

Eawag

News



Protection contre les crues et revitalisation: de nouvelles voies pour nos rivières

Page 12. De la décision d'expert au dialogue sur les risques

Page 26. Revitalisation par élargissement du lit

Page 32. Tout est bien qui finit bien? Un outil pour contrôler les résultats



Bruno Schädler, physicien de l'atmosphère et hydrologue, conseiller scientifique auprès de la Division Hydrologie de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Le projet Rhône-Thur: vers un aménagement intégral des cours d'eau

Au cours de l'automne 2000, de grands domaines des Alpes du Sud et de l'Angleterre ont été ravagés par des crues catastrophiques. Ces événements ont incité Jim Dooge, le doyen de l'hydrologie aujourd'hui âgé de 84 ans, à conjurer les participants d'un colloque international sur les crues qui se tenait alors, de mettre en pratique aussi vite que possible la vision déjà existante d'une gestion intégrée et durable des ressources en eau. En tant que professeur émérite et ancien homme politique (ministre irlandais des affaires étrangères), Jim Dooge pouvait mieux que quiconque faire avancer cette vision de manière à ce qu'elle soit effectivement traduite dans les faits. D'après lui, il importe pour cela de s'assurer non seulement de la contribution d'hydrauliciens, de biologistes et d'écologues, mais aussi de celle de spécialistes en sciences économiques et sociales, en communication et en jurisprudence.

Depuis la première conférence internationale sur l'eau tenue à Mar del Plata (Argentine) en 1977, la demande d'une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) a reçu un écho toujours plus favorable dans le monde scientifique et la scène politique internationale. Mais abstraction faite de quelques louables exceptions, l'application du nouveau concept de gestion s'est avérée très difficile aussi bien dans la politique locale et régionale que dans la pratique. C'est dans ce contexte que s'est déroulé un processus de maturation conduisant en Europe à la Directive cadre européenne sur l'eau et à la Directive européenne à l'évaluation et à la gestion des inondations. Leur objectif est alors non seulement de préserver ou de restaurer la qualité des eaux, mais aussi de protéger hommes et biens des méfaits des inondations. En Suisse, la nouvelle Constitution fédérale de 1999 va dans le même sens par ses articles 2 et 73 sur le développement durable, et 76 spécifiquement consacré à la gestion des eaux. Elle ne comprend cependant pas de disposition explicitement en faveur d'une gestion intégrée des eaux.

De grands projets de gestion fluviale nous attendent. Des corrections fluviales réalisées il y a plus d'un siècle selon les connaissances les plus modernes de l'époque doivent être renouvelées et adaptées aux préoccupations futures: le Rhône dans le Valais, le canal de la Linth, le Rhin alpin en amont du lac de Constance, la Thur et bien d'autres. Comment appliquer les prérogatives politiques dans le cadre de ces grands projets hydrauliques? C'est la question que se sont posée des chercheurs avisés et prévoyants en poste dans les écoles supérieures et universités suisses. Après avoir convaincu à force d'enthousiasme de nombreux partenaires provenant d'autres instituts, de bureaux d'études, d'administrations cantonales et fédérales, ils sont parvenus à monter un projet interdisciplinaire d'envergure intitulé «Aménagement intégral des cours d'eau» mais plus connu sous le nom de projet «Rhône-Thur».

Et les résultats sont là: dans ce numéro des Eawag News, sur le site www.rivermanagement.ch, dans divers articles spécialisés mais aussi dans de nombreuses thèses et rapports de diplôme. En complément de ces publications, des cours de formation continue sont proposés aux praticiens.

Au cours d'une manifestation publique, Jim Dooge a récemment décrit les quatre ingrédients de la réussite des travaux interdisciplinaires: mener une discussion ouverte et franche, utiliser un langage commun en égard aux dialectes et jargons professionnels et s'efforcer de comprendre le point de vue des autres. Ces trois éléments ne font que souligner le caractère essentiel du quatrième: savoir écouter!

B. Schädler

Bruno Schädler

Sommaire

Article thématique

4 **Revitalisations: dans quel but et dans quel cadre?**

A. Peter, Eawag



L'endiguement et l'artificialisation des cours d'eau sont très répandus dans le monde. La société a cependant besoin de fleuves et rivières intacts. C'est pourquoi les cours d'eau doivent être replacés dans un état quasi-naturel.

Le projet Rhône-Thur livre des bases décisionnelles, méthodologiques et techniques pour le développement durable des cours d'eau.

Avancées de la recherche et de la pratique

9 **La protection contre les crues: un vrai défi à relever**

Le domaine de la protection contre les crues est de plus en plus complexe. Place à l'esprit d'anticipation!

12 **De la décision d'expert au dialogue sur les risques**

Fair-play et transparence pour un processus de planification basé sur la participation des acteurs.

15 **Des indicateurs écologiques pour l'évaluation du succès des revitalisations**

La revitalisation des cours d'eau produit-elle réellement une amélioration sensible de leur état écologique?

18 **Dynamique fluviale et protection contre les crues: une incompatibilité réelle?**

L'ingénierie fluviale moderne doit se laisser guider par les forces et le comportement naturel des cours d'eau.

21 **Prédire les conséquences de la revitalisation**

Les modèles mathématiques contribuent à la prise de décision lors de la planification des projets de revitalisation.

24 **Evolution du paysage dans les zones alluviales revitalisées**

Les premières prédictions grâce à des modèles de succession basés sur les processus.

26 **Revitalisation par élargissement du lit**

Cinq tronçons de cours d'eau ont été observés avant et après leur élargissement.

28 **Le marnage dans les cours d'eau**

Des mesures constructives ou d'exploitation peuvent être envisagées pour réduire les effets du marnage.

30 **Effets du marnage sur les eaux souterraines**

Le marnage influe sur le colmatage du lit du Rhône.

32 **Tout est bien qui finit bien? Un outil de contrôle des résultats**

P. Keusch, Kt. VS



Les pelleteuses ont disparu, le Grave-lot est de retour, la population locale est ravie. Le renaturation du cours d'eau a-t-elle donc été un succès? Le guide du contrôle des résultats aide à répondre à cette question.

eawag
aquatic research

Editeur, Distribution: Eawag, Case postale 611, 8600 Dübendorf, Suisse, Tél. +41 (0)44 823 55 11, Fax +41 (0)44 823 53 75, www.eawag.ch

Rédaction: Martina Bauchrowitz, Eawag

Traductions: Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Conseiller linguistique: Fabrice Combes, F-Marseille

Copyright: Reproduction possible après accord avec la rédaction.

Parution: Irregularité en français, allemand et anglais. Production chinoise en coopération avec INFOTERRA China National Focal Point.

Figures: Peter Nadler, Küssnacht

Maquette: TBS Identity, Zürich

Graphisme: Peter Nadler, Küssnacht

Impression: sur papier recyclé

Abonnements et changement d'adresses: Les nouveaux abonné(e)s sont les bienvenu(e)s! eawag.news@eawag.ch

ISSN 1420-3928

Conclusions

35 **Le projet Rhône-Thur vu par les Thurgoviens Il est besoin d'instruments simples Un atelier de développement des cours d'eau**

Divers

36 **Publications du projet Rhône-Thur** 39 **Publications de l'Eawag** 40 **Notes**



Armin Peter, biologiste,
co-directeur du projet
Rhône-Thur, Eawag

Revitalisations: dans quel but et dans quel cadre?

L'endiguement et l'artificialisation des cours d'eau sont très répandus dans le monde. Or, pour différentes raisons, la société a besoin de fleuves et rivières intacts. C'est pourquoi les cours d'eau doivent être replacés dans un état quasi-naturel. Le projet Rhône-Thur livre des bases décisionnelles, méthodologiques et techniques pour le développement durable des cours d'eau.

Les cours d'eau suisses sont fortement altérés suite aux aménagements de protection contre les crues et autres constructions hydrauliques dont ils ont été le cadre. C'est également le cas du Rhône et de la Thur dont la diversité écologique et la particularité paysagère ont en grande partie disparu. En réponse à ce constat désolant, les projets de revitalisation des cours d'eau se multiplient et les nouveaux projets de protection contre les crues se voient presque toujours accompagnés de mesures de revitalisation. Ainsi, le Grand Conseil du Valais a décidé, en 2000, de lancer une troisième correction du Rhône. Le but est de combler les lacunes existant dans le système actuel de protection contre les crues tout en accroissant la valeur écologique du Rhône. D'un autre côté, les cinq cantons du bassin de la Thur se sont prononcés pour un développement naturel ou quasi-naturel de la Thur et de ses affluents. Cette deuxième correction de la Thur a été entreprise en 1993. A ce jour, plusieurs étapes d'aménagement ont été réalisées et le projet se poursuivra encore quelques années.

L'accompagnement scientifique des deux projets cantonaux a été assuré de 2002 à 2005 par le projet interdisciplinaire «Rhône-Thur» (cf. encadré) visant l'élaboration de bases scientifiques et d'instruments techniques et méthodologiques d'application pratique pour les futurs projets de construction hydraulique et d'amélioration des qualités habitationnelles dans les systèmes fluviaux.

Le principal problème aujourd'hui: une morphologie fluviale artificielle et un régime d'écoulement modifié. D'après les estimations [1, 2], entre 75 et 95% des cours d'eau mondiaux sont dégradés. Les altérations sont diverses (cf. Tab. 1, p. 8). De nombreux cours d'eau présentent une morphologie monotone, un régime d'écou-

lement fortement modifié et/ou subissent une pollution de nature chimique. En général, ils subissent plusieurs contraintes à la fois plutôt qu'une seule. Aux USA, seuls 2% des cours d'eau sont considérés comme naturels, plus d'un tiers d'entre eux devant être qualifiés de fortement modifiés ou pollués [1].

En Suisse, les préoccupations en matière de qualité des cours d'eau ont été dominées par les aspects chimiques au cours des 50 dernières années. Aujourd'hui, les aspects morphologiques, et notamment la fragmentation des habitats et le manque de connectivité latérale, sont considérés comme des problèmes majeurs. La

Le projet de recherche «Rhône-Thur»

Le but de ce projet interdisciplinaire était d'élaborer les bases d'une gestion durable des cours d'eau. Ce travail a été principalement réalisé dans le Rhône et dans la Thur.

Principaux thèmes abordés:

- ▶ Biologie/écologie par l'Eawag et le WSL (Institut fédéral de recherche sur l'eau, la neige et le paysage),
- ▶ Société/paysage par le WSL et l'Eawag,
- ▶ Aménagements hydrauliques par le VAW (Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich) et le LCH (Laboratoire de constructions hydrauliques de l'EPFL)

Produits du projet Rhône-Thur présentés dans ce numéro des Eawag News:

- ▶ Manuel pour la planification concertée de projets d'aménagement de cours d'eau [3] (en langue allemande pour le moment)
- ▶ Modèle intégratif pour l'élaboration d'un pronostic sur les conséquences des mesures envisagées [4]
- ▶ Modèle de succession de la végétation alluviale [5]
- ▶ Synergies et aménagements hydrauliques (rapport prévu pour fin 2006)
- ▶ Rapport de synthèse sur les élargissements [6]
- ▶ Rapport de synthèse sur le marnage (Rhône uniquement) [7]
- ▶ Guide d'orientation sur le contrôle des résultats dans les projets de revitalisation des cours d'eau [8] (en langue allemande pour le moment)

Vous trouverez une liste complète des publications à la page 36, ainsi que sur les sites Internet: www.rivermanagement.ch et www.rhone-thur.eawag.ch

Autres partenaires du projet Rhône-Thur: la Confédération (Office fédéral de l'environnement OFEV), les cantons de Thurgovie et du Valais, les Universités de Zurich et de Neuchâtel, le Service conseil Zones alluviales d'Yverdon et divers bureaux d'études, notamment Limnex AG.

figure 1 donne un aperçu statistique de la qualité écomorphologique des cours d'eau suisses: plus d'un tiers d'entre eux nécessitent impérativement des mesures correctrices.

A ces problèmes morphologiques viennent s'ajouter des perturbations du régime d'écoulement généralement liées à l'exploitation de la force hydraulique des cours d'eau. La Suisse compte plus de 1600 usines hydroélectriques. Beaucoup d'entre elles fonctionnent en prélevant de l'eau dans les rivières pour la conduire vers des lacs de retenue. Les cours d'eau touchés se voient donc privés d'une grande partie de leur écoulement sur des tronçons plus ou moins longs présentant alors un débit dit résiduel. Enfin, la restitution ponctuelle de l'eau accumulée dans les retenues provoque de brusques variations de débit dans le cours d'eau concerné (marnage). Environ 25% des cours d'eau de moyenne à grande importance sont touchés par ce phénomène.

Les déficits d'ordre abiotique s'opposent au bon fonctionnement écologique des cours d'eau.

Les déficits abiotiques précédemment cités ont un effet négatif sur les communautés biotiques et sur les processus écologiques des milieux qui en sont touchés. Ceci se traduit par un mauvais fonctionnement écologique des cours d'eau et par une réduction de leur biodiversité. Ainsi, les lacs et cours d'eau présentent un taux d'extinction des espèces 5 fois plus fort que les écosystèmes terrestres [9]. La raison principale en est la fragmentation du milieu par la présence d'ouvrages transversaux tels que les barrages et seuils [10] qui s'opposent à la dissémination et à la migration des organismes aquatiques. Dans les systèmes fluviaux non fragmentés, la biodiversité est moins sensible aux perturbations telles que les changements climatiques, car les organismes ont la possibilité de trouver refuge dans des habitats plus adéquats alors accessibles.

Tirer profit des synergies entre protection contre les crues et protection de la nature.

Etant donnée la multitude des intérêts qu'ils suscitent, les cours d'eau doivent impérativement bénéficier de concepts globaux de gestion et de protection. La société ne saurait se passer des multiples services procurés par les écosystèmes aquatiques: eau potable, irrigation, auto-épuration, régulation climatique, biodiversité, pêche, loisirs, agrément spirituel et

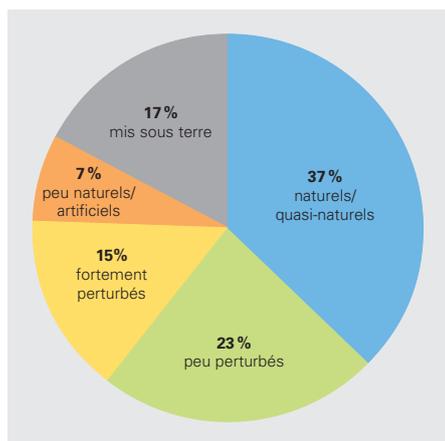


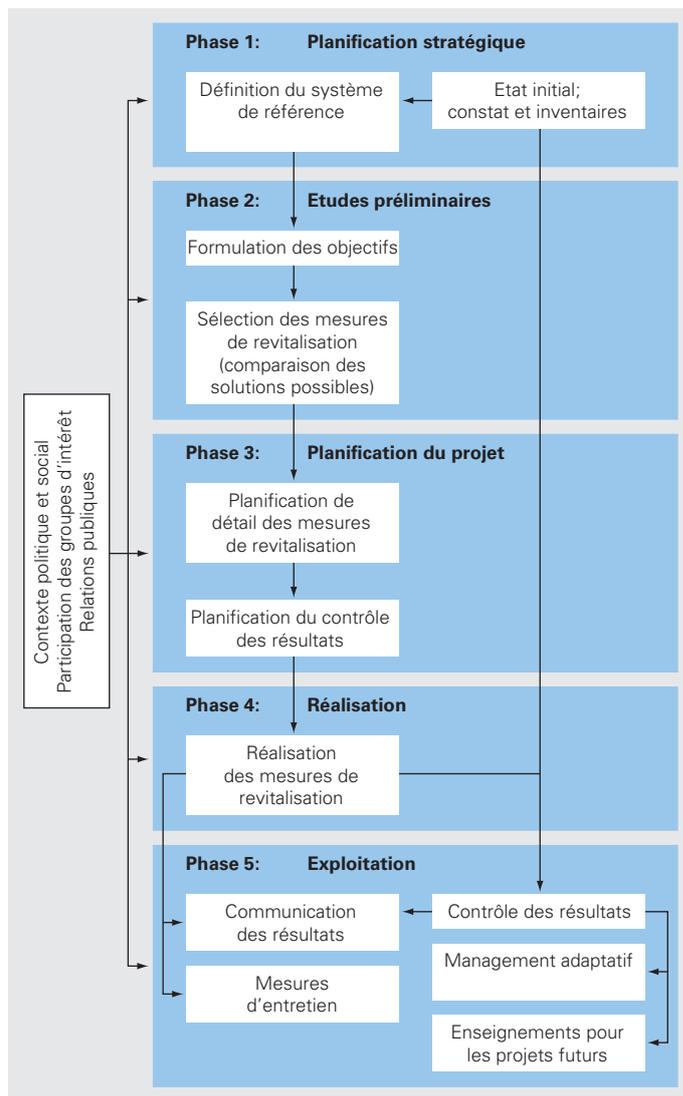
Fig. 1: Classification écomorphologique des cours d'eau suisses d'après le système modulaire gradué (Données: OFEG, état oct. 2005) [8].

esthétique, etc. Mais nous ne pourrions profiter durablement de ces services que si les cours d'eau sont et restent en mesure d'assurer leurs principales fonctions écologiques. Il est donc indispensable de procéder à leur revitalisation.

En même temps, les habitations, infrastructures, industries et surfaces agricoles doivent être protégées de l'effet dévastateur des crues débordantes. Or, les mesures de protection actuelles sont souvent devenues insuffisantes. Les inondations d'août 2005 en ont donné une illustration édifiante (cf. article de H.P. Willi, p. 9). Il apparaît d'autre part de plus en plus nettement qu'une protection efficace contre les crues passe par l'octroi d'un supplément d'espace aux fleuves et rivières. On voit ainsi se dégager un certain nombre de synergies entre constructions hydrauliques et écologie (cf. article d'A. Schleiss, p. 18).

Une planification soignée pour une revitalisation réussie. Les projets de revitalisation sont des processus complexes dans les-

Fig. 2: Déroulement idéal d'un projet de revitalisation [8].



quels la protection contre les crues, la dynamique fluviale et l'écologie jouent un rôle majeur. Une bonne gestion des projets est la condition sine qua non de leur succès. La figure 2 indique le déroulement idéal d'un projet de revitalisation, de la planification stratégique jusqu'au contrôle des résultats. Les deux premières phases «planification stratégique» et «études préliminaires» servent à la définition des objectifs de la revitalisation et au choix des mesures. Le projet Rhône-Thur élabore des instruments destinés à faciliter la prise de décision à ce niveau.

Il est très important que le processus de planification débute par une discussion sur les questions fondamentales de la revitalisation:

- ▶ Quelles sont les synergies possibles entre protection contre les crues et valorisation des habitats?
- ▶ Quels sont les services de l'écosystème à améliorer ou restaurer?
- ▶ Dans quelle mesure la réalisation d'élargissements et de mise en connexion des habitats est-elle possible?
- ▶ Quelles sont les espèces atteintes, décimées ou disparues qu'il convient de rétablir dans le cours d'eau?
- ▶ Quelles sont les mesures permettant à faible coût de ré-instaurer des habitats de grande valeur écologique?

Le contexte politique et social doit alors être pris en compte tout en intégrant au mieux les différents groupes d'intérêt: le «Manuel pour la planification concertée de projets d'aménagement de cours d'eau» présente différents moyens, techniques et stratégies permettant d'animer ce dialogue avec les meilleures chances de succès (cf. article de M. Zaugg, p. 12).

Les modèles mathématiques constituent un autre moyen de faciliter la prise

La Thur à Altikon-Niederneunforn avant (juin 2001, à gauche) et deux ans après les travaux d'élargissement du lit (septembre 2005, à droite). Avec ses 1,5 km de longueur, il s'agit du plus grand projet d'élargissement réalisé en Suisse. Il a été étroitement suivi et étudié dans le projet Rhône-Thur. On observe nettement la forte augmentation de la longueur de la ligne de rive consécutive à la formation de bancs de graviers. Les nouveaux habitats ainsi créés ont été rapidement colonisés par une faune et une flore typiques.





Photos: C. Herrmann, BHAteam, Frauenfeld

de décision. Ces modèles livrent en effet un pronostic sur les effets potentiels des mesures envisageables. Le modèle de succession de la végétation alluviale porte spécifiquement sur l'évolution de la végétation et du paysage dans les zones alluviales (cf. article de C. Glenz, p. 24). Le modèle intégratif est quant à lui de conception plus large. Composé de plusieurs modules, il modélise aussi bien les conséquences écologiques que les répercussions économiques des mesures potentielles (cf. article de P. Reichert, p. 21). En son état actuel, le module écologique se compose des domaines morphologie et hydraulique, poissons, faune riveraine et organismes du fond du lit. Il est de plus prévu d'intégrer dans le modèle intégratif une forme simplifiée du modèle de succession de la végétation alluviale.

Faire profiter les projets futurs de l'expérience acquise. Une fois que les mesures de revitalisation ont été arrêtées et mises en œuvre, il convient de vérifier si les objectifs fixés ont bien été atteints. Le contrôle des résultats est donc un élément très important dans le déroulement de tout projet (Fig. 2), d'autant plus qu'il permet de tirer des enseignements précieux pour les projets à venir. Le «Guide d'orientation sur le contrôle des résultats dans les projets de revitalisation des cours d'eau» décrit étape par étape la démarche à adopter (cf. article de C. Weber, p. 32).

L'évaluation des résultats en fonction des objectifs du projet se fait à l'aide d'indicateurs. Il s'agit de paramètres dont la mesure doit être aussi simple que possible. Le guide fait une grande place aux indicateurs écologiques comme par ex. la longueur de la ligne de berge ou la présence et la fréquence de différentes espèces (cf. article de K. Tockner, p. 15). D'autres indicateurs concernent des objectifs ayant trait aux aspects financiers, aux constructions hydrauliques, à l'approvisionnement en eau potable, à la valeur récréative des cours d'eau, à l'acceptation politique des projets et à la participation des acteurs.

Des indicateurs spécifiques décrivant d'une part la structure paysagère,

Intérêts anthropiques	Informations – Effets – Exemples
Protection contre les crues: rectifications et chenalisations	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Manque de connectivité latérale, longitudinale et verticale ▶ Fragmentation par des ouvrages transversaux de stabilisation du lit suite à la chenalisation: 11 obstacles artificiels par km de linéaire dans le canton de Zurich, 5 dans le canton d'Argovie et 2 dans celui de Berne ▶ Linéaire concerné: 33 000 km en Suède [11], 80 % des fleuves et grandes rivières en Autriche [12]
Protection contre les crues et amélioration des terres: mises sous terre = cours d'eau confinés dans des conduites	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dans les terrains agricoles, au passage des routes et dans les zones urbaines ▶ 17 % des cours d'eau suisses sont mis sous terre
Besoin de terres	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Pour l'habitat, l'agriculture, les transports et l'industrie ▶ Plus de 95 % des cours d'eau de plaine du sud-est de l'Angleterre et du Danemark [13] ▶ Occupation des berges par les constructions et souvent perte totale des zones alluviales
Irrigation et production hydroélectrique	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Barrages de retenue dans le monde entier: env. 800 000 dont env. 45 000 de grande dimension; 156 grands barrages en Suisse ▶ Régulation de l'écoulement: les cours d'eau européens sont les plus touchés, 70 % des cours d'eau suédois sont régulés [10]; tronçons influencés et à débit résiduel; marnage dans 25 % des cours d'eau suisses de moyenne à grande importance [7]
Pollution chimique	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Par l'agriculture, les zones urbaines et l'industrie
Navigation fluviale	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Transport de lourdes charges ▶ Grands fleuves et rivières: Rhin, Danube, Elbe, etc.
Sylviculture/flottage	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Déboisement radical (coupes à blanc) suivi d'une forte érosion du sol, notamment en Amérique du Nord et dans les forêts tropicales ▶ Au XX^e siècle, flottage, surtout en Scandinavie
Extraction de granulats	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Creusement du lit suite au manque de graviers

Tab. 1: Principaux intérêts anthropiques susceptibles de porter atteinte à l'intégrité écologique des cours d'eau.

d'autre part l'évolution de la végétation ont été utilisés dans le projet Rhône-Thur pour juger de l'efficacité de l'élargissement de la Thur à Gütighausen (cf. article de S. Rohde, p. 26).

Le problème du marnage. Dans certains cas particuliers, les problèmes de génie hydraulique et d'amélioration de la qualité des habitats se voient doublés de difficultés supplémentaires. Dans le Rhône, le marnage en est la cause. Ce terme désigne les variations brusques de débit se produisant en aval des usines hydroélectriques à accumulation. Ces fluctuations ont un effet sur les propriétés physico-chimiques de l'eau (température, turbidité, etc.) ainsi que sur les organismes qui peuplent le cours d'eau. Le rapport de synthèse sur le marnage (cf. article de T. Meile, p. 28) traite en profondeur le fonctionnement en écluse des centrales hydrauliques et propose des solutions potentielles visant à réduire ou à éliminer les effets d'éclusées et le marnage. Une étude a d'autre part été

menée dans la plaine du Rhône entre Sion et Martigny pour évaluer les effets du marnage sur le fond du lit et les rives, et donc sur les échanges entre écoulement de surface et nappe (cf. article de M. Fette, p. 30).

