par *normalité*? Considérons l'effet le plus simple et le plus irrévocable de tous: la mort d'un individu et la disparition d'une espèce. 3 à 4 milliards d'années ont permis à 5 millions d'espèces animales, végétales et micro-organiques différentes de se développer et d'évoluer. Au cours de ce très lent processus, de nombreuses espèces ont aussi disparu sans intervention humaine, détruites par des catastrophes ou éliminées peu à peu par des espèces plus résistantes. L'évolution est un processus dynamique au cours duquel le développement, la reproduction et la transformation des êtres vivants sont limités par des agents extérieurs. Il en résulte une sélection des espèces. Aux facteurs limitatifs naturels, l'être humain a ajouté des per-

turbations dont l'ampleur, la diversité et la variabilité sont telles que les espèces ne peuvent guère s'y adapter (fig. 1): les effets sont donc imprévisibles – des experts estiment que, à l'échelle mondiale, plusieurs milliers d'espèces sont définitivement exterminées chaque année [1]. Ce phénomène affecte surtout les organismes très développés, dont la génération dure longtemps et qui ont des génomes complexes. Les organismes simples ont plus de chances de pouvoir s'adapter.

Pour un court laps de temps, l'écosystème *gaia* a pu encore résister à la destruction incroyable et irréversible de l'information génétique. Mais qui sait si l'être «supérieur» qu'est l'Homme pourrait supporter de se retrouver soudain seul sur terre avec des insectes, des algues, des bactéries et des champignons. L'évolution négative évoquée ici inquiète de plus en plus: un nombre

croissant d'individus encouragent la protection des espèces, qu'elles considèrent comme une tâche urgente tant au niveau national que planétaire. Ces personnes ne tolèrent plus le stress engendré par la disparition des espèces. Pour le réduire, il faut davantage respecter les conditions de vie recherchées par les espèces menacées et éviter que de nouvelles espèces ne soient menacées. Les biotopes, l'alimentation ainsi que l'environnement chimique, physique et biologique doivent répondre aux besoins des espèces en question, et les activités humaines doivent s'arrêter aux frontières des niches écologiques.

Niches écologiques et facteurs limitants

Étudions une niche écologique d'un peu plus près : Hutchinson la définit comme un espace multidimensionnel

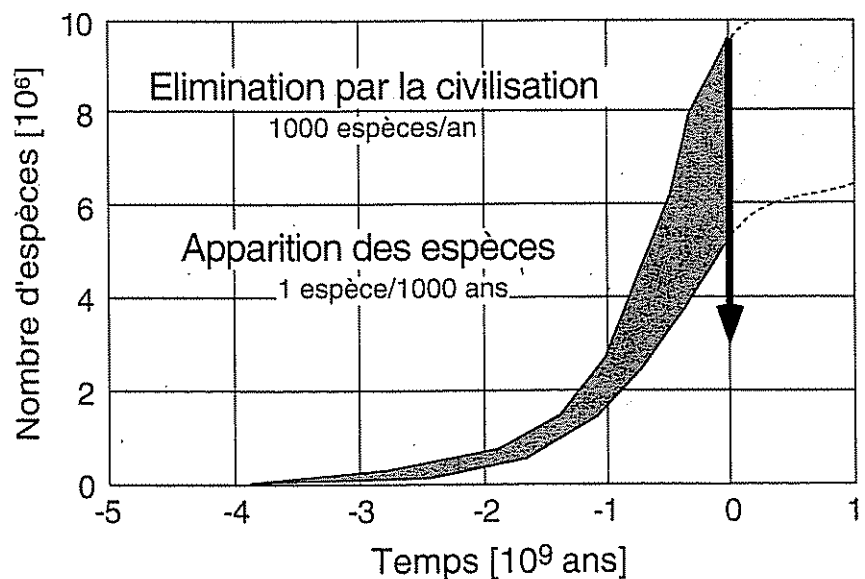


Fig. 1

Apparition et disparition des espèces.

Le taux d'apparition des espèces est apprécié sur la base des renseignements relatifs à l'apparition de la vie sur terre et sur les estimations concernant le nombre d'espèces vivant actuellement [1]. Quant au taux d'élimination dû à la civilisation, il indique une tendance et non un rapport quantitatif. Les taux indiqués ne représentent que des ordres de grandeur. Le fait est que la civilisation provoque la disparition des espèces à un rythme dépassant de plusieurs ordres de grandeur la vitesse de l'élimination des espèces par les grandes catastrophes de l'histoire de l'évolution.

qui comprend tous les facteurs agissant sur une espèce (fig. 2). A chaque facteur correspond une zone où l'espèce peut vivre. A la frontière de chaque zone, on passe lentement des conditions de vie optimales aux atteintes à la santé, puis à la létalité aiguë. Représentée dans une seule dimension, la niche écologique peut aussi être envisagée comme une relation entre dose et effet (fig. 3). Le principe est le suivant: à faible dose ou concentration, les subs-

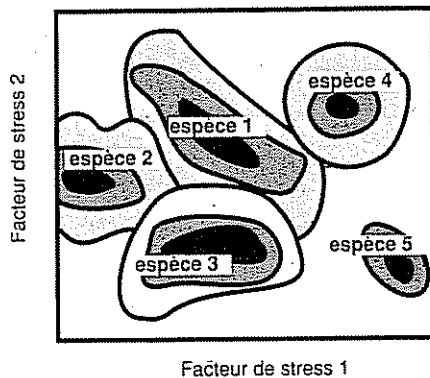


Fig. 2 Niches écologiques. Représentation des niches écologiques de quelques espèces en fonction de deux facteurs. La représentation en deux dimensions rend compte de manière très simplifiée des niches écologiques, lesquelles sont en fait multidimensionnelles.

tances alimentaires et les oligo-éléments essentiels sont nuisibles; à dose moyenne, leur effet est optimal; à haute dose, ils deviennent toxiques. Par définition, les substances toxiques n'ont que des effets négatifs sur les organismes dont elles freinent la croissance et la reproduction.

Les échelons supérieurs de l'organisation biologique, tels que les populations, les biocénoses entières ou les écosystèmes, n'équivalent pas seulement à la somme des différentes espèces, mais doivent aussi être examinées dans leur ensemble. On doit tenir compte, par exemple, de la présence de phases plus ou moins sensibles dans la vie des organismes et de variétés génétiques à l'intérieur de la population d'une espèce donnée. La survie des individus ne suffit pas à maintenir l'existence d'une population. La reproduction doit également être possible. Néanmoins, les écarts les plus importants entre les réactions de stress s'expliquent par les différents degrés de sensibilité des diverses espèces. Au ni-

veau de la biocénose, le stress modifie donc toujours les rapports quantitatifs et les interactions entre les espèces [3]. Avec le temps, les modifications quantitatives peuvent aussi engendrer des transformations qualitatives de la structure de l'espèce. A un échelon encore plus élevé, l'état physique et biogéochimique des écosystèmes peut influencer sur l'histoire, la disponibilité et l'effet d'un toxique. Les effets primaires du stress au niveau de molécules entières se répercutent donc, à travers l'individu et la population, sur la structure et la fonction de biocénoses et d'écosystèmes entiers. Même les perturbations les plus faibles peuvent modifier l'évolution et avoir, à long terme, une action limitante sur une espèce donnée. A vrai dire, de tels rapports ne se laissent encore guère quantifier, et l'évaluation des seuils de tolérance doit s'effectuer de manière pragmatique. La survie à court terme d'une population appartenant à l'espèce la plus fragile d'une biocénose constitue une nécessité élémentaire à laquelle l'écotoxicologie a pour première tâche de répondre de la meilleure façon possible.

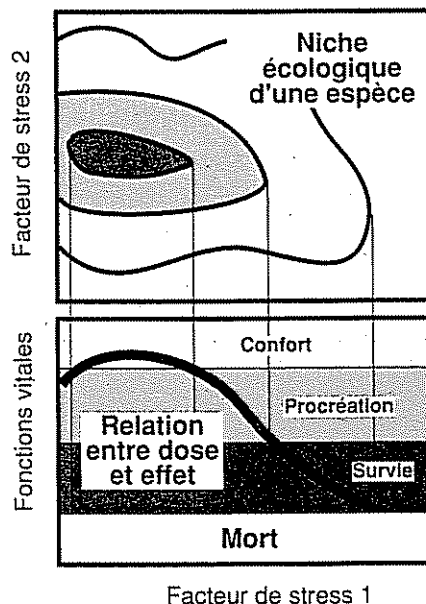


Fig. 3 Relation entre la niche écologique, la dose de stress et ses effets. La projection de la représentation bidimensionnelle de la niche montre comment chaque facteur correspond à une des fonctions vitales (croissance, procréation, adaptation). D'abord inoffensive, la dose devient progressivement nuisible. Quant aux valeurs-limites, elles doivent être fixées arbitrairement par rapport à un effet donné (il s'agit le plus souvent de la mort de l'individu).

Barème de toxicité

Avant la mise en circulation des produits chimiques (et d'autres facteurs de stress), leurs effets nocifs potentiels et leur compatibilité avec l'environnement doivent être examinés. L'expérimentation ne permet, bien sûr, que de chercher si un facteur de stress a un effet donné, voire de déterminer si cet effet peut être observé dans certaines conditions. En d'autres termes, l'apparition d'un effet négatif à un endroit et à un moment donnés ne peut jamais être exclue avec certitude. L'innocuité globale ou la compatibilité globale avec l'environnement sont impossibles à prouver, tout comme l'innocence globale d'un accusé. La toxicité n'est pas une donnée quantifiable.

Devant une telle réalité, la plupart des pays ont apporté des solutions pragmatiques au lieu de se résigner et de tout interdire ou d'attendre que quelque incident se produise. Les propriétés toxiques d'une nouvelle substance doivent être examinées à l'aide de tests écotoxicologiques normalisés. A cet effet, on analyse la sensibilité d'organismes de laboratoire face aux substances-tests – ces organismes sont sélectionnés au préalable pour leurs caractéristiques et représentent tous les autres organismes. Pour les systèmes aquatiques, il s'agit avant tout de daphnies, d'algues et de certains poissons. Des recherches sur la dégradation moléculaire et la bioaccumulation complètent le tout. Les expériences permettent de déterminer les concentrations nécessaires pour qu'un effet donné apparaisse au bout d'une durée fixée au préalable. Les valeurs les plus courantes sont les suivantes: la concentration provoquant la mort de 50% des organismes-tests dans les 48h (LC50(48h), *lethal concentration*, fig. 4), la concentration pour laquelle le taux d'un effet est de 50% au bout de 96h (EC50(96h), *effect concentration*), la concentration pour laquelle un effet donné n'apparaît pas (NOEC, *no observed effect concentration*). De telles valeurs sont toujours grevées d'une certaine incertitude. Elles donnent des ordres de grandeur qui indiquent quelles concentrations engendrent certains effets (souvent indésirables). Afin de pouvoir éliminer avec certitude les

effets, il faut donc se montrer plus exigeant au niveau des valeurs limites et des objectifs de qualité. La limite minimale à déterminer pour les facteurs de sécurité dépend des demandes que le milieu politique doit encore formuler et des données-tests disponibles [5]. La science a pour mission de rendre plus significatifs les indices de toxicité et de permettre une interprétation logique en ce qui concerne les objectifs politiques. De plus, elle doit réduire non seulement les probabilités d'erreurs apparaissant lors de la classification des substances, mais aussi le nombre de cobayes nécessaires. Parmi les facteurs d'incertitude importants figurent la sensibilité variable des organismes selon l'espèce et la période de la vie, l'extrapolation d'effets de courte durée sur des effets de longue durée, l'insuffisance des connaissances sur les effets synergiques des corps composés, sur les effets indirects, de même que sur le rapport entre les effets sur des individus et les effets sur des échelons supérieurs de la hiérarchie biologique, et enfin l'inadéquation générale des expériences de laboratoire par rapport au milieu naturel. Les critères nécessai-

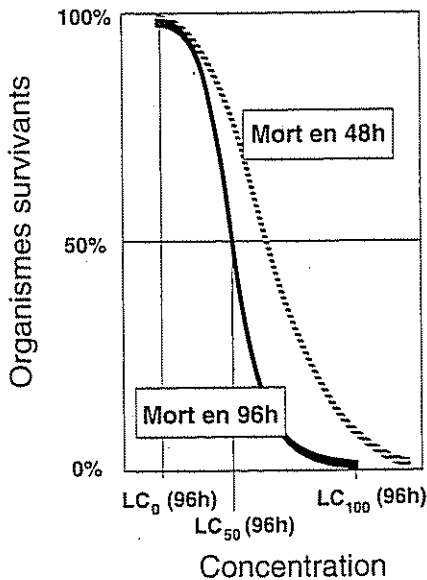


Fig. 4
Courbe de toxicité typique. Quelques valeurs de référence écotoxicologiques ont été portées sur le graphique: il s'agit en particulier de la LC50 (48h) (lethal concentration = concentration qui provoque la mort de 50% des organismes testés en un laps de 48 h). Les tests écotoxicologiques ont pour but idéal de trouver une valeur au-dessous de laquelle il n'est plus possible de constater aucun effet négatif. Mais une telle valeur ne peut être directement déterminée sur base expérimentale.

res pour déterminer les exigences écotoxicologiques en politique appartiennent au domaine de l'écologie. Ils vont de la santé des organismes à l'intégrité d'écosystèmes entiers, quel que soit leur niveau d'organisation biologique.

Jusqu'à quel point les êtres vivants et les écosystèmes supportent-ils donc le stress?

D'aucuns s'exclameraient: ils ne supportent pas le moindre stress! Cette réponse est fautive et insatisfaisante! Au XVIe siècle, Philip Theophrastus Bombastus von Hohenheim, dit Paracelse, s'exprimait ainsi: «Si vous voulez définir correctement un toxique, que reste-t-il qui ne soit pas toxique? Tout est toxique, et il n'y a rien qui ne contienne pas de toxique. Seule la dose fait qu'une substance n'est pas toxique». Cette théorie est valable, comme celle que Darwin établit dans sa doctrine évolutionniste: l'évolution des espèces consiste en une succession répétée de croissance, de reproduction, de transformation et de sélection, provoquée par des agents extérieurs – il s'agit d'un combat permanent pour la vie (*struggle for life*) dans lequel les plus résistants survivent (*survival of the fittest*). Le stress pour les faibles! Une certaine dose de stress ne semble donc pas seulement supportable, mais même indispensable. Elle exige l'adaptation constante à un environnement changeant.

On pourrait aussi répondre: autant de stress qu'il en existerait sans présence ni activité humaines [6]. Réponse également insatisfaisante! D'un côté, la situation telle qu'elle serait sur terre, abstraction faite des êtres humains, ne peut être reconstituée qu'en partie; d'un autre côté, la mise en oeuvre conséquente de mesures allant dans ce sens conduirait à exclure les être humains de leur biotope terrestre. Cette théorie offre néanmoins de précieux points de repère quant à la capacité des organismes à supporter les agressions.

La question ne trouve pas de réponse générale et absolue! Il convient de la poser individuellement et consciemment pour chaque facteur et d'y répondre en considérant l'ensemble du problème. Les avantages et les effets nuisibles d'une substance doivent être

comparés dans chaque cas. Les conditions d'utilisation d'une substance doivent être définies; son affectation et ses effets doivent être contrôlés. Il faut tenir compte de l'irréversibilité et de l'ampleur d'une atteinte par rapport à des ordres de grandeur réels (quantité, extension dans le temps et l'espace, vitesse).

L'exemple de l'alcool illustre la complexité de la problématique. Absorbé en faibles quantités, l'alcool peut agir de façon positive sur le psychisme et la circulation sanguine des adultes. En revanche, une consommation de longue durée porte, le plus souvent, atteinte à la santé. Utilisé à haute dose et en usage externe, l'alcool a des effets aseptisants. La consommation de grandes quantités d'alcool peut entraîner

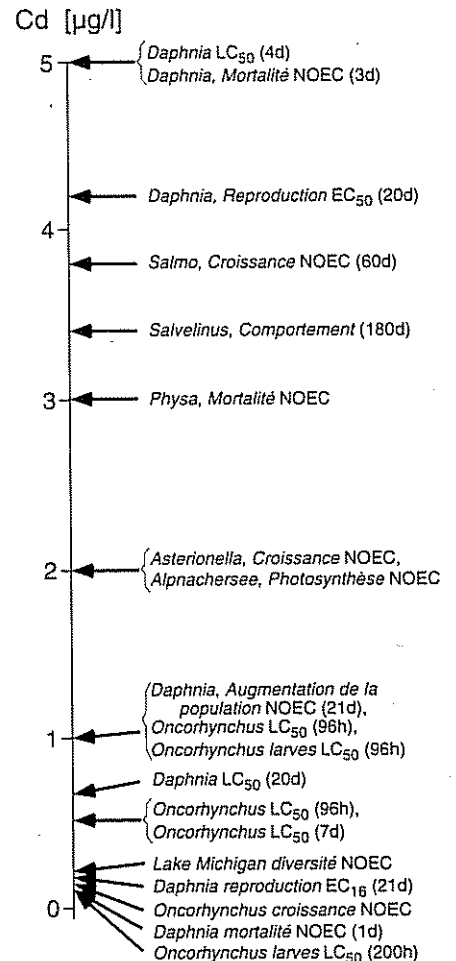


Fig. 5
Représentation graphique de l'écotoxicité du cadmium [10]. Beaucoup d'expériences ont été réalisées avec un grand nombre de matières; leurs résultats varient selon les conditions d'expérience. L'appréciation toxicologique d'une substance doit à chaque fois reposer sur un ensemble de données toxicologiques pertinentes par rapport au problème considéré.

une mort rapide. L'interdiction générale de l'alcool n'aurait donc pas de sens, mais il conviendrait sûrement de régler certaines questions particulièrement critiques comme l'alcool et les enfants ou l'alcool au volant.

Dans le domaine chimique, le seuil de tolérance du stress se situe entre la concentration de base naturelle et les valeurs de toxicité procurées par l'expérimentation [5]. Très restreint, cette marge de stress n'est relativement bien connue que pour un petit nombre de facteurs de stress. Elle doit être délimitée, pour chaque facteur, par le biais d'expériences concernant l'effet du stress, de même que par le biais de reconstructions d'états naturels grâce à l'amélioration des possibilités techniques. L'amplitude des agressions comme des effets peut servir de point de repère pour l'estimation du stress. Des dommages irréversibles tels que l'extermination de certaines espèces ou les changements climatiques devraient être évités ou retardés le plus longtemps possible. Dans ce but, il faut non seulement mieux connaître et satisfaire les droits et les besoins des espèces (leurs niches écologiques et leurs facteurs limitants), mais offrir

aussi d'autres possibilités d'intervention.

Anticiper et empêcher de nouveaux problèmes d'apparaître constitue un défi particulier. L'évolution ne doit plus dépendre du hasard: nous devons gérer notre planète [8,9]. Autrement dit, nous devons décider si les conséquences de chaque activité humaine sont supportables ou non. Au cours de cette analyse, nous devons tenir compte des connaissances disponibles dans leur ensemble. Les données de toxicité indiquées par la figure 5 illustrent la diversité des effets analysés et des concentrations d'effets. Au lieu de chercher une unité homogène de «toxicité», il faut quantifier le rapport entre les causes et les effets. Leur interprétation doit être ciblée (voir également 5) et tenir compte aussi des données de production, des analyses d'exposition et des caractéristiques des écosystèmes d'accueil.

J'aimerais remercier Renata Behra et Alexander J.B. Zehnder pour leurs commentaires stimulants, ainsi que Heidi Bolliger pour l'élaboration des figures et Henri Chappuis pour sa bonne traduction.

- [1] Wilson E.O. (1989): Threats to Biodiversity. Scientific American 261, 3 (Special issue: Managing Planet Earth): 60-66.
- [2] Arthur W. (1987): The Niche in Competition and Evolution. John Wiley & Sons Chichester, pp. 175.
- [3] Lampert W. (1992): Der Stand der aquatischen Oekotoxikologie - aus der Sicht eines Oekologen. In DFG (1992) Beurteilung von Pflanzenschutzmitteln in aquatischen Ökosystemen. Rundgespräche und Kolloquien. VCH Weinheim; 146-161.
- [4] OECD Guidelines for Testing of Chemicals. Paris.
- [5] Behra R., Genoni G., Sigg L. (1993a): Festlegung von Qualitätszielen für Metalle in Fließgewässern, EAWAG news (this edition).
- [6] Baccini P. (1993): Erste Schritte zu einer nachhaltigen regionalen Ressourcenbewirtschaftung. EAWAG news (this edition).
- [7] Güttinger H. (1993): Combined interpretation of biological and chemical field data to evaluate ecotoxicity of chemical substances. The Science of the Total Environment, 134 (in press).
- [8] Cairns J., Jr., Todd V. Crawford ed. (1991): Integrated Environmental Management, Lewis Publishers, pp. 214.
- [9] Clark W.C. (1989): Managing Planet Earth. Scientific American 261, 3 (Special issue: Managing Planet Earth): 18-26.
- [10] Behra R., Genoni G., Sigg L. (1994): Revision of the Swiss Ordinance for Wastewater Discharge: scientific Basis for Water Quality Criteria for Metals and Metalloids in Running Waters. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 6, EAWAG, CH, 8600 Dübendorf.

Tom Gonser

Ecosystèmes fluviaux: importance des facteurs physiographiques

Autrefois, les sites fluviaux étaient sans conteste les zones les plus riches en espèces sous nos latitudes. Ils formaient un large réseau de corridors, le long desquels la majeure partie de notre faune et de notre flore entretenait d'intenses échanges et à partir desquels des sites perturbés pouvaient être recolonisés rapidement. C'est là qu'avaient lieu les plus grands flux naturels de matières et le plus grand métabolisme. En outre, les écosystèmes fluviaux naturels et leur environnement sont nettement plus stables que les écosystèmes terrestres face aux changements climatiques.

Ecosystèmes fluviaux: structure et rapports systémiques avec l'environnement

Les fonctions écologiques des cours d'eau et leurs propriétés systémiques sont déterminées en premier lieu par

leur structure. Les cours d'eau sont caractérisés par des facteurs tels que la pente, la largeur, la composition granulométrique et l'activité des sédiments, le régime d'écoulement, la configuration des berges et la composition de la végétation, le contact avec les

eaux souterraines et la possibilité de déployer une activité structurante. Par des manipulations structurelles, l'homme a fortement influé sur ces facteurs et modifié profondément les propriétés des cours d'eau. Dès lors, il faut se poser les questions suivantes: quelles fonctions écologiques la modification des structures nous a-t-elle fait perdre? Quelles mesures structurantes pouvons-nous et devons-nous prendre pour que les fonctions naturelles des cours d'eau soient préservées?

La formation des propriétés structurelles d'un cours d'eau est déterminée par l'évolution géologique et géomorphologique de l'ensemble du bassin

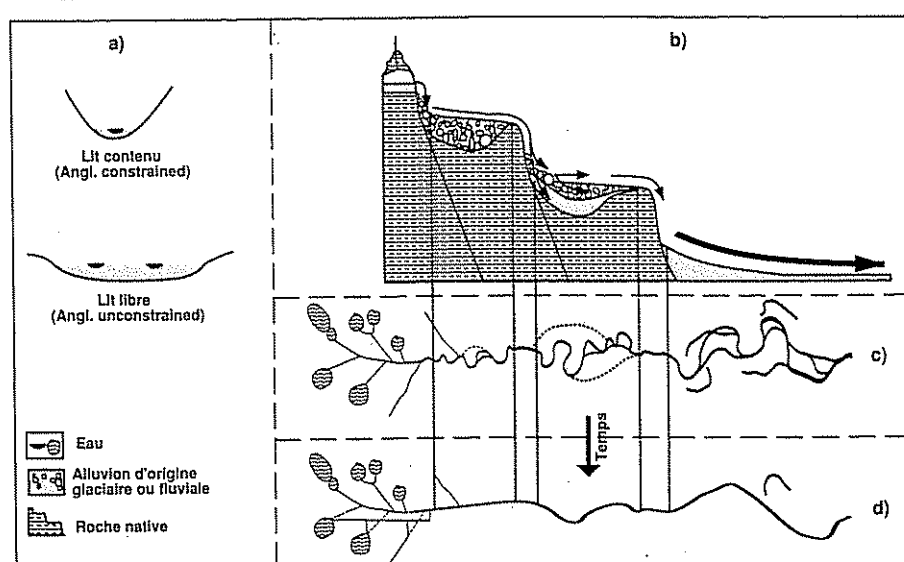


Fig. 1
Représentation schématique longitudinale et transversale d'un cours d'eau
a) coupe transversale du lit «contenu» et du lit «libre»
b) coupe longitudinale
c) géographie naturelle du cours d'eau de surface
d) géographie corrigée du cours d'eau de surface (adaptation de [2])

versant, évolution à laquelle le cours d'eau prend une part active. La façon dont le cours d'eau est «encastré» dans le site et les interactions qui s'exercent avec son environnement revêtent une telle importance que les cours d'eau sont caractérisés, plus que tout autre écosystème, par leurs «lisières», c'est-à-dire par les zones de transition et de contact qui les lient à d'autres écosystèmes ou habitats. Ces zones de transition sont connues sous le terme d'«écotone».