La revitalisation des cours d'eau – une activité en plein essor.

Il y a à peine une quinzaine d'années que la revitalisation des cours d'eau se fait à une échelle notable. Le nombre de projets a fortement augmenté au cours des 10 dernières années et cette tendance va probablement se poursuivre. La revitalisation des cours d'eau va également prendre de l'importance en Europe étant donné que la Directive cadre sur l'eau adoptée par l'Union européenne en 2001 exige le rétablissement des eaux dans un bon état écologique d'ici fin 2015. Les zones d'intervention prioritaire sont alors celles dans lesquelles la protection contre les crues n'est plus convenablement assurée ou celles présentant des déficits écologiques flagrants. Ces deux aspects ont en commun d'exiger des espaces supplémentaires pour les cours d'eau. Il n'est donc pas contradictoire d'envisager des mesures favorables à la fois à la protection contre les crues et à la protection de la nature. ○ ○ ○

- [1] Benke A.C. (1990): A perspective on America's vanishing streams. *Journal of the North American Benthological Society* 9, 77–88.
- [2] Dynesius M., Nilsson C. (1994): Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266, 753–762.
- [3] Hostmann M., Buchecker M., Ejderyan O., Geiser U., Junker B., Schweizer S., Truffer B., Zaugg Stern M. (2005): Wasserbauprojekte gemeinsam planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. Publikation des Rhone-Thur-Projekts, 48 S.
- [4] Reichert P., Borsuk M., Hostmann M., Schweizer S., Spörri C., Tockner K., Truffer B. (2006): Concepts of decision support for river rehabilitation. *Environmental Modelling and Software* (in press).
- [5] Glenz C. (2005): Process-based, spatially-explicit modelling of riparian forest dynamics in Central Europe – Tool for decision-making in river restoration. Thèse Nr. 3223, EPFL, Lausanne.
- [6] Rohde S. (2005): Integrales Gewässermanagement, Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt, Synthesebericht Gerinneaufweitungen. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 69 S.
- [7] Meile T., Baumann P., Fette M. (2005): Synthesebericht Schwall/Sunk. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. Publikation des Rhone-Thur-Projekts, 48 S.
- [8] Woolsey S., Weber C., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Roulier C., Schweizer S., Tiegs S., Peter A. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur-Projekts. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 112 S.
- [9] Bernhardt E.S. *et al.* (2005): Synthesizing U.S. River restoration efforts. *Science* 308, 636–637.
- [10] Nilsson C., Reidy C.A., Dynesius M., Revenga C. (2005): Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308, 405–408.
- [11] Jansson R., Nilsson C., Dynesius M., Andersson E. (2000): Effects of river regulation on river-margin vegetation: a comparison of eight boreal rivers. *Ecological applications* 10, 203–224.
- [12] Muhar S., Schwarz M., Schmutz S., Jungwirth M. (2000): Identification of rivers with high and good habitat quality: methodological approach and applications in Austria. *Hydrobiologia* 422, 343–358.
- [13] Giller, P.S. (2005): River restoration: seeking ecological standards. Editor's introduction. *Journal of Applied Ecology* 42, 201–207.



Hans Peter Willi, ingénieur civil, chef de la Division Prévention des risques de l'Office fédéral de l'environnement OFEV

La protection contre les crues: un vrai défi à relever

Depuis les intempéries dévastatrices de 1987, la Suisse s'est tournée vers une forme durable de protection contre les crues. Les premiers résultats ont été obtenus. Mais la protection contre les crues est rendue de plus en plus complexe par les changements climatiques et par l'évolution de l'utilisation du sol. Il s'agit alors de se montrer prévoyant et peut-être aussi un peu visionnaire.

Les inondations de 2005 ont été catastrophiques. Elles représentent l'événement le plus coûteux qu'ait connu la Suisse en plus de cent ans. D'après les statistiques des dommages rassemblées depuis 1972, ceux-ci ont quadruplé au cours de la deuxième moitié de cette période. Les statistiques des investissements réalisés révèlent quant à elles que les moyens engagés ont dû être multipliés par deux après les événements de 1987. Mais ce surcroît d'investissement n'a pas empêché les dommages d'augmenter, bien au contraire. Quelles conséquences tirer de ce constat? La stratégie de protection adoptée jusqu'ici a-t-elle échoué?

Les mesures de protection contre les crues: une chance à saisir pour la protection de la nature. La perception des risques naturels a fortement évolué au cours des 15 dernières années. La Plate-forme nationale sur les risques naturels PLANAT a montré, au moyen d'une stratégie bien étayée, que les mesures techniques ne suffisaient pas à elles seules à la maîtrise des risques naturels [1]. Seule une culture complète du risque, une gestion globale, permet de relever le défi. Malgré tous ces progrès, la construction des ouvrages de protection dans les cours d'eau restera indispensable pour assurer une certaine sécurité aux riverains. Mais un aménagement, donc une modification du milieu, est aussi une chance d'améliorer son état écologique. C'est dans cet esprit qu'il faut comprendre l'article 4 de la Loi sur l'aménagement des cours d'eau. Cet article exige que les interventions dans les cours d'eau s'accompagnent autant que possible d'un comblement des déficits écologiques. La Confédération adopte cette philosophie de protection contre les crues depuis 1993 (nouvelle loi sur l'aménagement des cours d'eau).

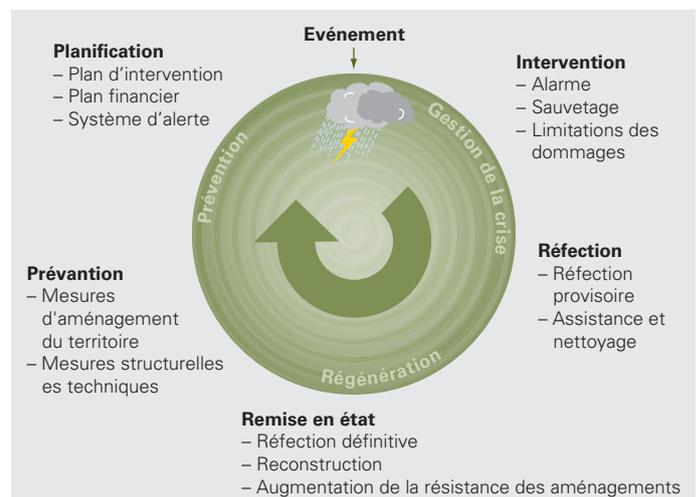
Le risque zéro n'existe pas. L'une des bases principales des projets de protection contre les crues réside dans la bonne connaissance des dangers potentiels. Suite à l'analyse des causes des intempéries de 1987, diverses recommandations et aides de travail ont été publiées: le dépliant «Exigences posées à la protection contre les crues, 1995», la recommandation «Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire, 1997» et la directive «Protection contre les crues des cours d'eau 2001». Ces documents décrivent l'ensemble de la

stratégie actuelle de la Confédération [2–4]. L'état actuel des cartes des dangers liés aux crues montre cependant clairement que la publication de recommandations n'est pas encore leur transposition dans la pratique. 80 % des communes de la Suisse sont menacées par les crues. Mais les dangers ne sont connus que dans 50 % des communes suisses et seules 15 % d'entre elles ont effectivement intégré les dangers potentiels dans leur plan d'affectation.

Le «cycle des risques» de l'Office fédéral de la protection de la population (Fig. 1) montre que les événements porteurs de dommages existeront toujours et qu'il est impossible d'assurer une sécurité absolue. Il est donc indispensable de se préparer convenablement aux catastrophes naturelles par une stratégie privilégiant les actions préventives et proactives.

La nouvelle philosophie d'une politique globale et différenciée de protection contre les crues a été appliquée dès 1995 dans le cadre des aménagements de l'Aa d'Engelberg et d'autres projets ont été réalisés dans le même esprit ces dix dernières années. Les travaux de recherche appliquée effectués dans le cadre du projet Rhône-Thur devaient permettre de développer les stratégies dura-

Fig. 1: Gestion intégrée des risques [d'après 1].





Forces aériennes suisses

Fig. 2: L'Aa d'Engelberg dans la plaine qui sépare Ennetbürgen de Buochs pendant les crues de 2005. Les flèches indiquent 2 des 3 points d'évacuation permettant une inondation ciblée de la plaine. Le trait orange matérialise la digue secondaire en construction.

bles de protection contre les crues, de favoriser les solutions globales et de faciliter le contrôle des résultats des projets réalisés. Sur la base de ces travaux et de l'analyse de futurs événements, il est maintenant possible de vérifier la pertinence de la nouvelle stratégie de protection contre les crues.

Les facteurs de réussite. Comment les travaux de construction dans les cours d'eau doivent-ils être conçus pour être efficaces lors des intempéries? Il est important de tenir compte d'un certain nombre de facteurs lors de la planification:

- ▶ Choix de l'équipe de planification: équipe interdisciplinaire, décision clé du maître d'œuvre.
- ▶ Planification globale et intégrée pour la résolution de problèmes complexes: nécessité impérative d'une observation d'ensemble du système pour assurer la pertinence des actions locales.
- ▶ Laisser de l'espace aux cours d'eau pour les objectifs sécuritaires et écologiques: capacité d'écoulement et diversité structurelle.
- ▶ Prise en compte des cas de surcharge: nécessité d'aménagements robustes, adaptables et capables d'absorber les dépassements de charge.
- ▶ Mesures sécuritaires secondaires en-dehors du cours d'eau: permettent de limiter le risque résiduel; adaptation du terrain, désignation de couloirs d'évacuation des crues, etc.
- ▶ Processus participatif de planification pour une bonne assise du projet.

- ▶ Définition de priorités dans les mesures: obtenir l'effet maximum avec les moyens limités disponibles.
- ▶ Disposer de suffisamment de temps pour une planification soignée.

Dans sa conception actuelle, la planification des ouvrages de protection est un processus itératif au cours duquel les effets des différentes solutions envisageables sont évalués. La solution choisie est celle qui correspond à un optimum global (meilleure solution possible). La durabilité est ici le critère décisif. L'objectif n'est pas d'assurer la sécurité maximale, mais d'élaborer une solution raisonnable adaptable aux changements futurs éventuels et capable de résister aux situations catastrophiques et aux dépassements de charge. Lors du choix de la solution à réaliser, il est important de tenir compte de la durée de vie et de fonctionnement des ouvrages de protection ainsi que des besoins de renouvellement.

Des rapports assurés avec les incertitudes – l'exemple de l'Aa d'Engelberg.

Avec son projet de protection contre les crues de l'Aa d'Engelberg, le canton de Nidwald a opté pour une politique sécuritaire différenciée. La stratégie n'est plus d'empêcher les inondations à n'importe quel prix, mais plutôt de définir des degrés de protection en fonction de la valeur et de l'importance des objets à protéger. Partant de ce principe, la priorité a été donnée à la protection de la zone en aval de Dallenwil et à la plaine de Stans comprenant les localités de Stans, de Stansstaad, d'Ennetbürgen et de

Buochs. A l'inverse, l'inondation des surfaces agricoles est considérée comme tolérable. L'idée porteuse du nouveau concept de protection appliqué à l'Aa d'Engelberg est celle d'une inondation contrôlée de zones prédéfinies. Les crues peuvent submerger les digues à trois endroits donnés pour se diriger vers le lac des Quatre-Cantons sans causer de dommages aux bâtiments et habitations (Fig. 2).

Le risque résiduel est réduit au minimum par le truchement de mesures d'aménagement du territoire: il est dorénavant interdit de construire dans le couloir d'évacuation ménagé par des adaptations de terrains. Les maîtres d'œuvre sont informés des mesures à mettre en place pour la protection des objets contre les risques résiduels. Outre leur dimensionnement de manière ciblée pour assurer la capacité hydraulique requise, les digues ont été rénovées pour répondre aux nouvelles exigences géotechniques. La création d'élargissements du lit a permis d'accroître la capacité d'écoulement tout en promouvant la diversité structurelle de l'Aa d'Engelberg. Ces mesures ont toutefois demandé la modification de sept ponts au total. Enfin, la connectivité longitudinale de la rivière est peu à peu rétablie pour permettre à la truite lacustre un nouvel accès à ses zones de ponte.

Les crues de 2005 ont confirmé l'utilité et l'opportunité du concept de protection contre les crues mis en œuvre. Les investissements de 26 millions de francs qu'il a nécessités ont permis d'éviter plus de 100 millions de francs de dommages. Le cas de l'Aa d'Engelberg a également montré que des mesures complémentaires très simples, appliquées notamment en périphérie du cours d'eau, permettaient encore d'accroître la sécurité.

Anticipation et intervention dynamique. Dans le domaine économique, la «stratégie des compétences dynamiques» est utilisée pour tenter de s'adapter aux fluctuations du marché et donc pour assurer la pérennité des entreprises. L'univers économique présente une certaine analogie avec celui des risques naturels dont les conditions peuvent elles aussi enregistrer des variations très brutales. Les solutions intéressantes d'un point de vue économique sont celles qui demandent un effort minimal pour produire une réduction maximale des dommages et qui présentent une bonne capacité d'adaptation aux variations du contexte nécessitant le moins possible de coûts supplémentaires. Dans une époque marquée par les incertitudes, du fait notamment des changements climatiques, les compétences dynamiques deviennent très intéressantes. Mais les conditions hydrologiques ne sont pas les seules grandeurs dynamiques à considérer. Les intérêts liés aux différents usages des cours d'eau le sont tout autant. Il est donc primordial de considérer l'évolution spatio-temporelle dans un souci d'anticipation. Dans les zones de dangers qu'il est impossible ou du moins très laborieux ou onéreux de sécuriser, il est important de ne pas augmenter le potentiel de dommages, ce qui demande d'y limiter fortement les usages. Il est à l'inverse judicieux de développer les zones bien protégées. En concertation avec les scientifiques, nous devons nous pencher objectivement sur un certain nombre de questions: Comment notre espace de vie évolue-t-il? Quelle est l'influence du réchauffement climatique sur notre environnement? Comment les risques évoluent-ils? Comment pouvons-nous proté-

ger notre paysage par des aménagements ciblés? Des innovations sont demandées, sous la forme de scénarios prévisionnels et de solutions alternatives intéressantes.

Le fil rouge de la politique future de protection contre les crues.

Le domaine de la protection contre les crues est de plus en plus complexe. Comment relever le défi qui nous est posé? Voici quelques idées directrices:

► Une gestion intégrée des risques: Seul le recours à l'ensemble des solutions envisageables permet une sécurisation maximale du cadre de vie et une réduction maximale des dommages. Les institutions qui travaillent encore de manière sectorielle doivent impérativement se tourner vers une démarche coordonnée.

► Passer d'une stratégie réactive à une stratégie active et proactive: Les prévisions indiquent que suite aux changements climatiques, certaines zones fortement exploitées et occupées aujourd'hui ne pourront plus l'être que partiellement dans l'avenir. La gestion des risques du futur doit donc prendre en compte à la fois les conditions actuelles et les modifications potentielles de ces conditions (variations d'usage par ex.). Il faut penser à l'impensable et développer des concepts d'intervention différenciés.

► Prévoir des couloirs d'évacuation des crues ainsi que des espaces de rétention: Ces mesures permettent d'accroître considérablement le niveau de protection et d'empêcher une augmentation incontrôlée du potentiel de risque lors des événements hydrologiques extrêmes.

► Favoriser les mesures efficaces: Depuis la mise en place de la nouvelle répartition des tâches et de la péréquation financière, la priorité est clairement donnée aux mesures efficaces. La Confédération travaille actuellement à l'élaboration d'un système d'incitation pour les projets respectant la condition du développement durable.

► Intensification de la formation et du perfectionnement: Le transfert des connaissances assure le maintien des compétences. Toutes les personnes chargées de la planification des mesures de protection contre les crues doivent être bien avisées sur les dangers naturels possibles.

► Une recherche interdisciplinaire tournée vers la pratique: Le soutien accordé aux projets de protection contre les crues dépendra de l'efficacité des mesures proposées. Il importe donc de poursuivre le développement d'indicateurs permettant d'évaluer l'efficacité des projets. ○ ○ ○

[1] La plate-forme Dangers naturels en Suisse Planat (2003): Stratégies Dangers naturels en Suisse www.planat.ch/ressources/planat_product_fr_543.pdf

[2] BWW, BUWAL, BRP (1997): Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, 32 S. www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/pdf/804201d.pdf

[3] OFEV (2001): Protection contre les crues des cours d'eau, Directives 2001. OFEG, Berne, 73 p. www.umwelt-schweiz.ch/buwal/fr/publikationen

[4] OFEV (2003): Idées directrices, Cours d'eau suisses, Pour une politique de gestion durable de nos eaux, Berne, 12 p. www.umwelt-schweiz.ch/buwal/fr/publikationen



Marc Zaugg Stern, socio-géographe, Université de Zurich
Coauteur: Markus Hostmann, Eawag

De la décision d'expert au dialogue sur les risques

Le mise en œuvre d'une politique durable de protection contre les crues est un processus extrêmement complexe. Il exige une analyse détaillée du contexte dans lequel se place le projet à réaliser ainsi que la prise en compte de l'ensemble des acteurs concernés. Le projet Rhône-Thur propose une aide à la décision sous la forme d'un «Manuel pour la planification concertée de projets d'aménagement de cours d'eau».

Jusqu'aux années 1980, la protection contre les crues était essentiellement technique et axée sur la correction des cours d'eau et le gain de terres, – réponse aux besoins et menaces caractéristiques de la société industrielle en forte croissance au XIX^e siècle. A partir des années 1950, les conséquences écologiques négatives des aménagements sont cependant devenues de plus en plus visibles. 98% des ruisseaux ont été drainés et la surface des zones alluviales qui représentait autrefois 3% de la superficie de la Suisse a régressé fortement pour n'en plus constituer qu'un quart de pour cent aujourd'hui. Les endiguements et autres aménagements structurels ont transformé la «nature menaçante» en «nature menacée» – processus dénoncé par divers mouvements de protestation [1–3].

D'une protection «technique» à une protection «durable» contre les crues. Les effets néfastes de la protection «technique» contre les crues ne se limitent toutefois pas à l'intégrité écologique

des cours d'eau: l'augmentation des débits, la perte de surfaces de rétention, le développement des constructions et des infrastructures dans les zones inondables ont été à l'origine d'une augmentation constante du risque et des dommages potentiels. Autre déficit de cette stratégie: les zones bâties et les zones agricoles bénéficiaient du même degré de protection, indépendamment du potentiel de dommages, entraînant ainsi des coûts énormes pour les pouvoirs publics responsables des constructions hydrauliques et de l'entretien des ouvrages.

Suite à la prise de conscience de ces déficits, un changement de philosophie dans le domaine des constructions hydrauliques s'est progressivement produit en Suisse, favorisé par le débat écologique amorcé dans les années 1970. L'aménagement hydraulique est alors passé d'un secteur à dominante technologique à un système d'experts soucieux du développement durable (Fig. 1). La protection «durable» contre les crues vise l'instauration d'un équilibre entre la protection contre les crues et la protection des eaux et des

Fig. 1: Le passage d'une politique «technique» à une politique «durable» de protection contre les crues [3].

Années	1960	1970	1980	1990	2000
Facteurs d'influence		Discours sur l'écologie	Crues des années 1970, 1980 et 1990	Débats sur les frais de la protection contre les crues	Débats sur l'utilisation efficace des financements publics
				Débats sur l'utilisation efficace des financements publics	Discussion sur le développement durable
	Protection «technique» contre les crues			Protection «durable» contre les crues	
Objectifs	Protection intégrale contre les crues, extension de la production agricole et lutte contre les maladies			Protection durable contre les crues, préservation et restauration des cours d'eau à un état proche de la nature	
Caractérisation	Protection coûteuse et uniformément répartie sur tous les objets			Protection économe et modulée selon les types d'objets	
Aspect paysager	Cours d'eau canalisés			Cours d'eau disposant d'un espace suffisant	
Types d'aménagements	Constructions rigides, uniformes et artificielles			Aménagements souples, adaptés et aussi naturels que possible	
Prise de décision	Technocratique, basée essentiellement sur des savoirs experts; manque de transparence dans la prise en compte des intérêts			Reposant sur des savoirs experts, mais avec prise en compte transparente d'intérêts sociaux divergents	



Le dialogue dans la pratique – formulation des problèmes, définition des objectifs et élaboration des mesures se développent en groupe.

milieux avoisinants, comme les zones alluviales. Au lieu d’opérer par le biais de constructions dures, cette nouvelle politique prévoit de fournir un espace supplémentaire aux cours d’eau. En outre, la coordination avec les politiques sectorielles voisines, telles que la protection de la nature, l’agriculture et l’aménagement du territoire, ainsi que la participation du public lors de projets concrets constituent des éléments caractéristiques de la politique durable de protection contre les crues.

La définition d’objectifs de protection différenciés constitue l’un des enjeux clés des projets actuels de protection contre les crues. Il s’agit de plus en plus de protéger des infrastructures de transport et de communication complexes. A l’inverse, la protection des terres agricoles devient de moins en moins prioritaire du fait de la perte d’importance de la production alimentaire en Suisse. La protection «durable» contre les crues, dont la mise en œuvre repose sur une pondération permanente entre des impératifs sociaux, économiques et environnementaux, trouve une assise légale dans les années 1990 à travers la législation fédérale sur l’aménagement des cours d’eau et la définition d’une politique correspondante.

Ambitions et difficultés de la politique durable de protection contre les crues.

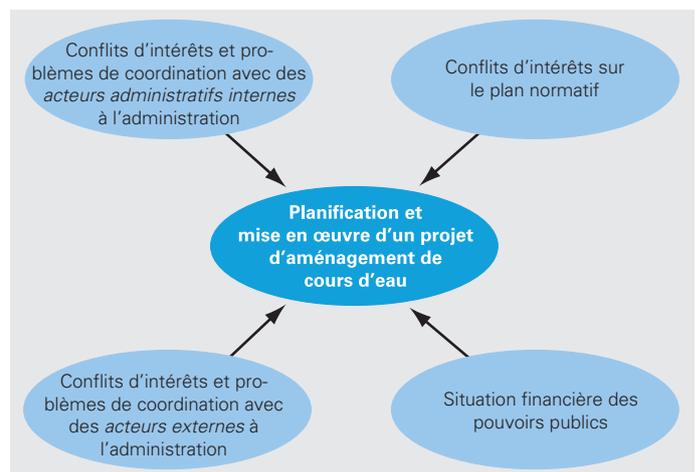
La mise en œuvre des objectifs et principes de la protection «durable» contre les crues est une mission complexe tirillée par quatre champs de conflits (Fig. 2) [4]:

► Conflits d’ordre normatif: Dans plusieurs cantons, les normes, «philosophies» ou objectifs de différents domaines politiques pourtant voisins (protection de la nature, protection des eaux, approvisionnement en eau potable, etc.) trahissent des divergences

d’intérêts. Il est donc nécessaire d’effectuer des pesées d’intérêts complexes entre les différents services impliqués avant de trancher.

- Collaboration au sein de l’administration: Les services relevant des différents domaines politiques ne sont pas (encore) habitués ou prêts à accepter les processus de pesée d’intérêts.
- Collaboration avec les acteurs externes à l’administration: Ce sont en général les acteurs externes à l’administration qui s’opposent le plus fortement aux projets d’aménagement fluvial régulant

Fig. 2: Quatre champs de conflits concernant les projets d’aménagement des cours d’eau.



ou contraignant l'activité agricole ou l'extension des zones à bâtir. Ces acteurs peuvent alors être soutenus voire instrumentalisés par différents acteurs et courants politiques.

► **Moyens financiers limités:** La situation financière des pouvoirs publics limite aujourd'hui les possibilités d'action dans le domaine des constructions hydrauliques. Il existe un certain nombre de conflits d'intérêts entre les objectifs budgétaires publics et les ambitions du domaine hydraulique. L'objectif prioritaire de protection contre les crues par l'entretien des ouvrages hydrauliques est difficilement réalisable du fait de la situation financière souvent critique des communes. Pourtant un entretien et une amélioration suivie des ouvrages existants permettraient de réaliser des économies à moyen et à long terme.

Les difficultés de mise en œuvre sont particulièrement prononcées lorsqu'il s'agit d'octroyer davantage d'espace aux cours d'eau. Dans les zones urbanisées, le souci de préservation de l'espace pour les cours d'eau se heurte à la répartition des zones à bâtir au sens de l'aménagement du territoire. Les communes se voient limitées dans leurs possibilités de développement territorial. En dehors des zones urbanisées, les agriculteurs (en partie soutenus par les fédérations paysannes ou par les services cantonaux de l'agriculture) s'opposent à la cession de terres ou aux limitations d'usage imposées par les objectifs écologiques ou hydrauliques. Ce manque de terrains disponibles en zone urbaine ou rurale rend plus difficile la mise en œuvre de la politique durable de protection contre les crues.

Quelques recommandations pour la prise de décision dans un environnement complexe.

Suite au changement de philosophie dans la protection contre les crues, les spécialistes des constructions hydrauliques sont devenus les «médiateurs» d'un processus de négociation complexe. Ce processus fait intervenir différents acteurs des services de l'Etat et de la société civile dotés de ressources propres: normes législatives, savoir d'experts, influence politique, etc. [5]. Pour mener à bien un tel travail de négociation, il est indispensable d'étudier le contexte du projet de manière approfondie et systématique et d'utiliser avec discernement les aides à la décision disponibles:

► **Analyse du contexte:** En plus de l'élaboration de bases de décision techniques et scientifiques, il est important d'analyser et d'évaluer le contexte politique, social et historique dans lequel se situe le projet. Cette démarche consiste à identifier les facteurs d'influence tels que les dispositions légales, les acteurs impliqués et les intérêts en jeu.

► **Prise en compte des acteurs:** Sur la base de l'analyse du contexte, les responsables de projet peuvent organiser la collaboration avec les différents acteurs identifiés. Il est alors judicieux de choisir des plates-formes de communication adaptées à l'hétérogénéité des acteurs impliqués ou intéressés. Il est conseillé d'établir très tôt un contact personnel avec les personnes directement concernées. Ces acteurs doivent être intégrés au processus de planification et de mise en œuvre à travers différents groupes de travail. Le grand public doit également bénéficier d'une information précoce et régulière tout en étant consulté par voie écrite ou orale. La mise en œuvre d'instruments de coordination internes à l'admini-

stration permet d'identifier suffisamment tôt les conflits d'intérêts ou d'objectifs entre les différentes politiques et les différents services [4].

► **Recours aux aides à la décision:** Les aides formelles à la décision peuvent faciliter les processus de prise de décision. Elles permettent par exemple de comparer différentes solutions avec les acteurs impliqués. Il devient ainsi possible d'identifier les conflits potentiels entre les différents intérêts en jeu et de s'entendre sur des solutions consensuelles [6]. De plus, les aides à la décision permettent de voir les effets de différentes variantes d'aménagement sur des secteurs importants tels que l'écologie ou l'économie locale.

Les bases et méthodes de la prise de décision sont exposées en détail dans le «Manuel pour la planification concertée de projets d'aménagement de cours d'eau» [7], élaboré dans le cadre du projet Rhône-Thur.

Fair-play et transparence. Les objectifs et mesures de génie fluvial font aujourd'hui partie intégrante d'une politique globale d'aménagement du territoire tenant compte des exigences de l'agriculture, de la protection des eaux et des loisirs. Les nouvelles exigences posées à la planification et à la réalisation des projets d'aménagement de cours d'eau nécessitent le recours à de nouveaux instruments et méthodes dans le domaine de la gestion du savoir et des interfaces ainsi que dans celui de l'assistance à la prise de décision. Elles permettent, conformément aux principes du développement durable, de procéder à un examen équitable et transparent des différents intérêts en jeu afin de fixer les priorités d'action. Les nouveaux instruments méthodologiques permettent aux spécialistes des constructions hydrauliques de mener à bien les procédures de planification et de concertation sans perdre leurs capacités d'action et de décision. ○ ○ ○

[1] Walter F. (1996): *Bedrohliche und bedrohte Natur. Umweltgeschichte der Schweiz seit 1800.* Zürich: Chronos.

[2] Speich D. (2003): *Helvetische Meliorationen. Die Neuordnung der gesellschaftlichen Naturverhältnisse an der Linth (1783–1823).* Zürich: Chronos.

[3] Zaugg Stern M. (2006): *Philosophiewandel im schweizerischen Wasserbau. Zur Vollzugspraxis des nachhaltigen Hochwasserschutzes.* Schriftenreihe Humangeographie, Bd. 20. Zürich: GIUZ.

[4] Zaugg M., Ejderyan O., Geiser U. (2004): *Normen, Kontext und konkrete Praxis des kantonalen Wasserbaus. Resultate einer Umfrage zu den Rahmenbedingungen der kantonalen Ämter oder Fachstellen für Wasserbau bei der Umsetzung der eidgenössischen Wasserbaugesetzgebung.* Schriftenreihe Humangeographie, Bd. 19. Zürich: GIUZ.

[5] Kienast F., Peter A., Geiser U. (2004): *Wasserbauer werden zu Moderatoren.* In: *Kommunalmagazin*, 2004, 10., S. 14–17.

[6] Hostmann M. (2005): *Decision Support for River Rehabilitation.* Diss. ETH Zurich Nr. 16136. 170 p.

[7] Hostmann M., Buchecker M., Ejderyan O., Geiser U., Junker B., Schweizer S., Truffer B., Zaugg Stern M. (2005): *Wasserbauprojekte gemeinsam planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten.* Dübendorf: Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.

Des indicateurs écologiques pour l'évaluation du succès des revitalisations



Klement Tockner, biologiste, est chercheur au département d'Ecologie aquatique de l'Eawag

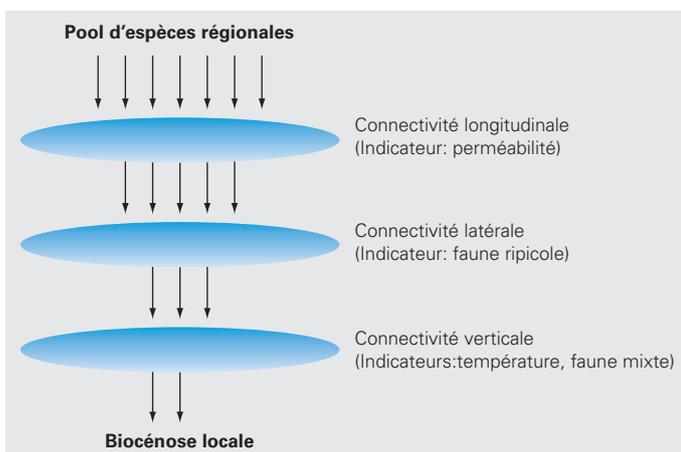
La revitalisation des cours d'eau est de plus en plus populaire dans le monde et constitue un secteur en pleine expansion. Mais est-il bien certain que les revitalisations produisent réellement une amélioration appréciable de la qualité écologique des cours d'eau? Les indicateurs écologiques sont de précieux alliés pour répondre à cette question.

Le succès d'une revitalisation s'évalue à partir de standards écologiques clairement définis. Tout projet d'aménagement doit viser à les respecter [1, 2]:

- ▶ Existence d'une image directrice à caractère écologique.
- ▶ Amélioration mesurable de l'état écologique du cours d'eau.
- ▶ Augmentation du potentiel de régénération naturelle de l'écosystème par accroissement de son intégrité écologique.
- ▶ Réalisation d'un contrôle des résultats écologiques.

L'objectif majeur de la revitalisation d'un cours d'eau est l'amélioration durable de l'intégrité écologique de l'écosystème. On entend par là la capacité d'un écosystème à conserver sa structure et sa capacité de fonctionnement face à des perturbations naturelles telles que les crues et l'assèchement. Etant donné qu'il est pratiquement impossible de mesurer directement l'intégrité d'un cours d'eau ou d'un système alluvial, il est nécessaire de recourir à des indicateurs. Ceux-ci interviennent de manière générale lorsque la complexité d'un écosystème et de ses processus internes ne peut être appréciée directement.

Fig. 1: Le modèle des filtres environnementaux.



Evaluer l'atteinte des objectifs de revitalisation à l'aide d'indicateurs écologiques.

Le «Guide d'orientation sur le contrôle des résultats dans les projets de revitalisation des cours d'eau» élaboré récemment dans le cadre du projet Rhône-Thur offre pour la première fois une aide concrète dans ce domaine [3]. Ce guide recense 45 indicateurs écologiques qui permettent de relever et d'apprécier les particularités aussi bien structurelles que fonctionnelles des cours d'eau. Le développement des indicateurs et l'interprétation des informations dont ils sont porteurs demandent cependant des connaissances solides en écologie.

Examinons à titre d'exemple le cas de la diversité biologique d'un cours d'eau. Les poissons, invertébrés et algues servent souvent à son évaluation. Mais de quoi dépend leur diversité locale? Elle résulte en effet de plusieurs paramètres:

- ▶ du pool total d'espèces présentes dans le bassin versant,
- ▶ de la hiérarchie des différents filtres environnementaux (il s'agit de conditions environnementales à action spécifique telles que le climat, le type de cours d'eau, le degré de connectivité, etc.) ainsi que
- ▶ des propriétés permettant aux différentes espèces de «passer» ces filtres (c'est-à-dire de résister à ces conditions données; il peut s'agir de la mobilité, du mode d'alimentation ou du cycle évolutif par ex.).

La figure 1 donne une représentation du «modèle des filtres environnementaux» à partir des filtres connectivité longitudinale, connectivité latérale et connectivité verticale. Elle indique d'autre part des indicateurs potentiels permettant d'évaluer ces différents filtres. Si une revitalisation produisait uniquement une amélioration de la connectivité verticale sans se préoccuper des tributaires et des rives, elle ne permettrait pas d'augmentation de la diversité spécifique locale. Deux autres exemples illustrent bien le concept des filtres environnementaux: Les élargissements pratiqués dans un cours d'eau subissant les effets des éclusées hydroélectriques ne provoquent pas d'amélioration de la faune aquatique invertébrée car les perturbations d'ordre hydrologique jouent un rôle dominant et annulent les effets positifs de la valorisation morphologique. De même, si un ouvrage transversal s'oppose à la migration des pois-



La caméra infra-rouge a été montée sous le plancher de l'hélicoptère.

Photos: U. Uehlinger, Eawag

sons dans le cours inférieur d'une rivière, même la restauration intégrale des habitats du cours supérieur ne permettra pas d'y augmenter la diversité ichthyologique. L'installation d'espèces supplémentaires ne pourra se produire qu'une fois le filtre environnemental dominant éliminé (l'ouvrage transversal) et donc la connectivité longitudinale rétablie. Nous sommes ici confrontés au mythe le plus répandu dans le monde des revitalisations: «Rétablissons un cours d'eau naturel, les organismes finiront bien par le coloniser».

Les cours d'eau en tant que systèmes élastiques: l'exemple des habitats refuges.

Le taux de disparition des espèces est cinq fois plus élevé dans les lacs et rivières que dans les écosystèmes terrestres [4]. C'est pourquoi la motivation première des revitalisations est de garantir à long terme la diversité biologique des cours d'eau. Or, cette biodiversité dépend en grande partie de la présence d'habitats refuges en quantité suffisante, c'est-à-dire d'habitats à partir desquels une recolonisation peut s'effectuer à la suite d'événements perturbateurs (crues, assèchements, perturbations d'origine anthropique, etc.). On sait aujourd'hui que la distribution spatiale et le degré d'occupation des habitats refuges le long d'un cours d'eau varient en fonction de la nature et de la gravité des perturbations. Dans les ruisseaux de montagne, les larves d'insectes et certains poissons tels que les chabots (*Cottus gobio*) se réfugient, en cas de crue, à l'intérieur des sédiments dans les zones profondes influencées par la nappe. Les affluents et tributaires quasi-naturels jouent également un rôle important pour la recolonisation des petites rivières après les glissements de terrain ou

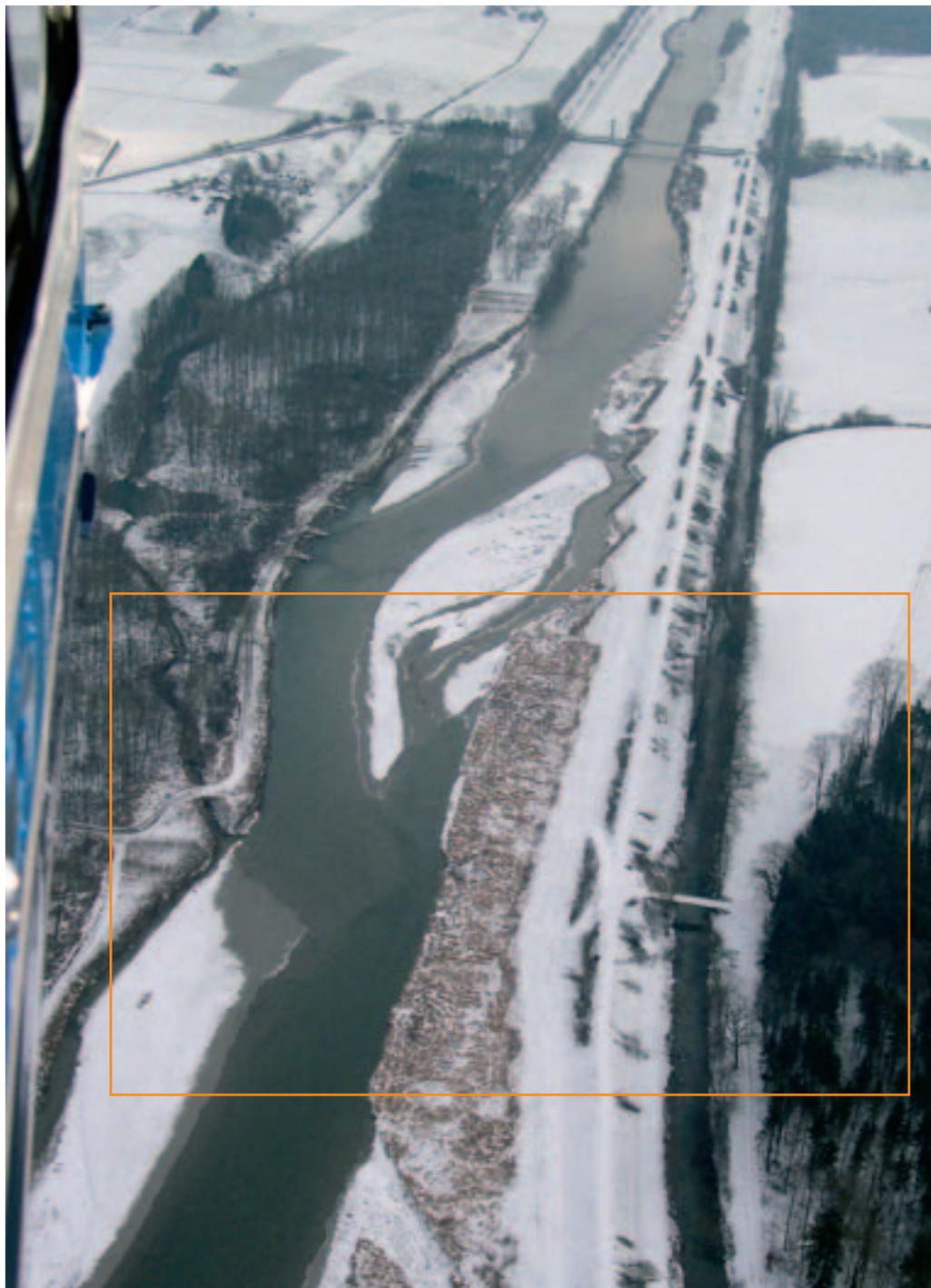


Fig. 2: L'élargissement de la Thur à Schaffäuli vu d'hélicoptère. La zone encadrée est presque exactement représentée par la photo infra-rouge de la figure 3.

les crues d'ampleur catastrophique. Par contre, dans les grandes rivières et les fleuves, la faune aquatique invertébrée a plutôt tendance à se réfugier au niveau des rives pour se protéger des crues. Ainsi, l'intégrité écologique d'un cours d'eau peut être

assurée à long terme grâce à un réseau de tributaires non régularisés et à l'existence d'interactions avec la nappe alluviale et les rives. Le nombre de tributaires «naturels», l'hétérogénéité thermique en tant que témoin de la connectivité entre écoulement

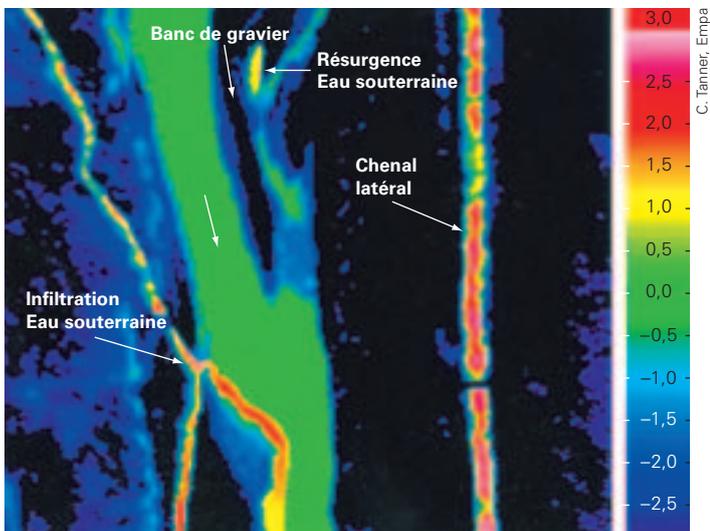


Fig. 3: Variabilité thermique dans l'élargissement de la Thur à Schöffäuli en janvier 2005. La photo infra-rouge correspond à peu près à la zone encadrée dans la figure 2 (Résolution: 1 m², Exactitude: 0,1 °C).

superficiel et nappe (cf. encadré et Fig. 2 + 3) et la longueur de la ligne de berge sont donc utilisés comme indicateurs indirects de la disponibilité en habitats refuges, et donc comme paramètres d'évaluation de l'intégrité écologique.

Les paysages fluviaux en tant qu'espaces d'échanges: l'exemple des rives. Les cours d'eau sont des écosystèmes « ouverts » qui entretiennent des échanges permanents avec les milieux terrestres et aquatiques avoisinants. Les rives et berges, frontières dynamiques entre le cours d'eau et le milieu terrestre environnant, jouent donc un rôle particulièrement important. Elles sont caractérisées par une grande diversité faunistique et floristique et abritent des espèces aussi bien aquatiques que terrestres.

La longueur de la ligne de berge sert d'indicateur du degré de connectivité latérale. Plus la ligne de berge est longue, plus les connexions entre les cours d'eau et le milieu terrestre environnant sont intenses. Dans les cours d'eau naturels, la ligne de berge peut atteindre 25 km par km du cours d'eau et les habitats à proximité des berges restent abondants malgré la forte fluctuation du niveau de l'eau. Dans les tronçons canalisés, la ligne de berge n'atteint plus que 2 km par km du cours d'eau. En tant qu'indicateur, la longueur de la ligne de berge présente l'avantage d'être mesurable aussi bien dans les petites que dans les grandes rivières et de réagir de manière très différenciée aux modifications hydrologiques et morphologiques.

Une corrélation positive a en outre été observée entre la longueur de la ligne de berge et la diversité spécifique des jeunes poissons d'une part, et le nombre de couples nicheurs de limicoles (oiseaux de zones humides comme le Petit Gravelot par ex.) d'autre part. Ainsi, sur les bords du Tagliamento, l'un des derniers fleuves sauvages des Alpes, la densité de Petit Gravelot augmente avec la longueur de la ligne de berge pour atteindre par endroits 22 couples nicheurs par kilomètre de cours d'eau.

Tester de nouveaux indicateurs. Dans le cadre du « Guide d'orientation sur le contrôle des résultats dans les projets de revitalisation des cours d'eau », de nouveaux indicateurs ont été développés. Citons entre autres la diversité spécifique et la densité de la faune ripicole terrestre, la composition et le degré de colonisation des matériaux flottés, de même que la disponibilité en habitats refuges en tant qu'indicateurs du potentiel de recolonisation par les organismes benthiques. Ces indicateurs doivent maintenant être testés dans la pratique, calibrés et éventuellement adaptés. Pour ce faire, nous allons avoir besoin des praticiens aussi bien des services de l'environnement que des bureaux d'étude. ○ ○ ○

L'indicateur Température

Les différentes conditions de température qui règnent dans un système fluvial peuvent être étudiées à l'aide d'une caméra à infra-rouge téléportée. La figure 3 montre que les chenaux fortement structurés, comme ici dans l'élargissement de la Thur à Schöffäuli, peuvent présenter de forts contrastes thermiques entre le chenal principal et les chenaux secondaires. Ces différences trahissent la présence d'habitats refuges. Ainsi, les espèces sensibles aux variations de température, telles que la truite de rivière ou l'ombre, ne peuvent se maintenir sans la présence de refuges froids en été et de refuges chauds en hiver (zones jaune à rouge dans la figure 3). Le chenal principal de la Thur présente une température très homogène.

La photographie infra-rouge révèle non seulement la présence d'un tributaire à température plus élevée mais aussi celle d'une résurgence. Ceci semble indiquer que l'élargissement du lit a permis de restaurer au moins en partie les échanges entre écoulement souterrain et écoulement de surface. Etant donné que la photographie a été prise en janvier, les habitats alimentés par la nappe sont plus chauds que le milieu environnant. Les résurgences et apports latéraux d'eaux souterraines évitent aux cours d'eau de geler totalement en hiver et livrent des habitats frais en été.

- [1] Palmer M.A. et al. (2005): Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* 42, 208–217.
- [2] Nakamura K., Tockner K., Amano K. (2006): River and wetland restoration: Lessons from Japan. *BioScience* (in press).
- [3] Woolsey S. et al. 2005. Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur-Projekts. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 112 S.
- [4] Bernhardt E.S. et al. (2005): Synthesizing U.S. River restoration efforts. *Science* 308, 636–637.

Dynamique fluviale et protection contre les crues: une incompatibilité réelle?



Anton Schleiss, ingénieur civil EPF Zurich, professeur de constructions hydrauliques à l'École polytechnique fédérale de Lausanne

Les cours d'eau «naturels» sont sources d'habitats dynamiques c'est-à-dire en modification perpétuelle. Grâce à des concepts novateurs et à une mise à profit des synergies potentielles, il est possible de laisser s'exprimer ce besoin naturel même si l'espace disponible est limité et si les mesures constructives de protection contre les crues restent localement inévitables.

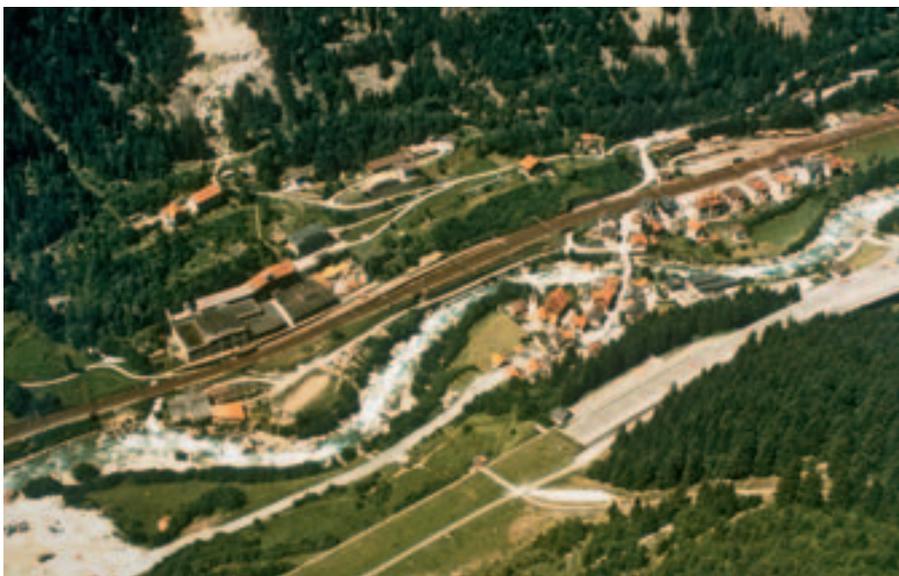
«La nature n'admet pas la plaisanterie; elle est toujours vraie, toujours sérieuse, toujours sévère; elle a toujours raison et les fautes et les erreurs ne sont que le fait de l'homme.» Cette citation de Goethe pourrait être un bon précepte pour les ingénieurs hydrauliciens dont la mission est de planifier les mesures de protection contre les crues dans les cours d'eau. Car seuls les aménagements qui respectent le caractère naturel des cours d'eau ont une chance d'assurer, à long terme, une protection fiable contre les crues. L'ingénierie fluviale moderne doit donc s'inspirer des forces et du comportement naturel des rivières sur lesquelles elle intervient. Ainsi, par exemple, la rectification forcée d'un méandre naturel peut se révéler dangereuse. En effet, le cours d'eau apparemment maîtrisé n'oublie pas sa nature sauvage et profite des événements extrêmes pour reconquérir l'espace qui lui est dû.