D'une manière générale, on distingue trois types de configurations [1]:

- 1) L'eau s'écoule directement sur une couche imperméable.
- 2) Si cette couche (par ex. la roche native) est recouverte de dépôts de gravier, il se forme un système de cavités sous le lit du cours d'eau, système appelé interstitiel hyporrhéique. Si les dépôts sédimentaires ne sont que peu importants, l'interstitiel hyporrhéique n'est traversé que par de l'eau courante.
- 3) Dans les vallées plus larges et dans les plaines, le cours d'eau coule sur des dépôts sédimentaires en général étendus (les «alluvions»), dans lesquels se forme une nappe d'eau souterraine. Dans ces conditions, l'interstitiel hyporrhéique constitue une interface entre le cours d'eau de surface et le cours d'eau souterrain correspondant.

Lorsqu'on observe un cours d'eau en coupe longitudinale (fig. 1b), on trouve en général une alternance entre ces différentes configurations [2]. Dans les régions montagneuses de sources, elles se succèdent souvent l'une après l'autre sur un espace relativement restreint. Les alluvions sont constitués de bassins remplis d'éboulis, bien baignés, et qui reçoivent une grande partie de leurs eaux par voie souterraine depuis des éboulis latéraux. Lorsque le cours d'eau coule dans des vallées et des gorges étroites sur la roche native, il n'y a pas formation de nappe d'eau souterraine. En revanche, il se forme plus en aval, dans des régions moins inclinées, de grandes alluvions dont les sédiments présentent une granulométrie plus fine. Les tronçons alluviaux des cours d'eau se distinguent par leurs indentations latérales dans les berges (fig. 1c) et par les interactions qui s'exercent avec la nappe sous-jacente des eaux souterraines. Les coupes transversales (fig. 1a) font apparaître deux types de tronçons très différents:

- 1) les tronçons «contenus» (angl. «constrained»), où le cours d'eau coule dans une vallée étroite;
- 2) les tronçons «libres» (angl. «unconstrained»), où le cours d'eau coule sur des alluvions, où des indentations latérales sont possibles et où un contact s'exerce avec la nappe d'eau souterraine.

Ecosystèmes fluviaux: état d'hier et d'aujourd'hui

Dans leur état original, les tronçons alluviaux libres revêtent une importance biologique déterminante. Il s'y forme une diversité considérable d'habitats aquatiques et terrestres et il s'y produit une très forte rétention de substances ainsi qu'un intense métabolisme [2]. On les appelle les «biological hot spots». Sur les tronçons contenus en revanche, les interactions avec l'environnement sont peu nombreuses, la rétention de substances est faible et les métabolismes peu importants. En Suisse, l'aménagement des cours d'eau a transformé pratiquement tous les tronçons alluviaux en tronçons contenus (fig. 1d). En dessous de 1500 m d'altitude, il ne reste plus que quelques tronçons d'importance biologique: le Rhin dans la région de Rhäzüns et Mastrils, le Rhône au-dessus de Sierre et la Maggia entre Bignasco et Avegno. Cependant, ces tronçons sont par trop soumis à l'influence de l'utilisation hydroélectrique. Compte tenu de ces atteintes graves portées aux structures et à l'hydrologie des cours d'eau, il faut se poser les questions suivantes: quels facteurs permettent de préserver une large diversité biologique? Quels sont ceux qui ont une influence sur le cycle énergétique et sur celui des substances nutritives?

Ecosystèmes fluviaux: une richesse structurelle qui s'inscrit dans le temps et l'espace

Etant donné l'importance de leurs rapports avec d'autres écosystèmes, les cours d'eau peuvent être conçus comme des systèmes à quatre dimensions [3]. Ils présentent des changements sur leur profil longitudinal, des indentations latérales dans le milieu terrestre (écotone aquatico-terrestre) et des zones de transition verticales vers la nappe d'eau souterraine (écotone eaux de surface/eaux souterraines). Ces trois composantes spatiales sont en outre soumises à différentes variables temporelles.

L'écotone aquatico-terrestre est surtout marqué par le régime d'écoulement. Les biocénoses qui se situent entre les hautes et les basses eaux (dans

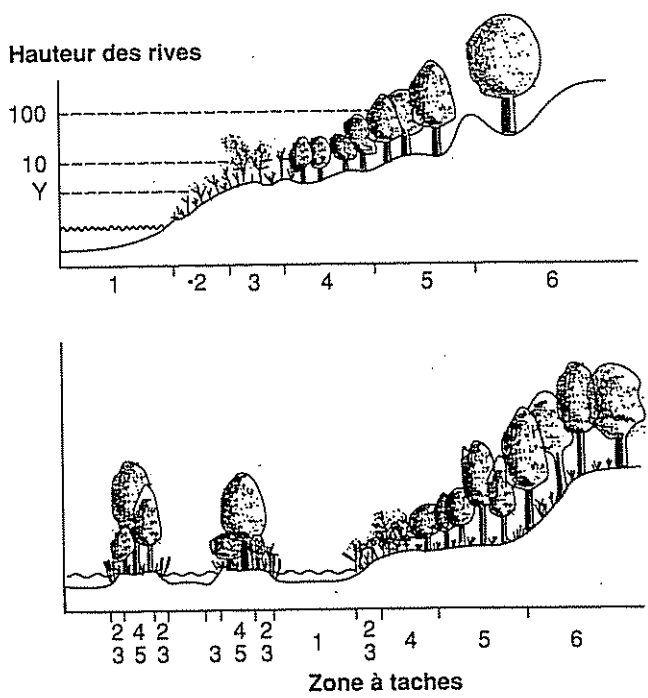


Fig. 3
 La zone variable est un écotone dynamique. Les «taches» (angl. patches) correspondant à différents stades de succession et leurs limites évoluent constamment dans le temps et dans l'espace. Les traits pointillés indiquent les divers niveaux d'eau biologiquement importants (y = niveau atteint chaque année; 10 = niv. atteint tous les 10 ans; 100 = niv. atteint tous les 100 ans). Les taches numérotées se caractérisent par des associations biotiques faciles à distinguer (fig. extraite de [4]).

des zones dites «variables») sont sans cesse perturbées et rajeunies au cours des générations. Il se crée alors une mosaïque complexe faite de taches (angl. «patches») présentant différents stades de succession et différentes associations d'espèces [4] (fig. 3). Les aires aquatiques et terrestres sont ici étroitement imbriquées, de telle sorte qu'elles s'influencent l'une l'autre dans la formation de leurs structures et de leurs fonctions lors de la variation du niveau d'eau, ce qui produit un paysage très

hétérogène (illustration-titre, fig. 2 et 3). Il faut mentionner à cet égard que cette diversité structurale n'est pas durable ou «fixée», mais qu'elle présente une forte dynamique temporelle. Les zones qui sont souvent inondées et donc exposées à de fréquentes perturbations sont colonisées par des communautés pionnières. Il s'agit ici principalement d'animaux et de plantes ayant un taux de reproduction élevé, qui peuvent recoloniser rapidement des aires perturbées et vivre dans des

conditions extrêmes. A l'opposé, les zones qui ne sont que rarement inondées et donc moins souvent perturbées sont dominées par des espèces compétitives. Dans une zone variable alluviale, on trouve un mélange d'aires présentant toutes sortes de fréquences de perturbation. Dès lors, la préservation de la biodiversité ne dépend pas uniquement de l'hétérogénéité structurale en tant que telle, mais aussi de la dynamique de cette hétérogénéité (fig. 4). La dynamique de l'écoulement agit d'une manière semblable dans le cours d'eau lui-même sur la formation de mosaïques très complexes composées de taches de toutes sortes de communautés macrozoobenthiques¹ [5].

La végétation de la zone variable peut gêner le courant et a donc également des effets sur le budget des matières: elle retient des substances organiques à la dérive. Les racines des plantes stabilisent les sols contre l'érosion. Les troncs d'arbres, les branches et les racines qui se trouvent dans le cours d'eau constituent un réseau qui retient la matière à la dérive. Il se forme alors de profondes aires d'affouillement qui font office de zones de sédimentation ainsi que de refuge pour les poissons en période de basses eaux. Dans les zones inondées périodiquement, la rétention est bien plus importante que dans les zones inondées en permanence [6]. Dans l'ensemble, on constate que l'interaction latérale qui s'exerce entre le cours d'eau alluvial et ses berges, et qui est liée à la dynamique de l'écoulement, est responsable de son potentiel de rétention élevé et de l'importante biodiversité des sites fluviaux.



Fig. 2
 Cours d'eau: plaine alluvionnaire et mosaïque typique de «taches» correspondant à différents stades de succession et différentes associations d'espèces en fonction d'interactions entre les aires aquatiques et terrestres.

Importance des relations entre l'eau de surface et l'eau souterraine

Lien hydrologique entre le cours d'eau et la nappe d'eau souterraine des alluvions

Etant donné qu'il y a souvent corrélation entre le niveau d'eau de puits creusés dans les alluvions de plaines fluviales intramontagneuses et le niveau d'eau du cours d'eau en question, on peut conclure à un lien hydrologique entre le cours d'eau et la nappe

¹ Benthali: fond des eaux, en ce cas lit fluvial.

d'eau souterraine de ces alluvions. Toutefois, il ne faut pas considérer ce lien comme une transition continue et égale, mais plutôt comme un réseau d'«artères» et comme une mosaïque de lentilles de différentes granulométries. Les lits présentant une granulométrie grossière due à l'action de triage du courant sont ouverts ou fermés au cours de la genèse de l'alluvion. Dès lors, il se forme en sous-sol des zones présentant les degrés de porosité les plus divers. Si l'on fore de manière ciblée les lits anciens à granulométrie grossière, qui ont été bien baignés — dits «paléolits» —, il n'est pas rare que l'on trouve des organismes fluviatiles, parfois même à plusieurs kilomètres du cours d'eau [7]. Dans de tels paléocanaux et dans des zones moins poreuses, on trouve en outre d'authentiques organismes d'eaux souterraines. Il s'agit ici d'une «biocénose mixte» composée d'organismes épigés et hypogés². Cette biocénose vit du film biologique recouvrant les roches, où des microorganismes métabolisent la matière organique libre; dans des alluvions particulièrement poreuses, elle peut présenter une biomasse plus dense que celle du benthos. Ainsi, le cours d'eau est lié à la nappe d'eau souterraine non seulement hydrologiquement, mais aussi biologiquement. C'est pourquoi l'interstitiel hyporrhéique des cours d'eau alluviaux constitue un écotone complexe entre eaux de surface et eaux souterraines; son extension dépend surtout de la porosité des dépôts sédimentaires, l'apport de substances et d'énergie est déterminé par les interactions hydrogéologiques, et la composition des biocénoses repose sur la capacité de migration active des différents taxa.

Liens longitudinaux

Longitudinalement, les cours d'eau présentent d'importantes variations et discontinuités structurelles, en relation avec les formations géologiques qu'ils traversent. En outre, on observe sur un tronçon déterminé ou, en l'occurrence, dans une alluvion, des liens longitudinaux caractéristiques avec les ber-

ges et le sous-sol. Le long d'un tronçon naturel, on constate en général la présence d'une séquence gué-affouillement (angl. riffle-pool-sequence). Le lit du cours d'eau et l'interstitiel hyporrhéique sont traversés par l'eau courante surtout dans les gués (fig. 5). Les cours d'eau qui forment des méandres dans des dépôts alluviaux présentent souvent des zones d'infiltration typiques dans la partie supérieure des méandres et des zones d'exfiltration à leur sortie. Dans ces conditions, les particules transportées sont retenues et l'eau courante traverse le système de cavités recouvert d'un film biologique

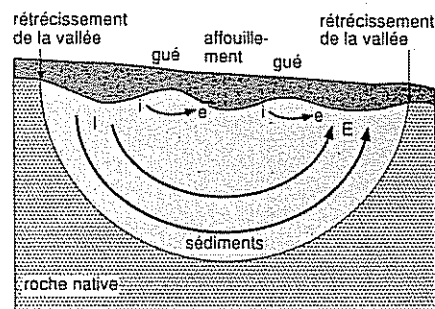


Fig. 5
Représentation schématique des micro-systèmes et macrosystèmes d'infiltration et d'exfiltration dans la séquence gué-affouillement d'un bassin alluvial intramontagneux, section longitudinale.
l, i = zones d'infiltration
E, e = zones d'exfiltration;

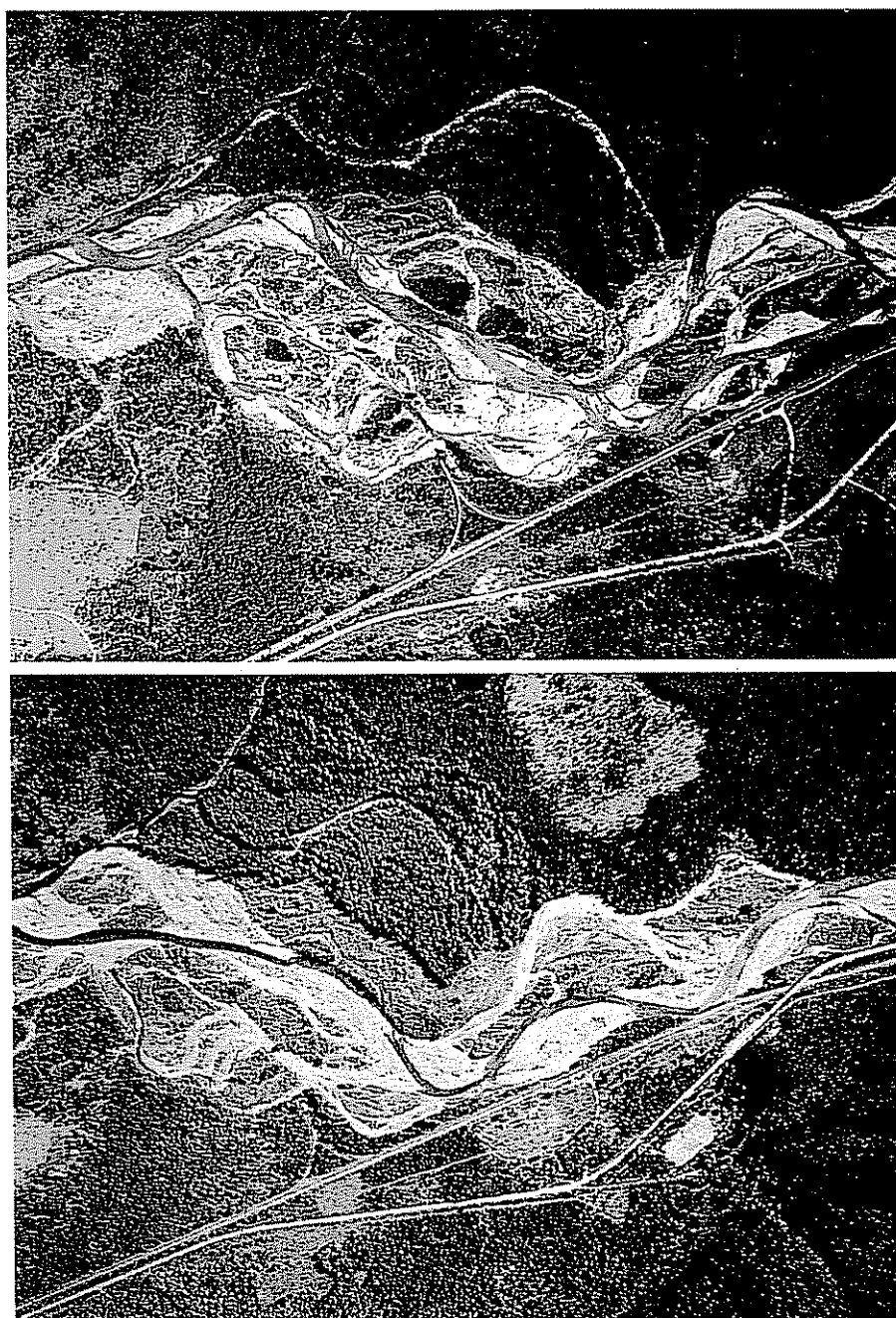


Fig. 4
Deux vues aériennes de la même plaine alluvionnaire à 11 ans d'intervalle (Flathead River, Montana, USA).

² Organismes fluviatiles benthiques qui pénètrent dans la couche sédimentaire et authentiques organismes d'eaux souterraines qui pénètrent dans la zone hyporrhéique

de microbes; des substances nutritives libres peuvent alors être attrapées au passage et métabolisées.

Lorsque le cours d'eau entre dans un bassin alluvial, il se produit le plus souvent une infiltration d'eau dans la couche souterraine, alors qu'à la sortie du bassin, lorsque la vallée se resserre à nouveau, on observe principalement une exfiltration des eaux souterraines (fig. 5). Etant donné les interactions qui s'exercent entre l'eau de surface et l'eau souterraine, l'eau qui arrive à la surface présente un autre régime de températures et une autre composition de substances nutritives. En été surtout, on peut mesurer sur une alluvion des températures extrêmement variables.

Maintien de la richesses biocénotique en milieu fluvial: conclusions

La conjugaison des facteurs dans la formation et la dynamique de ces écotones fait que les zones variables présentent des biotopes aquatiques très diversifiés, sous forme de bras morts ou de bras latéraux, de sources jaillissantes, de ruisseaux de source, de cuvettes soumises à l'influence des eaux souterraines et d'une morphologie fluviale richement structurée (fig. 6). Pour pouvoir tenir compte de ces découvertes sur les interactions aquatico-terrestres ainsi que sur l'extension et l'importance fonctionnelle de l'écotone eaux de surface/eaux souterraines, nous devons considérablement élargir notre connaissance des cours d'eau.

L'aménagement des tronçons alluviaux a dramatiquement restreint leur potentiel de rétention de l'eau, de matière solide et de substances nutritives, leur métabolisme interne, la

formation d'une diversité d'habitats aquatiques, les interactions avec la nappe d'eau souterraine, la formation de milieux humides et secs pour les plantes, ainsi que l'intense interaction naturelle entre les zones aquatiques et terrestres. On n'a pas tenu compte en particulier de l'importance de l'activité du cours d'eau dans la formation d'habitats semi-aquatiques et terrestres, ce qui se manifeste aujourd'hui par l'absence quasi totale de zones variables fonctionnelles du point de vue biologique.

Une gestion écologique des cours d'eau doit viser les objectifs suivants:

- créer un degré élevé de raccordement avec les zones terrestres et phréatiques;
- assurer la formation d'une zone variable revêtant une importance biologique;
- assurer l'hétérogénéité spatiale et temporelle des structures afin de permettre une large biodiversité et une grande capacité de récupération après des épisodes de perturbation. Garantir dans la mesure du possible une auto-structuration par le cours d'eau lui-même.
- protéger les bras morts et les bras latéraux, les sources jaillissantes et les cuvettes soumises à l'influence des eaux souterraines;
- assurer l'arrivée naturelle en grande quantité de grosses pièces de bois faisant office d'éléments structurants;
- protéger la perméabilité des sédiments.

Une telle gestion ne doit cependant pas se limiter aux cours d'eau, mais doit également tenir compte de l'effet des modifications structurelles qui ont lieu dans le bassin versant [8], [9]. L'évolution future des cours d'eau de-

va permettre un rétablissement des écotones en tant qu'éléments fonctionnels dans lesquels le cours d'eau vient s'«encaster» naturellement, ainsi que la préservation des interactions avec les berges et la nappe d'eau souterraine. A cet égard, il faudra tenir compte notamment de la fonction structurante jouée par la dynamique de l'écoulement. D'une manière générale, nous devons abandonner tant dans la recherche que dans la gestion l'idée que le cours d'eau est une «conduite» sans lien avec les berges et les eaux souterraines: il faut concevoir le cours d'eau en tant qu'élément faisant partie d'un continu hydrologique étroitement lié aux zones avoisinantes [11].

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Jack A. Stanford pour les discussions stimulantes qui ont contribué à la rédaction de cet exposé.

- [1] White, D.S. (1993), Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 12(1): 61-69
- [2] Stanford, J.A. & J.V. Ward (1993), An ecosystem perspective of alluvial rivers: connectivity and the hyporheic corridor. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 12(1): 48-60
- [3] Ward, J.V. (1989), The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 8: 2-8
- [4] Naiman, R.J., H. Decamps, J. Pastor & C.A. Johnston (1988), The potential importance of boundaries to fluvial ecosystems. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 7(4): 289-306
- [5] Pringle, C.M., R.J. Naiman, G. Bretschko, J.R. Karr, M.W. Oswood, J.R. Webster, R.L. Welcomme & M.J. Winterbourn (1988), Patch dynamics in lotic systems: the stream as a mosaic. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 7(4): 503-524
- [6] Bretschko, G. & H. Moser (1993), Transport and retention of matter in riparian ecotones. *Hydrobiologia* 251: 95-101
- [7] Stanford, J.A. & J.V. Ward (1988), The hyporheic habitat of river ecosystems. *Nature* 335: 64-66
- [8] Turner, M. G. (1989), Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 20: 171-197
- [9] Holland, M.M. (1993), Management of land/inland water ecotones: needs for regional approaches to achieve sustainable ecological systems. *Hydrobiologia* 251: 331-340, 1993
- [10] Holland, M.M., M.P. Risser & R.J. Naiman (eds.) (1991), *Ecotones: the role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments.* Chapman & Hall, New York
- [11] Bencala, K. (1993), A Perspective on stream-catchment connections. *J. N. Amer. Benth. Soc.* 12(1): 44-47

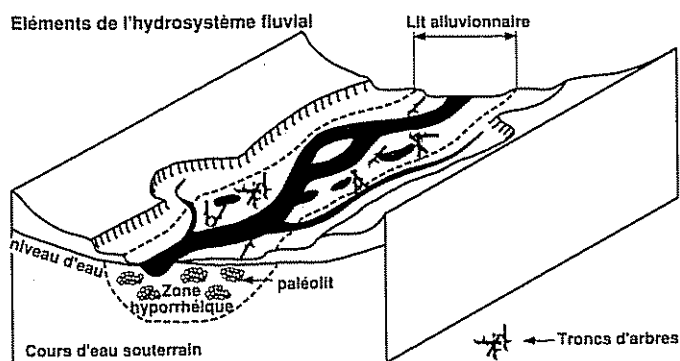


Fig. 6
Eléments de l'hydrosystème fluvial caractéristique de cours d'eau fraîche tels qu'on les trouve dans les zones de collines ou de montagnes (segments du rhithron, régions à truites et à ombres).

Peter Baccini

Premiers pas vers une gestion durable des ressources au niveau régional

Que signifie «gérer durablement les ressources au niveau régional»?

Tant la «gestion régionale des ressources» que le «développement durable» sont des notions floues évoquant plutôt de vagues idéaux que de réels plans d'action. En revanche, la politique de l'environnement a pu, en quelques décennies seulement, offrir une riche palette d'expériences concrètes grâce auxquelles il est possible de se rapprocher des objectifs susmentionnés. Le concept de «développement durable» a été défini pour la première fois lors de la Conférence de Rio de Janeiro en juin 1992, organisée par la CNUCED; il recouvre les instruments suivants:

- un plan global visant à garantir le traitement uniforme et intégré des thèmes relatifs au développement et à l'environnement (agenda 21);
- un appel urgent intimant aux pays industrialisés de réduire leurs propres besoins en ressources, dans la mesure où ils consomment 80% des ressources non renouvelables les plus importantes de la planète;
- un programme d'aide aux pays en voie de développement visant à leur donner les moyens de gérer leurs ressources de manière durable.

En ce qui concerne l'économie régionale des ressources pratiquées par les collectivités souveraines, la transition

vers un développement durable passe par l'introduction de certaines «règles de comportement», qui peuvent se résumer de la manière suivante (cf. entre autres Donella et Dennis Meadows, Herman Daly):

- remplacer les ressources non renouvelables par des ressources renouvelables;
- déployer autant, voire plus d'activités en consommant moins d'énergie et de matière;
- élargir l'horizon temporel de la planification à plusieurs générations;
- réduire les temps de réaction;
- maintenir les normes de qualité environnementales à un niveau élevé;
- oser agir sans connaître la bonne solution, mais surtout avancer à petit pas afin de minimiser la gravité de toute erreur éventuelle.

Pour arriver à la gestion durable des ressources au niveau régional, il faut introduire ces règles de comportement dans notre propre société en commençant «chez soi».

Qu'apportent l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement?

Il faut d'abord se demander si les dispositions légales existantes suffisent à contrôler nos ressources. Dans la législation suisse par exemple, les lois sur l'aménagement du territoire et sur

la protection de l'environnement se prêtent à la mise en oeuvre du principe de durabilité.

Ainsi, le but de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire s'énonce de la manière suivante (LAT 1979, article premier):

La Confédération, les cantons et les communes veillent à assurer une *utilisation mesurée du sol*. Ils coordonnent celles de leurs *activités qui ont des effets sur l'organisation du territoire* et ils s'emploient à *réaliser une occupation du territoire propre à garantir un développement harmonieux de l'ensemble du pays*. Dans l'accomplissement de leurs tâches, ils tiennent compte des *données naturelles* ainsi que des *besoins de la population et de l'économie*.