Dynamique fluviale et correction des cours d'eau. «Le monde est comme une rivière qui s'écoule dans son lit, déposant çà et là des bancs de sable qui la forcent à son tour à prendre un autre chemin. Tout cela se déroule joliment et sans heurt, petit à petit, et grande est la difficulté des ingénieurs hydrauliciens quand ils tentent de s'opposer à la nature de cet être.» Goethe avait déjà compris que la correction des cours d'eau ne permettait de dompter la dynamique fluviale que dans une certaine limite. La dynamique des cours d'eau caractérise les changements de la morphologie dans l'espace et dans le temps sous l'effet conjoint des écoulements en crue et du charriage. Elle est marquée par une destruction périodique d'un certain nombre d'habitats, notamment à proximité des berges, faisant place nette pour de nouveaux milieux. Les cours d'eau dynamiques ont besoin de beaucoup d'espace. Ainsi, les

cours d'eau formant naturellement des méandres font divaguer leur lit dans un espace correspondant à cinq à six fois la largeur du chenal [1]. Les affluents naturels peuvent encore accroître cette bande de divagation en forçant le chenal principal contre le flanc opposé de la vallée. C'est la raison pour laquelle les cours d'eau des vallées alpines et préalpines occupaient autrefois tout le fond des vallées.

En plus de leur mission de protection contre les crues, les corrections de cours d'eau entreprises ces deux derniers siècles avaient pour but de conquérir un espace supplémentaire pour l'habitat humain et l'agriculture. La dynamique des cours d'eau devait donc être limitée. Les rivières et ruisseaux ont été canalisés, la largeur du fond du lit étant optimisée en fonction du charriage. Le résultat a été la création de cours d'eau monotones et canalisés caractérisés par une hydrologie et une morphologie quasiment uniformes.

Fig. 1: Les trois méandres de la Reuss à Gurtellen-Wiler avant les crues de 1987.



Photos: A. Schleiss, EPFL

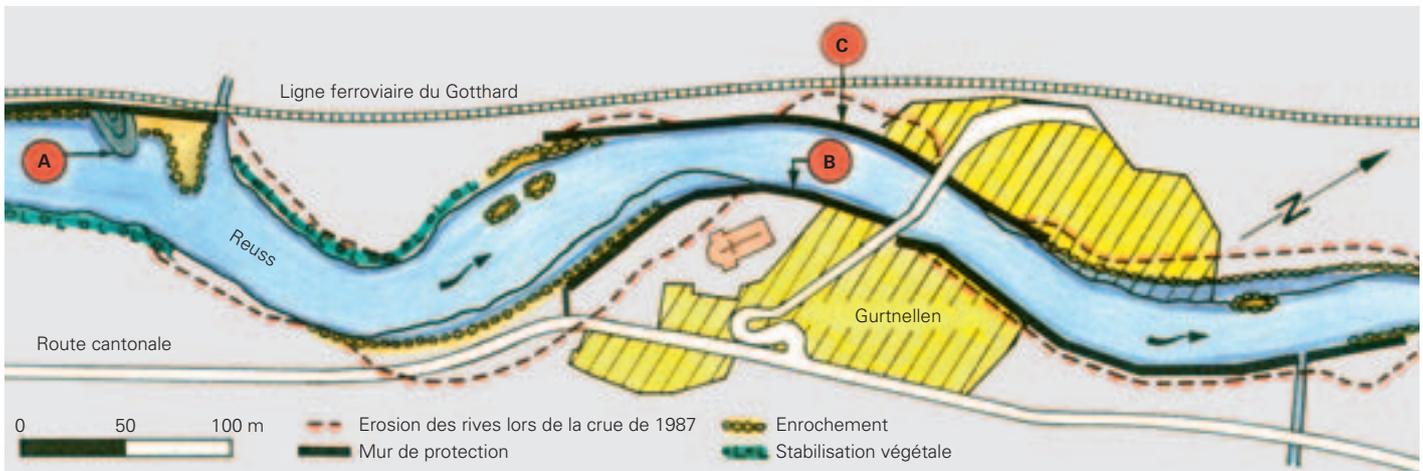


Fig. 2: Erosion des rives par la crue de 1987 à Gurtellen-Wiler et mesures de protection réalisées (A, B, C).

Mesures constructives de protection contre les crues et revitalisation des cours d'eau.

«L'eau est un élément ami pour celui qui la connaît et qui sait comment la traiter.» Cette pensée de Goethe illustre bien le fait que les mesures constructives de protection contre les crues (c'est-à-dire la construction d'ouvrages et d'aménagements) doivent se baser sur des connaissances précises des processus intervenant au moment des crues et sur l'écologie des cours d'eau. Seule une telle approche permet de minimiser les interventions. Il n'en reste cependant pas moins que tout aménagement fluvial influence nécessairement la dynamique du cours d'eau concerné.

Les mesures de revitalisation ont pour but de restituer au cours d'eau une grande partie de sa dynamique naturelle pour lui permettre de restaurer une grande richesse morphologique. Ceci n'est possible que si les aménagements fluviaux autorisent une grande diversité d'écoulement [2] entraînant à son tour une amélioration de la diversité spécifique du cours d'eau. Ainsi, même un enrochement inévitable placé dans un tronçon pratiquement rectiligne doit présenter une certaine sinuosité pour dynamiser l'écoulement [3]. La richesse morphologique est toujours le résultat d'un minimum de dynamique fluviale produisant par exemple le remaniement périodique des matériaux charriés et une certaine érosion des berges.

L'exemple de Gurtellen-Wiler: synergies entre aménagement «naturel» du cours d'eau et protection contre les crues.

La commune de Gurtellen-Wiler a été sévèrement touchée par les crues survenues en 1987 dans la vallée de la Reuss. La Reuss forme trois méandres à Gurtellen (Fig. 1). Les crues importantes provoquent une forte érosion du lit et des berges qui augmente la courbure des méandres. C'est ce phénomène qui a été à l'origine des dégâts très importants enregistrés par la commune (Fig. 2). Ce site a été l'un des premiers à être géré suivant la nouvelle philosophie de protection contre les crues adoptée en Suisse et malgré la grande force destructive de la Reuss à cet endroit, il a été décidé de procéder à un aménagement «naturel» de la rivière en conservant son tracé d'origine [4]. A l'aide de trois principaux éléments de protection (A,

B, C dans la figure 2), il a été possible de stabiliser les méandres, même pour les débits les plus forts [5]. Ces trois éléments sont:

- ▶ Surélévation d'un éperon rocheux naturel accompagnée de la création d'une presqu'île artificielle (A): Cet aménagement permet de stabiliser le méandre supérieur de la Reuss et de diriger le courant de façon optimale vers les méandres inférieurs. L'éperon rocheux a été doté d'une surface d'apparence «naturelle» similaire à celle d'une falaise livrant un habitat rapidement colonisé par plusieurs espèces protégées (Fig. 3).
- ▶ Mur de protection recouvert en amont de l'église (B): Le courant détourné par l'éperon rocheux artificiel percute sur la rive opposée un mur de protection recouvert de matériaux meubles. Ce mur protège le village au niveau de l'église et dirige l'écoulement de manière optimale vers le méandre suivant.
- ▶ Mur de rive incurvé en amont du pont historique (C): Le mur revêtu en maçonnerie qui longe la ligne ferroviaire du Gothard stabilise le méandre inférieur. La courbure du mur de protection a été optimisée dans un modèle hydraulique pour assurer la conservation du pont à arches historique.

Fig. 3: Eperon rocheux artificiel destiné à stabiliser les méandres de Gurtellen-Wiler.



Ces aménagements ont permis de conserver le caractère naturel de la Reuss et de valoriser le site de Gurtellen-Wiler.

Les synergies dans les projets à buts multiples. Aujourd'hui, les projets d'économie des eaux tels que les projets de protection contre les crues, d'exploitation de la force hydraulique ou de revitalisation des cours d'eau ne peuvent pratiquement plus être réalisés isolément. Ils se heurtent le plus souvent à des conflits d'intérêts insurmontables et à des difficultés de financement. Il est donc nécessaire d'asseoir ce type de projets sur une base globale et durable en faisant intervenir autant d'intéressés que possible dans leur planification. Ce type d'approche peut être réalisé dans le cadre de projets à buts multiples innovants conçus pour satisfaire différents intérêts et pour atteindre différents types d'objectifs à la fois (Fig. 4).

Comme la plupart des fleuves et grandes rivières alpins, le Rhône a été corrigé et canalisé au cours du siècle dernier. Il se trouve aujourd'hui tiraillé entre impératifs de protection contre les crues et enjeux divers ayant trait à l'agriculture, à l'industrie, à la production hydroélectrique, à la protection de la nature et aux activités de loisirs.

C'est dans ce contexte qu'il faut placer la troisième correction du Rhône, dont la réalisation occupera certainement plusieurs générations. Ce grand projet ne peut que profiter de projets à buts multiples de conception globale et durable [6]. Dans le cadre du projet de recherche SYNERGIE, une équipe interdisciplinaire composée d'hydrauliciens, d'environnementalistes et d'architectes analyse l'ensemble des facteurs d'influence d'ordre technique, écologique et socio-économique, ainsi que leurs interactions pour élaborer un projet à buts multiples sur le Rhône. Cette étude a montré un certain nombre de synergies potentielles entre les domaines suivants (Fig. 4):

- ▶ Protection contre les crues: laminage des crues par rétention et gestion contrôlée des zones de débordement et d'épanchements.
- ▶ Régulation écologique des débits: élimination des effets néfastes du marnage.
- ▶ Création de biotopes: zones d'eau peu profonde, réserves d'oiseaux d'eau, plaines alluviales submergées périodiquement.
- ▶ Zones de loisirs: sports nautiques, chemins de randonnée pédestre et équestre, pêche de loisir, ponts et passerelles, divers type de berges (pente et matériau).
- ▶ Aménagements hydroélectriques: production d'énergie de base par régulation écologique des débits, énergie renouvelable non émettrice de CO₂.

Mesures durables d'aménagement hydraulique. «L'onde frémit, l'onde s'agite; au bord est un jeune pêcheur.» Ces vers d'Albert Duboys adaptés de Goethe illustrent bien le fait qu'un cours d'eau dynamique peut être à la fois un espace de vie précieux et un espace de loisir apprécié. Il n'en reste pas moins impossible de rendre aux rivières une dynamique totalement débridée dans les zones fortement peuplées. Les cours d'eau corrigés et monotones présentent cependant des déficits aussi bien du point de vue sécuritaire qu'écologique et ce, notamment parce que les ouvrages de protection respectent souvent trop peu le caractère originel des

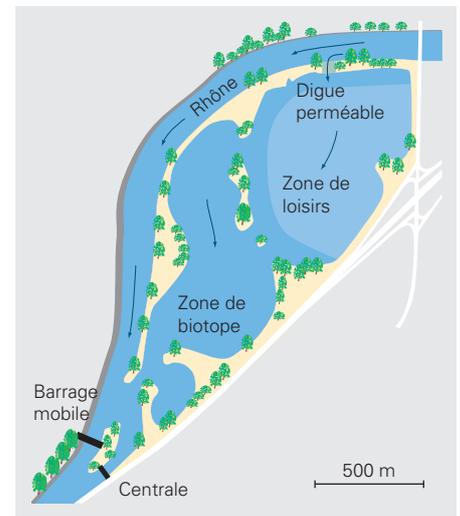


Fig. 4: Disposition générale d'un aménagement à buts multiples sur le Rhône.

cours d'eau. Dans le cadre des projets de protection contre les crues et des projets de revitalisation, il faut donc développer des solutions innovantes pour rendre au cours d'eau une certaine dynamique ainsi qu'une certaine diversité structurale dans la limite de l'espace disponible. Mais il est également important de tenir compte des autres intérêts en jeu tels que les loisirs, l'agriculture, la protection des infrastructures, la production hydroélectrique et l'approvisionnement en eau potable. Cela signifie que les mesures d'aménagement fluvial ne doivent plus être uniquement conçues et réalisées dans un souci de protection contre les crues, mais doivent également répondre aux préoccupations d'ordres environnemental, social et économique. ○ ○ ○

- [1] Bundesamt für Wasser und Geologie (2001): Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung. BWG, Biel.
- [2] Schleiss A. (2005): Flussbauliche Hochwasserschutzmassnahmen und Verbesserung der Gewässerökologie – Vorschlag eines hydraulisch-morphologischen Vielfältigkeitsindex. Wasser Energie Luft 7/8, 195–200.
- [3] Schleiss A. (2000): Conception et dimensionnement des enrochements en rivière en montagne. Ingénieurs et Architectes Suisses – IAS, 23, 450–453.
- [4] Schleiss A., Bär H., Gmür A. (1992): Projektierung und Bau von Hochwasserschutzmassnahmen an der Reuss in Gurtellen-Wiler. Internationales Symposium Interpraevent, Bern, Tagungspublikation Band 5, 43–54.
- [5] Schleiss A. (1996): Flussbauliche Massnahmen an der Reuss zum Hochwasserschutz von Gurtellen. Wasser Energie Luft 5/6, 93–98.
- [6] Schleiss A. (2005): Mögliche Synergien zwischen Hochwasserschutz, Flussrevitalisierung und Wasserkraft dank innovativer Mehrzweckprojekte. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet des Hochwasserschutzes – Konferenz über angewandte Forschung im Rahmen der 3. Rhonekorrektur, Martigny, Communications du Laboratoire de Constructions Hydrauliques Nr. 21, LCH – EPFL, pp. 155–169.

Prédire les conséquences de la revitalisation

Quels sont les effets des mesures proposées? Cette question se pose dans tous les projets et notamment dans ceux visant la renaturation des cours d'eau. Les modèles mathématiques synthétisent de manière transparente les connaissances actuelles sur les principaux effets. Ils constituent de ce fait un outil précieux de la prise de décision.



Peter Reichert, chef du département «Analyse des systèmes, évaluation intégrée et modélisation» de l'Eawag.

Coauteurs: Mark Borsuk, Steffen Schweizer et Christian Spörri, Eawag

Il est souvent difficile de prendre les bonnes décisions. Les projets de revitalisation des cours d'eau ne font pas exception à cette règle, notamment lorsqu'il s'agit, dans la phase de planification, de définir la combinaison de mesures ayant les meilleures chances de succès. Les difficultés ont plusieurs origines:

- ▶ Les projets sont marqués par des objectifs parfois contradictoires, par exemple entre le besoin d'espace pour le cours d'eau et de terrains pour l'agriculture.
- ▶ Les parties en présence ont des intérêts souvent divergents, par ex. les paysans et les défenseurs de l'environnement.
- ▶ La prise de décision est une démarche complexe: processus démocratiques et participatifs à l'échelle communale, cantonale et fédérale.
- ▶ Il règne une certaine incertitude quant aux conséquences des mesures potentielles suite à la complexité des systèmes naturels auxquels elles doivent s'appliquer.

Dans un tel contexte, une approche méthodique a été proposée pour faciliter la prise de décision (cf. encadré) [1]. La prédiction des

conséquences des mesures de revitalisation en constitue une étape importante. Dans le cadre du projet Rhône-Thur, nous avons développé un modèle mathématique permettant de répondre à ce besoin prévisionnel.

Méthodologie de la prévision – le modèle intégratif. Un modèle mathématique donne une représentation fortement simplifiée du système étudié et des processus qui se déroulent en son sein. Les grandeurs du système dont le comportement doit être pronostiqué sont définies en fonction des indicateurs servant à l'évaluation de la bonne atteinte des objectifs du projet (cf. article de K. Tockner, p. 15). Le modèle décrit l'effet des principales grandeurs d'influence sur ces grandeurs de sortie. Les impacts des revitalisations des cours d'eau étant d'ordres morphologique, hydraulique, écologique et économique, le modèle doit intégrer des connaissances de toutes ces disciplines. Leur acquisition se fait par l'intermédiaire de données bibliographiques, de modèles antérieurs, d'études ciblées réalisées à cet effet et d'audits d'experts.

La figure 1 indique les principales voies de répercussion des mesures de revitalisation. Au vu des différents sous-systèmes touchés, nous avons décidé de subdiviser le modèle intégratif en plusieurs modèles partiels. Pour chacun d'eux, un diagramme représentatif des relations de cause à effet peut être établi, la représentation de détail permettant de faire figurer les grandeurs mesurables (Fig. 2). Des relations mathématiques sont ensuite for-

Aide à la décision dans les projets de revitalisation des cours d'eau

La décomposition du problème de la prise de décision en plusieurs étapes systématiques peut aider à dépassionner les débats et faciliter la définition de solutions consensuelles (liste simplifiée d'après [1]):

1. Analyse des problèmes à résoudre et identification des acteurs et personnes impliquées.
2. Description et quantification des objectifs du projet avec la participation des acteurs et personnes impliquées.
3. Inventaire des solutions possibles.
4. Pronostic des conséquences des mesures envisageables.
5. Analyse récapitulative des résultats.

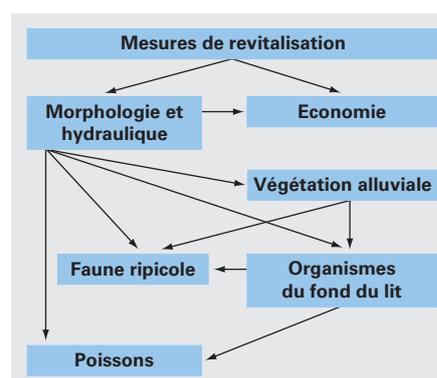


Fig. 1: Modèle intégratif de la revitalisation des cours d'eau. Principales voies de répercussion des mesures de revitalisation [1].

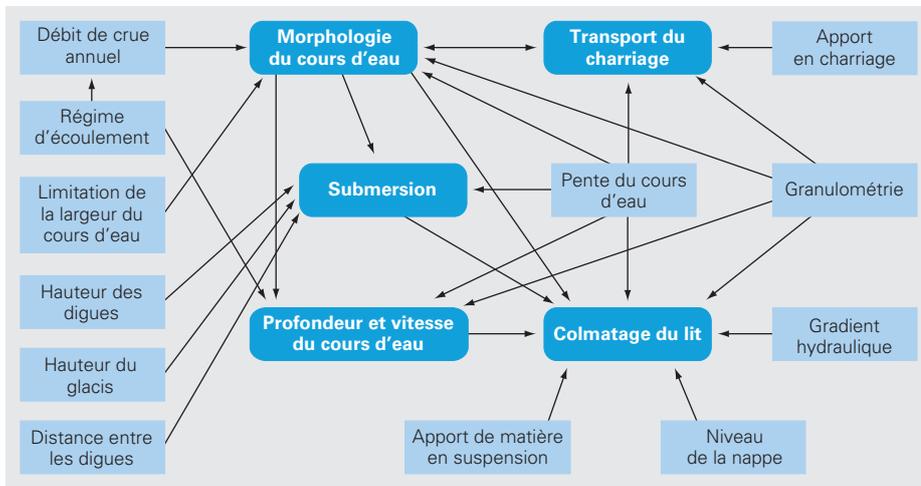


Fig. 2: Représentation simplifiée du réseau de relations de dépendance entre les grandeurs du système dans le modèle partiel «Morphologie et hydraulique» [2].

mulées pour toutes les relations de dépendance figurant dans les diagrammes. Les mesures de revitalisation sont caractérisées par des grandeurs d'entrée. Etant donné que le modèle tient compte des incertitudes scientifiques, les résultats qu'il livre correspondent pour chaque mesure considérée à la probabilité avec laquelle différents états potentiels peuvent être atteints.

Les modèles partiels. Le modèle intégratif [décrit plus en détail dans 1] est constitué d'un total de six modèles partiels:

Morphologie et hydraulique: La figure 2 présente le réseau de relations de cause à effet au cœur de ce modèle partiel. Les valeurs d'entrée comme par ex. la limitation de la largeur du cours d'eau ou la distance entre les digues sont indiquées dans des cases bleu clair, les grandeurs de sortie comme la morphologie du chenal ou le colmatage du fond du lit par les sédiments fins dans des cases bleu foncé.

Végétation alluviale: Ce modèle partiel n'est pas encore disponible actuellement. Nous travaillons à l'élaboration d'une version simpli-

fiée du modèle détaillé de succession de la végétation alluviale présenté dans l'article de C. Glenz, p. 24 [3].

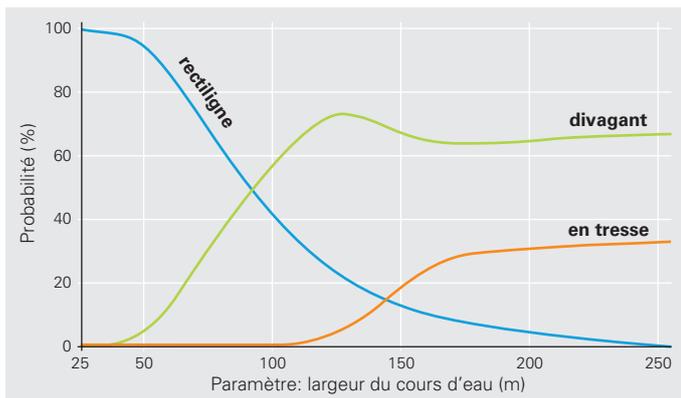
Organismes du fond du lit: Ce modèle partiel décrit la fréquence des organismes de certains groupes fonctionnels (algues, brouetteurs, déchiquteurs, collecteurs, prédateurs) en fonction de grandeurs d'influence externes (conditions hydrauliques, fréquence des crues, stabilité du lit, abondance en nutriments, température, insolation, etc.). Il est actuellement en cours d'élaboration.

Faune ripicole: Il n'existe encore que peu d'études sur l'évolution de la faune ripicole. Ce modèle partiel ne peut donc livrer que des prévisions incertaines. Le prototype actuel est basé sur des données de Paetzold et collaborateurs [4] et décrit la fréquence des carabidés et des araignées en fonction de la morphologie du cours d'eau, du régime d'écoulement et des insectes aquatiques qui servent de nourriture aux carabidés prédateurs.

Poissons: Un modèle partiel spécial a été élaboré pour la truite de rivière. Il simule l'évolution de la population de truite fario en fonction de diverses grandeurs d'influence tels que la qualité de l'eau, la présence de la maladie rénale MRP, la température de l'eau, la densité maximale de poissons, la fréquence des crues, les empoisonnements et les prélèvements par la pêche [5]. Un modèle un peu plus simple est en préparation pour les cyprinidés.

Economie: Le modèle formule les répercussions des dépenses de planification et de construction sur l'économie locale. Il tient compte des imbrications des différents secteurs économiques et exprime les effets en nombre d'emplois par secteur [6]. Il évalue également les répercussions sur le tourisme et les loisirs.

Fig. 3: Probabilités calculées par modélisation d'obtenir différentes formes de morphologie fluviale par modification de la largeur du lit de la Thur entre Bürglen et Weinfeldten. Les morphologies considérées sont: tracé rectiligne, chenal divagant entre bancs de gravier alternés et système anastomosé ou en tresse [2].



Premières prévisions livrées par le module «Morphologie et hydraulique». Le modèle partiel «Morphologie et hydraulique» a été appliqué pour la première fois à l'étude de la Thur dans le tronçon qui sépare Bürglen de Weinfeldten [2]. Nous avons calculé l'évolution de la rivière après un élargissement (Fig. 3). Dans son état actuel, la Thur est limitée à une largeur de 30 m par le truchement de digues et de creusements du lit et présente un tracé rectiligne. Un élargissement du lit à une valeur d'environ 100 m fait

augmenter la probabilité d'instauration d'un chenal divagant entre

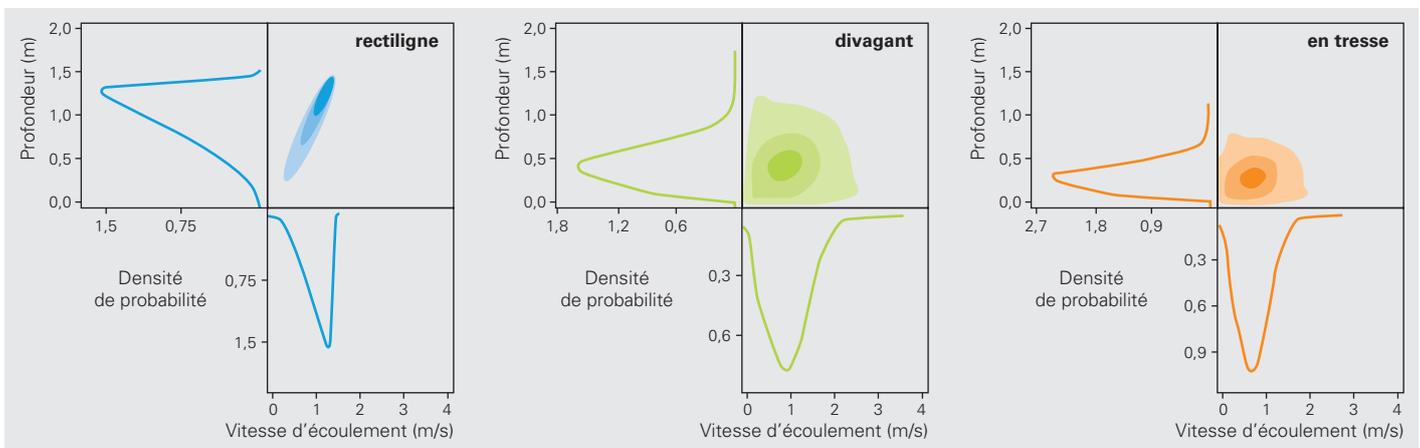


Fig. 4: Prédiction des distributions de fréquence des combinaisons profondeur-vitesse de courant pour la Thur entre Bürglen et Weinfelden. A gauche: état actuel avec une largeur de lit de 30 m. Au centre: largeur de lit de 200 m dans le cas d'un chenal divagant à bancs de gravier alternés. A droite: largeur de lit de 200 m dans le cas d'un chenal anastomosé. Les surfaces colorées dans les différents diagrammes englobent 25% (zone foncée), 50% (zones foncée et moyenne) et 95% (totalité de la zone colorée) des couples de valeurs. Les diagrammes latéraux correspondent respectivement aux distributions de probabilité de la vitesse et de la profondeur seules [2].

des bancs de graviers. Si l'espace octroyé augmente encore d'autant, la probabilité d'obtenir un chenal tressé est de 30%, et de 70% pour un chenal divagant à bancs de graviers alternés.

La figure 4 indique les distributions profondeur-vitesse du courant pouvant être obtenues. Dans le chenal rectiligne actuel, les petites vitesses de courant vont toujours de pair avec de faibles profondeurs (en bordure de rivière) et les grandes vitesses avec les grandes profondeurs (au centre). Si le chenal est étendu à une largeur de 200 m, les distributions sont beaucoup plus variées aussi bien dans le système divagant que dans le système anastomosé. Le cours d'eau élargi peut ainsi présenter des vitesses grandes ou petites avec des profondeurs faibles ou importantes, les valeurs de vitesse et de profondeur étant toujours un peu plus faibles dans la morphologie tressée. La grande diversité d'habitats que traduisent ces distributions est favorable à une plus grande diversité d'organismes de fond du lit et de poissons et aussi indirectement bénéfique à la faune ripicole. Ces effets sont décrits dans les modèles partiels correspondants.

Premières prévisions livrées par le module «Economie». Le modèle économique montre que chaque million de francs investi par an génère près de 8 emplois. Six d'entre eux échoient au secteur du bâtiment, un à celui des services, le dernier se répartissant entre les autres secteurs. Pour un volume d'investissement d'environ 30 millions de francs sur 5 ans, on peut donc compter sur la création de près de 50 emplois sur cette période. Par contre, les effets à long terme dus au tourisme et aux activités de loisir sont assez limités: on estime en effet approximativement que la revitalisation du tronçon assez court de la Thur ne générerait qu'un maximum de 5 à 6 emplois [6].

Evolution future du modèle. La première version complète du modèle intégratif devrait être disponible fin 2006. Pour que le

modèle puisse développer son application sur le terrain, l'Eawag cherche le dialogue avec les utilisateurs potentiels. Seul le feedback du monde scientifique et du terrain permettra la constante amélioration du modèle dans les années à venir. C'est de cette manière qu'il constituera une aide réelle aux projets de revitalisation des cours d'eau.



- [1] Reichert P., Borsuk M., Hostmann M., Schweizer S., Spörri C., Tockner K., Truffer B. (2006): Concepts of decision support for river rehabilitation. Environmental Modelling and Software (in press).
- [2] Schweizer S., Borsuk M., Reichert P. (2006): Predicting the morphological and hydraulic consequences of river rehabilitation (submitted).
- [3] Glenz C. (2005): Process-based, spatially-explicit modelling of riparian forest dynamics in Central Europe. PhD thesis, Laboratory of Ecosystem Management (GECOS), EPF Lausanne, Switzerland.
- [4] Paetzold A., Schubert C., Tockner K. (2005): Aquatic-terrestrial linkages along a braided river: Riparian arthropods feeding on aquatic insects. Ecosystems 8, 748–759.
- [5] Borsuk M.E., Reichert P., Peter A., Schager E., Burkhardt-Holm P. (2006): Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. Ecological Modelling 192, 224–244.
- [6] Spörri C., Borsuk M., Peters I., Reichert P. (2006): The economic impacts of river rehabilitation: a regional input-output analysis, Ecological Economics (submitted).



Christian Glenz, biologiste environnementaliste, EPF de Lausanne; actuellement: Forum Umwelt AG, Visp

Evolution du paysage dans les zones alluviales revitalisées

Les zones alluviales sont des espaces vivants dynamiques et complexes. Il est cependant difficile de prévoir leur évolution à long terme après une revitalisation. Conséquence: les projets de revitalisation peuvent se heurter à des difficultés d'acceptation et à des résistances lors de leur réalisation pratique. Les modèles de succession de la forêt alluviale basés sur les processus peuvent fournir une première solution à ce problème.

La démarche d'élargissement du corridor fluvial répond à des préoccupations à la fois écologiques et sécuritaires, ce qui en fait aujourd'hui l'une des mesures d'ingénierie fluviale les plus demandées. Mais comment évoluent les zones alluviales après un élargissement? Permettra-t-il ou non le développement d'une forêt alluviale à succession naturelle? Autant de questions auxquelles il est difficile de répondre à l'avance. Dans le contexte actuel, ces aspects sont généralement introduits dans les débats sur la forme «optimale» à donner aux élargissements par le biais d'avis d'experts, ce qui laisse naturellement une grande marge aux interprétations. Cette incertitude handicape les projets de revitalisation à divers niveaux, de la prise de décision à la réalisation, en passant par la planification.

Pourquoi est-il si difficile de prévoir l'évolution de la végétation alluviale? La raison est à chercher dans la grande complexité des processus géomorphologiques, hydrauliques et écologiques qui régissent les zones alluviales et qui, en interaction permanente, provoquent un changement incessant des conditions stationnelles décisives pour l'installation et le développement de la végétation.

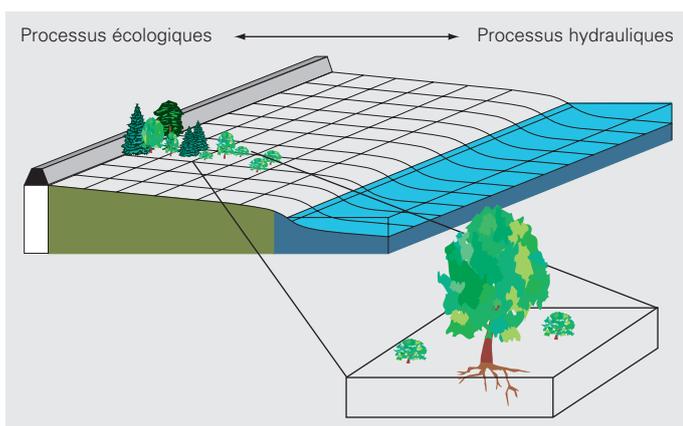
Pour rendre compte de cette complexité fondamentale, le travail de prévision doit s'appuyer sur des modèles informatiques

dynamiques basés sur les processus capables d'intégrer les influences dominantes précédemment citées. Ces modèles doivent en outre inclure les processus biotiques et abiotiques responsables de la croissance végétale, l'ensemble devant permettre de simuler les effets des changements incessants des conditions environnementales sur la végétation. Les deux modèles de succession de la végétation alluviale actuellement disponibles [1, 2] constituent un premier pas dans cette direction. Ils présentent cependant l'inconvénient de n'être pas adaptés aux conditions médio-européennes en tenant trop peu compte des conditions environnementales spécifiques aux plaines d'inondation des cours d'eau alpins et pré-alpins. Du plus, les interactions entre les processus sont en grande partie ignorées.

Le modèle RIFOD, un modèle de succession basé sur les processus. Le modèle RIFOD («Riparian FOrest Dynamics») développé dans le cadre du projet «Rhône-Thur» associe un modèle de succession de la forêt alluviale («modèle écologique») à un modèle hydraulique quasi 2D [3]. RIFOD permet de simuler la dynamique à court et à long terme de la forêt alluviale pour 65 essences forestières médio-européennes sur un réseau de surfaces unitaires définies selon un maillage de 10 x 10 m (Fig. 1). Pour ce faire, il prend en compte pour chaque surface unitaire les interrelations spécifiques entre les processus écologiques et hydrauliques définies par sa position dans l'espace d'étude. Cette stratégie permet notamment de représenter les imbrications entre la rugosité de la végétation (= densité, forme et élasticité) et l'écoulement. Il s'agit là d'un aspect crucial puisque le développement de la végétation dépend directement ou indirectement du comportement de l'écoulement (vitesse du courant, durée et hauteur des submersions, etc.). A l'inverse, la végétation influence à son tour sur l'écoulement, une végétation dense faisant par exemple baisser la vitesse d'écoulement tout en faisant augmenter la hauteur de submersion.

Le modèle de succession de la végétation alluviale est articulé autour de plusieurs modules. Un premier module sur la dynamique des populations décrit les phénomènes de germination/régénération, de croissance et de sénescence des essences forestières. D'autres modules simulent les conditions stationnelles, les stress caractéristiques des espèces ou du stade de développement (par

Fig. 1: Domaine d'application de RIFOD.



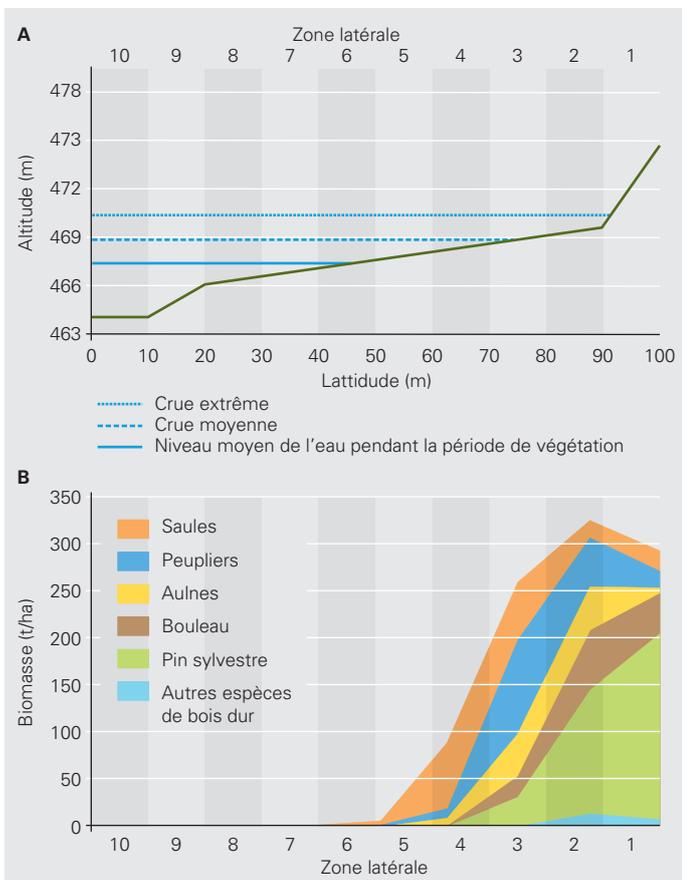


Fig. 2: Demi-profil avec niveaux d'eau caractéristiques pour un élargissement du Rhône en aval de Sion (A) et modélisation de l'évolution latérale de la composition de la végétation alluviale 100 ans après l'élargissement (B).

ex. stress hydrique, carences nutritives et les stress mécaniques et physiologiques dus aux submersions). Etant donné que les processus géomorphologiques ne sont pas encore pris en compte, le modèle ne peut pour le moment être utilisé que dans les zones alluviales à faible activité géomorphologique (fleuves et rivières de plaine par ex.) ou dans le cas d'élargissements du corridor fluvial, pour la simulation de l'évolution de la végétation dans des zones à profil relativement stable (glacis).

Premières prédictions du modèle. La première application de RIFOD a porté sur l'évolution de la végétation alluviale après un élargissement du Rhône en aval de Sion (Fig. 2A). Le modèle a été alimenté par les données hydrologiques et climatiques recueillies au cours des 20 dernières années dans différentes stations de la région de Sion (notamment sur les crues de 1987, 1993 et 2000) ainsi que par des données sur la structure du sol. La figure 2B indique les espèces arborées qui seront probablement présentes dans la forêt alluviale 100 ans après l'élargissement. D'après nos calculs, les zones 7 à 10 resteront exemptes de végétation arborée. La bordure du corridor fluvial est dominée par le pin sylvestre tandis que les conditions particulières qui règnent à proximité du fleuve ne permettent que le développement de quelques peuplements de

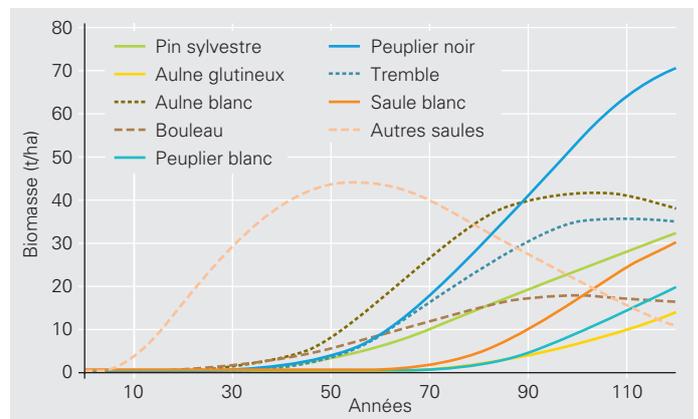


Fig. 3: Evolution du peuplement forestier dans la zone latérale 3.

saule en faible densité. Entre les deux s'installe principalement une forêt de bois tendre tout d'abord dominée par les saules puis par les aulnes et les peupliers. Contrairement à l'aulne blanc, l'aulne glutineux tarde à s'installer étant donné que la richesse nutritive du sol lui est encore insuffisante au début de la succession (Fig. 3). La zone latérale 3 ne présente pas de perte visible de biomasse au cours de la période de 100 ans considérée, ce qui signifie qu'une fois le chenal principal stabilisé, les arbres de cette zone ne sont plus susceptibles d'être arrachés, même lors de crues extrêmes.

Développements futurs de RIFOD. Le modèle élaboré par nos soins simule les tendances évolutives de la végétation alluviale et des caractéristiques qui lui sont associées (structure verticale, productivité, etc.) dans différents profils du corridor fluvial ou sous l'effet de modifications de l'écoulement (diminution du débit par une centrale au fil de l'eau par ex.). Pour augmenter la pertinence des prévisions du modèle, il est important de l'alimenter avec davantage de données quantitatives (séries dendrochronologiques mesurées dans les zones alluviales sur de longues périodes aux conditions environnementales variables par ex.) aussi bien lors de la formulation des processus que du calibrage et de la validation du modèle. Cette démarche permet de réduire encore les incertitudes liées aux paramètres et aux processus utilisés. Bien que les processus géomorphologiques ne puissent encore être pris en compte, le modèle RIFOD est d'ores et déjà en mesure de faciliter la prise de décision dans les projets de revitalisation des cours d'eau par les informations qu'il fournit. ○ ○ ○

- [1] Pearlstine L., McKellar H., Kitchens W. (1985): Modelling the impacts of a river diversion on bottomland forest communities in the Santee River floodplain. *Ecological Modelling* 29, 283-302.
- [2] Phipps R.L. (1979): Simulation of wetlands forest dynamics. *Ecological Modelling* 7, 257-288.
- [3] Glenz C. (2005): Process-based, spatially-explicit modelling of riparian forest dynamics in Central Europe – Tool for decision-making in river restoration. Thèse Nr. 3223, EPFL, Lausanne.

Revitalisation par élargissement du lit



Sigrun Rohde, architecte-paysagiste, WSL; actuellement: Département Bau, Verkehr und Umwelt (travaux publics, transports et environnement), canton d'Argovie

L'élargissement du lit des cours d'eau est une mesure de revitalisation fort appréciée. Il n'en reste pas moins que son succès «écologique» dépend fortement de la nature physique des aménagements réalisés et du site choisi. Les résultats du contrôle d'efficacité livrent des informations précieuses pour la planification et la réalisation d'élargissements futurs.

Un élargissement de cours d'eau correspond à une extension latérale locale de la largeur du lit et constitue un bon exemple de conciliation entre les objectifs de protection contre les crues et de défense de l'environnement. Les élargissements permettent d'un côté de limiter le creusement du lit et de réduire le danger d'inondation. D'un autre côté, ils offrent au cours d'eau la possibilité de développer une dynamique propre lui permettant de retrouver par lui-même un équilibre caractéristique des systèmes fluviaux. De ce fait, ils rendent possible le retour d'espèces et communautés végétales alluviales typiques. Mais comment juger du succès écologique des élargissements fluviaux?

Dans le cadre du projet «Rhône-Thur», cinq sites fluviaux ont été étudiés avant et après la réalisation d'un élargissement du chenal [1–3]: l'Emme à Aeflingen, la Thur à Gütighausen, le Rhône à Chippis et la Moesa à Grono et à Lostalio. Le choix des indicateurs (voir aussi les articles de K. Tockner et C. Weber, p. 15 et 32) a porté sur des paramètres décrivant la structure paysagère: types d'habi-

tats, diversité, surface et forme des habitats, distance entre deux surfaces occupées par un même type d'habitat, longueur de la limite entre les habitats. Nous avons d'autre part établi une liste d'espèces végétales typiquement alluviales sur la base d'une étude bibliographique et de l'avis des experts. Cette liste a ensuite servi de référence pour caractériser l'évolution de la végétation dans les zones élargies. La liste est disponible sur l'Internet [4].

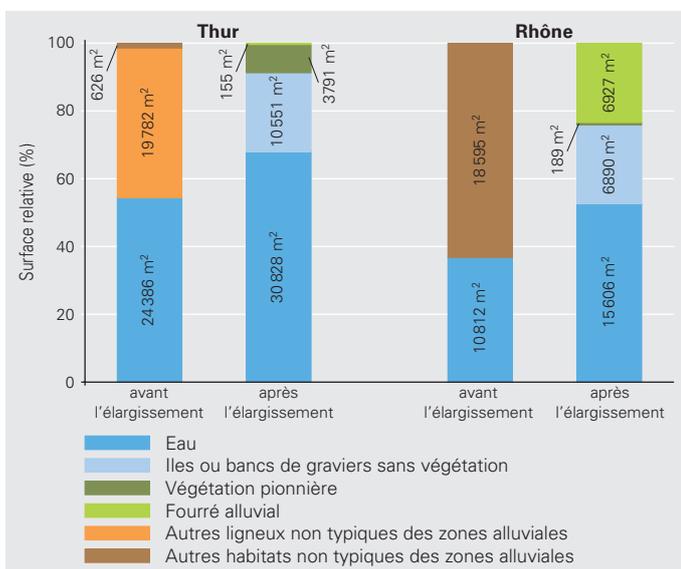
Une mosaïque de petits habitats dans les zones élargies. La figure 1 montre à titre d'exemple les types d'habitats recensés dans les tronçons revitalisés du Rhône et de la Thur avant et après élargissement du lit. Il apparaît nettement que les cours d'eau (pré)alpins à forte charge de graviers autrefois canalisés se divisent en plusieurs chenaux (tracé divagant), formant des îles et bancs de sable ou de graviers abritant différents stades de développement végétal (succession) et faisant apparaître des berges affouillées. Par contre, les fleuves et rivières présentant naturellement un tracé méandrique ont plutôt tendance à former des successions de berges concaves d'affouillement et convexes d'atterrissement. Dans le chenal lui-même, l'élargissement du corridor fluvial fait apparaître une diversité de formes de lit caractérisées par différentes profondeurs d'eau et divers modes d'écoulement.

Cependant, en raison de l'étendue limitée, aussi bien en largeur qu'en longueur, des zones élargies, seule une partie de la palette floristique potentielle des milieux alluviaux a pu être restaurée. La plupart des habitats formés sont en effet plutôt adaptés aux espèces et communautés pionnières. Le fourré alluvial n'est observable que sur de faibles étendues et la forêt alluviale reste totalement absente. Comparée à celle des zones alluviales naturelles, la mosaïque d'habitats des élargissements est dans l'ensemble plus fractionnée et plus complexe.

Une colonisation rapide par la flore pionnière typiquement alluviale. Les relevés floristiques révèlent que les élargissements peuvent contribuer de manière décisive à la conservation des espèces typiquement alluviales. En effet, pas moins de 28 espèces alluviales typiques ont été recensées dans les zones élargies de l'étude.

On entend par là des espèces dont la survie dépend en majeure partie de la présence de milieux alluviaux ou dont l'aire de distribu-

Fig. 1: Types d'habitats recensés avant et après élargissement dans les tronçons d'étude de la Thur à Gütighausen et du Rhône à Chippis avec indication de leur taille respective.



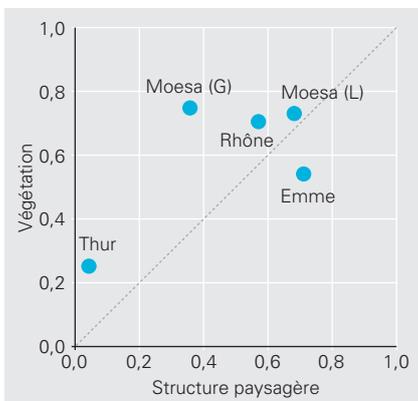


Fig. 2: Caractère naturel obtenu dans les tronçons étudiés après élargissement du corridor fluvial exprimé par un indice sans unité. Détails de calcul dans [3].
0 = état canalisé
1 = état «naturel»



C. Roulier, Service conseil Zones alluviales

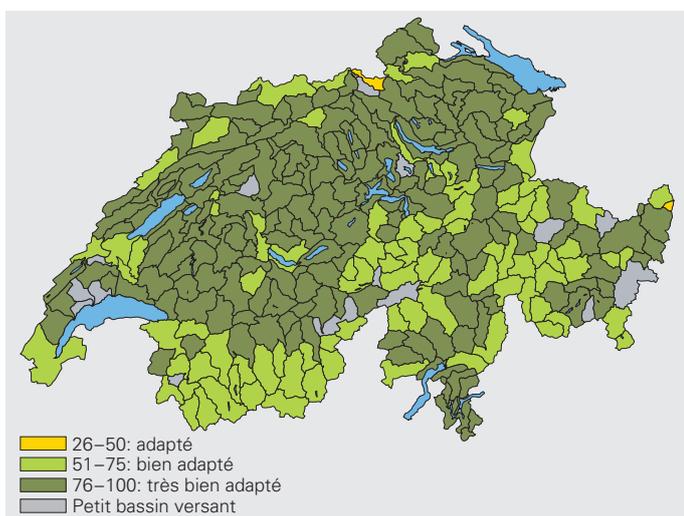
Épilobe de Fleischer (*Epilobium dodonaei*).

tion naturelle s'étend principalement sur ces zones alluviales, comme par exemple l'épilobe de Fleischer.

La plupart des 28 espèces recensées sont des espèces (pionnières) caractéristiques des bancs de graviers et des berges. Elles sont non seulement en mesure de survivre aux périodes d'assèchement mais également de supporter les submersions temporaires après lesquelles elles se régénèrent très rapidement. Les différentes espèces de saule en sont un bel exemple. A l'inverse, les végétaux qui ne sont pas adaptés aux conditions très variables et souvent totalement imprévisibles des bancs de graviers et des berges ont des difficultés à se maintenir sur ces milieux et y sont donc particulièrement rares. C'est par exemple le cas des ligneux des forêts alluviales à bois dur.

Caractère naturel des milieux obtenus. Pour évaluer le caractère naturel des cours d'eau après les élargissements réalisés, les indicateurs relevés ont été exprimés sous forme d'un indice de valeur 0 ou 1, correspondant respectivement à l'état initial corseté et à l'état final souhaité. Dans l'ensemble, les tronçons de cours d'eau

Fig. 3: Aptitude des cours d'eau aux élargissements estimée à partir de l'indice moyen d'aptitude écologique par bassin [5].



élargis présentent un caractère naturel assez élevé (Fig. 2). Les déficits encore observables par rapport aux cours d'eau de référence sont dus à une moindre diversité habitationnelle et à un plus grand fractionnement suite à l'extension tout de même limitée des élargissements. Le seul aménagement à avoir assez mal réussi du point de vue considéré est celui de la Thur. Sur le site étudié, les valeurs obtenues restent faibles: 0,23 pour la végétation et 0,03 pour la structure paysagère. Cela est notamment dû au fait que les bancs de graviers formés sont moins importants et sont donc plus souvent inondés.