En d'autres termes, l'utilisation mesurée du sol présuppose la maîtrise du développement harmonieux du pays; ce processus socio-politique doit prendre en compte la nature, la population et l'économie. Si l'on considère la situation sur laquelle se fonde l'aménagement du territoire en Suisse au début des années 90 (sources: Office fédérale de la statistique; Rapport du Conseil fédéral sur l'état et l'évolution de l'utilisation du sol et de l'urbanisation en Suisse 14.12.1987; [1, 2]) force est de constater que:

- 1) Les surfaces forestières sont restées intouchables jusqu'ici. La loi de 1905 sur les forêts attribue aux forêts un statut particulier et n'autorise une redistribution qu'entre terrains agricoles et zones construites.
- 2) A supposer que le degré d'autoapprovisionnement en denrées alimentaires doive être augmenté ou tout simplement maintenu à son niveau actuel (env. 65%), il faudra:
 - augmenter le rendement par hectare,
 - modifier notre comportement alimentaire («besoins»),
 - transformer des surfaces boisées en surfaces agricoles.

Types de sol	Surfaces (km ²)	Pourcentage
Surface utile totale (sans les sites montagneux, Alpes, forêts et eaux superficielles)	13'500	100%
Agriculture	10'000	74%
Zones bâties	2'400	18%
Zones à bâtir (réserve)	1'100	8%

Tabl. 1
Répartition de la superficie de la Suisse au début des années 90

Taux de croissance des zones construites en m² par habitant et an
1950-1990: 30 km²/a → 5
1990-2030: 20 km²/a → 3

Répartition typique de la superficie du Plateau suisse (à droite)

	Pourcentage	Pourcentage Part considérée comme proche de l'état naturel
Agriculture	55%	4-5%
Forêt	30%	1-2%
Sol bâti	13%	
«Improductif»	2%	

3) Jusqu'à présent, l'extension des zones d'habitation signifiait:

- l'accroissement des besoins en ressources (par habitant; exceptions: consommation d'eau et d'énergie de chauffage grâce à une meilleure utilisation)
- l'augmentation des émissions de polluants (par unité de volume)
- le développement des techniques d'épuration (technologie environnementale)

4) L'habitat et les transports sont des activités capitales:

- elles nécessitent le plus d'énergie (>80%).
- elles contiennent le plus grand potentiel de ressources.

Quant à la loi sur la protection de l'environnement (LPE 1983, article premier), son but est le suivant:

¹ La présente loi a pour but de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs *biocénoses* et leurs *biotopes* des atteintes nuisibles ou incommodantes, et de *conserver la fertilité du sol*.

² Les atteintes qui pourraient devenir nocives ou incommodantes seront réduites à titre préventif et assez tôt

De fait, la LPE contient déjà certains principes de durabilité, notamment l'exigence de maintenir la fertilité du sol, au demeurant très difficile à définir d'un point de vue scientifique, ainsi que le principe de prévention, lequel n'a pas encore été appliqué jusqu'ici, ou seulement de manière très timide. Des études sur les métabolismes à l'échelle régionale (Brunner et al, 1991) ont montré que les ordonnances d'exécution de la LPE ne permettent pas de protéger durablement ni le sol, ni les eaux souterraines.

En résumé, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

1) L'aménagement du territoire et la protection de l'environnement étaient et sont certes en mesure de

- canaliser les flux de ressources anthropogènes,
- réduire leur taux de croissance
- les stabiliser à un niveau élevé
- mais ils ne peuvent les supprimer.

Les deux lois ne suffisent pas à générer le rendement souhaité des ressources.

2) la stratégie des valeurs-limites telle qu'elle a été pratiquée jusqu'ici dans

les ordonnances d'exécution de la LPE autorise de facto une lente saturation des sols, des eaux de surface et des eaux souterraines (détection retardée). Elle va à l'encontre du principe de prévention.

3) Certains secteurs se prêtent mieux que d'autres à l'application du principe de durabilité.

Un cas relativement simple: la gestion des déchets

La gestion des déchets a pour principale tâche d'encourager des produits respectueux de l'environnement (Lignes directrices pour la gestion des déchets 1986). Une bonne gestion des déchets se distingue par la qualité du stockage final; disons de manière simplifiée:

- qu'il faut entreposer durablement les déchets et éviter ainsi de léguer des sites de décharge contaminés aux générations futures;
- que le traitement des déchets municipaux non triés exige une technologie toujours plus perfectionnée et donc coûteuse, de sorte que le recyclage des déchets collectés séparément en devient concurrentiel.

Quels déchets doit-on entreposer en Suisse?

- les scories provenant d'installations thermiques: 100 à 150 kg/hab/a
- les résidus du traitement des fumées: 10 à 15 kg/hab/a
- les déchets minéraux provenant du triage des déchets de construction: 200 à 700 kg/hab/an. Il est encore difficile d'en définir la quantité et la qualité, que ce soit en vue de leur utilisation comme matière brute ou comme sédiment anthropique.

L'entreposage de ces déchets coûte env. 200 CHF par tonne de matériau entreposé, somme comprenant tous les traitements préalables. Les dépenses sont

donc de l'ordre de 10² francs par habitant et par an (CHF/hab/a). Ce montant équivaut à environ 1% du revenu annuel moyen disponible par habitant.

Les expériences faites jusqu'à ce jour ont montré que l'OPair et l'OTD 91 contribuent à une amélioration progressive de la situation. En revanche, on déplorera le retour d'anciens dogmes allant à l'encontre des principes de développement durable de la gestion des déchets. Il faut que cette gestion soit également supportable, tant du point de vue social qu'économique.

Un domaine nettement plus ardu: l'agriculture

Dans son Septième rapport sur l'agriculture, le Conseil fédéral consacre le terme d'agriculture multifonctionnelle, une notion qui recouvre les objectifs suivants:

- un approvisionnement alimentaire à des prix compétitifs
- une production agricole respectueuse de l'environnement
- l'entretien du paysage.

Le tableau 1 montre clairement qu'il n'y a pratiquement plus que les sites cultivés qui puissent être entretenus et réaménagés. L'agriculture doit aujourd'hui multiplier les prestations d'intérêt public, financées par la collectivité. Le sol agricole devrait devenir progressivement un bien commun, le nôtre! L'utilisation durable du sol pré suppose le maintien de la qualité écologique de la pédosphère à un niveau élevé (LPE 1983). Une telle exigence ne peut être satisfaite que si l'on parvient à un bilan équilibré des matières dans le sol. Or, ce but n'est pas encore près d'être atteint même si la nouvelle loi sur la protection des eaux en établit le principe pour les substances nutritives

	P	Cu	Zn	Pb
Enrichissement ou rétention	20	0.2-0.8	1-4	0.1-0.5
Provenance en %				
• Engrais	90	50	45	10
• Boues d'épuration	8	25	15	45
• Dépôts atmosphériques	2	25	40	45
Seuil de perception temporel des augmentations (années)	20-60	10-50	20-90	20-60

Tabl. 2

Evolution de la teneur de certaines substances dans les sols agricoles (d'après Baccini et von Steiger 1993).

Augmentations nettes annuelles en kg/ha/a.

ves. Le tableau 2 montre clairement qu'il faut élargir les horizons de l'analyse, tant du point de vue des substances que du laps de temps considéré. La mise en oeuvre d'un tel principe serait économiquement supportable, car le coût d'une telle agriculture équivaudrait à env. 10^3 CHF/hab/a, ce qui correspond grosso modo à la somme injectée actuellement au titre des subvention fédérales.

Les pertes annuelles relatives d'azote dissous dans l'eau et l'air atteignent 50 à 80%. Cela correspond à environ 9 kg N/hab/a, soit un ordre de grandeur comparable au flux d'oxydes d'azote émis par les processus de combustion.

L'exemple le plus complexe: la construction

Le secteur de la construction conditionne les structures de l'habitat, du travail, du transport des biens et des personnes, de sorte qu'il détermine en fait la nature et le volume du bilan énergétique d'une économie publique. Il reflète et conserve les valeurs culturelles essentielles d'une société. En Suisse, les ouvrages de construction tant immobiliers que d'infrastructure représentent une valeur de remplacement d'env. 300'000 CHF/hab. La durée de vie moyenne des ouvrages varie entre 50 et 100 ans. Au début des années 90, le volume annuel des cons-

tructions atteignait environ 50 milliards CHF.

Les transformations apportées chaque année aux ouvrages dans le but d'accroître le rendement des ressources et de mieux utiliser l'énergie représentent 2 à 3% du volume total des constructions. Si nous entendons réduire substantiellement notre consommation d'énergie d'ici 30 ou 50 ans, nous devons tout de suite nous mettre à transformer notre parc immobilier. Il nous en coûtera environ 10^4 CHF/hab/a, soit à peu près l'équivalent du revenu annuel par habitant. Or, force est de constater que ce problème n'a pas encore été sérieusement discuté jusqu'ici et qu'*a fortiori*, personne ne s'est attelé à le résoudre. A la différence des deux exemples précédents, une stratégie à long terme fait défaut dans le secteur de la construction. Cet exemple montre de manière explicite jusqu'où va la définition du principe de durabilité quand celui-ci touche de près aux secteurs économiques principaux de notre société ainsi qu'à nos valeurs fondamentales (certes matérialisées) dont une partie est ancrée dans la Constitution fédérale.

Conclusions

Les premières expériences enregistrées dans le domaine de l'aménagement du territoire et de la protection de l'envi-

ronnement nous montrent que nous pourrions, maintenant déjà, opérer avec succès dans des secteurs économiques d'intérêt secondaire au niveau économique, mais primordial sur le plan écologique, et ce, sans pour autant créer des conditions fondamentalement nouvelles. Citons par exemple l'agriculture et ses effets sur la pédosphère de même que, dans une moindre mesure, sur la biosphère, ou bien la gestion des déchets et ses rapports avec l'exploitation efficace des ressources et la suppression des sites contaminés. Pour parvenir à de tels résultats, il faut une volonté politique ferme et appliquer de manière conséquente le principe de prévention et celui du pollueur-payeur.

Si l'on entend gérer durablement les grandeurs-clés que sont l'énergie et les biens de masse (eau, pierre, métaux), il faut réorienter fondamentalement le développement de la société et le secteur des constructions. Cette remise en question est inéluctable. Dans cette optique, nous avons besoin d'une nouvelle constitution dans laquelle serait inscrit le principe du développement durable.

[1] Baccini P., von Steiger B 1993, Die Stoffbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Eine Methode zur Früherkennung von Bodenveränderungen, Z. Pflanzenernähr.Bodenk., 156, 45–54

[2] Baccini P., Daxbeck H., Glenck E., Henseler G. 1993, METAPOLIS, NFP 25 Stadt und Verkehr, Bd. 34A

Renata Behra, Giulio P. Genoni et Laura Sigg

Formulation d'objectifs concernant les métaux dans les cours d'eau

La réglementation en matière de déversement et de concentration des métaux dans les cours d'eau figure dans l'ordonnance sur le déversement des eaux usées (1975). Elle formule des objectifs correspondant aux teneurs à ne pas dépasser si l'on entend assurer la protection des organismes et des écosystèmes. La révision de cette ordonnance a conduit à une reconsidération de ces objectifs.

Les métaux suivants sont traités ici: arsenic (As), plomb (Pb), cadmium (Cd), chrome (Cr), cobalt (Co), cuivre (Cu), nickel (Ni), mercure (Hg), sélénium (Se), argent (Ag), zinc (Zn) et dérivés organiques de l'étain (Sn). Les

objectifs proposés tiennent compte de l'écotoxicité ainsi que de la concentration naturelle de ces éléments. Nous illustrons la méthode utilisée avec l'exemple du Cu. La comparaison des nouveaux objectifs avec la teneur

en métaux dans les cours d'eau moyennement pollués permet de faire un bilan de la charge actuelle en métaux dans les cours d'eau suisses.

Valeurs écotoxicologiques

Pour évaluer dans quelle mesure les métaux représentent un danger pour l'environnement, nous avons d'abord pris en considération leur toxicité pour les organismes, populations et écosystèmes aquatiques existant en Suisse ou

dans les régions comparables du point de vue écologique. Ces données ont permis de déduire des valeurs écotoxicologiques (VE), qui correspondent aux concentrations maximales au-dessous desquelles aucun effet toxique ne devrait se produire. La transposition de ces données – qui résultent surtout d'expériences de laboratoire relatives à la toxicité chronique et aiguë – à l'environnement a nécessité l'utilisation de facteurs d'extrapolation. Les incertitudes concernant les VE obtenues sont donc liées à ces facteurs. Ces derniers sont souvent utilisés dans les évaluations écotoxicologiques pour répondre aux nombreuses questions d'extrapolation [1]. S'il s'agit d'effets toxiques aigus, on applique un facteur élevé. Par contre, un facteur faible s'applique aux effets subaigus ou chroniques. Ces facteurs d'extrapolation sont arbitraires, ce qui constitue une grave lacune en écotoxicologie. Les données sur la toxicité permettent ainsi d'avoir une estimation de la VE pour chaque métal. Pour comparer ces VE aux concentrations naturelles, nous avons retenu, pour chaque métal, plusieurs valeurs à partir des plus basses. Le tabl. 1 montre les valeurs prises en considération pour le calcul des VE du Cu. On constate que des effets sublétaux à létaux se produisent chez divers organismes à des concentrations de l'ordre du $\mu\text{g/l}$. Les VE les plus basses se situent entre 0,05 et 2 $\mu\text{g/l}$. Les données écotoxicologiques complètes et les références seront publiées ailleurs [2].

Concentrations de métaux dans les eaux non polluées

Nous avons tenu compte, en plus des VE, des concentrations dans les eaux peu polluées comme valeurs de référence représentant les concentrations

naturelles déterminées par les conditions géologiques locales. En outre, les données publiées ainsi que les travaux de l'EAWAG ont permis de dresser une liste des concentrations des différents éléments [2]. Comme les objectifs se réfèrent aux concentrations d'ions libres, les études ont porté avant tout sur des échantillons filtrés ayant fait l'objet d'une analyse précise. Le tabl. 2 représente les concentrations de Cu dans certaines eaux représentatives. Certaines valeurs concernent des grands fleuves peu pollués. Le Rhône en France et divers fleuves de la côte est des Etats-Unis sont comparables aux eaux suisses. Les concentrations récemment mesurées dans les lacs helvétiques (Lac de Zurich, Greifensee) et leurs effluents peuvent également être considérées comme représentatives d'eaux peu polluées et comparables à celles trouvées dans le Lac d'Alpnach [3]. En Suisse, les mesures dans des cours d'eau peu pollués (notamment dans leur cours supérieur) sont rares. Pour le Cu, ces concentrations naturelles se situent autour des 0,3–1,5 $\mu\text{g/l}$. Pour beaucoup d'éléments, les concentrations naturelles sont très faibles (c'est-à-dire de l'ordre du ng/l ou du $\mu\text{g/l}$; 2, 3).

Objectifs et spéciation

Pour satisfaire aux critères de protection de l'environnement, les objectifs doivent se baser sur les VE les plus basses, mais ne sauraient être inférieures aux concentrations naturelles. La comparaison des données écotoxicologiques et chimiques pour le Cu montre que les VE calculées (0,05–2 $\mu\text{g/l}$) recourent les concentrations naturelles (0,3–1,5 $\mu\text{g/l}$). Ceci s'explique par les incertitudes liées à l'extrapolation des VE, de même que par les formes différentes sous lesquelles les métaux peuvent se trouver dans un test de

Lacs et cours d'eau	Cu en solution $\mu\text{g/l}$
St. Laurent	0,6–1,1
Mississippi	1,5
Amazone	1,5
Fleuves de l'est des USA	1
Rhône (France)	0,4–1,2
Lac de Zurich	0,4–0,8
Greifensee	0,3–1
Lac d'Alpnach	0,6–1,1

Tabl. 2

Teneur en cuivre dans quelques lacs et cours d'eau non pollués (concentration totale de Cu en solution, en $\mu\text{g/l}$).

toxicité effectué en laboratoire ou dans un cours d'eau. Ce dernier aspect fait ci-après l'objet d'une courte discussion sur la relation entre effets biologiques et forme chimique des métaux.

Dans les eaux naturelles, les métaux peuvent se trouver dans les sédiments fluviaux, liés à des particules en suspension, ou sous diverses formes en solution. Comme les objectifs sont établis pour les concentrations d'ions libres, nous ne prendrons en considération que les métaux sous forme dissoute. A part les divers ions libres en solution, on trouve aussi des métaux sous forme de complexes inorganiques ou liés à des ligands organiques naturels ou non. La concentration totale du métal en solution correspond donc à la somme de toutes ses formes chimiques. La part de chaque forme dépend de la composition chimique du milieu aqueux.

Du fait que l'activité biologique des métaux dépend de l'activité des ions libres et non pas de celle des formes complexées [4], les concentrations totales en solution ne renseignent que peu sur la menace que représentent les métaux pour l'environnement. A concentration totale égale d'un métal, les effets biologiques peuvent varier en fonction de la part d'ions libres.

Concentration efficace $\mu\text{g/l}$	Effets	FE	VE $\mu\text{g/l}$
1	Algues vertes, inhibition de la photosynthèse	1	1
6,4	Ver de vase, CL_{50} 48-h	100	0,05
4–6	Daphnie, CL_{50} 48-h	100	0,05
2–10	Truite arc-en-ciel, larves, infection	1	2–10
>2	Truite arc-en-ciel, inhibition de la croissance	1	>2
0,1–10	Truite arc-en-ciel, comportement d'évitement	1	0,1–10

Tabl. 1

Toxicité et valeurs écotoxicologiques (VE) estimées pour le cuivre. Concentration efficace: Cu en solution, concentration en $\mu\text{g/l}$. FE: facteur d'extrapolation. CL_{50} : concentration létale pour 50% des organismes durant le temps d'observation indiqué.

Concentration de métaux dans les eaux moyennement polluées

Dans le cas du Cu, la part d'ions libres dans les eaux naturelles ($Cu^{2+}/Cu_{\text{total en solution}} = 10^{-5}-10^{-7}$; [6, 7]) est de plusieurs ordres de grandeur inférieure à celle d'un système en laboratoire ($Cu^{2+}/Cu_{\text{total en solution}} = 0.01-0.8$). Dans un cours d'eau, il existe des complexants organiques naturels du cuivre, alors que dans un test de toxicité, on n'ajoute en général pas de complexants organiques.

La comparaison des données écotoxicologiques et chimiques du point de vue de la proportion d'ions libres Cu montre que, conformément aux prévisions, les VE sont plus élevées que les concentrations naturelles (fig. 1). Après prise en compte des différences dans la spéciation, l'objectif a donc été fixé à la limite supérieure des con-

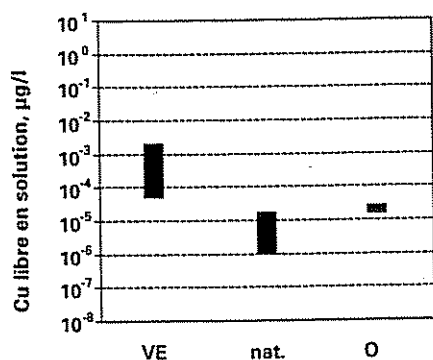


Fig. 1 Comparaison des valeurs écotoxicologiques (VE) et des concentrations mesurées dans les cours d'eau non pollués (nat.); estimation des objectifs O (teneur totale en Cu en solution, en µg/l) en fonction de la proportion estimée d'ions libres en solution. On suppose un rapport de 10^{-2} pour les VE et de 10^{-5} pour les concentrations dans les cours d'eau.

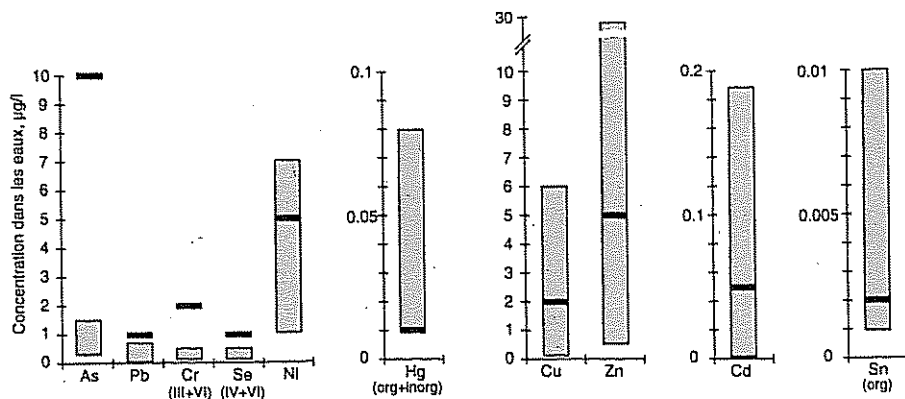


Fig. 2 Comparaison des concentrations dans les cours d'eau moyennement pollués et objectifs recommandés (concentration totale de Cu en solution, en µg/l). Les données concernant le mercure s'entendent pour la somme des formes dissoutes et particulaires.

centrations naturelles. Compte tenu d'autre part de la concentration totale en solution, l'objectif proposé pour le Cu est de 2 µg/l. Les objectifs relatifs aux autres métaux réglementés par l'actuelle ordonnance ont été estimés de la même façon. S'y ajoutent des objectifs pour le sélénium (Se) et les dérivés organiques de l'étain (Sn). En effet, en raison de son utilisation dans l'agriculture, le sélénium pourrait à l'avenir poser quelques problèmes. Quant aux composés organiques de l'étain, ils comptent parmi les substances les plus toxiques. Les nouveaux objectifs proposés figurent dans le tabl. 3, de même que les objectifs actuels. Par rapport à l'ordonnance de 1975, il en ressort qu'à l'exception de l'arsenic, les objectifs pour tous les éléments, et en particulier le cadmium, le mercure et l'argent doivent être considérablement abaissés si l'on désire protéger les organismes et les écosystèmes. L'EA-WAG a déjà préconisé une telle réduction par le passé [3,5].

Une évaluation de la charge actuelle en métaux dans les cours d'eau suisses, compte tenu des concentrations que l'on y observe, montre que les objectifs proposés pour l'As, le Pb, le Cr et le Ni sont atteints dans la plupart des cas (fig. 2). Pour le Hg, on a peu de données sur les concentrations en solution. Il est donc difficile de dire dans ce cas si les concentrations sont en-dessous des objectifs proposés. Dans les petits cours d'eau fortement pollués par les eaux usées, le Cd, le Cu et le Zn dépassent les objectifs proposés. Il en est de même, dans certaines eaux, pour les dérivés organiques de l'étain. Pour le zinc et le cuivre, les sources diffuses

Élément	Objectif 1975 µg/l	Objectif proposé µg/l
As	10	10
Pb	50	1
Cd	5	0.05
Cr(III)	50	2
Cr(VI)	10	(III+VI)
Co	50	10
Cu	10	2
Ni	50	5
Hg inorg	1	0.01
Hg org	—	(org+inorg)
Se(IV+VI)	—	1
Ag	10	0.1
Zn	200	5
Sn org	—	0.002 (TBT+TPT)

Tabl. 3 Comparaison des objectifs actuels et proposés (concentration totale en solution, en µg/l). TBT: tributyl-étain; TPT: triphényl-étain.

(conduites ou autres) sont prédominantes. Les données sur les effluents de stations d'épuration indiquent que, dans la plupart des cas, les concentrations ne sont pas très élevées [1].

Au vu des diverses formes d'apports, les mesures à prendre dès lors que l'on constate un dépassement des objectifs ne sauraient être les mêmes dans tous les cas. Des valeurs dépassant nettement les objectifs feront l'objet d'études approfondies pour déterminer l'origine des apports et pour déterminer si une réduction des émissions dans les eaux est possible. Si ce sont les sources diffuses qui sont prédominantes, des réductions ne sont vraisemblablement envisageables qu'à long terme. Des mesures devront être prises en ce qui concerne les sources reconnues. Toutefois, nous sommes d'avis que le problème des concentrations trop élevées ne devrait pas être résolu par le biais de mesures prises au niveau des stations d'épuration.

Pour proposer ces objectifs, nous nous sommes donc fondés sur une évaluation des dommages possibles pour l'environnement, et ceci sur la base des connaissances scientifiques actuelles. Cependant ce processus a fait parfois appel à des suppositions, car ces connaissances sont encore incomplètes. On ne peut donc considérer les

Possibilités et limites de l'assainissement biotechnologique de l'environnement

Les micro-organismes et leur faculté de dégrader les substances polluantes

Les micro-organismes, telles les bactéries, les champignons, etc., jouent un rôle extrêmement important dans les différents cycles de matières de tous les écosystèmes de la terre. Au moyen de l'oxydation et de la désoxydation, ils transforment les composés d'azote, de phosphore et de soufre d'une forme à une autre, comme par exemple l'ammonium en nitrate et le nitrate en azote atmosphérique. Dans le cycle du carbone, les micro-organismes se chargent en grande partie de l'oxydation des substances organiques en dioxyde de carbone. Ces processus de minéralisation maintiennent le fragile équilibre entre la formation de composés organiques par les plantes vertes, à base du gaz carbonique présent dans l'air, et leur dégradation.

Pour pouvoir dégrader des composés organiques, les micro-organismes passent par les chaînes de réactions les plus diverses.

Suivant la niche écologique dans laquelle il a lieu, le travail de dégradation qu'effectuent les micro-organismes peut être indésirable (p. ex. pour les micro-organismes pathogènes). Toutefois, son utilité dépasse de loin les aspects négatifs. Les micro-organismes jouent un rôle polyvalent dans les processus biotechnologiques (utilisés p. ex. dans l'industrie des produits alimentaires, la chimie de pointe et les médicaments). Les processus microbiens conviennent aussi à la dégradation des matières fécales ou des déchets ménagers organiques et s'utilisent pour le traitement des eaux usées, dans des stations d'épuration spécialement conçues. Il est d'un grand intérêt d'examiner quels polluants et toxiques les micro-organismes dégradent ou transforment au moins en produits résiduels inoffen-

sifs. Le présent article rapporte les possibilités offertes par les processus de dégradation microbiens et leurs limites pour l'assainissement de l'environnement.