L'élargissement des cours d'eau est judicieux! Le succès d'un projet de revitalisation ne dépend pas uniquement des mesures mises en œuvre mais aussi des conditions (écologiques) qui règnent dans le système fluvial concerné. Ainsi, il est souvent plus pertinent de réaliser un élargissement sur un cours d'eau modérément perturbé, les chances de succès sur un système fortement altéré pouvant être nettement réduites. Il est donc intéressant d'identifier les cours d'eau ou tronçons présentant des conditions écologiques favorables aux élargissements du corridor fluvial et promettant donc de bonnes chances de succès. Dans le cadre du projet Rhône-Thur, nous avons donc développé un indice d'aptitude écologique pour les bassins hydrologiques de la Suisse [3]. Les résultats montrent que les conditions sont favorables à très favorables aux élargissements sur l'ensemble du territoire helvétique (Fig. 3). Les détails de la stratégie à la base de l'indice d'aptitude et de son calcul sont exposés sur l'Internet [5].

- [1] Rohde S. (2005): Integrales Gewässermanagement, Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt, Synthesebericht Gerinnenaufweitungen. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 69 S. Siehe: www.rivermanagement.ch
- [2] Rohde S. (2005): Flussaufweitungen lohnen sich! Ergebnisse einer Erfolgskontrolle aus ökologischer Sicht. Wasser Energie Luft 97, 105-111. Siehe: www.rivermanagement.ch
- [3] Rohde S. (2004): River restoration: Potential and limitations to re-establish riparian landscapes. Assessment and planning. Dissertation, ETH Zurich, 127 p. Siehe: www.rhone-thur.eawag.ch/publikationen.html
- [4] www.rivermanagement.ch/download.php
- [5] www.rivermanagement.ch/aufweitungen/aufw_p7.php

Le marnage dans les cours d'eau



Tobias Meile, ingénieur civil, Laboratoire de Constructions hydrauliques LCH de l'EPF de Lausanne.

L'exploitation des centrales hydroélectriques à accumulation induit des variations brusques et fréquentes des conditions d'écoulement. Ce phénomène dit de marnage peut menacer l'intégrité écologique des cours d'eau concernés. Différentes mesures constructives ou d'exploitation peuvent être envisagées afin de réduire le marnage et ses effets.

Les centrales à accumulation fonctionnent par turbinage des eaux des retenues d'altitude vers les cours d'eau situés plus bas. Le turbinage effectué généralement en période de forte demande en électricité permet de couvrir les pointes de consommation. Ce fonctionnement se traduit dans les cours d'eau concernés par un changement fréquent et régulier entre des débits élevés et des débits faibles dont les caractéristiques diffèrent fondamentalement de celles des crues naturelles (Fig. 1).

La figure 2 indique les 44 stations hydrométriques du réseau fédéral dans lesquelles des variations de niveau dû au marnage de 10 cm ou plus ont été observées sur au moins 6 jours pendant la période allant de fin janvier à début mars 2005. Le marnage concerne principalement les cours d'eau de fond de vallée de taille moyenne à importante en zone alpine et préalpine. Ces fleuves et rivières subissent souvent d'autres contraintes d'origine anthropique telles que des rectifications et endiguements, des déversements d'effluents de stations d'épuration ou des apports de matières provenant de l'agriculture intensive pratiquée à leurs abords.

Le Plateau suisse ne compte qu'un petit nombre de centrales provoquant du marnage. Les centrales au fil de l'eau, dont les bar-

rages ne donnent en général pas lieu à des retenues importantes et/ou doivent maintenir un niveau d'eau assez constant, ne créent de marnage en aval que lors d'un arrêt d'urgence des turbines, ce qui se produit rarement. Les cours d'eau du Plateau, situés en aval des grands lacs du pourtour des Alpes qui servent de retenue naturelle et donc de tampon, sont ainsi grandement épargnés du marnage. Les centrales de pompage/turbinage ne provoquent pas non plus de marnage si le turbinage s'effectue entre deux lacs ou retenues.

Effets sur l'état des cours d'eau. Le marnage a un effet sur un certain nombre de paramètres abiotiques caractéristiques d'un cours d'eau:

- ▶ Paramètres hydrauliques: variation significative et brusque du débit, de la vitesse d'écoulement et de la tension de frottement.
- ▶ Paramètres physico-chimiques: influence sur l'évolution journalière de la température et de la turbidité de l'eau, sur sa conductivité et sur la concentration en nutriments et en polluants.
- ▶ Paramètres morphologiques: mise en mouvement d'une couche de graviers ronds, remise en suspension ou déposition de sédiments fins.

Fig. 1: Débit et taux de montée/descente du Rhône à la Porte du Scex. Comparaison d'une semaine d'octobre des années 1907 (crue automnale) et 2003 (cycles de turbinage caractéristiques) [figure extraite de 2].

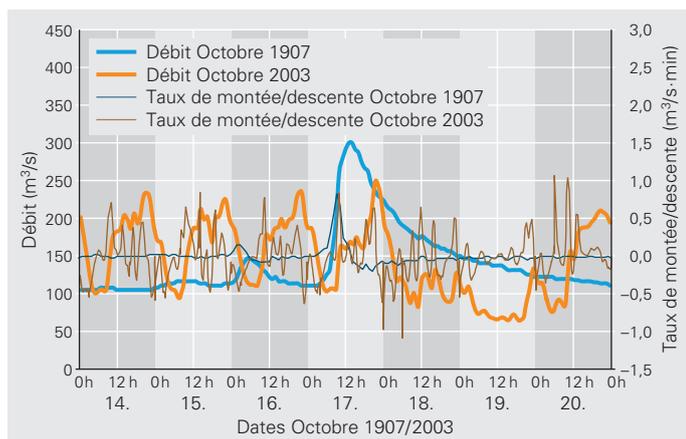
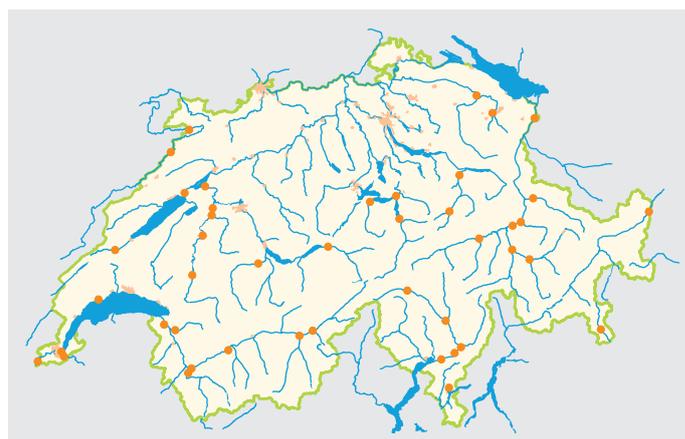


Fig. 2: Réseau hydrographique principal de la Suisse portant les 44 stations hydrométriques fédérales dont les hydrogrammes présentent des signes nets de marnage entre le 29.1.2005 et le 6.3.2005 [illustration extraite de 3].



Ces modifications d'ordre abiotique ont une influence sur les communautés biotiques. Baumann et Klaus [1] ont analysé les résultats de nombreuses études menées dans l'arc alpin concernant les effets que peut avoir le marnage sur la biologie. Des paramètres structurels décrivant l'état des biocénoses aquatiques sont les plus fréquemment étudiés. Les auteurs observent souvent une modification de la biodiversité et une réduction de l'abondance ou de la biomasse de divers groupes d'organismes (poissons, macrozoobenthos, phytobenthos). Rares sont les études qui se sont intéressées à la faune de la zone riveraine inondées à la montée des eaux et asséchées lors de leur retrait (voir l'article de M. Fette, p. 30).

Des paramètres biologiques fonctionnels ont été étudiés moins souvent que les paramètres structurels. Néanmoins, plusieurs études montrent que la densité de macrozoobenthos et de phytobenthos en dérive augmente nettement lors du lâcher des eaux turbinées. De plus, divers auteurs observent lors de la baisse subite du débit et du niveau de l'eau l'échouage des organismes aussi bien sur les berges à faible pente que dans les dépressions reliées au chenal principal (Sarine bernoise, Lech bavarois, par ex.). Ainsi, il est possible d'établir un lien direct entre le marnage et l'échouage par rapport à la dérive des organismes. Par contre, il est difficile de différencier ultérieurement entre les effets dus aux dégradations morphologiques, physico-chimiques et hydrologiques d'un cours d'eau en connaissant que la situation biologique actuelle.

Possibilités de réduction du marnage et indicateurs. Différentes mesures constructives ou d'exploitation peuvent être envisagées pour réduire le marnage (Tab. 1). Les mesures d'exploitation présentent l'inconvénient de mettre en question la rentabilité et flexibilité de la production hydroélectrique puisqu'elles empêchent les centrales à accumulation de turbiner librement pendant les pointes de consommation. D'après une étude menée sur le Rhin alpin, le manque à gagner dû aux restrictions d'exploitation était en moyenne 3,5 fois plus élevé que les coûts entraînés par la construction de bassins de compensation [4].

Afin de quantifier l'efficacité des mesures possibles pour la réduction du marnage, il est nécessaire de disposer d'indicateurs adéquats. Il s'agit de valeurs caractéristiques permettant de décrire et d'évaluer les changements de l'écoulement. Pour certains indicateurs, on dispose de valeurs indicatives fondées sur l'écologie

des cours d'eau. Ainsi, un taux maximal de descente du plan d'eau de 12 cm par heure est conseillé pour éviter l'échouage des jeunes poissons. De même, un rapport entre le débit maximum et le débit minimum de 5:1 à 2:1 est jugé généralement acceptable. Au lieu de travailler avec ces valeurs fixes, il serait plus judicieux d'adopter des valeurs indicatives qui sont spécifiques aux caractéristiques des différents cours d'eau concernés. De tels critères «sur mesure» ont été définis et utilisés sur le Rhin alpin pour l'élaboration de différents scénarios de régulation du marnage [5].

Le marnage, une contrainte supplémentaire dans la revitalisation des cours d'eau. Parmi les grands cours d'eau alpins ou pré-alpins de Suisse, près d'un quart est touché par le marnage. Les changements rapides et fréquents des conditions d'écoulement sont de ce fait un facteur à prendre en compte dans les projets de revitalisation morphologique des cours d'eau. D'éventuelles mesures de réduction de marnage doivent être adaptées de façon spécifique aux cours d'eau touchés. Des recherches supplémentaires sont encore souhaitables pour permettre une meilleure compréhension de l'interaction entre la morphologie et le marnage ainsi que de l'efficacité des mesures de réduction du marnage. Dans ce but, il est impératif de procéder au contrôle du succès des revitalisations réalisées et prévues. ○ ○ ○

Cet article reprend de manière succincte les principaux résultats du rapport de synthèse du projet Rhône-Thur sur le marnage [2].

- [1] Baumann P., Klaus I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebs. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- [2] Meile T., Schleiss A., Boillat J.-L. (2005): Entwicklung des Abflussregimes der Rhone seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts. Wasser, Energie, Luft 97, 133–142.
- [3] Meile T., Fette M., Baumann P. (2005): Synthesebericht Schwall/Sunk. Publikation des Rhone-Thur-Projekts.
- [4] Wickenhauser M., Hauenstein W., Minor H.-E. (2005): Massnahmen zur Schwallspitzenreduktion und deren Auswirkungen. Wasser, Energie, Luft 97, 29–38.
- [5] Schälchli U., Eberstaller J., Moritz C., Schmutz, S. (2003): Notwendige und wünschbare Schwallreduktion im Alpenrhein. Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz.

Tab. 1: Mesures de réduction du marnage et/ou de ses effets.

	Mesures constructives	Mesures d'exploitation
Non-restitution des eaux turbinées au cours d'eau	Rejet direct dans un lac Cours d'eau particulier ou contre-canal pour la réception des eaux turbinées	
Restitution amortie des eaux turbinées au cours d'eau	Bassins de rétention Turbinage dans la retenue d'une centrale au fil de l'eau ou d'un aménagement à buts multiples (cf. article d'A. Schleiss, p. 18)	Limitation de la puissance des centrales (Q_{max}) Augmentation du débit minimal de dotation (Q_{min}) Enclenchement /déclenchement des turbines lent et par étapes Opération anticyclique de différents aménagements
Minimisation des zones touchées par le marnage	Optimisation morphologique, restructuration du cours d'eau	

Effets du marnage sur les eaux souterraines



Markus Fette, Ingénieur en environnement, Eawag; actuellement: Meier und Partner AG, St Gall

Un élargissement du corridor fluvial est prévu en plusieurs endroits dans le cadre de la 3^{ème} correction du Rhône. Ces aménagements peuvent venir dynamiser les échanges souvent perturbés entre écoulement de surface et nappe. Mais les effets sur la qualité des eaux souterraines seront-ils positifs?

Les deux corrections de grande envergure subies par le Rhône dans les 150 dernières années ont profondément modifié sa vallée et transformé le fleuve alpin autrefois très dynamique en un chenal monotone et endigué. De manière moins visible mais tout aussi réelle, l'état des eaux souterraines a lui aussi été affecté: les échanges autrefois très actifs entre écoulement de surface et nappe sont aujourd'hui fortement limités. La variation permanente du niveau de l'eau due au fonctionnement de certaines centrales hydro-électriques (cf. article de T. Meile, p. 28) ne fait que renforcer cette tendance. Toutefois, un rétablissement des échanges entre surface et nappe suite à une revitalisation du cours d'eau pourrait avoir des répercussions négatives sur l'exploitation des eaux souterraines. Il convient donc d'apporter une attention toute particulière aux aspects hydrauliques dans le cadre des revitalisations, surtout lorsqu'elles portent sur des tronçons soumis au marnage.

Des échanges limités par l'abaissement de la nappe et le colmatage du fond du lit. En plus d'assurer une protection contre les crues, les corrections du Rhône avaient pour objectif de permettre une utilisation des marais pour l'agriculture et l'habitat. C'est pour-

quoi elles ne se sont pas limitées à canaliser le fleuve mais comprenaient également un drainage systématique de la plaine alluviale entraînant inévitablement un abaissement du niveau de la nappe. Est alors apparu un gradient hydraulique négatif entre les eaux de surface et les eaux souterraines, synonyme d'un écoulement permanent en direction de la nappe [1]. Ce courant est responsable d'un entraînement des particules fines de la surface des sédiments vers l'intérieur où elles s'accumulent et provoquent un colmatage interne du lit. En même temps, les particules plus grossières restées à la surface du lit forment une couche compacte et rigide (colmatage externe). Dans les cours d'eau non influencés, le gradient hydraulique s'inverse en conditions d'étiage, ce qui permet de désincruster le fond du lit (décolmatage). De même, les crues importantes peuvent également induire un décolmatage du fond.

On pourrait donc penser que les crues quotidiennes caractéristiques du marnage ont le même effet positif sur le colmatage des tronçons concernés. Il n'en est rien. Le marnage accentue au contraire le colmatage interne: les mouvements ascendants et descendants de faible amplitude provoqués par les variations fréquentes de courant permettent un dépôt efficace et stratifié des

Différents degrés de colmatage: rive non colmatée (Töss) et rive fortement colmatée (Rhône).



U. Schächli, Schächli, Abegg + Hunzinger

P. Baumann, Limmex AG

Détermination du colmatage

Dans le cadre du projet Rhône-Thur, nous avons développé une méthode simple permettant d'évaluer le degré de colmatage du fond et des rives à partir de mesures de température effectuées dans le cours d'eau et dans la nappe alluviale [3]. La comparaison de séries chronologiques de températures superficielle et souterraine permet d'estimer la vitesse d'infiltration par advection et donc la perméabilité K servant d'indicateur indirect de colmatage. K décrit la perméabilité des matériaux, en général les sols et les roches. Dans la nature, sa valeur est de l'ordre de 10^{-2} m/s (gravier) à 10^{-9} (argile).



Effet de marnage dans le Rhône: les variations quotidiennes du niveau de l'eau sont rendues visibles par la limite de la neige.

sédiments fins qui finissent par emplir complètement l'espace interstitiel [2].

Influence du marnage sur le colmatage dans le Rhône. Nos recherches basées sur des séries chronologiques de températures (cf. encadré) ont permis de mettre en évidence une influence du marnage sur le colmatage du Rhône. En premier lieu, le colmatage des tronçons soumis au marnage est accru. Les mesures y font état d'une baisse de perméabilité par rapport aux tronçons situés en amont des centrales (respectivement $K = 1 \times 10^{-5}$ m/s et $K = 5 \times 10^{-5}$ m/s). Nous avons d'autre part observé une zonation verticale de perméabilité sur les rives. Dans la zone inférieure de la rive, constamment immergée, les valeurs sont voisines de $K = 11 \times 10^{-6}$ m/s. Dans la zone sus-jacente, mouillée uniquement lors des débits élevés, la conductivité hydraulique est plus haute de presque deux dimensions ($K = 1,4 \times 10^{-4}$ m/s), ce qui indique un colmatage moindre.

Réunir hydroécologues et spécialistes de la protection des eaux souterraines autour d'une même table.

Les cours d'eau de surface contribuent largement à l'alimentation des réserves d'eau souterraine et permettent aujourd'hui à la Suisse de tirer près de 80 % de son eau potable des nappes souterraines. Une partie de cette eau, le filtrat de rive, est obtenue par pompage à proximité immédiate des cours d'eau et peut en général être distribuée aux ménages sans traitement particulier. Une telle qualité de l'eau peut

être atteinte grâce à l'épuration naturelle qu'elle subit lors de son passage dans le sol entre le cours d'eau et la station de pompage. Si maintenant la couche colmatée se trouve arrachée à la suite de mesures de revitalisation, la perméabilité du sous-sol augmente et l'eau atteint la station de pompage plus rapidement et donc moins bien épurée. De ce fait, la valorisation écologique du corridor fluvial peut être porteuse de risques pour la qualité des eaux souterraines. Il est donc important de réunir l'ensemble des parties impliquées au cours de la phase de planification des projets de revitalisation fluviale, ceci en vue d'une définition détaillée des caractéristiques du cours d'eau concerné: Quelle est la situation hydraulique? Le cours d'eau est-il soumis à un effet de marnage? Quelle est l'importance du colmatage du fond du lit et des rives? Existe-t-il des captages d'eau potable à proximité? Le projet de revitalisation ne pourra réussir que si les hydroécologues et les spécialistes de la protection des eaux souterraines travaillent dans le même sens.

○ ○ ○

- [1] Baumann P., Meile T. (2004): Makrozoobenthos und Hydraulik in ausgewählten Querprofilen der Rhone. *Wasser, Energie, Luft* 96 (11/12): 320–325.
- [2] Schälchli U. (1993): Die Kolmation von Fliessgewässersohlen. Prozesse und Berechnungsgrundlagen. Bericht.
- [3] Fette M. *et al.* (2005): Temperature fluctuations as natural tracer for river-groundwater interaction under hydropeaking conditions. *Journal of Hydrology*, *submitted*.

Tout est bien qui finit bien? Un outil pour contrôler les résultats



Christine Weber,
biologiste, Eawag
Coauteurs: Sharon Woolsey et Armin Peter, Eawag

Les pelleteuses ont disparu, le Gravelot est de retour, la population locale est ravie. La renaturation du cours d'eau a-t-elle donc été un succès? Le «Guide d'orientation sur le contrôle des résultats dans les projets de revitalisation fluviale» aide à répondre à cette question.

Une renaturation achevée n'est malheureusement pas toujours une renaturation réussie. Une étude américaine a ainsi montré que dans de nombreux cas, la valorisation des habitats était sans effets ou de courte durée [1]. Pourtant, de nombreux projets de revitalisation sont réalisés sans que leurs résultats soient jamais contrôlés. On ignore alors si les objectifs fixés ont été atteints et si les moyens mis à disposition ont été engagés efficacement. Cette absence de contrôle prive les projets futurs d'informations et de stimulations pourtant précieuses. En effet, les contrôles positifs ont un effet motivant et l'expérience acquise dans les projets moins bien réussis est tout à fait révélatrice. De plus, l'absence de contrôle prive de l'opportunité d'une adaptation du concept de gestion suite à la réalisation des aménagements (management adaptatif) et empêche donc de corriger les erreurs commises. Les raisons d'un manque de contrôle d'efficacité sont multiples:

- ▶ manque de moyens financiers,
- ▶ manque de clarté dans la définition des objectifs,
- ▶ peur de l'échec,

- ▶ manque d'instruments méthodologiques et d'instructions adéquates.

C'est pour combler cette dernière lacune qu'un guide d'orientation a vu le jour dans le cadre du projet Rhône-Thur, décrivant pas à pas la marche à suivre pour mener à bien le contrôle des résultats [2, 3].

Le contrôle des résultats se base en première ligne sur les objectifs fixés. Un projet de revitalisation fluviale peut poursuivre des objectifs très différents. Ils ont cependant tous en commun de décrire un état optimal devant être atteint par le biais d'une restauration des habitats. On voudra ainsi favoriser les communautés végétales typiques d'un site donné, assurer la pérennité des ressources en eau potable et créer un espace récréatif attrayant pour la population locale. Un projet durable n'aura jamais un objectif unique. Il cherchera au contraire à traiter les trois aspects du développement durable de manière équitable (Fig. 1).

Le contrôle des résultats a pour but de vérifier la bonne atteinte des différents objectifs fixés. Etant donné la multitude des objec-

Exemple d'indicateur: la longueur de la ligne de rive

La longueur de la limite entre l'eau et le milieu terrestre est utilisée comme critère d'évaluation de la connectivité latérale. Plus cette limite est longue, plus l'état du cours d'eau est considéré naturel.

Comment se sert-on concrètement de cet indicateur dans le contrôle des résultats?

La démarche peut être expliquée à partir des données caractéristiques de l'élargissement de la Thur à Schöffäuli.

- ▶ Relevé des données: Trois valeurs sont déterminées. La valeur de référence correspond à la longueur de la ligne de rive par kilomètre de linéaire avant l'endiguement et la rectification de la rivière. Elle est calculée à partir de cartes historiques. Pour la Thur, cette valeur est de 4,47 km/km (Carte Wild du canton de Zurich, 1862). Sur le terrain, la longueur de la ligne de rive est mesurée avant et après la revitalisation. La valeur initiale est de 2,00 km/km, la valeur finale de 2,90 km/km.

- ▶ Standardisation: Les valeurs initiale et finale sont divisées par la valeur de référence et transformées en valeurs standardisées sans dimension à l'aide de la fonction indiquée ci-contre. La valeur de l'indicateur est alors de 0 avant l'élargissement et de 0,4 après.

- ▶ Evaluation: Les valeurs de l'indicateur sont comparées entre elles dans la matrice d'évaluation (Fig. 3), ce qui permet de juger du succès ou de l'échec des mesures engagées. En ce qui concerne la ligne de rive, l'élargissement de Schöffäuli peut alors être considéré comme un petit succès.

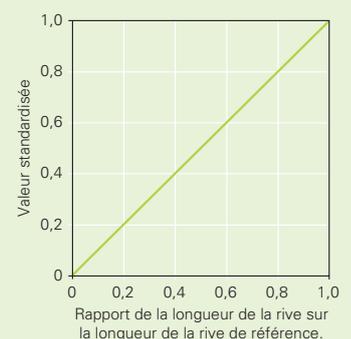


Fig. 1: Objectifs possibles d'un projet de revitalisation fluviale répartis en trois domaines du développement durable [5]. Les objectifs en italique sont traités plus en détail dans le guide.

tifs potentiels, le guide du contrôle des résultats se concentre sur 14 objectifs (en italique dans la figure 1), la plupart se situant dans le domaine «Environnement et écologie». Le guide aborde d'autre part le domaine de la mise en œuvre des projets au travers des objectifs «Acceptation politique» et «Participation des acteurs».

Evaluer les objectifs à l'aide d'indicateurs. Lors de la formulation des objectifs d'une revitalisation fluviale, il est important de veiller à ce qu'ils soient évaluables. Cette évaluation est basée sur des grandeurs concrètes utiles en pratique appelées indicateurs. Ceux-ci doivent être facile à mesurer et à interpréter, peu onéreux et non destructifs [4].

Il est d'autre part nécessaire de disposer de valeurs de référence pour chacun des indicateurs. Ces valeurs sont déduites de systèmes de référence et décrivent l'état optimal que l'on cherche à atteindre par la revitalisation. Dans l'idéal, les systèmes de référence sont des tronçons de rivière naturels ou peu influencés appartenant à la même zone géographique. Ce type de tronçon est malheureusement très difficile à trouver, notamment dans les zones très anthropisées du Plateau suisse. On se replie alors sur des références historiques lorsqu'elles sont disponibles. Il peut par exemple s'agir d'anciennes cartes montrant le tracé d'origine du cours d'eau ou d'anciens relevés faunistiques et floristiques indiquant les espèces originellement présentes. Il est également possible d'utiliser un système de référence théorique basé sur des conceptions hydroécologiques et des connaissances scientifiques générales – ce qui implique toutefois une certaine marge d'interprétation.

Le Guide du contrôle des résultats décrit un total de 50 indicateurs ainsi que leurs valeurs de référence. Il renferme d'autre part des informations importantes pour la réalisation des relevés, notamment une description des méthodes de prélèvement ou d'observation et une indication du temps qui leur est nécessaire. De nombreux indicateurs, comme par exemple la longueur de la ligne de rive (cf. encadré), ont été spécialement développés pour les besoins du guide. D'autres sont basés sur des méthodes déjà bien établies au niveau international. Chaque indicateur caractérise un ou plusieurs objectifs du projet: ainsi, l'indicateur «Poissons - Présence et fréquence des espèces» donne une mesure directe de l'objectif «Diversité et abondance de la faune proches des conditions naturelles»; en même temps, les différentes espèces de poissons présentes donnent une indication de l'état de la continuité longitudinale du corridor fluvial (présence ou absence d'espè-

Société: protection et exploitation	Environnement et écologie	Economie
Protection douce et durable contre les crues <i>Durabilité de l'approvisionnement en eau potable</i> <i>Forte valeur récréative</i>	Régime d'écoulement proche des conditions naturelles <i>Variabilité morphologique et hydraulique</i> <i>Charriage proche des conditions naturelles</i> <i>Régime de température proche des conditions naturelles</i> <i>Connectivité longitudinale</i> <i>Connectivité latérale</i> <i>Connectivité verticale</i> Qualité de l'eau proche de l'état naturel <i>Diversité et abondance de la flore proches des conditions naturelles</i> <i>Diversité et abondance de la faune proches des conditions naturelles</i> <i>Viabilité des cycles organiques</i>	<i>Respect des impératifs budgétaire</i> Création d'emplois Augmentation de la valeur immobilière

Objectifs							Indicateurs
Fortes valeurs récréatives	Variabilité morphologique et hydraulique	Charriage proche des conditions naturelles	Connectivité longitudinale	Diversité et abondance de la flore proches des conditions naturelles	Diversité et abondance de la faune proches des conditions naturelles	Viabilité des cycles organiques	
							Perméabilité à la migration des poissons
							Structure d'âge des populations piscicoles
							Présence et fréquence des espèces
							Groupes écologiques de poissons
							Espèces végétales typiquement alluviales
							Composition et colonisation des matériaux et débris flottants
							Variabilité de la vitesse d'écoulement
							Variabilité de la profondeur maximale de l'écoulement
							Charriage
							Nombre de visiteurs
							Degré d'acceptation du projet par les différents groupes d'intérêts
							Degré de satisfaction des groupes d'intérêts vis-à-vis de la participation et du processus de prise de décision
							Coûts engendrés par le projet

Fig. 2: Set d'indicateurs recommandé pour le contrôle de l'efficacité des mesures visant le rétablissement de la connectivité longitudinale.

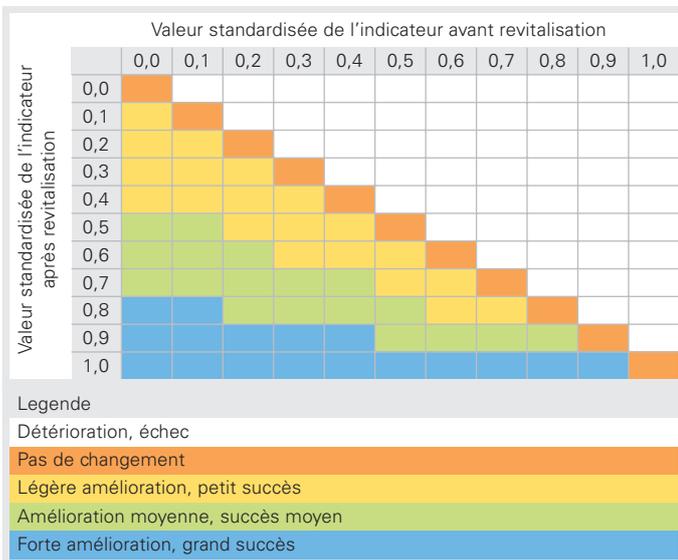
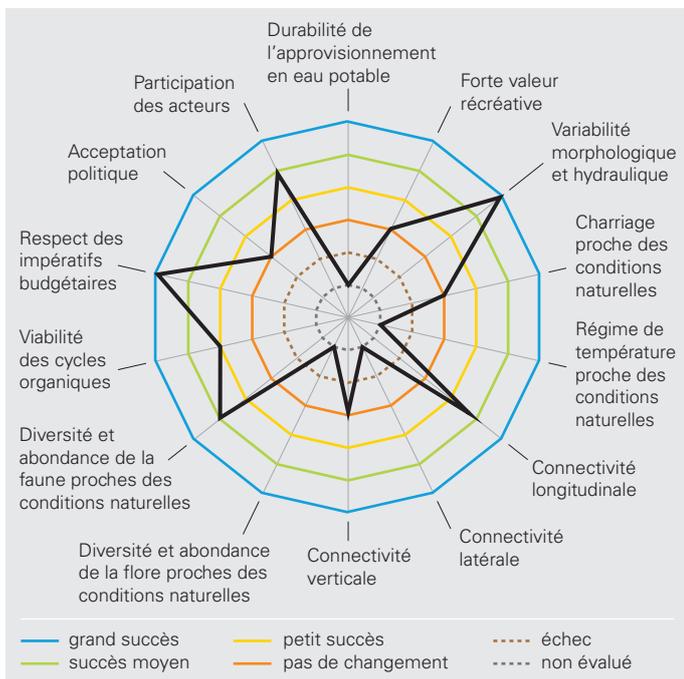


Fig. 3: Matrice servant à l'évaluation du succès du projet de revitalisation fluviale.

ces migratrices). Chaque objectif est ainsi évalué, si possible, par plusieurs indicateurs (Fig. 2).

Standardisation des indicateurs et évaluation du succès. Les différents indicateurs sont exprimés en unités spécifiques comme par exemple le nombre d'individus par m² ou le nombre de francs. Pour que les différentes grandeurs puissent être réunies dans une évaluation globale, il est nécessaire de les convertir en grandeurs

Fig. 4: Résultats d'un contrôle de réussite fictif représentés par un diagramme radar.



standardisées sans dimension. Elles se voient alors attribuer une valeur comprise entre 0 et 1 qui correspond au caractère naturel ou au degré de satisfaction du paramètre concerné. Pour la plupart des indicateurs, le caractère naturel de l'état atteint est déterminé au moyen d'une fonction mathématique de standardisation (cf. encadré). Lorsque cette démarche ne peut être adoptée, le caractère naturel est évalué à partir de plusieurs critères de façon semi-quantitative ou qualitative.

Pour pouvoir constater une modification suite à une revitalisation fluviale, il faut disposer d'au moins deux points de comparaison. Le premier décrit le caractère naturel du milieu avant la réalisation des aménagements (état initial), le second correspondant à la situation après revitalisation (état final). Cette comparaison avant/après des indicateurs standardisés est toute la mission du contrôle des résultats. Elle est effectuée à l'aide d'une matrice d'évaluation (Fig. 3). Cinq catégories de succès sont définies en fonction de l'évolution de la valeur standardisée. La notation tient alors compte non seulement de l'amplitude et du sens de la variation mais, également de la valeur du point de départ. Ainsi, selon l'état initial, une augmentation de la valeur standardisée de 0,3 points sera considérée comme un petit succès (de 0,1 à 0,4 par ex.) ou comme un succès moyen (de 0,5 à 0,8 par ex.) (Fig. 4).

La matrice d'évaluation peut être utilisée aussi bien pour un indicateur isolé que pour l'ensemble des indicateurs d'un objectif donné. On considèrera pour cela la moyenne des valeurs initiales et finales des indicateurs à regrouper. Etant donné que le domaine «Environnement et écologie» comprend un grand nombre d'objectifs difficiles à évaluer dans leur globalité, on pourra procéder à un regroupement supplémentaire sur la base de critères qualitatifs.

Pour simplifier les étapes du contrôle des résultats, le Guide comprend également un fichier Excel.

Uniformisation et simplification du contrôle des résultats. Le Guide est délibérément conçu comme un instrument de travail et constitue un premier pas vers une uniformisation du contrôle des résultats en Suisse. Après une phase d'application de deux à trois ans, il est prévu d'établir un premier bilan et de corriger ou de compléter le guide si nécessaire. ○ ○ ○

- [1] Frissell C.A., Nawa, R.K. (1992): Incidence and causes of physical failure of artificial habitat structures in streams of western Oregon and Washington. *North American Journal of Fisheries Management* 12, 182–197.
- [2] Woolsey S., Weber C., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Roulier C., Schweizer S., Tiegs S., Tockner K., Peter A. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur-Projekts. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 112 S.
- [3] Woolsey S., Capelli F., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Paetzold A., Roulier C., Schweizer S., Tiegs S., Tockner K., Weber C., Peter A.: Assessing river restoration: Indicator selection based on project objectives (submitted).
- [4] Angermeier P.L., Karr J.R., (1994): Biological integrity versus biological diversity as policy directives. *BioScience* 44, 690–697.
- [5] OFEV (2001): Protection contre les crues des cours d'eau, Directives 2001. OFEV, Berne, 73 p. www.bwg.admin.ch/service/download/ff/

Conclusions

Le projet Rhône-Thur vu par les Thurgoviens

La collaboration entre scientifiques, chercheurs et praticiens a constitué pour moi un vrai défi tout en étant particulièrement intéressante et instructive. La particularité de ce projet a été de développer méthodes et instruments sur le terrain, sur l'objet lui-même. Le projet doit encore faire ses preuves, aussi bien sur d'autres cours d'eau que dans la pratique. De ce point de vue, il n'est donc pas encore achevé. Je souhaite ici formuler une requête à l'adresse des services des eaux des cantons et des hydrauliciens: utilisez dans vos prochains projets les guides d'orientation et les instruments développés et exprimez vos critiques pour qu'ils puissent être améliorés.

Le projet Rhône-Thur a rassemblé de nombreuses disciplines scientifiques, techniques et sociales, favorisant la création de réseaux et de plates-formes de discussion seuls garants d'une collaboration efficace. Se rencontrer, travailler ensemble, apprendre ensemble. Interdisciplinarité, ouverture d'esprit, connectivité. Telles sont les marques de fabrique du projet Rhône-Thur.

Deux aspects m'ont paru particulièrement importants:

► Les résultats des études socio-économiques: Que se passe-t-il «à côté» du projet lui-même? Quels facteurs influencent-ils les projets d'ingénierie fluviale? Chaque projet est placé dans un contexte historique, politique et territorial particulier. La prise en compte de cet état de fait ne simplifiera certainement pas le processus de planification mais très certainement les négociations avec les parties concernées.

► La possibilité d'appliquer directement dans la recherche les idées issues de la pratique. Le cas du castor en est une bonne illustration. A l'instigation de la pratique, un travail de diplôme a vu le jour dont les résultats ont ensuite été présentés lors d'un débat du Grand conseil. ○ ○ ○



Marco Baumann, Chef du Département d'économie des eaux et des constructions hydrauliques de l'Office de l'environnement du canton de Thurgovie.

Il est besoin d'instruments simples

La Fondation pour la pratique environnementale en Suisse PUSCH milite pour l'application de mesures concrètes en faveur de l'environnement. Elle s'adresse pour cela aux représentants des autorités et organisations locales. Un aspect nous occupe encore et toujours: Comment motiver les acteurs locaux à agir en faveur de l'environnement, par exemple en restaurant un cours d'eau ou en le ressortant de terre? Quels arguments peuvent les convaincre?

Il faut tout d'abord savoir si le cours d'eau et ses abords appartiennent au domaine public ou privé. Il est permis d'espérer des pouvoirs publics qu'ils se préoccupent de la nature, du paysage et des habitats. Ils y sont tout de même contraints par la loi.

Par contre, le propriétaire privé ou l'agriculteur s'y intéresse généralement assez peu. Les aspects financiers et pratiques sont plutôt au centre de ses préoccupations. Pourra-t-il continuer d'exploiter efficacement son bien? Doit-il s'attendre à des pertes de production ou à un manque à gagner? Si oui, comment va-t-il les compenser?

En complément des résultats de recherche présentés dans ce numéro, deux besoins supplémentaires se font sentir: il nous faut des instruments de planification et d'évaluation satisfaisant aux exigences scientifiques tout en étant suffisamment simples pour être assez facilement applicables aux projets aussi petits soient-ils. D'autre part, un set d'arguments et d'exemples types serait fort utile pour convaincre les propriétaires terriens et agriculteurs a priori peu intéressés par les questions environnementales. Ces documents doivent cependant être assez honnêtes pour ne pas cacher les inconvénients des projets. ○ ○ ○



Ion Karagounis, Secrétaire général de la Fondation pour la pratique environnementale en Suisse PUSCH

Un atelier de développement des cours d'eau

L'homme aménage les cours d'eau selon ses désirs. En Suisse, les intérêts étaient focalisés sur l'exploitation des eaux et la protection contre les crues jusqu'aux années 1980. Les préoccupations d'ordre écologique ou esthétique étaient rarement prises en compte. Les hydrauliciens livraient la technique et les corrections de cours d'eau étaient réalisées selon l'avis des experts. Les choses ont beaucoup évolué au cours des 20 dernières années.

Aujourd'hui, on commence de plus en plus souvent par définir les fonctions que le cours d'eau devra remplir à l'avenir. Quel poids les aspects écologiques, récréatifs, touristiques, agricole sauront-ils? Quel rôle le besoin en eau potable ou en énergie hydroélectrique jouera-t-il? Faudra-t-il tenir compte de plusieurs aspects à la fois? Ces questions ne sont plus traitées par les seuls experts mais discutées par l'ensemble des intéressés. Ceci nécessite de nouvelles approches pour l'évaluation des options de développement des cours d'eau.

Pour soutenir cette démarche novatrice, des bases scientifiques et méthodologiques ont été élaborées et testées dans le cadre du projet Rhône-Thur. L'accent a été mis sur les instruments de prévision et de contrôle des effets des mesures envisagées ou décidées ainsi que sur la conduite de la prise de décision avec participation des principaux acteurs et intéressés.

La nouvelle approche repose sur un travail concerté des différentes disciplines et groupes d'intérêts. Cette «transdisciplinarité» constitue un réel défi pour les scientifiques. L'Eawag souhaite devenir une sorte d'atelier de développement intégrale des cours d'eau. Cet atelier est dépendant de partenariats solides. Nous nous appliquerons à les développer dans les années à venir – au niveau scientifique et au-delà. ○ ○ ○



Ueli Bundi, Directeur ad interim de l'Eawag

Publications du projet Rhône-Thur

La présente liste n'est pas exhaustive. Il existe en effet d'autres publications jusqu'à la mi 2007.

La plupart des publications est disponible au format pdf: www.rhone-thur.eawag.ch/publikationen.html et www.rivermanagement.ch

Rapports de synthèse

Hostmann M., Buchecker M., Ejderyan O., Geiser U., Junker B., Schweizer S., Truffer B., Zaugg Stern M. (2005): Wasserbauprojekte gemeinsam planen. Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. Publikation des Rhone-Thur-Projekts, 48 S.

Meile T., Baumann P. Fette M. (2005): Synthesebericht Schwall-Sunk. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. Publikation des Rhone-Thur Projekts, 48 S.

Rohde S. (2005): Integrales Gewässermanagement, Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt, Synthesebericht Gerinneaufweitungen. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 69 S.

Vetsch D., Fäh R., Farshi D., Müller R., Minor H.-E. (2005): Basement – Synthesebericht Teil A: Einleitung und Softwaretechnische Aspekte. VAW/ETH Zürich.

Vetsch D., Fäh R., Farshi D., Müller R. (2005): Basement – Synthesebericht Teil B: Implementierte Modelle für Hydraulik und Sedimenttransport. VAW/ETH Zürich.

Vetsch D., Fäh R., Farshi D., Müller R., Minor H.-E. (2005): Basement – System manuals: user, reference and development. VAW/ETH Zürich.

Woolsey S., Weber C., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Roulier C., Schweizer S., Tiegs S., Peter A. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur Projekts. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 112 S.

Rapports finaux

Baumann P. (2004): Revitalisierung und Benthos der Rhone. Schlussbericht SP I-6, Rhone-Thur-Projekt, Eawag, WSL, Linnex AG, 120 S.

Baumann P., Meile T. (2004): Makrozoobenthos und Hydraulik in ausgewählten Querprofilen der Rhone. Wasser, Energie, Luft 96, 320–325.

Chevre Ph. (2004): Influence de la macro-rugosité d'un enrochement sur la charriage et l'érosion en courbe. Communication du Laboratoire de Constructions Hydrauliques N° 19, LCH – EPFL, Editeur: A. Schleiss.

Fette M., Hoehn E., Wehrli B. (2004): Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser. Wasser, Energie, Luft 96, 301–304.

Imhof B., Baumann P., Portmann M. (2004): Schwebstoffe in der Rhone von 1904 bis 2003. Wasser, Energie, Luft 96, 318–319.

Meier W., Wüest A. (2004): Wie verändert die hydroelektrische Nutzung die Wassertemperatur der Rhone? Wasser, Energie, Luft 96, 305–308.

Meier W., Frey M., Moosmann L., Steinlin S., Wüest A. (2004): Schlussbericht Rhone Ist-Zustand. Rhone-Thur-Projekt, Subprojekt I-2: Wassertemperaturen und Wärmehaushalt der Rhone und ihrer Seitenbäche. Eawag, Kastanienbaum, 102 S.

Peter A., Weber C. (2004): Die Rhone als Lebensraum für Fische. Wasser, Energie, Luft 96, 326–330.

Portmann M., Baumann P., Imhof B. (2004): Schwebstoffhaushalt und Trübung der Rhone. Publikation des Rhone-Thur-Projekts. 42 S.

Roulier C., Vadi G. (2004): Erfolgskontrolle der Vegetationsdynamik. Wasser, Energie, Luft 96, 309–314.

Tockner K., Karas U., Paetzold A., Blaser S. (2004): Ökologischer Zustand der Rhone: Benthische Evertrebraten und Uferfauna. Wasser, Energie, Luft 96, 315–317.

D'autres rapports et articles

Borsuk M.E., Reichert P., Peter A., Schager E., Burkhardt-Holm P. (2006): Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. Ecological Modelling 192, 224–244.

Chevre Ph., Schleiss A. (2005): Einfluss der Makrorauigkeit eines geschlängelten Blockwurfes auf den Sedimenttransport und Kolkerscheinungen. Wasser, Energie, Luft 97, 154–158.

Coops H., Tockner K., Amoros C., Hein T., Quinn G. (2005): Science-based management of large river-floodplains. In: J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink, D.F. Whigham (eds) Wetlands as a natural resource. Volume 1. Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies Vol AAA. Springer, Berlin.

Ejderyan O. (2004): Science «d'jà faite» et science «en train de se faire» dans un processus participatif de prise de décision. Le cas de la renaturation de la Seymaz dans le canton de Genève. In: H.-J. Scarwell, M. Franchomme (dir.). Contraintes environnementales et gouvernance des territoires. La Tour d'Aigues. Éditions de l'Aube, p. 309–316.

Fette M., Kipfer R., Schubert C.J., Hoehn E., Wehrli B. (2005): Assessing river-groundwater exchange in the regulated Rhone River (Switzerland)

using stable isotopes and geochemical tracers. Applied Geochemistry 20, 701–712.

Fette M., Weber C., Peter A., Wehrli B. (2006): Hydropower production and river rehabilitation: A case study on an alpine river. Environmental Modeling and Assessment (in press).

Farshi D., Komaei S. (2005): Finite volume model for two-dimensional shallow water flows on unstructured grids. Journal of Hydraulic Engineering 131, 1147–1148.

Farshi D., Minor H.-E. (2004): A finite volume method for solving SWE in rivers on complex topographies. Hydraulics of Dams and River Structures, ISBN 90-5809-632-7.

Frey M., Schmid M., Wüest A. (2003): Einfluss von Aufweitungen auf das Temperaturregime der Thur. Eawag, Kastanienbaum, 36 S.

Frey M., Moosmann L., Meier W. (2003): Bericht über die Messung in den Stauseen: Lac des Dix, Lac de Mauvoisin und Lac d'Emosson. Eawag, Kastanienbaum, 11 S.

Heller Ph. (2006): Analyse et objectifs de gestion d'un aménagement hydraulique fluvial à buts multiples. Wasser, Energie, Luft 98, 10–15.

Hostmann M., Bernauer T., Mosler, H.J., Reichert P., Truffer B. (2006): Multi-attribute value theory as a framework for conflict resolution in river rehabilitation. Journal of Multiple Criteria Decision Analysis (in press).

Hostmann M., Borsuk M., Reichert P., Truffer B. (2005): Stakeholder values in decision support of river rehabilitation. Large Rivers 15, No 1-4, Archiv für Hydrobiologie Suppl. 155/1-4, 491–505.

Jansson R., Backx H., Boulton A.J., Dixon M., Dudgeon D., Hughes F.M.R., Nakamura K., Stanley E.H., Tockner K. (2005): Stating mechanisms and refining criteria for ecologically successful river restoration: a comment on Palmer *et al.* (2005). Journal of Applied Ecology 42, 218–222.

Kienast F., Peter A., Geiser U. (2004): Wasserbauer werden zu Moderatoren. Raum und Umwelt: Revitalisierung von Flussläufen. Kommunalmagazin, Nr. 10, 4 S.

Küttel S., Peter A., Wüest A. (2002): Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer. Eawag, Kastanienbaum, 39 S.

Meile T., Schleiss A., Boillat J.-L. (2005): Entwicklung des Abflussregimes der Rhone seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts, Wasser, Energie, Luft 97, 133–142.

- Meile T.** (2005): Flussbauliche Massnahmen zur Verminderung von Schwall- und Sunkerscheinungen infolge Kraftwerkbetrieb. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Technische Universität Graz 43, 85–90.
- Nakamura K., Tockner K.** (2006): River and wetland restoration: Lessons from Japan. *BioScience* (in press).
- Paetzold A., Langhans S., Sadler J.P., Findlay S., Tockner K.** (2006): Aquatic-terrestrial interactions along river corridors. In: P.J. Wood, D.M. Hannah, J.P. Sadler (eds.) *Hydroecology and Ecohydrology: Past, Present and Future*. Wiley.
- Paetzold A., Bernet J., Tockner K.** (2006): Consumer-specific responses to riverine subsidy pulses in a riparian arthropod assemblage. *Freshwater Biology* (in press).
- Paetzold A., Schubert C.J., Tockner K.** (2005): Aquatic-terrestrial linkages along a braided-river: Riparian arthropods feeding on aquatic insects. *Ecosystems* 8, 748–759.
- Paetzold A., Tockner K.** (2005): Effects of riparian arthropod predation on the biomass and abundance of aquatic insect emergence. *Journal of the North American Benthological Society* 24, 395–402.
- Peter A., Kienast F., Woolsey S.** (2005): River rehabilitation in Switzerland: scope, challenges and research. *Large Rivers* 15. No. 1-4, Archiv für Hydrobiologie Suppl. 155/1-4, 643–656.
- Reichert P., Borsuk M., Hostmann M., Schweizer S., Spörri C., Tockner K., Truffer B.** (2006): Concepts of decision support for river rehabilitation. *Environmental Modelling and Software* (in press).
- Rohde S.** (2005): Flussaufweitungen lohnen sich! Ergebnisse einer Erfolgskontrolle aus ökologischer Sicht. *Wasser, Energie, Luft* 97, 105–112.
- Rohde S.** (2005): Hochwasserschutz und Ökologie. *Natur und Mensch* 4, 11–18.
- Rohde S., Kienast F., Bürgi M.** (2004): Assessing the restoration success of river widenings: A landscape approach. *Environmental Management* 34, 574–589.
- Rohde S., Schütz M., Englmaier P.** (2005): River widening: an approach to restoring riparian habitats and plant species. *River research and applications* 21, 1075–1094.
- Rohde S., Hostmann M., Peter A., Ewald K.C.** (2005): Room for rivers: An integrative search strategy for floodplain restoration. *Landscape and Urban planning* (in press). Available online 21 November 2005
- Schager E., Peter A.** (2005): Bedrohte strömungsliebende Cypriniden in der Thur: Status und Zukunft. Studie im Auftrag von: AWEL Zürich, Departement für Bau und Umwelt Thurgau, Amt für Jagd und Fischerei St. Gallen. Eawag, Kastanienbaum, 76 S.
- Schleiss A.** (2005): Flussbauliche Hochwasserschutzmassnahmen und Verbesserung der Gewässerökologie – Vorschlag eines hydraulisch-morphologischen Vielfältigkeitsindex. *Wasser, Energie, Luft* 97, 195–200.
- Schleiss A.** (2006): Mögliche Synergien zwischen Hochwasserschutz, Flussrevitalisierung und Wasserkraft dank innovativer Mehrzweckprojekte. *Wasser, Energie, Luft* 98, 3–9.
- Schleiss A.** (2005): Mögliche Synergien zwischen Hochwasserschutz, Flussrevitalisierung und Wasserkraft dank innovativer Mehrzweckprojekte. Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet des Hochwasserschutzes – Konferenz über angewandte Forschung im Rahmen der 3. Rhonekorrektur, Martigny, Communications du Laboratoire de Constructions Hydrauliques Nr. 21, LCH – EPFL, 155-169.
- Tockner K.** (2003): Totholz – entsorgungspflichtig oder wertvoll? *Petri Heil* 43.
- Tockner K.** (2005): Linking pattern and processes along river corridors. In G.E. Petts, B. Kennedy (eds.) *Emerging concepts for integrating human and water needs in river basin management*. Birmingham, UK p.14–20.
- Tockner K., Langhans S.** (2003): Die ökologische Bedeutung des Schwemmgutes. *Wasser, Energie, Luft* 95, 353–354.
- Tockner K., Peter A.** (2003): Totholz und Schwemmgut. *Wasser, Energie, Luft* 95, 352–374.
- Tockner K., Peter A.** (2002): Totholz spielt im Ökosystem der Gewässer eine wichtige Rolle. *Kommunalmagazin* 10, 31.
- Tockner K. et al.** (2003): The Tagliamento River: A model ecosystem of European importance. *Aquatic Sciences* 65, 239–253.
- Tockner K., Paetzold A., Karaus U., Claret C., Zettel J.** (2006): Ecology of braided rivers. In: G.H. Sambrook Smith, J.L. Best, C. Bristow, G.E. Petts (eds.) *Braided Rivers*. IAS Special Publication, Blackwell Science, Oxford (in press).
- Tockner K., Paetzold A., Karaus U., Claret C., Zettel J.** (2004): Ecology of braided rivers. IAS Special Publication, 51 p.
- Vadi G., Roulier C., Gobat J.-M.** (2006): Erfolgskontrolle der Vegetationsdynamik. Thur: Stand der Forschung 2005. *Wasser, Energie, Luft* (im Druck).
- Vetsch D., Fäh R., Farshi D., Müller R.** (2005): BASEMENT – Ein objektorientiertes Softwaresystem zur numerischen Simulation von Naturgefahren. Mitteilung der VAW Nr. 190, ETH Zürich, 201–212.
- Zaugg M.** (2002): More Space for running waters: Negotiating institutional change in the Swiss flood protection system. *GeoJournal* 58, 275–284.
- Zaugg M.** (2003): Mehr Raum den Fliessgewässern – Der Weg zu einem nachhaltigen Hochwasserschutz. *GAIA* 3, 201–207.
- Zaugg Stern M.** (2006): Philosophiewandel im schweizerischen Wasserbau. Zur Vollzugspraxis des nachhaltigen Hochwasserschutzes. Schriftenreihe Humangeographie, Bd. 20. Zürich: GIUZ.
- Zaugg M., Ejderyan O., Geiser U.** (2004): Normen, Kontext und konkrete Praxis des kantonalen Wasserbaus. Resultate einer Umfrage zu den Rahmenbedingungen der kantonalen Ämter oder Fachstellen für Wasserbau bei der Umsetzung der eidgenössischen Wasserbaugesetzgebung. Schriftenreihe Humangeographie, Bd. 19, 96 S.