Substances polluantes émises dans l'environnement

Les substances polluantes se trouvent dans les êtres vivants comme dans tous les éléments de la nature (sol, eaux, nappe phréatique et air). La grande diversité des substances, de leurs concentrations et de leur répartition dans la nature complique passablement l'application des processus microbiologiques. Les concentrations et les quantités dépendent de la source de pollution et peuvent varier selon l'emplacement. Les eaux usées industrielles, «spills» (trop-plein, déversement) et «leaks» (fuites et infiltrations) conduisent souvent à des concentrations locales éle-

vées de polluants. Une fois répandues dans l'environnement, ces polluants se répartissent en fonction de facteurs chimico-physiques et de processus de distribution. On les trouve par conséquent presque partout, en faibles concentrations (moins de 1 µg par litre). Toutefois, seules les concentrations de polluants en solution aqueuse sont importantes pour les micro-organismes. Les concentrations trop faibles peuvent freiner les processus de dégradation microbiens si les micro-organismes ne peuvent pas tirer suffisamment d'énergie et de carbone libérés lors de la dégradation des substances polluantes. D'un autre côté, les concentrations trop élevées engendrent des effets toxiques.

Pour les micro-organismes, la diversité des polluants implique une diversité de possibilités de dégradation. En principe, les composés organiques servent de nourriture ou de source d'éner-

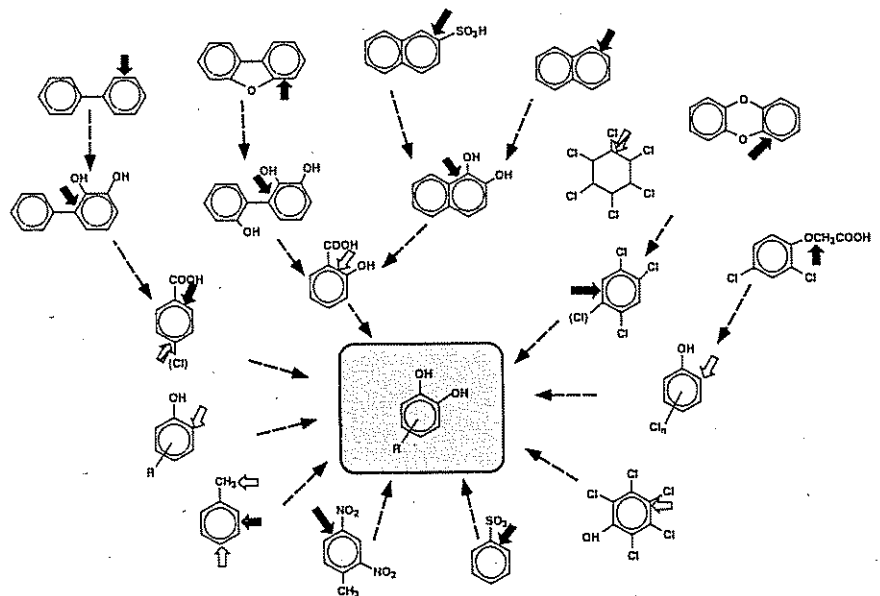


Fig.1 Représentation schématique des processus enzymatiques de dégradation de diverses substances aromatiques toxiques en conditions aérobies. Les diverses possibilités de dégradation donnent toutes naissance à des produits intermédiaires de même type, indiqué ici en gris. Les flèches indiquent à quel endroit la réaction enzymatique s'effectue sur les molécules. Flèches noires: enzymes du type dioxygénase; flèches blanches: monoxygénase; autres flèches: autres types d'enzymes. Flèches en traitillé: indiquent le processus de dégradation auquel peuvent participer plusieurs types d'enzymes (fig. résumant la théorie selon [2]).

gie, et les éléments de carbone, d'azote, de phosphore et de soufre présent dans ces composés peuvent intervenir dans le métabolisme des micro-organismes. En revanche, la cellule n'utilise pas les substituants comme p. ex. les atomes de chlore ou de fluor qu'elle élimine par conséquent. Evidemment, les micro-organismes ne dégradent pas toutes les composés organiques avec la même rapidité. Une comparaison entre la dégradation de composés organiques avec et sans haloïdes montre que, d'une manière générale, non seulement moins de micro-organismes sont en mesure d'utiliser les polluants halogénés, mais que leur dégradation s'effectue aussi plus lentement.

Les composés inorganiques, tel que par ex. les métaux lourds, constituent un groupe de polluants important. Les organismes sensibles présentent rapidement des effets de toxicité chroniques ou aigus après l'absorption de métaux lourds. Pourtant, de nombreuses populations microbiennes ont développé des mécanismes de résistance contre la toxicité des métaux lourds. Ces mécanismes permettent aux micro-organismes de transformer les ions de métal en formes moins toxiques ou même de les éliminer directement de la cellule. Pour le moment, on ne connaît pas encore assez les possibilités d'application de processus microbiens pour neutraliser ou éliminer les ions de métaux lourds des solutions aqueuses. Le présent article traitera par conséquent avant tout de la dégradation des polluants organiques.

Dégradation des substances polluantes par voie microbienne

Pour une exploitation fructueuse des processus microbiens dans la technologie de l'environnement, il est indispensable de connaître le mécanisme des

différentes réactions microbiennes qui interviennent dans la dégradation des polluants organiques. Le potentiel microbien de transformation des polluants est énorme. Les réactions de transformation les plus intéressantes sont celles qui conduisent à une dégradation totale des composés nocifs. D'une manière générale, le métabolisme des bactéries utilisant l'oxygène (aérobies) convient le mieux. La fig. 1 présente un aperçu des processus de dégradation enzymatiques de divers polluants aromatiques tels qu'ils ont été découverts jusqu'à présent dans des bactéries aérobies. Les dioxygénases et les monooxygénases (fig. 1) sont les enzymes qui catalysent les principales réactions de transformation pour la dégradation des polluants. Des études ont montré qu'au niveau biochimique et génétique, la plupart de ces enzymes oxygénases étaient apparentés entre elles et que leur énorme diversité n'était apparue qu'avec le temps. D'ailleurs, ce genre d'enzymes aérobies existe aussi dans des bactéries capables de dégrader les composés aliphatiques.

Bien que les réactions chimiques du métabolisme qui se déroulent en présence d'oxygène puissent conduire à la dégradation totale de nombreux polluants aromatiques et aliphatiques, elles conviennent moins bien à la transformation de composés fortement chlorés. En revanche, certains micro-organismes qui vivent sans oxygène (micro-organismes anaérobies) peuvent catalyser des réactions chimiques transformant pas à pas des composés hautement chlorés en composés moins chlorés. Un tel processus anaérobie a permis par exemple, en laboratoire, de dégrader complètement du tétrachloréthylène en éthane à l'aide de cultures microbiennes mixtes. D'un autre côté, les bactéries aérobies peuvent utiliser les composés moins forte-

ment chlorés. En ce moment, différents laboratoires de recherche tentent de dégrader le biphenyle polychloré par le jumelage de processus anaérobies et aérobies (fig. 2).

Grâce aux progrès de la génétique, nous disposons aujourd'hui de vastes connaissances sur les informations héréditaires qui permettent aux bactéries de dégrader les polluants organiques. Nous savons par exemple que c'est au cours du temps que les bactéries ont développé leur énorme éventail de possibilités métaboliques pour dégrader les substances xénobiotiques et que cette évolution continue. Divers mécanismes génétiques permettent aux bactéries d'adapter assez rapidement leur métabolisme (par ex. en quelques années) à de nouveaux genres de composés. Cependant, il est aussi possible de construire, en laboratoire, des micro-organismes pourvus de propriétés de dégradation toutes particulières.

Facteurs qui influencent les activités microbiennes

Même avec les bactéries appropriées, les substances polluantes présentes dans la nature ne se dégradent souvent pas à la vitesse souhaitée. Le métabolisme des bactéries dépend fortement des conditions imposées par l'environnement. L'optimisation de ces conditions constitue par conséquent une stratégie importante pour l'assainissement biotechnologique des sites pollués. Bien entendu, il est possible d'optimiser encore plus la gestion des processus de dégradation microbiologiques par l'utilisation de systèmes fermés comme les réacteurs biologiques par exemple.

Les facteurs chimico-physiques tels que la température, le pH ou la teneur en sel influencent énormément les activités microbiennes. Les activités métaboliques de la plupart des sou-

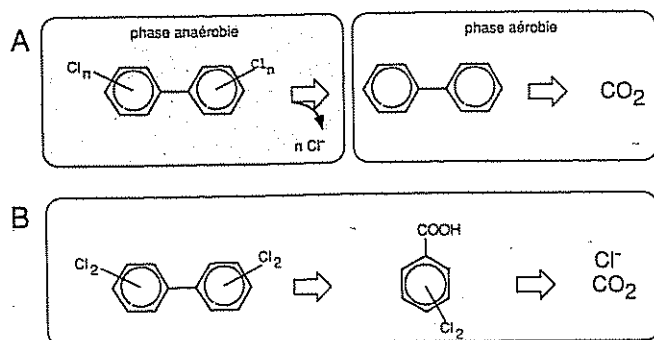


Fig. 2

Dégradations possibles du biphenyle polychloré.

A: dégradation en deux étapes: premièrement, l'activité des microorganismes anaérobies est utilisée pour éliminer les atomes de chlore présents dans les molécules de biphenyle polychlorés. Deuxièmement, les molécules non-chlorées sont entièrement résorbées en conditions aérobies.

B: dégradation grâce à un processus pour lequel des microorganismes aérobies spécifiques ont été développés. Ces microorganismes incorporent deux processus de dissociation différents qui permettent de dégrader entièrement le biphenyle chloré (jusqu'à 4 atomes de chlore y compris).

ches bactériennes ne s'avèrent optimales qu'à une température précise. En outre, cet optimum peut varier considérablement d'un type de bactérie à l'autre. Normalement, il se situe entre 5 et 100 °C. Il est par conséquent très important de sélectionner les bactéries actives à la température des biosystèmes concernés (fig. 3). D'une manière générale, les processus microbiens sont plus lents à basse température. Les processus de dégradation biologiques durent donc beaucoup plus longtemps à des températures relativement basses, par exemple à celles qui règnent dans les eaux souterraines de l'Europe du Nord (env. 10 °C).

La croissance des micro-organismes dans des conditions environnementales normales dépend de différents facteurs biologiques et physiologiques. Dans les systèmes naturels, les populations de bactéries se font dévorer par des protozoaires (prédation), ce qui limite leur nombre. Comme nous l'avons déjà dit, la physiologie de croissance des bactéries destructrices de polluants dépend de la concentration de ces substances nocives. Tant qu'elle n'est pas toxique, une concentration relativement élevée exerce un effet stimulant sur la croissance bactérienne. En revanche, une concentration trop faible de polluants risque de n'être pas perçue par les bactéries. La dégradation microbiologique des concentrations résiduelles de polluants prend

donc beaucoup de temps. Dans des conditions naturelles, les micro-organismes trouvent en outre encore de nombreux autres composés organiques pour se nourrir. L'influence que ces mélanges complexes de divers polluants avec d'autres substances nutritives exercent sur la physiologie microbienne constitue le principal sujet de recherche de la division Microbiologie de l'EAWAG.

À l'état naturel, les micro-organismes se trouvent la plupart du temps en présence de matériaux de surface tels que des grains de sable ou d'argile. Souvent, les cellules trouvent dans ces matériaux ce qui influence leur physiologie (par ex. nourriture) ou ce qui les protège des prédateurs ou de l'extermination. Pour se nourrir, les cellules adsorbées dépendent de processus de diffusion qui transportent les molécules de substrat de la phase aqueuse vers les cellules. Les micro-organismes ne sont probablement pas en mesure de capter directement les molécules adsorbées se trouvant sur les matériaux de surface. L'adsorption peut exercer les effets suivants sur l'activité des micro-organismes: s'il s'agit de composés facilement solubles, les molécules de substrats diffusent moins vers les micro-organismes adsorbés que si ces derniers se trouvaient à l'état libre. S'il s'agit de composés qui adhèrent fortement à une surface par adsorption ou qui se résorbent même dans la matière

solide, leur concentration dans la phase aqueuse est faible. Tant le transport au sein du corps solide que la vitesse de désorption de la surface du solide à la phase aqueuse limitent la vitesse de dégradation de ces substances.

Les changements continuels des conditions de l'environnement au niveau des micro-organismes (p. ex. soudaine apparition d'eau dans lesquelles beaucoup de substances nutritives peuvent se diluer) représentent des situations de stress pour les micro-organismes. L'effet des situations de stress sur les micro-organismes est aussi un des sujets de recherche actuels de la division Microbiologie de l'EAWAG. Afin de pouvoir utiliser les micro-organismes de manière judicieuse, il est d'une importance capitale de connaître leur résistance au stress, par ex. aux chocs, aux composés toxiques ou aux changements de température.

Application du potentiel de dégradation microbiologique dans les processus biotechnologiques

Nous disposons aujourd'hui déjà d'une série de méthodes différentes destinées à une utilisation judicieuse du potentiel de dégradation microbiologique (fig. 4). Ainsi, p. ex, on utilise depuis des décennies déjà des installations d'épuration des eaux pour nettoyer les eaux domestiques et industrielles. Ce qu'on y trouve en premier lieu sont moins des micro-organismes spécialisés que des cultures mixtes, lesquelles se sont développées indépendamment du processus utilisé, dans des conditions aérobies ou anaérobies. L'utilisation de différents supports tels que le sable ou le polyuréthane dans différents systèmes permet de retenir les micro-organismes. D'autres systèmes font appel à des cellules microbiennes à l'état libre, s'agrégeant parfois en flocons. Au début, la dégradation des composés organiques constituait la tâche principale des stations d'épuration. Depuis peu, la recherche et le développement se penchent aussi sur l'élimination de l'azote et du phosphate. Pour le nettoyage des eaux industrielles, il faudra toutefois poursuivre les efforts afin de pouvoir également dégrader les composés toxiques. Pour assurer un traitement efficace de ces

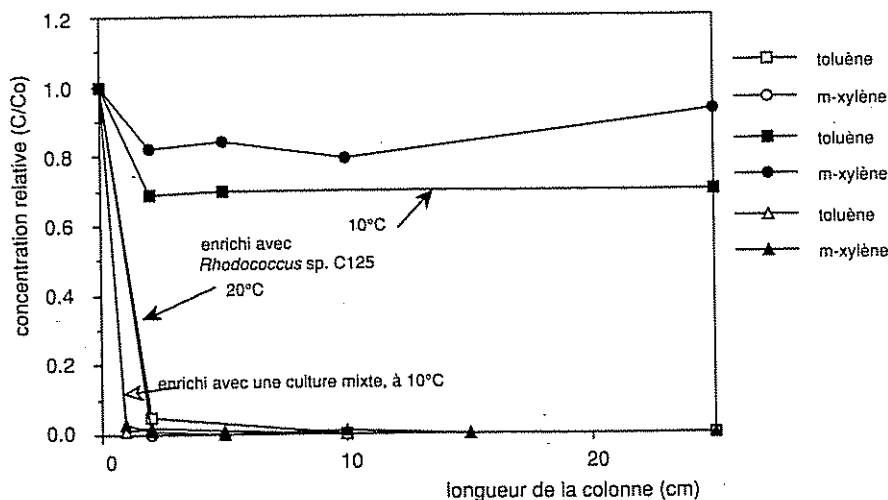


Fig. 3 Effets d'un changement de température sur l'activité de bactéries pouvant dégrader le toluène et le xylène. Le graphique montre la rapide baisse de l'activité biodégradante de la bactérie *Rhodococcus* quand la température baisse de 20 à 10 °C. Mais il existe d'autres bactéries qui ont été enrichies à partir de prélèvements en milieu naturel à une température de 10 °C et sont en mesure de maintenir une bien meilleure activité que le *Rhodococcus* à cette température (fig. extraite de [1]).

eaux usées, il faut absolument des collecteurs séparés pour chaque sorte de polluant. Cette stratégie permet une utilisation optimale de micro-organismes spécialisés qui ne peuvent dégrader entièrement que certains polluants bien déterminés. Par contre, si plusieurs polluants différents arrivent mélangés dans une station d'épuration, cette réunion peut exercer un effet toxique sur ces spécialistes.

Aujourd'hui, on applique également des méthodes biotechnologiques pour éliminer les substances nocives du sol et des eaux souterraines. Quantitativement, leur utilisation est toutefois encore faible. Aux Pays-Bas par ex., la biotechnologie intervient momentanément que pour 1% du sol à assainir. Pour le reste, on utilise les traitements chimico-physiques (p. ex. extraction ou caléfaction). Toutefois, la plus grande part des zones polluées est laissée de côté. Les sols et les eaux souterraines pollués lancent les plus grands défis aux diverses techniques de nettoyage. Là où la pollution est très localisée et représente un certain danger pour la santé de la population, on tâche en général de transporter la pollution ailleurs. S'il s'agit de sols pollués, on en excave une partie et on la remplace par de la terre propre. Quant à la nappe phréatique, une des méthodes les plus courantes consiste à pomper l'eau à la surface pour la traiter dans des installations spéciales. En cas de forte pollution du sol, les méthodes de nettoyage biotechnologiques sont entre autres le landfarming, le compostage ou le traitement par réacteur. La plupart de ces

processus durent cependant relativement longtemps (souvent quelques années) avant d'aboutir à une dégradation pratiquement totale des polluants (fig. 4). Il est possible d'optimiser plus ou moins le processus de dégradation grâce à de meilleurs mélanges, à la ventilation ou grâce à des températures plus élevées. Ce genre de méthodes a porté ses fruits pour les pollutions résultant de produits pétroliers par exemple.

La méthode de nettoyage appliquée pour les eaux souterraines pompées à la surface est la même que pour les autres eaux usées. Pour des raisons d'équilibre de sorption entre les polluants des eaux souterraines et de la surface du sol, il faut toutefois fournir les polluants du sol à l'eau restante. C'est la raison pour laquelle, en cas de pollution de la nappe phréatique, il faut souvent amener et pomper de l'eau pendant un certain temps. L'eau pompée subit un traitement au moyen de bioréacteurs et ensuite éventuellement de ventilation et d'adjonction de substances nutritives. Après un tel traitement, l'eau peut retourner dans le sol. Ce circuit dure jusqu'à ce que la concentration de polluants dans l'eau ait atteint les valeurs souhaitées. Pour le moment, ce genre de procédés biotechnologiques s'utilise avec succès en cas de pollutions des eaux souterraines au toluène, au xylène et au trichloréthylène.

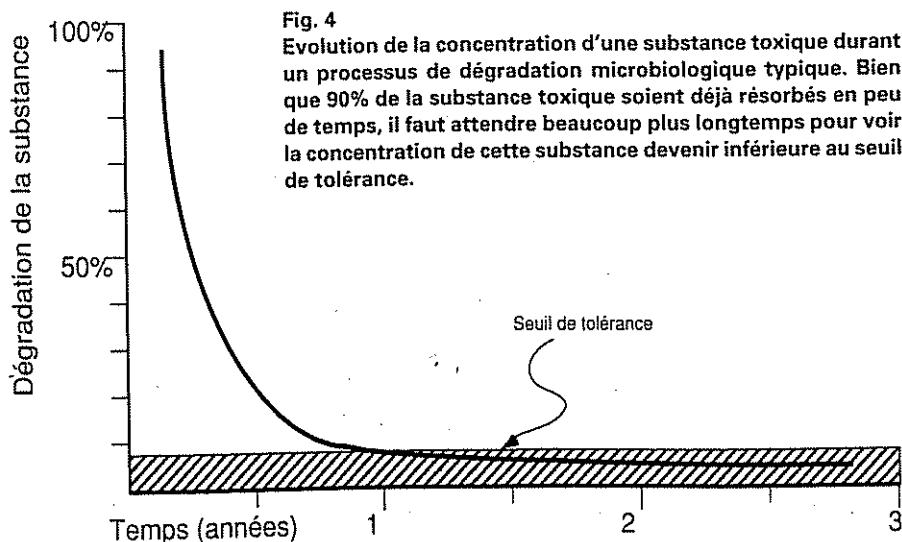
Un nettoyage biologique du sol ou de la nappe phréatique peut aussi survenir de manière spontanée. Parfois, les conditions pour un déroulement optimal des processus de dégradation

se présentent pourtant mal. Les pollutions apparaissent souvent en concentrations différentes ou sous une forme physique (par ex. matières indissolubles) qui rend la dégradation microbiologique difficile. Les méthodes d'amélioration de la biodisponibilité des polluants, par ex. le mélange des matériaux pollués, l'adjonction de substances nutritives et la ventilation, permettent d'augmenter l'activité microbiologique.

Objectifs et perspectives

Les avantages de l'utilisation des micro-organismes pour la dégradation des polluants sont évidents et dans la pratique, l'application des processus microbiens a fait ses preuves depuis longtemps déjà. L'utilisation des techniques de nettoyage microbiennes dans l'environnement, dépend en ce moment des valeurs limites à atteindre par les mesures d'assainissement. Pour diminuer la concentration de polluants à une valeur inférieure à ces limites, les méthodes biologiques prennent en principe plus de temps et sont par conséquent moins économiques. On a constaté par ex. qu'avec le landfarming, il fallait environ six mois pour dégrader 90% des polluants et encore une ou deux années pour les 10% qui restent (fig. 4).

S'il fallait traiter tous les cas de forte pollution du sol et des eaux souterraines de manière si intensive que toutes les valeurs soient réduites en dessous des limites acceptables, la somme de travail serait énorme et les coûts astronomiques. En ce qui concerne les décisions futures à prendre sur l'application de certaines techniques, il s'agit d'abord de savoir si nous voulons à nouveau obtenir un système à l'état naturel (selon les valeurs-limites définies) ou si nous voulons nous contenter de ce que nous pouvons réaliser pour le moment du point de vue biotechnique ou économique. En clair, cela signifie qu'il faudrait laisser un grand nombre d'endroits pollués se régénérer plus ou moins d'eux-mêmes, malgré la lenteur de cette méthode naturelle. Dans de tels cas, des mesures supplémentaires s'imposent pour endiguer au moins la pollution et empêcher sa propagation. En outre, il est possible



d'étendre les processus microbiens en les stimulant.

A l'avenir, les processus microbiens permettront avant tout une lutte à la source contre la pollution de l'environnement. Ainsi, les procédés de dégradation biotechnologiques pourraient jouer un rôle important dans des installations industrielles pour l'épuration de certaines eaux usées. Il faudrait toutefois un jumelage direct des différents processus chimiques avec un étage d'épuration biologique. Les procédés biologiques atteindraient ainsi un niveau optimal et il suffirait d'ajouter, de sélectionner ou de construire génétiquement les micro-organismes néces-

saire pour l'épuration spéciale. Aux Etats-Unis par ex., il existe déjà des entreprises qui développent ce que l'on appelle des biocatalyseurs (c.-à-d. des micro-organismes et les processus qui s'y rapportent) pour une série de polluants industriels tels que par ex. le phénol, le chlorobenzol, le toluène et l'aniline. Les connaissances sur les réactions catalysées par voie biologique jouent pourtant aussi un rôle important pour le développement de nouveaux processus de synthèse industriels plus écologiques et peuvent ainsi conduire à des programmes innovateurs pour la gestion de l'environnement.

- [1] van der Meer, J.R., T.N.P. Bosma, W.P. de Bruin, H. Harms, C. Holliger, H.H.M. Rijnaarts, M.E. Tros, G. Schraa, and A.J.B. Zehnder. (1993) Versatility of soil column experiments to study biodegradation of halogenated compounds under environmental conditions. *Biodegradation* 3:265-284.
- [2] van der Meer, J. R. Genetic adaptation of bacteria to chlorinated aromatic compounds. *FEMS Microbiol. Rev.*, in press.
- [3] Förstner, U. *Umweltschutztechnik: eine Einführung*. Berlin, Springer Verlag, 1990.
- [4] Arendt, F., Annokée, G. J., Bosman, R., van den Brink, W. J. (Eds.). *Contaminated Soil '93*. Dordrecht, Kluwer Publ., 1993.
- [5] Mason, C. A., Sticher, P., Hamer, G. (1992) Mikroben als Umweltsaniierer. Über das Überleben und die Erhaltung der Aktivität von Bakterien im Rahmen von Reinigungsprogrammen für die Umwelt. *Mitteilungen der EAWAG*, 33: 11-19.

Walter Giger, Alfredo C. Alder, Pilar Fernández et Eva Molnar

Lessives et produits de nettoyage: de l'écologie défensive à l'écologie préventive

Introduction

La civilisation actuelle ne pourrait plus guère se passer de la chimie pour la fabrication de produits de lessive et de détergents. Ces produits s'utilisent surtout pour le lavage des textiles. Cependant, des produits chimiques, de composition variable et complexe, s'utilisent aussi pour le nettoyage de surfaces solides (produits pour lave-vaisselle, produits de nettoyage, etc.) ainsi que pour les soins corporels. A part les matières naturelles (savon), on utilise également de grandes quantités de produits chimiques synthétisés. L'utilisation de détergents se conjugue souvent avec l'utilisation d'eau. La plupart des produits chimiques se diluent donc dans de l'eau. Ainsi, l'observation du comportement de leurs composants, d'abord dans les stations d'épuration des eaux usées et ensuite dans la nature, prend une importance capitale. La fig. 1 illustre l'évolution de la consommation annuelle de détergents. Depuis 1940, la consommation annuelle est passée d'env. 10 kg par personne à près de 25 kg. Depuis 1989/90, on constate

cependant une tendance à une légère diminution de la quantité totale utilisée. L'apparition de nouveaux produits de lessive compacts explique partiellement ce recul. En 1991, en comparaison avec les autres pays européens, la Suisse dépassait à peine la moyenne et se plaçait au sixième rang d'un classement qui allait de l'Espagne, le plus gros consommateur (35 kg/personne·année), à la Suède, le plus petit (12 kg/personne·année).

Les quatre générations de problèmes écologiques dus aux détergents

Les problèmes environnementaux causés par les produits chimiques contenus dans les détergents et, par conséquent, les méthodes d'évaluation et les mesures de protection de l'environnement se subdivisent en quatre générations, représentées schématiquement dans le tableau 1.

La première génération se caractérise par l'apparition de mousse à la surface des eaux usées et des cours d'eau, provoquée par les agents tensioactifs

du type sulfonate de benzène d'alcyle ramifié, peu dégradables. Dans les années 60, les quantités de mousse étaient particulièrement importantes. Ce problème s'est résolu grâce aux modifications entreprises spontanément par les producteurs de détergents et aux prescriptions légales relatives à la biodégradabilité des tensioactifs synthétiques. Le sulfonate de benzène d'alcyle linéaire (LAS) a servi de substitut. Aujourd'hui encore, cette substance joue un rôle capital en qualité de substance détergente anionique.

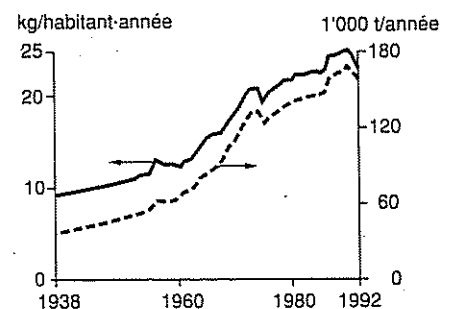


Fig. 1
Consommation annuelle de détergents en Suisse (selon les informations de l'association de l'industrie Suisse des savons et des détergents, ISD)

Dans la deuxième génération, le triphosphate contenu dans les détergents a contribué à l'eutrophisation des eaux. Le même scénario s'est déroulé: application des mesures possibles jusqu'à l'interdiction du phosphate, introduite en Suisse par l'ordonnance de 1986 sur les substances dangereuses pour l'environnement. En Europe et dans le monde entier, un large éventail de solutions diverses a vu le jour.

Ces deux générations se caractérisent par une observation critique des effets provoqués sur l'environnement par les substituts utilisés. Le substitut du phosphate, le nitrilotriacétate (NTA) a fait l'objet de tests détaillés (Giger et al., 1991). Dans le cadre d'investigations ultérieures, un autre agent complexe organique s'est révélé gérant quant à sa compatibilité avec l'environnement: l'éthylènediamine-tétra-acétate (EDTA). Aujourd'hui, cette substance ne s'utilise plus pour la fabrication de produits de lessive et de détergents, duquel, malheureusement, les milieux de protection de l'environnement n'ont souvent pas tenu compte.

Dans un troisième temps, on a découvert l'existence de substances toxiques provenant de la dégradation des tensio-actifs, présents dans les eaux épurées mais surtout dans les boues

d'épuration (Giger, 1989). Par ailleurs, celles-ci se sont avérées contenir d'autres composants chimiques des détergents. Comme le LAS présente une mauvaise dégradation anaérobie, on en trouve des quantités importantes dans les boues (env. 1-10 g par kg de boue sèche).

Dans un quatrième temps, qui correspond à la situation actuelle, des réflexions globales s'ajoutent au suivi des composants. Le but consiste à établir des bilans écologiques souvent appelés «life cycle analysis» en anglais. En ce qui concerne les produits de lessive, la combinaison du produit de base, de l'adoucissant de l'eau et de l'agent de blanchiment (système modulaire) commence à s'imposer. Les agents de blanchiment ne doivent intervenir que lorsqu'ils sont vraiment nécessaires. Bien que les machines à laver avec adoucisseur d'eau soient recommandées, elles ne connaissent pas encore de véritable succès.

Les quatre générations décrites se distinguent par le fait que les deux premières ont donné lieu à des effets constatés dans la nature, contre lesquels on a réagi. En revanche, la troisième, par les analyses des produits résiduels dans l'environnement, a servi de base de réflexion et de décision pour les mesures à prendre. Quant à l'actuelle génération, elle se caractérise par la volonté d'anticiper des problèmes éventuels dus aux détergents. Elle se concentre sur l'application de mesures préventives.

Situation actuelle: acteurs/méthodes/mesures

A notre époque, un certain nombre de personnes et d'institutions (désignées comme acteurs) collaborent pour décrire les processus chimiques qui se déroulent dans la nature, pour appliquer certaines méthodes et finalement, pour proposer des mesures et pour les mettre en pratique (fig. 2, 3, 4). Les acteurs (fig. 2) sont, d'une part, l'industrie chimique qui fabrique et distribue, soit des matières premières ou soit des produits détergents finis; d'autre part, ce sont les consommateurs qui utilisent ces produits. Les milieux de la protection de l'environnement ainsi que le commerce et la vente se situent

entre-deux. La recherche scientifique et le développement peuvent intervenir à divers niveaux. Les producteurs disposent de départements de recherche et développement performants qui étudient les aspects écologiques des produits. L'EMPA de St-Gall et l'EAWAG font partie de ce nombre, malheureusement faible, d'instituts de recherche et de développement indépendants qui se penchent sur l'étude de la compatibilité écologique des détergents. Un rôle important est aussi joué par une série d'organisations de protection de l'environnement et de consommateurs, actives au près du public. Depuis peu, il existe des entreprises de conseils qui s'occupent avant tout des gros consommateurs de détergents. Ces acteurs s'influencent réciproquement de manière plus ou moins forte et forment ensemble un réseau. Ils utilisent les méthodes citées en fig. 3. L'évaluation des produits, qui consiste avant tout en une évaluation des composants, se base sur des analyses de laboratoire et des études sur le terrain, sur le comportement écologique de certains produits chimiques. On obtient ainsi des indications concernant les risques de pollution de l'environnement par les diverses substances. En combinaison avec l'estimation d'éventuels effets éco-toxicologiques, on obtient une évaluation dans le sens classique du terme. Les nouveaux développements vont en direction de ce qu'on appelle des bilans écologiques qui englobent aussi les matières premières utilisées, les procédés de fabrication, l'utilisation et la gestion des déchets. Par exemple, un producteur de renommée est en train de faire de grands efforts pour fabriquer ses produits tensio-actifs à base de matières premières naturelles, capables de se régénérer. Un autre producteur suisse de produits tensio-actifs nous donne également un bon exemple. Celui-ci a transféré une partie de sa production en Belgique pour éviter le transport d'un élément à risque sur une trop longue distance. L'EMPA de St-Gall est une institution connue à l'échelle internationale pour de tels bilans écologiques.

Les mesures possibles (fig. 4) comportent les mesures prises par les producteurs, le changement de comportement du consommateur et les pres-

Problèmes environnementaux des détergents

Génération I

Tensioactifs difficilement dégradables --> apparition de mousse

Génération II

Phosphates --> Contribution à l'eutrophisation des eaux

Génération III

- métabolites persistants
- enrichissement dans les boues d'épuration (nonylphénol, LAS)
- Substituts du phosphate (NTA, citrate, polycarboxylates, phosphonates)
- EDTA

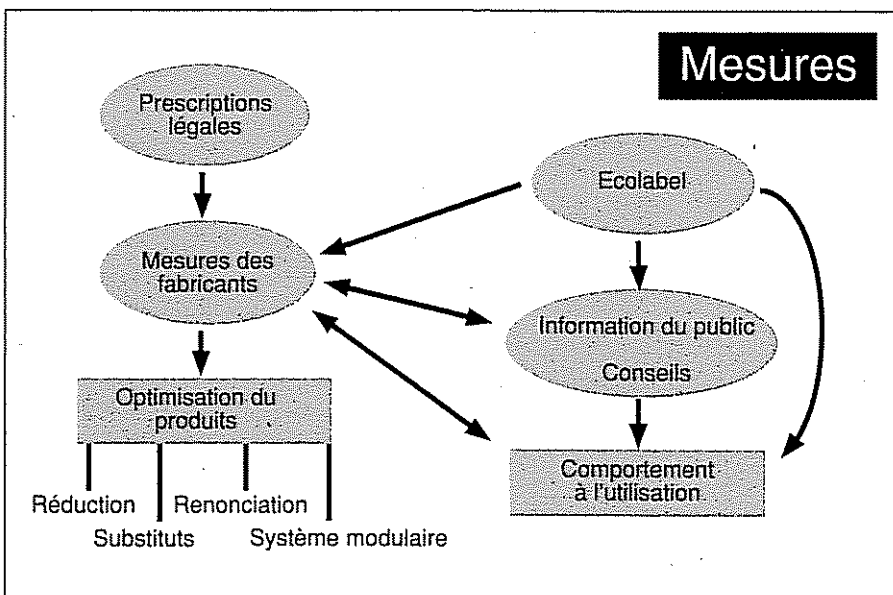
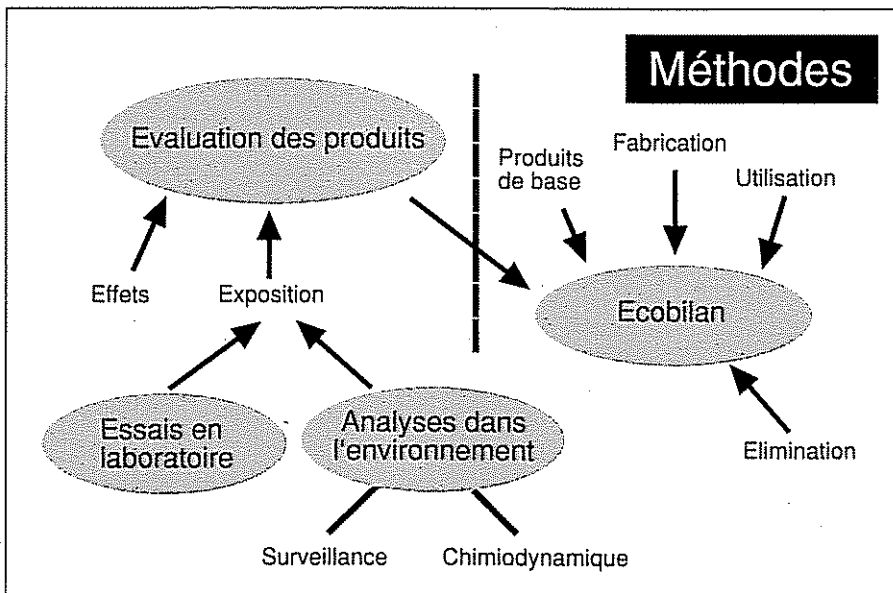
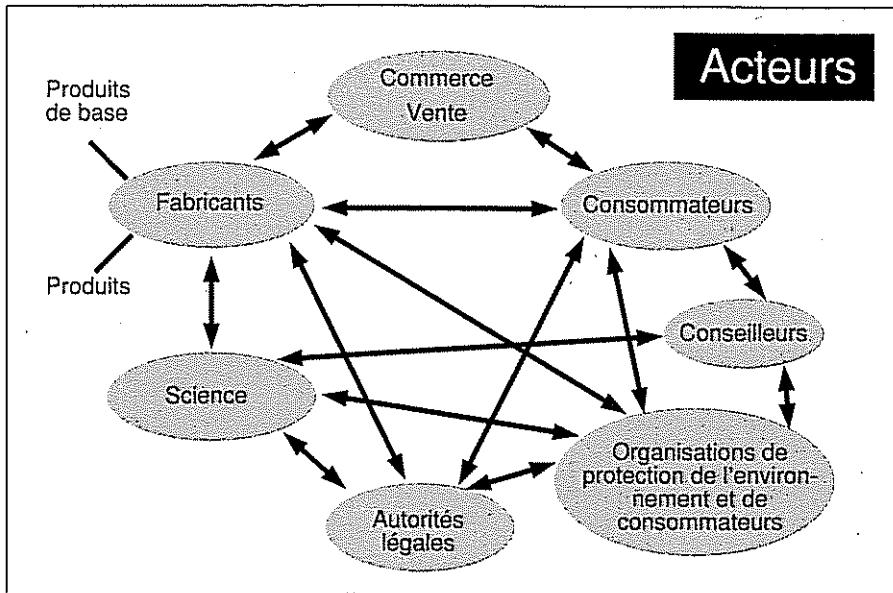
Génération IV

Mesures préventives

- composants optimaux
- utilisation consciente
- écolabel
- écobilans

Tableau 1

Les quatre générations de problèmes environnementaux dus aux détergents



criptions légales. Les mesures prises par les fabricants consistent à optimiser les produits et agissent ainsi directement à la source d'une éventuelle pollution. Il peut s'agir d'une réduction, voire de la suppression de certains composants, tout en tenant compte du problème possible des substituts. Le développement de nouvelles méthodes de lavage dans le sens du système modulaire évoqué ci-dessus revêt une grande importance.

L'introduction de l'éco-label pour les produits de lessive est plus récente. En éco-label Allemagne, le premier «ange bleu» a été attribué à un produit de lessive en 1993. Les critères à remplir pour obtenir «l'ange bleu» figurent sur le tableau no 2. La proposition de l'Union Européenne pour l'introduction d'un signe écologique (écolabel) contient des exigences semblables. Des négociations ont lieu en ce moment à Bruxelles à ce propos (UE, 1993). Les exigences posées sont d'une sévérité comparable, car elles dépassent volontairement les prescriptions légales afin de promouvoir les produits ne nuisant pas à l'environnement. Le critère de dégradabilité anaérobie pose en particulier de grands problèmes à la principale substance détergente actuelle, le LAS.

Tensio-actifs cationiques dans les revitalisants

Ce paragraphe traite le cas de figure d'une étude effectuée en ce moment par la division Chimie de l'EAWAG. Elle vise les revitalisants, utilisés pour rendre les tissus le plus doux possible. Au cours de ces dernières années, les Suisses ont légèrement augmenté leur consommation de ce genre de produits (consommation annuelle d'env. 12 000 tonnes, à savoir 1,8 kg par personne). Jusqu'en 1991, le tensio-actif cationique DSDMAC constituait la principale substance active des revitalisants. Aujourd'hui, elle ne se fabrique plus et, par conséquent, ne se trouvera plus dans les revitalisants. La fig. 5 montre la formule chimique du DSDMAC et de deux substituts utilisés pour le moment. Il s'agit, pour tous les deux, de diesters quaternaires avec une liaison ester hydrolysable. Les études poursuivies à l'EAWAG avaient

Fig. 2, 3, 4 Acteurs, méthodes et mesures intervenant dans les problèmes environnementaux causés par les détergents

Ecolabel pour détergents

- Système modulaire
 - détergents de base
 - adoucissants
 - agents de blanchiment
- Composants
 - composants bannis
 - pas de substances dangereuses pour les eaux
 - biodégradabilité aérobie et anaérobie
 - faible toxicité
 - pas de bioaccumulation
 - pas de produits de dégradation stables
- Efficacité et dosage
- Information des consommateurs
- Emballage
- Compatibilité d'utilisation

Tableau 2
Critères d'attribution de l'écolabel pour détergents en Allemagne (BMU, 1993)

pour objectif de déterminer les taux de DSDMAC dans des échantillons de boues d'épuration, dans le cadre d'une analyse environnementale afin de contrôler la renonciation bénévole à cette substance. Par sa grande affinité pour les surfaces et par sa persistance anaérobie, le DSDMAC a tendance à s'accumuler dans les boues. De ce fait, il est possible d'étudier les conséquences d'une variation des quantités utilisées de DSDMAC.

Une première partie du projet a permis de développer une méthode de détermination quantitative spécifique pour le DSDMAC dans les échantillons de boue. Cela implique l'utilisation de procédés spéciaux d'extraction, de séparation et de détection. Les particularités de cette méthode seront décrites plus loin. (Fernández et al., 1994). La fig. 6 représente les résultats obtenus dans 14 stations d'épuration du canton de Zurich. Alors qu'en février, les teneurs en DSDMAC s'élevaient encore en moyenne à 3.5 g/kg de boue séchée, en novembre 1992, on ne mesurait plus que 0.7 g/kg. Les études continues ont permis d'observer des valeurs encore inférieures pour 1993. La diminution des taux de DSDMAC d'env. 80., constatée par les analyses de boues s'explique par le remplacement de la substance active. Ces valeurs reflètent clairement les effets de la renonciation bénévole de la

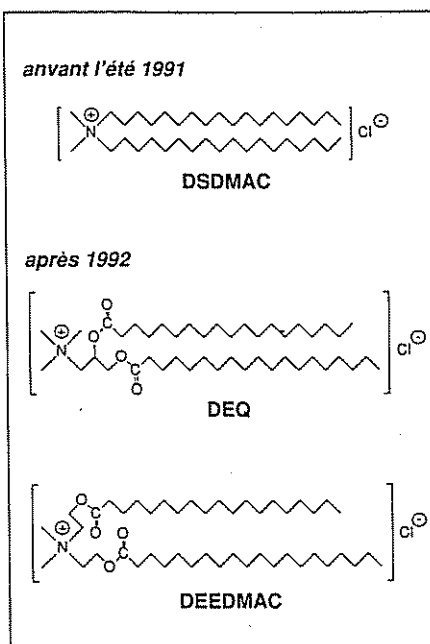


Fig. 5
Structures moléculaires des tensioactifs cationiques présents dans les revitalisants. En raison de son enrichissement dans les boues d'épuration et de son effet toxique sur les organismes aquatiques, le DSDMAC (chlorure d'ammonium de distéaryl-diméthyle) a été remplacé durant la seconde moitié de 1991 par des agents actifs mieux dégradables, appelés esterquats. Ses substituts typiques sont le DEQ (un ester distéaryl quaternaire de chlorure d'ammonium de dihydroxypropyl-2,3 triméthyle) et le DEEDMAC (chlorure d'ammonium de distéaryl-diéthoxysterdiméthyle)

part des producteurs. Dans un prochain temps, il faudra éventuellement contrôler les produits de substitution. Pour cela, il faudra sans doute réadapter la méthode analytique. En conclusion, on peut donc affirmer que par ses analyses dans l'environnement, l'EAWAG exerce une fonction de contrôle d'une efficacité certaine.

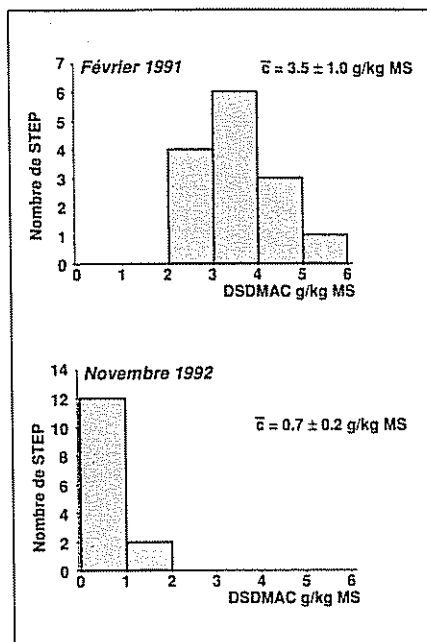


Fig. 6
Histogrammes de concentration du DSDMAC dans les boues provenant de 14 STEP à traitement mécanique et biologique, du canton de Zurich. Les prélèvements ont eu lieu avant et après le remplacement du DSDMAC, soit en février 1991 et en novembre 1992

- [1] Fernández P., Alder A. C. and Giger W. (1994). Determination of Cationic Surfactants in Sewage Sludges by Supercritical Extraction and HPLC, Publication en préparation.
- [2] Giger W. (1989). Polluants organiques dans les boues d'épuration: origine et comportement dans l'environnement. *Nouvelles de l'EAWAG* 28F, 8-11.
- [3] Giger W., Schaffner C., Kari F.G., Ponusz H., Reichert P. und Wanner O. (1991). Présence et comportement du NTA et de l'EDTA dans les rivières suisses. *Nouvelles de l'EAWAG* 32F, 27-31.
- [4] Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und Jury Umweltzeichen, Grundlage für Umweltzeichenvergabe, Pressemitteilung, Bonn, 10.3.1993

Protection de l'environnement dans les pays en voie de développement: une question de survie

Les problèmes des pays en voie de développement ne sont pas les mêmes que ceux des pays industrialisés du Nord

Dans le Nord industrialisé, les débats sur l'environnement touchent avant tout aux problèmes écologiques tant régionaux et globaux. Il ne s'agit pas de problèmes de santé aigus qui menacent directement le citoyen ordinaire. En revanche, les pays en voie de développement (PVD) vivent leurs problèmes écologiques de manière très différente. La majeure partie des 4 milliards d'individus vivant dans le Tiers-Monde reste confrontée à des problèmes de santé aigus, en relation directe avec leur environnement vital.

Ces problèmes aigus comprennent par exemple le fait que *plus d'un milliard de personnes ne disposent pas d'eau potable en quantité suffisante*. Les sources d'eau sont d'une part fortement polluées et, d'autre part, trop éloignées pour garantir un approvisionnement suffisant aux ménages. (Afin d'assurer une hygiène personnelle suffisante, il faut au moins 20 à 40 litres par personne et par jour). Quant à l'assainissement, la situation est encore plus catastrophique étant donné que *plus de 1,7 milliard de personnes vivent pratiquement sans systèmes hygiéniques de gestion des excréments humains*. [1]

Mais il y existe d'autres problèmes environnementaux aigus et généralisés, comme par exemple le fait que, dans les villes du Tiers-Monde, on ne récolte qu'une petite partie des déchets solides urbains. Par conséquent, de nombreuses petites décharges publiques apparaissent à l'intérieur des villes. De ce point de vue, les conduites d'égouts et les ponts au-dessus des rivières constituent un point d'attraction tout particulier. Par ailleurs, cha-

acun dépose ses déchets à l'endroit le plus commode et le moins coûteux. Des décharges plus au moins contrôlées et compatibles avec l'environnement n'existent pratiquement pas [2].

Ces problèmes manifestés touchent non seulement à l'esthétique, mais *représentent avant tout une grande menace pour la santé de la population*. Les couches pauvres de la population en sont le plus touchées. La fig. 1 montre que dans les PVD, les maladies infectieuses et parasitaires viennent largement en tête des causes de décès. La plus grande part de ces maladies infectieuses ont une relation directe ou indirecte avec le manque d'approvisionnement en eau (AE) et l'insuffisance de la gestion des matières fécales et des déchets. *Dans les pays en voie de développement, plus de 8 millions de personnes meurent chaque année des suites de la pollution des eaux et d'un manque d'hygiène. Il s'agit pour la plupart d'enfants*. Le tableau 1 montre le nombre de cas de maladie ou de décès dus à certaines maladies infectieuses en relation directe ou indirecte avec le manque d'AE ou avec la gestion insuffisante des matières fécales. L'OMS estime qu'env. 80% de toutes les maladies du monde ont une relation directe

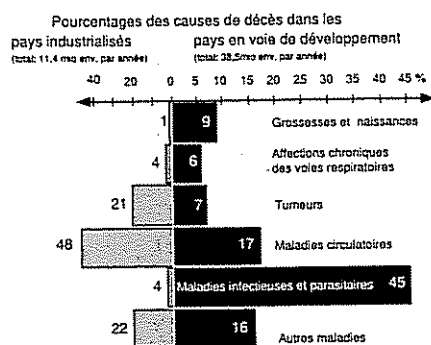


Fig. 1 Causes de décès par ordre d'importance dans les pays en voie de développement et dans les pays industrialisés [3].

Maladies	Cas de maladie (en mio/a)	Décès (en 1000/a)
Maladies diarrhéiques générales	3-5'000	4-5'000
Typhoïde	1	25
Ascariidose (Ver rond)	800-1000	20
Tricocéphalose (Helminthe tricocéphale)	500	quelques-uns
Ankylostomiase (Uncinaire)	7-9000	50-60
Trachome	6-9	
Bilharziose	200	200
Dracontiasse (Ver de Guinée)	>10	
Éléphantiasis	90	
Paludisme	800	1200
Onchocercose (Cécité des rivières)	18	20-50

Source: OMS Genève 1992. Notre planète, notre santé. Rapport de la Commission sur la santé et l'environnement.

Tabl. 1 Exemples de maladies infectieuses dues à la fois à un approvisionnement en eau et à une gestion des excréments insuffisants [3].

avec le manque d'AE ou de gestion insuffisante des matières fécales.

Dans ces circonstances, il n'est pas étonnant que, pour une large couche de population des PVD, les problèmes de survie soient au centre des préoccupations et que les soucis écologiques des pays industrialisés du Nord et les problèmes d'environnement globaux passent au second plan.

Dans les pays en voie de développement, les problèmes d'environnement s'aggravent aussi de plus en plus

Objectivement, force est de constater que les problèmes écologiques prennent aussi toujours plus d'ampleur dans les PVD, avant tout dans les pays à industrialisation rapide de l'Asie et de l'Amérique latine. Par exemple, la qualité de l'eau de différents fleuves des PVD (fig. 2) diminue à vue d'œil. Ce

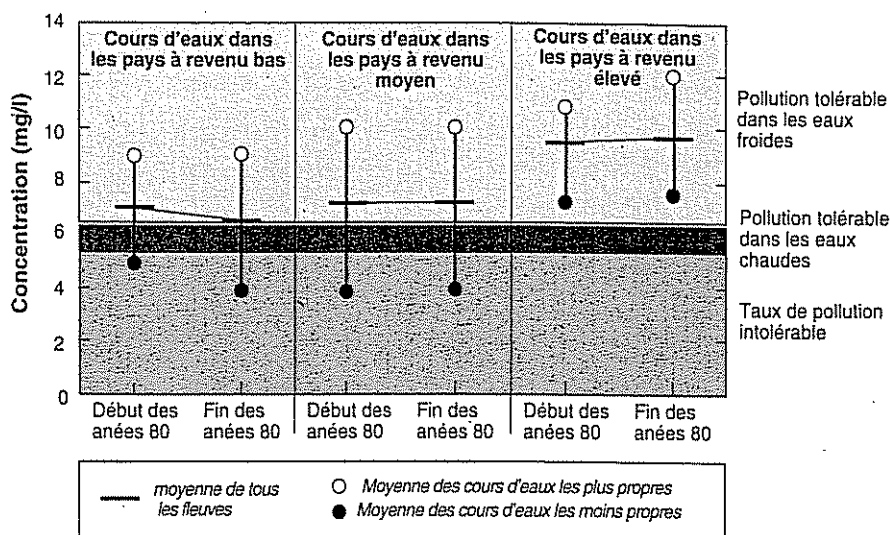


Fig. 2 Oxygène dissous dans les cours d'eaux: niveaux et tendances par rapport à diverses classes de revenus dans différents pays [4]

phénomène s'explique par le fait qu'en Amérique latine, moins de 5% des eaux usées passent par un système d'épuration avant d'être déversées dans un cours d'eau récepteur.

Cette détérioration de la qualité des eaux de surface n'a pas «que» des effets écologiques, mais aussi en partie de fortes répercussions sur l'économie. La pollution croissante des eaux de surface – avant tout par les industries – est une des raisons principales pour lesquelles les frais spécifiques d'un futur approvisionnement en eau de nombreuses villes du Tiers-Monde seront deux à trois fois plus élevés que maintenant (fig. 3). Exemple: la ville de Shanghai devra régulièrement transférer ses installations de captage d'eau

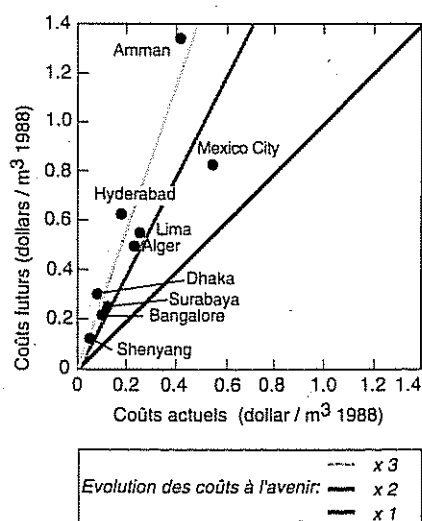


Fig. 3 Approvisionnement urbain en eau: coûts actuels et futurs projetés [4]

quelques kilomètres plus en amont du fleuve si elle veut maintenir ses coûts de production d'eau potable dans des limites raisonnables. Dans d'autres villes telles que Dakar, Jakarta, Lima, Manille, et Bangkok, l'exploitation excessive des eaux souterraines engendre une infiltration d'eau de mer dans la nappe phréatique et par conséquent une augmentation de sa teneur en sel. Ainsi, il faut toujours plus traiter l'eau pour la rendre potable [5].

Logiquement, l'épuration des eaux usées devrait aussi occuper une place prioritaire dans les villes au Tiers-Monde, au même titre que la production d'eau potable. Toutefois, des causes économiques y mettent un frein, d'autant plus que, dans les PVD à industrialisation rapide, les différents problèmes de protection des eaux surviennent aujourd'hui pratiquement en même temps. Dans les actuels pays industrialisés, les problèmes ont en revanche surgi l'un après l'autre de telle sorte que chacun d'eux a pu faire l'objet d'une attention particulière (fig. 4).

Les causes des problèmes d'environnement globaux résident avant tout dans les pays industrialisés du Nord

Tant les problèmes environnementaux aigus et leur répercussion directe sur la santé, que les problèmes de nature plutôt écologique se manifestent le plus clairement dans les grandes agglomérations urbaines du Tiers-Monde. Il s'agit sans aucun doute des conséquences négatives de la forte croissance démographique et avant tout de l'urbanisation rapide. En 2025, près de la moitié de la population mondiale (à savoir env. 4 milliards de personnes) occupera les grandes villes des PVD. 17 de ces agglomérations urbaines abriteront une population de plus de 10 millions, et l'Asie comptera à elle seule au moins 52 villes de plus de 4 millions d'habitants [6; 7].

Il faut tout de même préciser clairement qu'en dépit de la forte croissance démographique et de l'urbanisation catastrophique du Tiers-Monde, les causes des problèmes environnementaux globaux résident aujourd'hui – et sans doute pour de nombreuses années encore – essentiellement dans les pays industrialisés du Nord. En effet, la question n'est pas de savoir combien de personnes vivent dans une certaine région ou sur la terre, mais comment elles vivent. Si l'on compare la consommation d'énergie ou de ressources des pays industrialisés avec celle des pays en voie de développement, on constate que du point de vue écologique (consommation de matières premières et d'énergie), le total de 0,5% de croissance annuelle des naissances dans le Nord industrialisé a des répercussions deux à trois fois plus

importantes que la croissance démographique elle-même. En effet, la question n'est pas de savoir combien de personnes vivent dans une certaine région ou sur la terre, mais comment elles vivent. Si l'on compare la consommation d'énergie ou de ressources des pays industrialisés avec celle des pays en voie de développement, on constate que du point de vue écologique (consommation de matières premières et d'énergie), le total de 0,5% de croissance annuelle des naissances dans le Nord industrialisé a des répercussions deux à trois fois plus

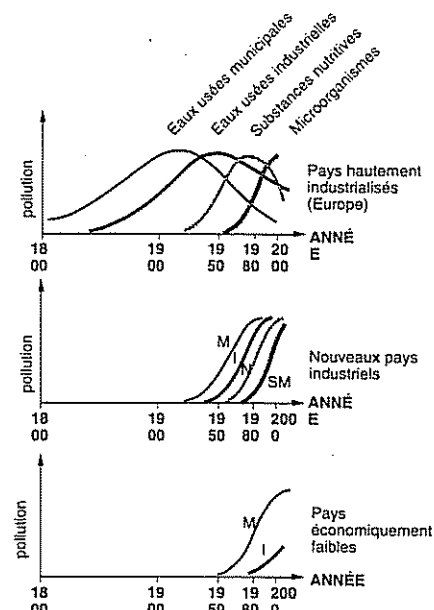


Fig. 4 Évolution diachronique de la pollution des cours d'eaux dans les divers types de pays fondée sur la vitesse de développement et sur la condition sociale [5]

graves que la croissance démographique d'env. 1,7% des pays en voie de développement (fig. 5) [8].

Conclusion

Alors que les problèmes d'environnement aigus des pays en voie de développement résultent en grande partie de la pauvreté et du sous-développement économique, les problèmes écologiques du Nord viennent en premier lieu d'un «développement excessif ou erroné».

Dans le Sud, ce sont les couches de population les plus pauvres qui souffrent le plus des mauvaises conditions environnementales. Pour des raisons économiques, les PVD accordent en outre une faible priorité aux mesures de protection de l'environnement. Ils ont assez de fil à retordre avec les problèmes de survie à court terme, étroitement liés à la forte croissance démographique. L'histoire nous montre qu'un recul de la croissance démographique résulte toujours du développement économique et pas le contraire. En d'autres termes, le niveau de vie exerce une influence décisive sur la croissance de la population.

En revanche, le Nord industrialisé se distingue par un énorme gaspillage des ressources. Si l'on considère la situation dans son ensemble, on voit que l'utilisation des ressources dans les pays industrialisés menace la capacité naturelle de la terre et par conséquent aussi

les PVD. Contrairement à la majorité des pays en voie de développement, les pays industrialisés ont déjà épuisé leur «crédit écologique», car ils ont consommé une quantité de ressources naturelles supérieure à la moyenne (par rapport à leur population ou à leur surface).

Il est tout aussi important de limiter la consommation de ressources des pays industrialisés que de freiner la croissance démographique des pays pauvres du Sud.

Contribution de l'EAWAG

L'institut de recherche fédéral EAWAG s'occupe avant tout des problèmes écologiques du Nord industrialisé et plus particulièrement de ceux de la Suisse. En même temps, un petit groupe de recherche de l'EAWAG (Eau et assainissement dans les PVD) se penche toutefois également sur les problèmes spécifiques de l'approvisionnement en eau, de la gestion des eaux usées et des déchets ainsi que de la protection des eaux dans les PVD. Il s'agit avant tout de savoir quelles sont les mesures et les technologies les plus appropriées (viabiles) en fonction des différentes conditions économiques, socioculturelles et physiques.

En dépit de grands efforts internationaux entrepris ces dernières décennies dans le secteur de l'eau, le degré d'approvisionnement des régions en voie de développement n'a pas vraiment augmenté. Le début des années 90 a fait place à de nouvelles tentatives et à la reformulation des priorités pour la collaboration au développement à laquelle l'EAWAG a largement contribué. Selon la devise «un peu pour tous plutôt que plus pour certains», l'actuelle priorité consiste à procurer une quantité suffisante d'eau propre à tout le monde. Les mesures urbaines prévues d'approvisionnement en eau et d'assainissement s'étendent à un maximum de quartiers. Voici les principales lignes directrices pour leur mise en pratique: [9]

- Protection de la santé et de l'environnement grâce à une gestion intégrale des eaux et des déchets liquides et solides.
- Réformes institutionnelles pour la promotion d'une intervention intégrale – y compris les changements de

procédures, d'habitudes et de comportement – ainsi que la participation des femmes à part entière dans tous les domaines des institutions touchant à ce secteur.

- Exploitation d'installations par des communautés locales et promotion de mesures pour soutenir les institutions locales dans la planification et l'exécution de programmes viables d'eau et d'assainissement urbains.
- Meilleure utilisation et gestion des installations existantes par l'application de principes de gestion et par une utilisation stricte de technologies adaptées.
- Gestion des ressources eau et sol au niveau institutionnel le plus bas possible.
- Respect de l'eau à titre de bien économique dans toutes ses formes d'utilisation.

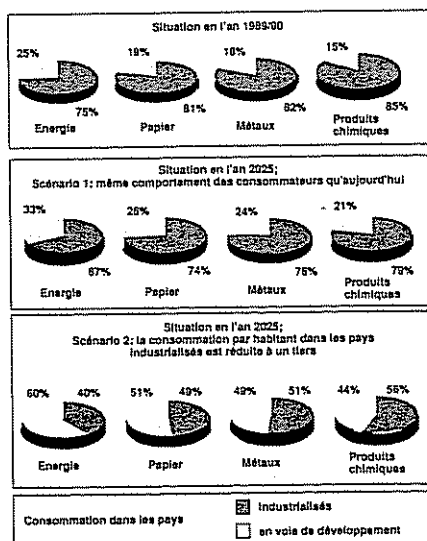


Fig. 5 Consommation comparative des ressources dans les pays industrialisés et dans les pays en voie de développement

- [1] WHO. The International Drinking Water Supply and Sanitation Decade; End of decade review. Geneva, 1992
- [2] Schertenleib R. und Meyer W. Municipal Solid Waste Management in Developing Countries: Problems and Issues; Need for future Research. IRCWD News No. 26, 1992
- [3] WHO. Our planet, our health. Geneva, 1992
- [4] The World Bank. World Development Report 1992. Oxford University Press, 1992
- [5] Schertenleib R. Flüsse als Objekte vielfältiger Nutzung in Entwicklungsländern. EAWAG news 32D, 1991
- [6] UNCHS/Habitat. Urbanization and sustainable development in the third world: an unrecognized issue. Nairobi, 1989
- [7] UN/ESCAP. State of the Environment in Asia and the Pacific 1990. Bangkok, 1992
- [8] Sachs Ignacy. Transition strategies for the 21st century. Nature & Resources, Vol. 28, Number 1, 1992
- [9] DEH Fachdienst Wasser. Sektorpolitik Wasserversorgung und Siedlungshygiene. Bern, 1993

Ueli Bundi

Bilan de l'azote en Suisse

Une porte ouverte sur la gestion de l'environnement

Le problème de l'azote exige des stratégies qui tiennent compte de l'interaction intensive de processus écologiques les plus divers avec les activités humaines. L'agriculture et les processus de combustion, y compris le trafic motorisé, sont les principaux responsables des problèmes d'environnement relatifs à l'azote. Une intervention au niveau de l'agriculture s'impose absolument. Le problème concerne un nombre considérable d'autres questions écologiques, économiques, sociales et politiques. Une réorientation générale de l'agriculture s'avère par conséquent inévitable.

Problèmes et interventions nécessaires

L'azote joue un rôle-clé dans l'environnement. Il se présente sous différentes formes et est à la fois une substance nutritive et un élément polluant. Les activités humaines augmentent fortement ses mutations et sa concentration dans la nature. Cela conduit à de nombreux problèmes avec l'eau, le sol, l'air ainsi que les hommes, les animaux et les écosystèmes. Vous en trouverez une présentation sous les points [1] et [3].

Pour la plupart des problèmes liés à l'azote, les causes et les effets se localisent à peu près au même endroit. Voilà pourquoi il faut des solutions locales et

régionales, qu'il importe de développer au niveau national et international, selon des principes communs. La Suisse ne doit cependant pas se concentrer uniquement sur les problèmes d'azote de son propre pays. Dans le cadre d'un accord international, elle doit aussi veiller à réduire considérablement l'exportation d'azote par le Rhin pour la protection de la mer du Nord.

Les divers problèmes d'azote ont des causes communes comme l'agriculture, la mobilité et le confort que procure l'eau. Des processus anthropogènes imbriquent ces problèmes les uns dans les autres. Si l'on veut y remédier, il faut s'attaquer à chacune des causes. Pour optimiser le résultat et éviter les effets négatifs, nous devons

synchroniser correctement les mesures prises en matière d'agriculture, de combustion, de trafic et d'épuration des eaux. En outre, il faut tenir compte encore d'autres problèmes écologiques relatifs à la gestion de l'azote.

Bilan de l'azote en Suisse

La fig. 1 représente le bilan de l'azote en Suisse [1]. Elle montre les principaux flux entre l'anthroposphère (population, ménages, industrie, arts et métiers, trafic, quartiers d'habitation), la pédosphère (terres agricoles en plaine et en montagne, forêts, surfaces improductives, bétail) et l'hydrosphère (lacs, cours d'eau, nappe phréatique). Les différences entre composés azotés n'entrent pas en considération.

Les principales forces motrices à l'origine des flux actuels d'azote dans l'environnement proviennent de l'importation d'engrais et de fourrages en Suisse (95 000 tonnes d'azote au total par année), des méthodes d'exploitation du sol agricole, du trafic motorisé ainsi que de l'utilisation d'eau dans les ménages (surtout pour les besoins sanitaires). Ces activités introduisent de grandes quantités d'azote dans le sol, dans l'eau et dans l'air. Ainsi, des processus naturels complexes se mettent en marche, augmentant à leur tour massivement les flux entre les sphères susmentionnées.

Bien entendu, les importations d'engrais minéraux permettent une augmentation de la productivité agricole. Par exemple, il est possible de produire plus de fourrages et d'augmenter le nombre d'animaux. Le revers de la médaille, c'est l'augmentation de la quantité de purin, un taux d'ammoniac plus élevé dans l'air et une dénitrification plus élevée des sols correspondant à une charge équivalente des eaux souterraines. L'importation d'engrais effectuée au profit de la production agricole devient par conséquent une source de pollution importante qui

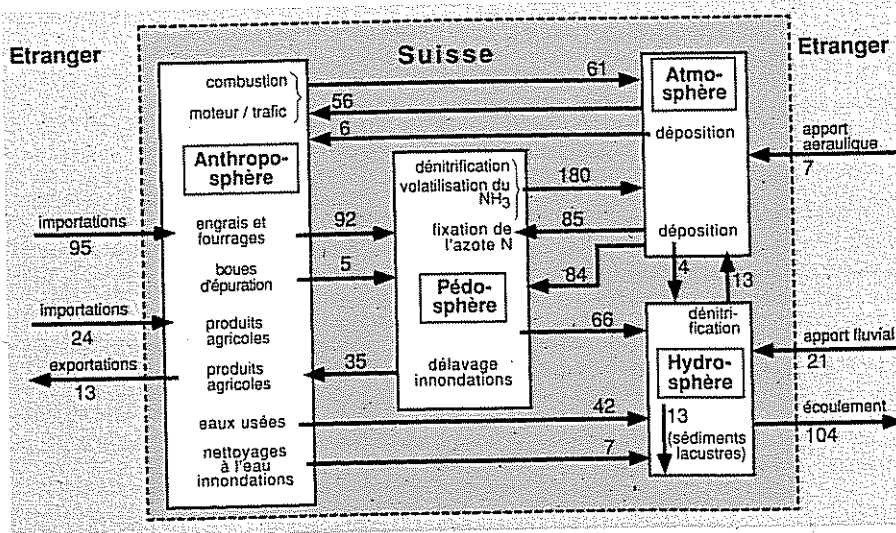


Fig. 1

Bilan de l'azote en Suisse en 1990

Données en 1000 t N/a concernant les principales sources de flux d'azote. Le degré d'incertitude des données est responsable des différences de bilan entre les différentes sphères, au demeurant peu conséquentes.

entraîne des conséquences coûteuses pour l'économie nationale.

Près de 119 000 tonnes d'azote passent chaque année dans les cours d'eau suisses. Voici d'où il vient:

38% de l'agriculture

35% des eaux usées

8% des processus de combustion (véhicules à moteur, industrie, chauffage)

2% de diverses petites sources

17% de sources naturelles

Aujourd'hui, les taux d'azote mesurés dans les eaux suisses représentent environ six fois le taux normal. Toutefois, il existe de grandes différences entre les régions. La Suisse, y compris ses régions frontalières, émet par année 104 000 tonnes d'azote vers l'étranger, dont 81 000 tonnes par le Rhin.

Une observation simultanée de l'atmosphère montre que la Suisse souffre aujourd'hui d'une pollution azotique massive. Chaque année, 254 000 tonnes d'azote s'échappent dans l'air, dont 135 000 sous forme nocive. Les processus de combustion fournissent 56 000 tonnes d'oxyde d'azote. La contribution de l'agriculture s'élève à 47 000 tonnes d'azote ammoniacal et 20 000 tonnes de gaz hilarant. Les 12 000 autres tonnes d'azote ammoniacal et de gaz hilarant sont émises par d'autres sources naturelles.

Efficacité et coûts des mesures

Lors du choix des mesures à prendre pour réduire les flux nocifs d'azote, il faut trouver un moyen optimal. Il importe de tenir compte le mieux possible des effets variables des différents composés et des interactions entre eau, sol, et air. A ce propos, la Commission fédérale pour la protection des eaux [1] a fait l'étude de diverses stratégies:

En Suisse, il existe des plans très élaborés pour diminuer les émissions d'azote. Il s'agit des mesures énoncées dans le programme du Conseil fédéral sur la protection de l'air [2] de 1986, de suppléments ajoutés plus tard et de mesures spéciales des cantons. Beaucoup de ces mesures sont déjà appliquées ou le seront dans les prochaines années. Les stimulations d'ordre économique visant à réduire la consommation de carburant, comme les milieux politiques en parlaient depuis

Sources	Potentiel de réduction ¹⁾		Rapport coûts/utilité efficacité en Fr. /kg émission d'azote évitée	Temporisation ²⁾ de l'efficacité en années
	en kt N/a	en % de la charge totale		
Combustion/transports ³⁾	6	5%	80 - 4'000	5 - 15
Epuration des eaux	25	21%	15 - 25	5 - 15
Agriculture ³⁾	30	25%	5 - 100 ⁴⁾	10 - 20

Fig. 2

Potentiel de réduction de la charge d'azote dans l'hydrosphère à l'échelon suisse

¹⁾ La charge totale de l'hydrosphère suisse en azote provenant des bassins nationaux est de 119 kt N/a.

²⁾ Le temps nécessaire pour atteindre l'efficacité prend en compte la mise en oeuvre des mesures et le temps de réaction du sol. Il repose sur l'hypothèse que les instruments d'exécution existent déjà ou peuvent être mise en place en l'espace de trois ans.

³⁾ Les mesures intervenant au niveau de l'agriculture, de la combustion et des transports réduisent également l'apport d'azote dans les eaux souterraines et ont bien d'autres effets environnementaux positifs.

⁴⁾ Ces coûts présupposent que les mesures prises n'influent pas sur les revenus réalisés sur les prix actuels des produits.

quelque temps, ont permis de réaliser des progrès considérables.

Dans le domaine de l'épuration des eaux, différentes possibilités s'offrent pour éliminer l'azote des eaux usées. Elles comprennent avant tout diverses options de spécialisation sur la dénitrification biologique (après nitrification préalable). On envisage aussi d'équiper toutes les stations d'épuration pour une population équivalent à plus de 10 000 habitants, avec dénitrification partielle ou complète.

Pour réduire les émissions d'azote provenant de l'agriculture, il existe d'une part les mesures agrotechniques et, d'autre part, le passage à une agriculture extensive. En clair, il s'agit d'installations techniques améliorées pour les écuries, de meilleures méthodes d'engrais, un assolement judicieux, la suppression des jachères, la réduction des cheptels, la production intégrée ou biologique ainsi que la réduction des terres agricoles exploitées et la création de surface écologiques compensatoires (voir fig. 2).

En ce qui concerne les taux d'azote dans l'hydrosphère, on dispose, pour chacun des secteurs responsables, du potentiel de diminution et du rapport prix/utilité indiqués à la fig. 2.

Epuration des eaux ou mesures agraires

Les indications de la fig. 2 nécessitent encore une interprétation et une éva-

luation. Il faut tenir compte de tous les effets écologiques des mesures, et pas uniquement de la simple diminution du taux d'azote dans l'hydrosphère. Voici une comparaison comme illustration:

Par des étages de traitement supplémentaires dans les stations d'épuration, il est possible de réduire de 20 000 tonnes par année le passage d'azote dans les lacs et les cours d'eau, au prix annuel d'env. 350 millions de francs (coûts d'exploitation et de capital). La nappe phréatique, qui souffre particulièrement des problèmes d'azote, ne bénéficie que d'une faible diminution de la pollution. En outre, il n'est pas certain que, pour la mer du Nord, l'apport d'azote représente un problème assez grand pour justifier les coûts élevés de l'installation précipitée d'un système d'épuration des eaux usées.

Avec des coûts annuels d'env. 600 millions de francs pour l'agriculture, on peut aussi diminuer de près de 20 000 tonnes la charge introduite dans l'eau. La nappe phréatique est la première à en profiter; son taux d'azote peut diminuer de manière considérable. En même temps, les émissions nocives d'azote ammoniacal de l'agriculture peuvent diminuer d'env. 15 000 tonnes par année (une réduction analogue d'azote provenant de la combustion engendrerait des coûts annuels de quelques milliards de francs). De plus, ces mesures exercent un effet

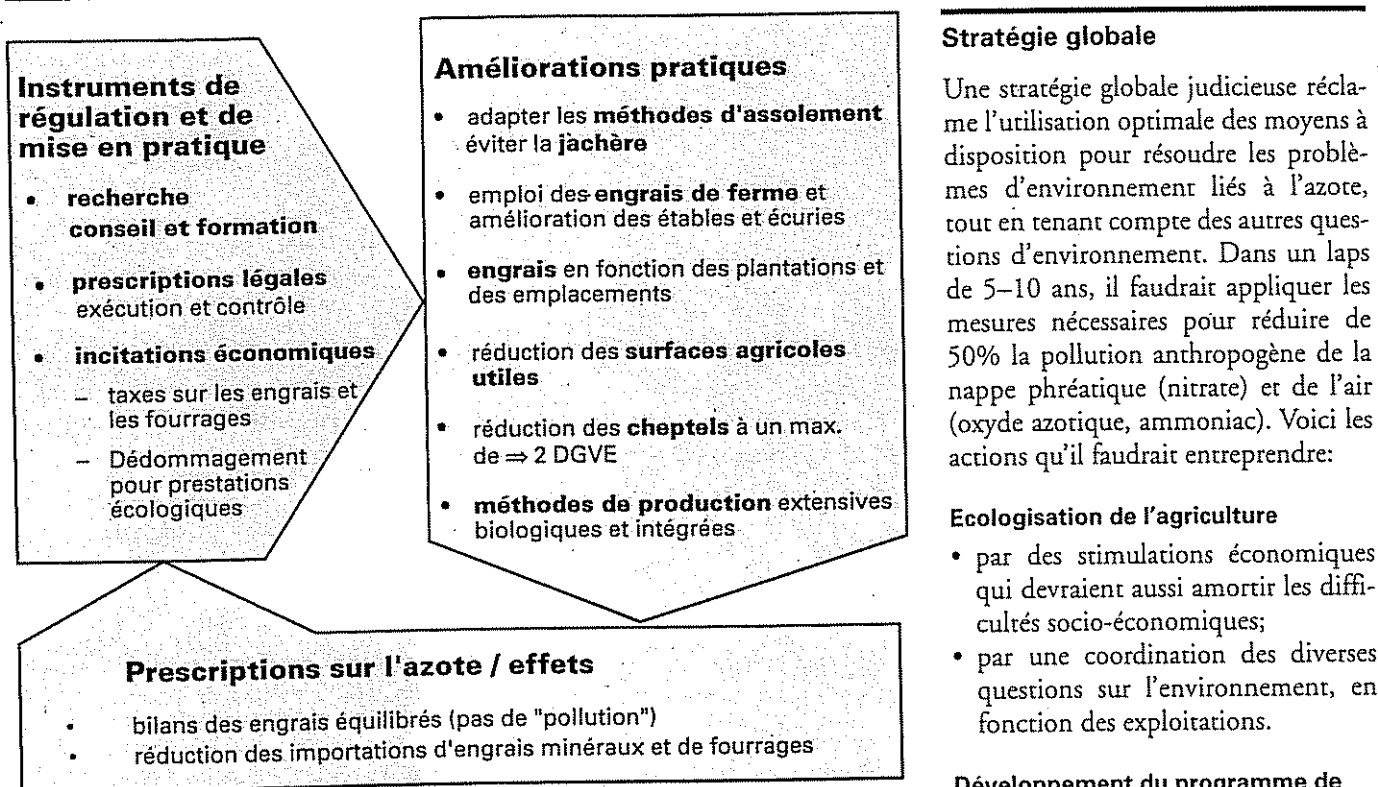


Fig. 3

Mesures visant à réorienter l'agriculture en fonction du problème de l'azote disséminé dans l'environnement

favorable sur les eaux de surface, la nature et le sol.

Pour réduire les taux de nitrate toujours en croissance dans les eaux souterraines, des changements sont inévitables au niveau de l'exploitation agricole des sols. Une application stricte des lois établies (lois sur la protection des eaux, sur la protection de l'environnement et sur l'agriculture) peut apporter des résultats très positifs. Voici un bon exemple: le bilan équilibré des engrais représente un pas décisif, à condition que l'exécution et le contrôle soient garantis.

Réorientation de l'agriculture

La comparaison ci-dessus montre le besoin impérieux d'agir au niveau de l'agriculture pour résoudre les problèmes d'environnement liés à l'azote. Ceci touche à de nombreuses autres questions d'environnement, mais aussi d'économie, de situation sociale et de politique. On aborde ainsi les questions de réorientation écologique et économique de l'agriculture, sujettes à de vives discussions. La fig. 3 présente des éléments importants de cette réorientation, tels que le bilan de l'azote les met en évidence.

En admettant une stabilité des revenus au niveau actuel des prix, une application absolue des mesures citées aurait pour conséquence des coûts annuels pouvant atteindre jusqu'à un milliard et demi de francs. Toutefois, l'utilité polyvalente pour l'environnement, conjuguée à l'épargne des frais de réparation des dommages causés à l'environnement et des coûts de gestion des surplus agricoles, relativisent fortement ces montants.

Selon la politique actuelle, la compensation de l'augmentation des dépenses et de la diminution des revenus peut s'effectuer en partie par des paiements directs. Du point de vue écologique et économique, ces paiements doivent toutefois absolument garder un lien direct avec les «performances écologiques».

Parallèlement, il faudrait abolir le chaos qui règne dans l'agriculture à propos de l'application des lois. Une application coordonnée des mesures de protection des eaux, du sol, de la nature et de l'air constitue la condition sine qua non d'une protection de l'environnement acceptable et efficace dans l'agriculture.

Stratégie globale

Une stratégie globale judicieuse réclame l'utilisation optimale des moyens à disposition pour résoudre les problèmes d'environnement liés à l'azote, tout en tenant compte des autres questions d'environnement. Dans un laps de 5-10 ans, il faudrait appliquer les mesures nécessaires pour réduire de 50% la pollution anthropogène de la nappe phréatique (nitrate) et de l'air (oxyde azotique, ammoniac). Voici les actions qu'il faudrait entreprendre:

Ecologisation de l'agriculture

- par des stimulations économiques qui devraient aussi amortir les difficultés socio-économiques;
- par une coordination des diverses questions sur l'environnement, en fonction des exploitations.

Développement du programme de protection de l'air et application stricte

- par des stimulations à réduire consommation de combustibles et de carburants

Optimisation écologique, technique et économique des stations d'épuration

- dans les 20 prochaines années
- par des stimulations économiques (taxes sur les eaux usées)

Le problème de l'agriculture a fait l'objet des paragraphes ci-dessus. En ce qui concerne les stations d'épuration, il est inutile d'investir de grosses sommes pour améliorer l'élimination d'azote dans un bref délai, contrairement à la tendance internationale. Le développement des systèmes d'épuration des eaux selon des points de vue écologiques, techniques et économiques, demande du temps et s'effectuera de manière raisonnable, au rythme du renouvellement normal des installations.

Par contre, la réduction des émissions d'oxyde azotique prévue dans le programme de protection de l'air du Conseil fédéral reste incontestée. Cette réduction améliore non seulement l'hygiène de l'air, mais exerce aussi un effet favorable sur la protection des eaux, du sol et de la nature.

En utilisant tous les moyens possibles et imaginables dans les conditions sociales actuelles, le taux d'azote dans l'environnement pourrait diminuer jusqu'à deux tiers, selon les cas (air/NO_x, nappe phréatique). La pollution des eaux de surface pourrait diminuer de près de 50% d'ici l'an 2010. Il en résulterait des coûts de plus de deux milliards de francs par année. Des réductions encore plus fortes exige-

raient un changement de comportement fondamental concernant l'utilisation de l'eau, le trafic, la consommation ainsi que le développement de l'habitat et de l'économie.

En conclusion, précisons que la Suisse apportera une contribution importante à la protection de la mer du Nord si elle réussit à mettre en ordre son bilan de l'azote.

- [1] Eidg. Gewässerschutzkommission, Bundi U. und D. Leu et al., Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz – Konsequenzen für Gewässerschutz und Umweltentwicklung, Schriftenreihe Umweltschutz, BUWAL Berne, November 1993
- [2] Ordonnance sur la protection de l'air, Suisse, 10 September 1986
- [3] EAWAG news 30, Stickstoff in Wasser und Luft – Implikationen für den Gewässerschutz, Dübendorf, December 1990

Ueli Bundi

De la protection à la gestion environnementale: conséquences pour l'EAWAG

La gestion de l'environnement est une manière d'agir selon un système déterminé et des critères de continuité. Il peut s'agir d'une protection globale des écosystèmes, de l'élaboration de technologies compatibles avec l'environnement ou de domaines d'activité complets. L'EAWAG oriente ses activités sur les impératifs de la gestion de l'environnement et s'engage pour la réduction progressive de l'utilisation des ressources et de la pollution de l'environnement.

Gestion de l'environnement, rien de nouveau, mais...

Le titre de ce texte est rhétorique. C'était aussi le titre de la journée d'information 1993 de l'EAWAG. Il exprime la nécessité d'adopter une nouvelle façon de penser et d'agir. De fait, la protection de l'environnement reste un but important de la gestion de l'environnement. Par ailleurs, la protection de l'environnement conventionnel comporte de plus en plus des éléments de gestion de l'environnement.

A titre d'exemple, citons les stratégies d'assainissement des lacs développées à partir des années 70. Ces stratégies se basent sur l'établissement de modèles concernant les processus internes des lacs afin d'évaluer la teneur en phosphore des différents lacs par rapport à des valeurs standard. Si le taux de phosphore s'avère trop élevé, des mesures s'imposent alors en fonc-

tion de l'origine du phosphore. Suite à ces stratégies, de nombreuses stations d'épuration ont été adaptées de manière à assurer une élimination maximale du phosphore des eaux usées. En 1986, la Suisse a en outre interdit l'utilisation de lessives contenant des phosphates et réclamé des mesures visant à réduire l'apport de phosphore de source agricole.

Néanmoins, la gestion de l'environnement a ses limites. L'épuration des eaux exige l'utilisation de moyens techniques, matériels et financiers élevés, ce qui n'est possible que dans une société d'abondance. Les mesures indispensables dans l'agriculture n'ont trouvé qu'une application très restreinte. En outre, d'autres questions importantes pour la protection des lacs, comme le maintien des eaux de surface et de leurs rives à l'état naturel sont restées en suspens. Ainsi, bien qu'elles soient exemplaires pour leur époque, les stratégies d'assainissement des lacs

sont trop fragmentaires et ne se sont pas assez orientées sur les origines techniques, économiques et philosophiques des problèmes. S'il en est ainsi, c'est à cause de l'incapacité de la société à comprendre et à contrer les intérêts qui s'affrontent lors de la revendication des ressources.

Description pragmatique de la gestion de l'environnement

Dans le langage courant, «gestion de l'environnement» signifie «agir de manière systémique». Voici quelques-unes des facettes que cela représente:

Au niveau écologique et économique, il faut optimiser les mesures pour la protection des richesses naturelles individuelles ou imbriquées les unes dans les autres. En clair, on prend toutes les mesures qui présentent les meilleurs rapports prix/utilité pour l'environnement et renonce à celles qui n'apportent que peu d'améliorations. On obtient ainsi les meilleurs résultats possibles avec les moyens donnés. Compte tenu de l'effet limité des mesures techniques curatives, les mesures préventives, causales ont la priorité. Toutefois, celles-ci se réalisent rarement de façon isolée. Elles ont souvent une suite infinie de conséquences les

plus diverses. En fin de compte, il s'avère inévitable de rendre compatibles à l'environnement des secteurs économiques et domaines d'activités entiers. La mise en pratique dépend souvent de questions économiques, sociales et culturelles. En effet, les véritables progrès paraissent inconcevables hors du contexte social.

Ce nouveau et vaste mode d'action s'aligne sur les critères de durabilité. Bien qu'il existe aujourd'hui plusieurs définitions de la durabilité, il faudrait plutôt parler d'aspiration à la durabilité, ce qui exprimerait mieux le fait d'avancer à tâtons selon certains principes, à savoir: réduire la consommation de ressources naturelles, boucler le cycle des matières, assurer le maintien des réseaux écologiques, tout en évitant les détériorations économiques et sociales.

Avec cette perspective-là, on évite une orientation unilatérale sur la protection de la nature. L'homme fait partie de la nature à laquelle il imprime inévitablement la marque de ses activités. Il faut accepter qu'une nature vierge ne puisse exister que dans les parcs nationaux. Par conséquent, notre nouvelle devise sera «organisation de l'environnement».

L'article «Bilan de l'azote en Suisse – une porte ouverte sur la gestion de l'environnement» étayera, au moins en partie, ces considérations générales de manière concrète.

Conséquences pour l'EAWAG

Pour l'EAWAG, la gestion de l'environnement représente un défi qu'elle compte relever par la recherche, la formation et les conseils (lire à ce propos l'article d'Alexandre J.B. Zehnder, intitulé «Evolution de l'environnement: thèses et objectifs»).

Dans les prochaines années, l'EAWAG s'engagera pour la réduction progressive de l'utilisation des ressources et pour la diminution de la pollution de l'environnement. Elle souhaite ainsi soutenir les développements orientés sur la garantie à long terme d'une qualité de vie élevée.

Elle cherche:

- à contribuer de manière efficace, tant au niveau national qu'international au développement de pro-

grammes de protection de l'environnement et de développement à l'échelon local, régional et global;

- à intégrer de plus en plus, dans sa quête de solutions, les aspects sociaux en plus des aspects innovateurs, scientifiques et techniques.

Ces intentions se concrétisent par la création, en 1993, d'un groupe d'écologie humaine à l'EAWAG (voir EAWAG news 35), dans le domaine technique et en particulier dans le secteur des recherches.

Le programme de recherche prioritaire 1993–1997 est placé sous le signe de la gestion durable des ressources à l'exemple des eaux et des sédiments anthropogènes. Il consiste à développer des programmes de gestion régionale pour les lacs et les cours d'eau, les eaux souterraines, les décharges publiques, les sols pollués et les sédiments. L'élaboration d'expertises technologiques, en particulier pour le domaine de l'assainissement des installations vétustes, joue un rôle important dans cette entreprise audacieuse. Finalement, il s'agit de se procurer de la documentation sur les développements régionaux à long terme afin de les relier entre eux. Le succès de cette entreprise hardie dépend absolument d'une collaboration intensive avec des partenaires externes de l'économie publique et privée ainsi qu'avec les autorités. Le numéro 35 des EAWAG news traite en détail de ce programme de recherche prioritaire.

Par ailleurs, d'autres projets planifiés ou déjà en cours ont pour objet l'élaboration de bases scientifiques, de méthodes, de technologies et de programmes de gestion de l'environnement. Soulignons également l'objectif prévu de développer des technologies conformes à l'environnement en fonction de nouvelles structures locales et régionales. Le but consiste à concevoir et à mettre à l'épreuve des solutions pour des systèmes d'alimentation et d'évacuation valables à long terme, tant du point de vue écologique qu'économique.

Il s'agira en particulier:

- d'élaborer des projets pour un développement local et régional dont l'utilisation continue des ressources fasse partie intégrante (dans un délai de 30–50 ans),

- de développer des systèmes intégraux de gestion de l'eau pour quartiers d'habitation, tout en tenant compte des questions d'alimentation et d'évacuation;
- et de concevoir, pour les quartiers d'habitation, une gestion des déchets ménageant les ressources.

Par ses contributions sur la gestion de l'environnement, l'EAWAG vise deux buts différents, mais étroitement liés. D'une part, elle veut aider à maîtriser les problèmes régionaux relatifs à l'utilisation des ressources et la pollution de l'environnement. D'autre part, elle veut encourager les milieux suisses à faire des efforts tant au niveau régional que national pour contribuer à la gestion de problèmes d'environnement globaux.

Bernard Truffer, Gregor Dürrenberger et Silvia Rothen

«L'auto du futur» sera-t-elle développée en Suisse?

Réflexions après l'atelier consacré aux «supercars»,
organisé par l'EAWAG du 20 au 21 septembre 1993

L'automobile actuelle est-elle donc la seule solution, ou bien existe-t-il des solutions de rechange écologiquement adéquates et, le cas échéant, comment peuvent-elles se réaliser? Telles étaient les questions posées lors du séminaire international qui a eu lieu du 20 au 21 septembre 1993 par l'entremise du groupe d'écologie humaine de l'EAWAG. Ces deux journées de travail ont permis d'aboutir à une très importante conclusion, à savoir qu'une consommation de 1 litre aux 100 km n'est plus impensable pour les automobiles et que la Suisse dispose à cet égard du savoir-faire nécessaire pour y arriver.

Changements climatiques, mobilité et milieux innovateurs

Ces dernières décennies, l'atmosphère s'est massivement modifiée suite aux émissions gazeuses d'origine anthropogène. Le trafic motorisé individuel est une des sources les plus importantes de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques. Plusieurs milieux helvétiques travaillent d'arrachepied pour trouver des solutions de rechange. Ainsi, le développement d'électromobilités est l'un des aboutissements les plus intéressants jusqu'à présent. Des entreprises de construction légère, des ingénieurs s'intéressant aux problèmes écologiques et des étudiants motivés ont réussi à créer un milieu de pion-

niers grâce auquel on a pu, ces dernières années, réunir un savoir-faire considérable dans la construction de véhicules légers. Il existe actuellement tout une série d'automobiles futuristes; mais la Suisse ne compte pas que des prototypes: la demande est également intéressante sous nos latitudes. Ainsi, environ un tiers de tous les électromobilités du monde roulent sur nos routes.

L'atelier

Le groupe d'écologie humaine de l'EAWAG étudie, dans le cadre d'un projet de recherche particulier (df. encart), les problèmes et les potentialités qu'offrent les automobiles légères selon l'état actuel de nos connaissances. Le sémi-

naire de deux jours a été organisé dans le but de mieux cerner cette problématique. L'idée d'organiser une telle rencontre est en fait née à la faveur des contacts entretenus avec Amory Lovins, expert américain pour les questions d'énergie. Depuis des années, il s'intéresse aux automobiles peu gourmandes en énergie et peu polluantes – surnommées supercars.

L'atelier s'est concentré sur trois questions:

- Quel procédé technique permettrait le plus grand gain d'économie du point de vue de la consommation d'énergie et des émissions polluantes (CO₂ y compris), et quel est le niveau de connaissance des pionniers suisses dans ce domaine?
- Quelles difficultés représente l'industrialisation de ces automobiles d'un type nouveau?
- Quelles conditions économiques doivent-elles être réunies pour que les véhicules légers deviennent à l'avenir un marché, et quelles sont les stratégies d'incitation qu'il convient de privilégier?

Du point de vue de la Suisse, ces trois questions se résument en fait de manière suivante: les véhicules à faible consommation d'énergie peuvent-ils être industrialisés?

Environ 50 experts venus tant de Suisse que de l'étranger ont discuté de cette problématique. Parmi les invités figuraient bien sûr les pionniers des véhicules légers de Suisse, des Etats-Unis, de France et de Scandinavie. De plus, des représentants de l'industrie suisse, du monde bancaire et des offices fédéraux ont été invités pour discuter de la pertinence de

Ces dernières années, le changement climatique global de la planète est devenu une préoccupation internationale, laquelle a engendré un accroissement des recherches dans ce domaine. En Suisse, pas moins de 20 projets scientifiques sont consacrés aux problèmes de nature climatique, et ce, dans le cadre du programme de recherche prioritaire consacré par le Fonds suisse de la recherche scientifique à l'environnement. Ces projets vont de la physique atmosphérique aux questions sociologiques en passant par les diverses modélisations des écosystèmes; leur coordination s'effectue sous le nom de CLEAR (Climate and Environment in Alpine Regions). Le groupe d'écologie humaine de l'EAWAG participe à l'un de ces projets, consacré à l'étude des processus sociaux d'innovation susceptibles de contribuer à la diminution des émissions anthropogènes de gaz à effet de serre.

l'option industrielle. Le cercle des participants a été élargi aux scientifiques, aux membres des organisations environnementales ainsi qu'aux médias.

La première journée du séminaire a été consacré aux aspects techniques et aux questions de production. Ce sont surtout les pionniers, et les hôtes américains et les représentants du monde bancaire, qui prirent la parole durant cette première moitié du programme. La seconde journée a été principalement consacrée aux aspects commerciaux et aux stratégies d'incitation. Le séminaire a été agrémenté d'une exposition de quelques véhicules légers produits en Suisse.

Les conclusions auxquelles a abouti le séminaire ont été communiquées au grand public par les médias. Ainsi, la Télévision a diffusé une courte émission sur le sujet; divers journaux en ont également parlé. Le soir de la seconde journée, Amory Lovins, expert pour les question d'énergie et directeur de recherche au Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado USA, ainsi que Paul MacCready, ingénieur en véhicules légers et conseiller chez General Motors, USA, ont tenu une conférence publique à l'EPFZ.

Conclusions les plus importantes de l'atelier

Voici les réponses apportées aux questions posées d'entrée:

Construction légère

Tous les participants du séminaire s'accordent pour dire que les véhicules ne peuvent se montrer plus économes en énergie et moins polluants que s'ils sont construits de manière plus légère grâce à des procédés spécifiques. En ce qui concerne la motorisation, une attitude relativement libérale semble s'imposer. Il existe des possibilités avec moteur électrique ou avec moteur à explosions. Le choix du mode d'entraînement doit être fait en fonction de l'affectation pour laquelle le véhicule est prévu. Les systèmes hybrides semblent toute-



Paul MacCready, ingénieur en construction de véhicules légers, conseiller technique auprès de General Motors, USA

fois le plus prometteurs; ils combinent de manière intelligente les deux types de moteurs susmentionnés. Tout compte fait, il est parfaitement imaginable d'arriver à long terme à produire des véhicules consommant moins d'un litre aux 100 km. Grâce à leur savoir-faire, les pionniers suisses peuvent se mesurer avec leurs homologues étrangers, voire même de jouer le premier rôle.

Qui construit?

L'industrialisation des solutions envisagées n'est pas encore sortie du berceau. De l'avis des participants, elle présuppose un capital de plusieurs centaines de millions de francs si l'on entend lancer une production de série assez conséquente. Les milieux bancaires ont souligné qu'il est difficile de prélever de telles sommes sur le marché des capitaux helvétiques pour financer de tels projets industriels. Il semble donc que les pionniers suisses ne pourront faire cavalier seul. Le partenariat le plus idéal serait les grands constructeurs automobiles. Mais l'application conséquente des techniques de construction légère suppose un changement fondamental de l'état d'esprit régnant dans cette branche. Les participants ont plutôt mis en doute que ladite branche soit prête à se convertir. En revanche, il est probable qu'un coup de pouce de l'industrie suisse en faveur des pionniers aboutira à d'intéressants résultats, compte tenu du savoir-faire industriel disponible en Suisse.



Amory Lovins, expert des questions énergétiques, Directeur de recherche au Rocky Mountain Institute, Snowmass, Colorado, USA

Premier coup d'essai à grande échelle

L'industrialisation à grande échelle de tels projets n'a de sens que si le marché offre des perspectives correspondantes. Le développement du marché dépend toutefois de nombreux paramètres généraux difficiles à prédire. Le programme promotionnel «Véhicules électriques légers», parrainé par l'Office fédéral de l'énergie, va dans une direction assez prometteuse: l'intention consiste à atteindre une proportion significative de véhicules électriques légers (env. 10%) dans le parc automobile d'une agglomération suisse de taille moyenne, et ce, grâce à une campagne promotionnelle concertée. Cet essai «grandeur nature» fournira d'importants renseignements sur la dynamique du marché en question.

En résumé, on retiendra qu'il existe en Suisse des potentialités tout à fait sérieuses de produire et de commercialiser des véhicules peu polluants et économes en énergie. Cette situation résulte de la conjonction entre le haut niveau de savoir-faire dont disposent les pionniers, l'existence de partenaires industriels prêts à participer et la présence d'un marché initial, ce dernier élément étant capital pour les débuts d'un nouveau marché.

Importance actuelle du sujet

Il s'agit maintenant de s'approcher de la phase de réalisation. Quelques jours après le séminaire, le

Président Bill Clinton a déclaré publiquement que les trois grands constructeurs automobiles des USA bénéficieraient cette prochaine décennie du soutien de l'Etat pour développer un véhicule ne consommant que 3 litres aux 100 km. Selon les conclusions auxquelles le séminaire a permis d'aboutir, il est parfaitement concevable de développer des véhicules consommant encore moins de carburant. La Suisse est en mesure d'y contribuer de manière décisive.

Le rôle de l'EAWAG

Quel rôle revient donc à la recherche, et donc à l'EAWAG dans tous

ces processus? Il nous appartient certainement de créer une plateforme publique grâce à laquelle nous pourrions esquisser les futurs développements pertinents du point de vue environnemental – et en discuter. Mais pour pouvoir assumer ce rôle, il faut au préalable disposer de notions théoriques et de données empiriques qui font plus ou moins défaut aux divers milieux intéressés. En ce sens, le groupe d'écologie humaine de l'EAWAG poursuivra ses efforts à deux niveaux: d'une part, il s'attachera à étudier de manière approfondie la pertinence de l'option industrielle; d'autre part, il s'efforcera d'analyser l'ensemble des

questions tant théoriques qu'empiriques permettant de conceptualiser un marché d'avenir, étant entendu que la naissance d'un nouveau marché est une dynamique particulièrement importante. Le séminaire a montré le grand intérêt porté à cette question.

Grottker et Schilling – deux professeurs nommés en Allemagne et en Norvège

En été 1993, deux collaborateurs de l'EAWAG ont quitté le groupe Hydrologie urbaine, rattaché au Département de génie de l'environnement, pour assumer de nouvelles tâches, le premier en Allemagne, le second en Norvège.

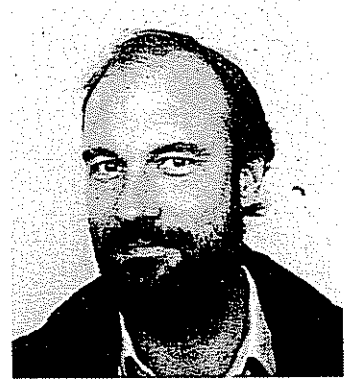
Le 1er août 1993, Matthias Grottker a été nommé professeur à l'Ecole technique supérieure de Lübeck/D; le 1er octobre 1993, Wolfgang Schilling a été agréé comme professeur au Department of Hydraulic and Environmental Engineering de l'Ecole Polytechnique Norvégienne à Trondheim.

Matthias Grottker est entré à l'EAWAG durant l'été 1990; au sein de l'EAWAG, il a surtout collaboré à divers projets dans le cadre des recherches consacrées à l'évacuation intégrées des eaux usées produites par les agglomérations – un programme centré à Fehraltorf. Il a assumé la responsabilité de l'ensemble du système de mesure installé à Fehraltorf, qu'il surveillait d'ailleurs beaucoup par lui-même. Dans le cadre du même programme, il a également mené à



Matthias Grottker
Fachbereich Bauwesen
Fachhochschule Lübeck
Stephensonstrasse 3
D-23562 Lübeck

bien le projet consacré aux réservoirs d'eaux usées. De manière temporaire, il a également étudié les problèmes relatifs à l'infiltration des eaux pluviales. En collaboration avec Wolfgang Schilling, il a organisé en 1992 et en 1993 des séminaires à l'intention des jeunes scientifiques. A titre de conférencier, il a non seulement participé aux cours de formation continue offerts par l'EAWAG en dis-



Wolfgang Schilling
Institutt for Vassbygging
NTH (Norges Tekniske Hogskole)
S.P. Andersens vei 5
N-7034 Trondheim

sertant au sujet de l'hydrologie urbaine, mais il a aussi enseigné la mécanique des fluides aux futurs ingénieurs civils de l'Ecole Technique Supérieure à Zürich.

Wolfgang Schilling est entré en automne 1988 à l'EAWAG et s'est consacré à de nombreuses tâches variées dans le groupe Hydrologie urbaine. Il a notamment contribué à mettre ce groupe sur pied et à le diriger. Parallèlement, il a élaboré

et dirigé les travaux du projet de recherches consacré à l'évacuation intégrée des eaux usées des agglomérations. C'est dans le cadre de ce projet qu'il a d'ailleurs développé son cheval de bataille, c'est-à-dire la régulation du débit des eaux usées dans les égouts. Chargé de cours auprès de l'EPFZ, Wolfgang Schilling a donné divers cours aux étudiants du génie civil, du génie

rural et du génie de l'environnement; il a ainsi pu motiver avec succès les futurs spécialistes pour les questions de l'évacuation moderne des eaux usées.

Deux excellents collègues et amis ont donc ainsi officiellement quitté notre groupe. Toutefois, nous espérons de part et d'autre pouvoir cultiver à l'avenir nos contacts tant professionnels que privés

de manière aussi intensive que jusqu'à présent. Nous souhaitons à nos deux collègues beaucoup de succès et de satisfaction dans leurs nouvelles fonctions.

Double honneur pour Jürg Hoigné

Membre d'honneur de l'Association internationale de l'ozone

A l'occasion de son 11e congrès international en août dernier, l'Association internationale de l'ozone a élevé Jürg Hoigné au rang de membre d'honneur, en reconnaissance des éminents services par lesquels il a contribué aux objectifs de ladite Association.

Harvey M. Rosen Memorial Award

Jürg Hoigné et Susan Masten ont reçu le Harvey M. Rosen Memorial Award pour leur travail commun intitulé «Comparison of



Ozone and Hydroxyl Radical-Induced Oxidation of Chlorinated Hydrocarbons (Solvents) in Water». Cette distinction est attribuée aux auteurs de la publication qui a

été la mieux appréciée par les Rédacteurs du journal *Ozone Science and Engineering* pour la période 1991-1992.

Susan Masten travaille actuellement en qualité de professeur-assistante au Department of Civil and Environmental Engineering à l'Université de l'Etat du Michigan, aux USA. C'est en 1988 qu'elle est venue à l'EAWAG pour se consacrer, sous la houlette de Jürg Hoigné, audit chapitre de sa thèse, après avoir été doctorante à l'Université de Harvard.

Suite de la page 21

Formulation d'objectifs concernant les métaux dans les cours d'eau

objectifs comme une garantie contre les effets à long terme des métaux dans l'environnement. A l'avenir, il sera nécessaire d'adapter périodiquement les exigences légales en la matière.

Rappelons enfin que la maîtrise des problèmes environnementaux à long terme passe par la prévention, et non pas seulement par la limitation des déversements. Les concentrations des métaux ne devraient donc plus augmenter, même si elles se situent en-dessous des objectifs fondés sur des considérations écotoxicologiques.

- [1] Behra R., Genoni G. P. et Sigg L. Wissenschaftliche Grundlagen für die Festlegung der Qualitätsziele für Metalle und Metalloide in Fließgewässern. *Gas, Wasser, Abwasser* 12/93, 942-951 (1993).
- [2] Behra R., Genoni G. P. and Sigg L. Revision of the Swiss ordinance for wastewater discharge: scientific basis for water quality criteria for metals and metalloids in running waters. EAWAG Publication Series 6 (1994).
- [3] Gächter R. Untersuchungen über die Beeinflussung der planktischen Photosynthese durch anorganische Metallsalze im eutrophen Alpnachersee und der mesotrophen Horwer Buch. *Schw. Z. Hydrol.* 38, 97-119 (1976).
- [4] Sigg L. Schwermetalle in Fließgewässern. *EAWAG news* 32, 32-35 (1991).
- [5] Frausto da Silva J. J. R. and Williams R. J. P. *The biological chemistry of the elements.* Clarendon Press, Oxford (1991).
- [6] Gächter R. MELIMEX, an experimental heavy metal pollution study: Goals, experimental design and major findings. *Schw. Z. Hydrol.* 41, 169-176 (1979).
- [7] Xue H. et Sigg L. Free cupric ion concentration and Cu(II) speciation in a eutrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 38, 1200-1213 (1993).
- [8] Östreich A. Freie Kupferionen in Schweizer Fließgewässern. Travail de diplôme, EAWAG (1993).

Les tirés à part peuvent être demandés à la bibliothèque de l'EAWAG

Publications de l'EAWAG

- 1702 **Müller, R.**: Trophic State and its Implications for Natural Reproduction of Salmonid Fish. *Hydrobiologia* 243/244, 261–268 (1992).
- 1723 **Lukac, Maja, Aegerter, Rita**: Influence of trace Metals on Growth and Toxin Production of *Microcystis Aeruginosa*. *Toxicol.*, 31, 293–305 (1993).
- 1745 **Kohler, H.-P.E., Schmid, A., van der Maarel, M.**: Metabolism of 2,2'-Dihydroxybiphenyl by *Pseudomonas* sp. Strain HBP1: Production and Consumption of 2,2',3-Trihydroxybiphenyl. *J. Bacteriol.* 175, 1621–1628 (1993).
- 1746 **Kerr, J.A.**: Strengths of Chemical Bonds. In: «Handbook of Chemistry and Physics. 74th Edition». David R. Lide, (Ed.) CRC Press, Boca Raton 1993.
- 1747 **Zuo, Y., Hoigné, J.**: Evidence for Photochemical Formation of H₂O₂ and Oxidation of SO₂ in Authentic Fog Water. *Science* 260, 71–73 (1993).
- 1748 **Auling, G., Busse, H.-J., Egli, T., El-Banna, T., Stackebrandt, E.**: Description of the Gram-Negative, Obligately Aerobic, Nitritotriacetate (NTA)-Utilizing Bacteria as *Chelatobacter heintzii*, gen.nov., sp.nov., and *Chelatococcus asaccharovorans*, gen.nov., sp.nov. *System. Appl. Microbiol.* 16, 104–112 (1993).
- 1749 **Wilberg, Elvira, El-Banna, T., Auling, G., Egli, T.**: Serological Studies on Nitritotriacetic Acid (NTA)-Utilizing Bacteria: Distribution of *Chelatobacter heintzii* and *Chelatococcus asaccharovorans* in Sewage Treatment Plants and Aquatic Ecosystems. *System. Appl. Microbiol.* 16, 147–152 (1993).
- 1750 **Kohler, H.-P.E., van der Maarel, M.J.E.C., Kohler-Staub, Doris**: Selection of *Pseudomonas* sp. Strain HBP1 Prp for Metabolism of 2-Propylphenol and Elucidation of the Degradative Pathway. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 860–866 (1993).
- 1751 **Gujer, W., Kappeler, J.**: Modelling the Competition of Filamentous and Floc-forming Bacteria in Activated Sludge Plants. In: «Prevention and Control of Bulking Activated Sludge». D. Jenkins, R. Ramadori, L. Cingolani. (Eds.), Perugia 1993; 55–68.
- 1752 **von Gunten, U., von Gunten, H.R., Hoigné, J.**: The Bromate Issue: Is Potassium-40 Really an Alternative Explanation for the Carcinogenicity of Potassium Bromate? *Ozone News* 21, 20–21 (1993).
- 1753 **Pollinger, Utsa, Ambühl, H., Bürgi, H.-R.**: A New Method for Processing Clay-rich Unconsolidated Sediments for Paleocological Investigations. *J. Paleolimnology* 7, 95–101 (1992).
- 1754 **Pollinger, Utsa, Bürgi, H.-R., Ambühl, H.**: The Cysts of *Ceratium hirundinella*: Their Dynamics and Role within a Eutrophic (Lake Sempach, Switzerland). *Aquatic Sciences* 55, 10–18 (1993).
- 1755 **Breedveld, M.W., Canter Cremers, H. C. J. C., Batlec, M., Posthumus, M. A., Zevenhuizen, L. P. T. M., Wijffelman, C. A., Zehnder, A. J. B.**: Polysaccharide synthesis in Relation to Nodulation Behavior of *Rhizobium leguminosarum*. *J. Bacteriology* 175, 750–757 (1993).
- 1756 **van der Meer, J. R., Bosma, T. N. P., de Bruin, W. P., Harms, H., Holliger, C., Rijnaarts, H. H. M., Tros, Marijke E., Schraa, G., Zehnder, A. J. B.**: Versatility of Soil Column Experiments to Study Biodegradation of Halogenated Compounds Under Environmental Conditions. *Biodegradation* 3, 265–284 (1993).
- 1757 **Zehnder, A. J. B.**: How Long Will the Soil Feed Us?. In: «Integrated Soil and Sediment Research: a Basis for Proper Protection». H.J.P. Eijsackers, T. Hamers (Eds.) Kluwer Academic Publ., Dordrecht 1993; 755–756.
- 1758 **Zehnder, A. J. B.**: River Rhine: From Sewer to the Spring of Life. In: «Ciba Foundation Symposium 175». Wiley, New York 1993; 42–58.
- 1759 **Uetz, T., Egli, T.**: Characterization of an Inducible, Membrane-bound Iminodiacetate Dehydrogenase from *Chelatobacter heintzii* ATCC 29600. *Biodegradation* 3, 423–434 (1993).
- 1760 **Ahel M., Giger, W.**: Aqueous Solubility of Alkylphenols and Alkylphenol Polyethoxylates. *Chemosphere* 26, 1461–1470 (1993).
- 1761 **Ahel, M., Giger, W.**: Partitioning of Alkylphenols and Alkylphenol Polyethoxylates Between Water and Organic Solvents. *Chemosphere* 26, 1471–1478 (1993).
- 1762 **Wehrli, B.**: Chemie am Seegrund. Vierteljahresschr. Naturforsch. Ges. Zürich 138, 69–79 (1993).
- 1763 **Bundi, U.**: Grundsätze der Gewässerentwicklung – neue Ansätze im Gewässerschutzgesetz. VGL Umwelt-Information 2/93, 3–9 (1993).
- 1764 **von Piechowski, M., Nauser, T., Hoigné, J., Bühler, R. E.**: O₂⁻ Decay Catalyzed by Cu²⁺ and Cu⁺ Ions in Aqueous Solutions: A Pulse Radiolysis Study for Atmospheric Chemistry. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 97, 762–771 (1993).
- 1765 **Bonting, C. F. C., Kortstee, G. J. J., Boecketein, A., Zehnder, A. J. B.**: The Elemental Composition Dynamic of Large Polyphosphate Granules in *Acinobacter* Strain 210A. *Arch. Microbiol.* 159, 428–434 (1993).
- 1766 **Bosshart, U., Ebnetter, J., Freitag, A., Hungerbühler, E., Kutil, H., Mörgeli, B., Oswald, R., Siegrist, H.R.**: Stickstoffentfernung aus dem Schlammwasser von Kläranlagen. Schriftenreihe Umwelt 195, (1993).
- 1767 **Uehlinger, U., Meyer, Elisabeth**: Die Wirkung eines geschlebeführenden Hochwassers auf die benthische Biozönose in einem voralpinen Fluss. In: «DGL Deutsche Gesellschaft für Limnologie e.V. Jahrestagung 1992 in Konstanz» 1992; 407–411.
- 1768 **van der Maarel, M. J. E. C., Kohler, H.-P.E.**: Degradation of 2-sec-butylphenol: 3-sec-butylcatechol, 2-hydroxy-6-oxo-7-methylnona-2,4-dienoxic acid, and 2-methylbutyric acid as intermediates. *Biodegradation* 4, 81–89 (1993).

- 1769 **Stumm W.**: Aquatic Colloids as Chemical Reactants: Surface Structure and Reactivity. *Colloids & Surfaces A: Physicochem. Engineering Aspects* 73, 1–18 (1993).
- 1770 **Akeret B.**: Zur Biologie von *Chaoborus flavicans*, *Leptodora kintii* und *Bythotrephes longimanus* unter dem Einfluss interner Restaurierungsmassnahmen in drei Schweizer Seen. Diss. ETHZ Nr. 10137, 1993.
- 1771 **Ammann, M.**: Das durch Wasserkraftnutzung veränderte Abflussregime eines alpinen Fließgewässers und dessen Auswirkungen auf das Makrobenthos. Diss. ETHZ Nr. 10106, 1993.
- 1772 **Höhener, P., Gächter, R.**: Prediction of Dissolved Inorganic Nitrogen (DIN) Concentrations in Deep, Seasonally Stratified Lakes Based on Rates of DIN Input and N Removal Processes. *Aquatic Sciences* 55, 112–131 (1993).
- 1773 **Eberhard, J., Müller, Claudia, Stocker, D. W., Kerr, J. A.**: The Photo-Oxidation of Diethyl Ether in Smog Chamber Experiments Simulating Tropospheric Conditions: Product Studies and Proposed Mechanism. *Int. J. Chem. Kinetics* 25, 639–649 (1993).
- 1774 **Deng, Yiwei, Stumm, W.**: Kinetics of Redox Cycling of Iron Coupled with Fulvic Acid. *Aquatic Sciences* 55, 103–111 (1993).
- 1775 **Boller, M.**: Filter Mechanisms in Roughing Filters. *J. Water SRT – Aqua* 42, 174–185 (1993).
- 1776 **Wieland, E., Santschi, P.H., Höhener, P., Sturm, M.**: Scavenging of Chernobyl ^{137}Cs and Natural ^{210}Pb in Lake Sempach, Switzerland. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 2959–2979 (1993).
- 1777 **Pahl-Wostl, Claudia**: Food Webs and Ecological Networks Across Temporal and Spatial Scales. *Oikos* 66, 415–432 (1993).
- 1778 **Jaeger, C., Dürrenberger, G., Kastenholz, H., Truffer, B.**: Determinants of Environmental Action with Regard to Climatic Change. *Climatic Change* 23, 193–211 (1993).
- 1779 **Livingstone, D. M., Imboden, D. M.**: The Non-Linear Influence of Wind-Speed Variability on Gas Transfer in Lakes. *Tellus* 45B, 275–295 (1993).
- 1780 **Pahl-Wostl, Claudia**: The Influence of a Hierarchy in Time Scales on the Dynamics of, and the Coexistence within, Ensembles of Predator-Prey Pair. *Theor. Population Biology* 43, 184–216 (1993).
- 1781 **Jaeger, C.**: Sustainable Regional Development: A Path for the Greenhouse Marathon. In: «Advances in Human Ecology», Vol. 2. Jai Press Inc., 1993; 163–190.
- 1782 **Uehlinger, U.**: Primary Production and Respiration in the Outlet of an Eutrophic Lake (River Glatt, Switzerland). *Arch. Hydrobiol.* 128, 39–55 (1993).
- 1783 **Faber, F., Egli, T., Harder, W.**: Transient Repression of the Synthesis of OmpF and Aspartate Transcarbamoylase in *Escherichia coli* K12 as a Response to Pollutant Stress. *FEMS Microbiol. Lett.* 111, 189–196 (1993).
- 1784 **Huggenberger, P.**: Kleinwasserkraftwerke für die Umwelt. *Tages-Anzeiger* 22.9.1993, S. 84.
- 1785 **Bundi, U.**: Umweltprobleme mit Stickstoff. *Neue Zürcher Zeitung* Nr. 231, 5.10.1993, S. 23.
- 1786 **Peeters, F., Wüest, A., Imboden D.M.**: Comparison of the Results of Tracer Experiments in Lakes with Predictions Based on Horizontal Mixing Models. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 69–74 (1993).
- 1787 **Livingstone, D. M.**: Temporal Structure in the Deep-Water Temperature of Four Swiss Lakes: A Short-Term Climatic Change Indicator? *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 75–81 (1993).
- 1788 **Bürgi, H. R., Elser, J. J., Richards, R. C., Goldman, C. R.**: Zooplankton Patchiness in Lake Tahoe and Castel Lake USA. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 378–382 (1993).
- 1789 **Akeret, B.**: Lunar Periodicity of the Emergence of *Chaoborus flavicans*. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25, 625–626 (1993).
- 1790 **Hajdas-Skowronek Irena**: Extension of the Radiocarbon Calibration Curve by AMS Dating of Laminated Sediments of Lake Soppensee and Lake Holzmaar. Diss. ETHZ Nr. 10157, 1993.
- 1791 **Kappeler, J., Gujer, W.**: Influence of Operating Problems in Wastewater Treatment Plants on the Interactions Between Sewers, Treatment Plant and Receiving Water. *Water Sci. Technol.* 27, 199–203 (1993).
- 1792 **Boller, M. A., Eugster, J.**: Upflow Anaerobic Filtration of a Sugar Containing Wastewater. *Water Sci. Technol.* 28, 125–134 (1993).
- 1793 **Holliger, C., Pierik, A. J., Reijerse, E. J., Hagen, W. R.**: A Spectroelectrochemical Study of Factor F_{430} Nickel(II/I) from Methanogenic Bacteria in Aqueous Solution. *J. Am. Chem. Soc.* 115, 5651–5656 (1993).
- 1794 **Holliger, C., Schraa, G., Stams, A. J. M., Zehnder, A. J. B.**: A Highly Purified Enrichment Culture Couples the Reductive Dechlorination of Tetrachloroethene to Growth. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 2991–2997 (1993).
- 1795 **van Cappellen, P., Charlet, L., Stumm, W., Wersin, P.**: A Surface Complexation Model of the Carbonate Mineral-Aqueous Solution Interface. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 3505–3518 (1993).
- 1796 **Huggenberger, P., Meier, E.**: Anwendung des Georadars in der Hydrogeologie. *Wasser-Energie Luft* 85, 119–123 (1993).
- 1797 **Hoigné, J., Bader, H.**: Kinetics of Reactions of Chlorine Dioxide (OCIO) in Water – I: Rate Constants for Inorganic and Organic Compounds. *Water Res.* 28, 45–55 (1993).
- 1798 **Tratnyek, P. G., Hoigné, J.**: Kinetics of Reactions of Chlorine Dioxide (OCIO) in Water – II. Quantitative Structure-Activity Relationships for Phenolic Compounds. *Water Res.* 28, 57–66 (1993).
- 1799 **Mason, C. A., Egli, T.**: Dynamics of Microbial Growth in the Decelerating and Stationary Phase of Batch Culture. In: «Starvation in Bacteria». Staffan Kjelleberg, (Ed.) Plenum Press, New York 1993; 81–102.
- 1800 **David, M.**: Estimation of the Yields of Tropospheric Degradation Products of Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) and Hydrofluorocarbons (HFCs). EAWAG, Dübendorf, 1993. 31 pp.
- 1801 **van Veen, H. W., Abee, T., Kortstee, G. J. J., Konings, W. N., Zehnder, A. J. B.**: Mechanism and Energetics of the Secondary Phosphate Transport System of *Acinetobacter johnsonii* 210A. *J. Biol. Chem.* 268, 19377–19383 (1993).
- 1802 **Breedveld, M. W., Zevenhuizen, L. P. T. M., Cremers, H. C. J. C., Zehnder, A. J. B.**: Influence of Growth Conditions on Production of Capsular and Extracellular Polysaccha-

rides by *Thizobium leguminosarum*. *Antonie van Leeuwenhoek* 64, 1-8 (1993).

1803 **Bonting, C. F. C., Kortstee, G. J. J., Zehnder, A. J. B.**: Properties of Polyphosphatase of *Acinetobacter johnsonii* 210A. *Antonie van Leeuwenhoek* 64, 75-81 (1993).

1804 **Rijnaarts, H.H.M., Norde W, Bouwer, E.J., Lyklema, J., Zehnder, A.J.B.**: Bacterial Adhesion under Static and Dynamic Conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 3255-3265 (1993).

1805 **Lotter, A. F., Birks, H. J. B.**: The Impact of the Laacher See Tephra on Terrestrial and Aquatic Ecosystems in the Black Forest, Southern Germany. *J. Quaternary Sci.* 8, 263-276 (1993).

1806 **von Gunten, U., Zobrist, J.**: Biogeochemical Changes in Groundwater-Infiltration Systems: Column Studies. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57, 3895-3906 (1993).

1807 **Sedlak, D. L., Hoigné, J.**: The Role of Copper and Oxalate in the Redox Cycling of Iron in Atmospheric Waters. *Atmospheric Environment* 27A, 2173-2185 (1993).

1808 **Kuhn, Annette, Sigg, Laura**: Arsenic Cycling in Eutrophic Lake Greifen, Switzerland: Influence of Seasonal Redox Processes. *Limnol. Oceanogr.* 38, 1052-1059 (1993).

1809 **Hart, K. M., McDow, St. R., Giger, W., Steiner, D., Burtscher, H.**: The Correlation Between In-Situ, Real-Time Aerosol Photoemission Intensity and Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentration in

Combustion Aerosols. *Water Air & Soil Poll.* 68, 75-90 (1993).

1810 **Hart, K.M., Tremp, J., Molnar, E., Giger, W.**: The Occurrence and the Fate of Organic Pollutants in the Atmosphere. *Water Air & Soil Poll.* 68, 91-112 (1993).

1811 **Tremp, J., Mattrel, P., Fingler, S., Giger, W.**: Phenols and Nitrophenols as Tropospheric Pollutants: Emissions from Automobile Exhausts and Phase Transfer in the Atmosphere. *Water Air & Soil Poll.* 68, 113-123 (1993).

1812 **Raab, D., Stumm, W.**: Effect of Acid Deposition on the Displacement of Al(III) in Soils. *Water Air & Soil Poll.* 68, 199-212 (1993).

1813 **Ochs, M., Brunner, I., Stumm, W., Cosovic, Bozena**: Effects of Root Exudates and Humic Substances on Weathering Kinetics. *Water Air & Soil Poll.* 68, 213-229 (1993).

1814 **Zobrist, J., Wersin, P., Jaques, C., Sigg, Laura, Stumm, W.**: Dry Deposition Measurements Using Water as a Receptor: A Chemical Approach. *Water Air & Soil Poll.* 71, 111-130 (1993).

1815 **Dönni, W.**: Verteilungsdynamik der Fische in einer Staustufe des Hochrheins mit besonderer Berücksichtigung der Ökologie des Aals (*Anguilla anguilla* L.). Diss. ETHZ Nr. 10287, Zürich 1993.

1816 **Zeh, M.**: Reproduktion und Bewegung einiger ausgewählter Fischarten in einer

Staustufe des Hochrheins. Diss. Nr. 10288, Zürich 1993.

1817 **Siegenthaler, C., Huggenberger, P.**: Pleistocene Rhine Gravel: Deposits of a Braided River System with Dominant Pool Preservation. In: «Braided Rivers», J.L. Best, C.S. Bristow (Eds.). *Geol. Soc. Special Publ.* 75, London 1993, pp. 147-162.

1818 **Huggenberger, P.**: Radar Facies: Recognition of Facies Patterns and Heterogeneities Within Pleistocene Rhine Gravels, NE Switzerland. In: «Braided Rivers», J.L. Best, C.S. Bristow, C.S. (Eds.). *Geol. Soc., Special Publ.* 75, London 1993, pp. 163-176.

1819 **Deng, Y., Stumm, W.**: Reactivity of Aquatic Iron(III) Oxyhydroxides - Implications for Redox Cycling of Iron in Natural Waters. *Appl. Geochemistry* 9, 23-26 (1994).

1820 **Boller, M.**: Die Grundprinzipien der Filtration. Italienisch-Französisch-Schweizerische Fachtagung Turin, 9.-11.9.1993. Centro Congressi Unione Industriale, Torino 1993, S. 19-44.

1821 **Cirpka, O., Reichert, P., Wanner, O., Müller, S.R., Schwarzenbach, R.P.**: Gas Exchange at River Cascades: Field Experiments and Model Calculations. *Environ. Sci. & Technol.* 27, 2086-2097 (1993).

1822 **Jenal-Wanner, U., Egli, T.**: Anaerobic Degradation of Nitrotriacetate (NTA) in a Denitrifying Bacterium: Purification and Characterization of the NTA Dehydrogenase-Nitrite Reductase Enzyme Complex. *Appl. Environ. Microbiol.* 59, 3350-3359 (1993).

Bulletin de commande

Envoyez-moi s'il vous plaît les EAWAG NEWS régulièrement en

français allemand anglais

Mon adresse a changé, voici l'ancienne adresse:

Prière de m'envoyer les publications suivantes (n°):

Mon adresse actuelle:



EAWAG
Bibliothèque
8600 Dübendorf
Suisse