Dissertations

Bratrich C. (2004): Kennzeichen erfolgreicher Revitalisierungsprojekte: Planung, Bewertung und Entscheidungsprozesse im Fliessgewässer Management. ETH Zürich und Eawag Kastanienbaum, 343 S.

Fette M. (2005): Tracer Studies of River-Groundwater Interaction under Hydropeaking Conditions. ETH Zurich and Eawag Kastanienbaum, 117 p.

Glenz C. (2005): Process-based, spatially-explicit modelling of riparian forest dynamics in Central Europe – Tool for decisionmaking in river restoration. EPF Lausanne, 220 p.

Hostmann M. (2005): Decision support for river rehabilitation. ETH Zurich and Eawag Kastanienbaum, 170 p.

Karaus U., Guillon H., Tockner K. (2004): The contribution of lateral aquatic habitats to macroinvertebrate diversity along river corridors. In: U. Karaus, *The ecology of lateral aquatic habitats along river corridors*. Diss. ETH Zurich.

Paetzold A. (2005): Life at the edge – aquatic and terrestrial interactions along river corridors. ETH Zurich and Eawag Dübendorf.

Rohde S. (2004): River restoration: Potential and limitations to re-establish riparian landscapes. Assessment & Planning. ETH Zurich and WSL Birmensdorf, 133 p.

Zaugg M. (2005): Mehr Raum den Fliessgewässern! Eine strukturtheoretische Analyse des institutionellen Wandels im schweizerischen Hochwasserschutz seit den 1970er Jahren. Universität Zürich, Zürich: GIUZ.

Publications

Liste non exhaustive. Celles-ci et toutes les autres publications de l'Eawag sont disponibles au format pdf: <http://library.eawag.ch/ris/risweb.isa>
Recherche par auteur, titre ou mot-clé. Pour tout renseignement: bibliothek@eawag.ch

- [4410] **Meier W.K., Reichert P.** (2005): Mountain streams – modeling hydraulics and substance transport. *J. Environ. Eng.-ASCE* 131, (2), 252–261.
- [4411] **Reichert P.** (2005): UNCSIM – a computer programme for statistical inference and sensitivity, identifiability, and uncertainty analysis. In: «Proceedings of the 2005 European Simulation and Modelling Conference (ESM 2005)», (Eds.). Porto, Portugal, 51–55.
- [4412] **Mieleitner J., Reichert P.** (2005): Modelling functional groups of algae in Lake Zürich. In: «Proceedings of the 2005 European Simulation and Modelling Conference (ESM 2005)», (Eds.). Porto, Portugal, 256–261.
- [4418] **Holtmann X., Bader H.-P., Scheidegger R.R.W.** (2005): SIMBOX-FUZZY: ein Tool zur Bewertung von Stoffflüssen basierend auf unscharfem Wissen. In: «Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften, Workshop Dresden», J. Wittmann X.N. Thinh (Eds.). Shaker Verlag Aachen, 11.
- [4419] **Lorke A., Wüest A.** (2005): Application of coherent ADCP for turbulence measurements in the bottom boundary layer. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 22, (11), 1821–1828.
- [4420] **Trang P.T.K., Van N., Mui, Viet P.H., Berg M., Tanabe S.** (2005): Arsenic species in urine samples collected from individuals using arsenic polluted ground water in Vietnam. *Proceedings of the Bao cao Khoa hoc, Hoi nghi Toan, Hanoi, Vietnam* 807–811.
- [4421] **McCracken K.G., Beer J., McDonald F.B.** (2005): The long-term variability of the cosmic radiation intensity at earth as recorded by the cosmogenic nuclides. In: «The solar system and beyond the years of ISSI», J. Geiss B. Hultqvist (Eds.). ESA Publications Divisions, The Netherlands, 83–98.
- [4422] **Trang P.T.K., Berg M., Hue N.T.M., Nhat V.M.L., Hong B., Dau P.T., Hao T.T., Mui N.V., Viet P.H.** (2005): Chronic arsenic intoxication from tubewell water at some areas in the Red River and Mekong River Deltas. *Vietnam Journal of Practical Medicine* 9, (519), 14–17.
- [4423] **Ha C.T., Chieu L.V., Khoi N.V., Mat B.V., Anh N.N., Berg M.** (2005): Improving the supply water quality of Hanoi. Part 1: current situation of supply water and challenges for treatment technology. *Magazine of the Vietnam Water Supply and Sewerage Association (VWSA)* 7, 31–35.
- [4424] **Ha C.T., Chieu L.V., Khoi N.V., Mat B.V., Anh N.N., Berg M.** (2005): Improving the supply water quality of Hanoi. Part 2: Ammonium removal for improving supply water quality. *Magazine of the Vietnam Water Supply and Sewerage Association (VWSA)* 9, 38–40.
- [4435] **Hassler C.S., Behra R., Wilkinson K.J.** (2005): Impact of zinc acclimation on bioaccumulation and homeostasis in *Chlorella kesslerii*. *Aquat. Toxicol.* 74, (2), 139–149.
- [4436] **Ciani A., Goss K.-U., Schwarzenbach R.P.** (2005): Determination of molar absorption coefficients of organic compounds adsorbed in porous media. *Chemosphere* 61, (10), 1410–1418.
- [4437] **Steiner M., Boller M.** (2005): Adsorbersysteme für die Kupfer- und Zinkentfernung aus Dachwasser. *Schweizer Baujournal* 2, 15.
- [4438] **Schulz T., Ingensand H., Steiner M.** (2005): Laser scanning and noise reduction applied to 3D road surface analysis. In: «7th Optical 3-D Measurement Technique Conference», A. Grün H. Kahmen (Eds.). Vienna, Austria, 135–143.
- [4439] **Mosler H.-J.** (2005): Modelling environmental behaviour: socio-psychological simulation. In: «Alternatives for environmental valuation», M. Getzner, C.L. Spash S. Stagl (Eds.). Routledge, Abingdon, 69–95.
- [4440] **Mosler C., Mosler H.-J.** (2005): Vom Erkennen zum Handeln – was naturverträgliches Verhalten erleichtert und was es erschwert. In: «Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere – Konfliktbereich zwischen Mensch und Tier», P. Ingold (Eds.). Haupt, Bern, 404–410.
- [4441] **Schwarz G., Mosler H.-J.** (2005): Investigating escalation processes in peace support operations: an agent-based model about collective aggression. In: «Representing social reality», K.G. Troitzsch (Eds.). Proceedings of the Third Conference of the European Social Simulation Association, Koblenz, Fölbach, 191–197.
- [4442] **Mosler H.-J., Tamas A., Tobias R., Caballero Rodríguez T., Guzmán Miranda O.** (2005): Produced household waste and the recycling and disposal strategies of the population of Santiago de Cuba. In: «Waste the social context», (Eds.). Edmonton, Alberta/Canada, 6B2-1-6B2-11.
- [4443] **Tamas A., Mosler H.-J., Tobias R., Caballero Rodríguez T., Guzmán Miranda O.** (2005): Factors determining the intentions to reuse, separate and compost household waste in the city of Santiago de Cuba. In: «Waste the social context», (Eds.). Edmonton, Alberta/Canada, 5A3-1-5A3-9.
- [4444] **Colautti R.I., Manca M., Viljanen M., Kettlelaars H.A.M., Burgi H., Macisaac H.J., Heath D.D.** (2005): Invasion genetics of the Eurasian spiny waterflea: evidence for bottlenecks and gene flow using microsatellites. *Mol. Ecol.* 14, (7), 1869–1879.
- [4445] **Dow S.M., Barbeau B., von Gunten U., Chandrakanth M., Amy G., Hernandez M.** (2006): The impact of selected water quality parameters on the inactivation of *Bacillus subtilis* spores by monochloramine and ozone. *Water Res.* 40, (2), 373–382.
- [4446] **Luo J., Cirpka O.A., Fienen M.N., Wu W.-M., Mehlhorn T.L., Carley J., Jardine P.M., Criddle C.S., Kitanidis P.K.** (2006): A parametric transfer function methodology for analyzing reactive transport in nonuniform flow. *J. Contam. Hydrol.* 83, (1–2), 27–41.
- [4447] **Tockner K., Surian N., Toniutti N.** (2005): Geomorphologie, Ökologie und nachhaltiges Management einer Wildflusslandschaft am Beispiel des Fiume Tagliamento (Friaul, Italien) – ein Modell-ökosystem für den Alpenraum und ein Testfall für die EU-Wasserrahmenrichtlinie. In: «Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt», (Eds.). München, 3–17.
- [4448] **Neiman A., Jokela J., Lively C.M.** (2005): Variation in asexual lineage age in *Potamopyrgus antipodarum*, a New Zealand snail. *Evolution* 59, (9), 1945–1952.
- [4449] **Klump S., Kipfer R., Cirpka O.A., Harvey C.F., Brennwald M.S., Ashfaque K.N., Badruzzaman A.B.M., Hug S.J., Imboden D.M.** (2006): Groundwater dynamics and arsenic mobilization in Bangladesh assessed using noble gases and tritium. *Environ. Sci. Technol.* 40, (1), 243–250.
- [4450] **Schubert C.J., Durisch-Kaiser E., Klauser L., Vazquez F., Wehrli B., Holzner C.P., Kipfer R., Schmale O., Greinert J., Kuypers M.M.M.** (2006): Recent studies on sources and sinks of methane in the Black Sea. In: «Past and Present Water Column Anoxia», L.N. Neretin (Eds.). Springer, 419–441.
- [4452] **Lacqua A., Wanner O., Colangelo T., Martinotti M.G., Landini P.** (2006): Emergence of biofilm-forming subpopulations upon exposure of *Escherichia coli* to environmental bacteriophages. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, (1), 956–959.
- [4453] **Rieger L., Thomann M., Gujer W., Siegrist H.** (2005): Quantifying the uncertainty of on-line sensors at WWTPs during field operation. *Water Res.* 39, (20), 5162–5174.
- [4454] **Spycher S., Escher B., Gasteiger J.A.** (2005): QSAR Model for the Intrinsic Activity of Uncouplers of Oxidative Phosphorylation. *Chem. Res. Toxicol.* 18, 1858–1867.
- [4457] **Buesing N., Gessner M.O.** (2006): Benthic bacterial and fungal productivity and carbon turnover in a freshwater marsh. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, (1), 596–605.

- [4458] **Dang C.K., Chauvet E., Gessner M.O.** (2005): Magnitude and variability of process rates in fungal diversity-litter decomposition relationships. *Ecol. Lett.* 8, (11), 1129–1137.
- [4459] **Hari R., Livingstone D.M., Siber R., Burkhardt-Holm P., Güttinger H.** (2006): Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Glob. Change Biol.* 12, (1), 1377–1388.
- [4460] **Livingstone D.M., Lotter A.F., Kettle H.** (2005): Altitude-dependent differences in the primary physical response of mountain lakes to climatic forcing. *Limnol. Oceanogr.* 50, (4), 1313–1325.
- [4461] **Livingstone D.** (2005): Anthropogenic influences on the environmental status of remote mountain lakes. *Aquatic Sciences – Research Across Boundaries* 67, (3), 221–223.
- [4462] **Chèvre N., Loepfe C., Singer H., Stamm C., Fenner K., Escher B.I.** (2006): Including mixtures in the determination of water quality criteria for herbicides in surface water. *Environ. Sci. Technol.* 40, (2), 426–435.
- [4463] **Zhou Z., Ballentine C.J., Kipfer R., Schoell M., Thibodeaux S.** (2005): Noble gas tracing of groundwater/coalbed methane interaction in the San Juan Basin, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta* 69, (23), 5413–5428.
- [4464] **Jankowski T., Strauss T., Ratte H.T.** (2005): Trophic interactions of the freshwater jellyfish *Craspedacusta sowerbii*. *J. Plankton Res.* 27, (8), 811–823.
- [4466] **Johnson C.A., Moench H., Wersin P., Kugler P., Wenger C.** (2005): Solubility of antimony and other elements in samples taken from shooting ranges. *J. Environ. Qual.* 34, (1), 248–254.
- [4467] **McDowell D.C., Huber M.M., Wagner M., Von Gunten U., Ternes T.A.** (2005): Ozonation of carbamazepine in drinking water: Identification and kinetic study of major oxidation products. *Environ. Sci. Technol.* 39, (20), 8014–8022.
- [4469] **Acerio J.L., Piriou P., von Gunten U.** (2005): Kinetics and mechanisms of formation of bromophenols during drinking water chlorination: Assessment of taste and odor development. *Water Res.* 39, (13), 2979–2993.
- [4470] **Schertenleib R.** (2005): From conventional to advanced environmental sanitation. *Water Sci. Technol.* 51, (10), 7–14.
- [4471] **Truffer B., Kornrad K.** (2005): Sustainability foresight as a method to shape socio-technical transformation in utility systems. In: «Yearbook 2005 of the Institute for Advanced Studies on Science, Technology and Society», A. Bammé, G. Getzinger B. Wieser (Eds.). Profil, 2005 Science and Technology Studies, München, 285–306.
- [4472] **Rothenberger D., Truffer B.** (2005): Private-sector participation in water and sanitation reviewed – insights from new institutional economics. In: «The Business of Water an Sustainable Development», J. Chenoweth J. Bird (Eds.). Greenleaf, Sheffield, 82–98.
- [4473] **Trottmann N., Langhans S., Tockner K.** (2005): Schwemmgut, ein wichtiger Weg der Ausbreitung. *Natur und Mensch* 5, 8–11.
- [4474] **Viet Anh N., Nga P.T., Nhue T.H., Morel A.** (2005): The potential of decentralized wastewater management for sustainable development – a vietnamese experience. In: «Water Environmental Federation (WEF) International Conference: Technology», (Eds.). San Francisco, CA, USA, 27.
- [4475] **Andrady A., Aucamp P.J., Bais A.F., Ballare C.L., Bjorn L.O., Bornman J.F., Caldwell M., Callaghan T., Cullen A.P., Erickson D.J., de Gruijl F.R., Hader D.P., Ilyas M., Kulandaivelu G., Kumar H.D., Longstreth J., McKenzie R.L., Norval M., Redhwi H.H., Smith R.C., Solomon K.R., Sulzberger B., Takizawa Y., Tang X.Y., Teramura A.H., Torikai A., van der Leun J.C., Wilson S.R., Worrest R.C., Zepp R.G.** (2005): Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: progress report, 2004. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4, (2), 177–184.
- [4476] **Andrady A., Aucamp P.J., Bais A.F., Ballaré C.L., Björn L.O., Bornman J.F., Caldwell M., Cullen A.P., Erickson D.J., Gruijl F.R.d., Häder D.-P., Ilyas M., Kulandaivelu G., Kumar H.D., Longstreth J., McKenzie R.L., Norval M., Redhwi H.H., Smith R.C., Solomon K.R., Sulzberger B., Takizawa Y., Tang X., Teramura A.H., Torikai A., van der Leun J.C., Wilson S.R., Worrest R.C., Zepp R.G.** (2005): Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: progress report, 2005. *Photochem. Photobiol. Sci.* 1, 13–24.
- [4477] **Sulzberger B.** (2005): *Aquatic Sciences – research across boundaries* is an online first journal! *Aquatic Sciences – Research Across Boundaries* 67, (1), i.
- [4478] **Meunier L., Laubscher H., Hug S., Sulzberger B.** (2005): Effects of size and origin of natural dissolved organic matter compounds on the redox cycling of iron in sunlit surface waters. *Aquatic Sciences – Research Across Boundaries* 67, (3), 292–307.
- [4479] **Schwede-Thomas S.B., Chin Y.-P., Dria K.J., Hatcher P., Kaiser E., Sulzberger B.** (2005): Characterizing the properties of dissolved organic matter isolated by XAD and C-18 solid phase extraction and ultrafiltration. *Aquatic Sciences – Research Across Boundaries* 67, (1), 61–71.
- [4480] **Sanguinetti G.S., Ferrer V., Garcia M.C., Tortul C., Montangero A., Kone D., Strauss M.** (2005): Isolation of *Salmonella* sp in sludge from septage treatment plant. *Water Sci. Technol.* 51, (12), 249–252.
- [4481] **Sanguinetti G.S., Tortul C., Garcia M.C., Ferrer V., Montangero A., Strauss M.** (2005): Investigating helminth eggs and *Salmonella* sp in stabilization ponds treating septage. *Water Sci. Technol.* 51, (12), 239–247.
- [4482] **Cofie O.O., Agbottah S., Strauss M., Esseku H., Montangero A., Awuah E., Kone D.** (2006): Solid-liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: Implications for nutrient recycling in urban agriculture. *Water Res.* 40, (1), 75–82.
- [4483] **Koottatep T., Surinkul N., Polprasert C., Kamal A.S.M., Kone D., Montangero A., Heiness U., Strauss M.** (2005): Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate: lessons learnt from seven years of operation. *Water Sci. Technol.* 51, (9), 119–126.
- [4484] **Truffer B., Voss J., Konrad K.** (2005): Sustainability Foresight. Reflexive Gestaltung von Transformationsprozessen in deutschen Versorgungssystemen. In: «Technik in einer fragilen Welt. Die Rolle der Technikfolgenabschätzung», A. Bora, M. Decker, A. Grunwald O. Renn (Eds.). Sigma Edition, Berlin, 255–265.
- [4485] **Leupin O.X., Hug S.J., Badruzzaman A.B.M.** (2005): Arsenic removal from Bangladesh tube well water with filter columns containing zerovalent iron filings and sand. *Environ. Sci. Technol.* 39, (20), 8032–8037.
- [4486] **Leupin O.X., Hug S.J.** (2005): Oxidation and removal of arsenic (III) from aerated groundwater by filtration through sand and zero-valent iron. *Water Res.* 39, (9), 1729–1740.
- [4487] **Tiegs S.D., O’Leary J.F., Pohl M.M., Munill C.L.** (2005): Flood disturbance and riparian species diversity on the Colorado River Delta. *Biodiversity and Conservation* 14, (5), 1175–1194.
- [4488] **Tiegs S.D., Pohl M.** (2005): Planform channel dynamics of the lower Colorado River: 1976–2000. *Geomorphology* 69, (1–4), 14–27.
- [4489] **Buesing N., Marxsen J.** (2005): Theoretical and empirical conversion factors for determining bacterial production in freshwater sediments via leucine incorporation. *Limnol. Oceanogr. Meth.* 3, 101–107.
- [4491] **Nakamura K., Amano K., Tockner K.** (2006): Restoration: European perspectives and lessons for Japan. *Ecol. Civil Eng.* 8, (2), 201–214.
- [4492] **Lecerf A., Dobson M., Dang C.K., Chauvet E.** (2005): Riparian plant species loss alters trophic dynamics in detritus-based stream ecosystems. *Oecologia* 146, (3), 432–442.

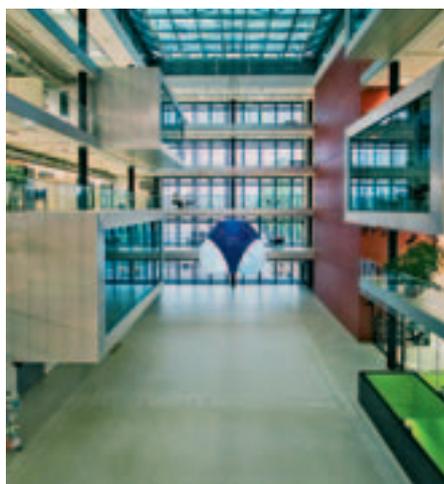
Notes

Le Forum Chriesbach a été inauguré

Le 1^{er} septembre dernier, l'Eawag a inauguré son nouveau bâtiment principal, le Forum Chriesbach. Unique en son genre, la construction allie fonctionnalité, esthétique et durabilité. L'Eawag applique ainsi directement les principes de développement durable qui lui tiennent à cœur et dont l'importance est constamment soulignée par ses recherches.

Le bâtiment fonctionne en effet sans système traditionnel de chauffage ou de climatisation, toute l'énergie qui l'atteint ou qui est produite en son sein – notamment par les personnes qui l'occupent – étant utilisée de façon optimale. Tous les matériaux de construction ont été testés sur le plan de la durabilité. Les eaux de pluie sont collectées et utilisées pour les chasses

d'eau des toilettes qui sont des WC NoMix et évacuent ainsi les urines séparément. Le



Eawag

bâtiment abrite 150 postes de travail de bureau, des salles de conférence et de réunion, la bibliothèque commune de l'Empa et de l'Eawag ainsi que le restaurant du personnel aQa. Sa façade constituée de 1232 lamelles mobiles de verre bleu réparties sur cinq étages en fait le point de mire du site de Dübendorf.

Enfin, le bâtiment à l'ossature d'acier et de béton surprend aussi à l'intérieur par la clarté et l'élégance de ses formes reflétées par un atrium spacieux et lumineux. Près de 2500 visiteurs ont répondu à l'invitation de l'Eawag et sont venus assister à l'inauguration du Forum Chriesbach, l'occasion pour eux de visiter le bâtiment et de s'initier aux derniers secrets de la recherche sur l'eau. ○ ○ ○

«American Chemical Society» rend hommage à René Schwarzenbach

René P. Schwarzenbach, membre de l'Eawag depuis 1977 (membre de la Direc-



EPF Zurich

tion de 2000 à 2005) et aujourd'hui responsable du département des sciences de l'environnement de l'EPF de Zurich, s'est vu décerner l'«Award for Creative Advances in Environmental Science & Technology» par l'«American Chemical Society». Il est avec Philip M. Gschwend et Dieter M. Imboden l'auteur du manuel de référence en chimie environnementale «Environmental Organic Chemistry». Schwarzenbach est le premier non-Américain à recevoir ce prix renommé qui lui a été décerné pour le caractère particulièrement novateur de ses travaux scientifiques. ○ ○ ○

Evaluation et contrôle indépendants des grands barrages

Les effets sur l'environnement du barrage Merowe actuellement en construction ont jusqu'à présent trop peu préoccupé l'opinion. Ce barrage retiendra les eaux de la quatrième cataracte du Nil pour produire de l'électricité de pointe pour les grandes villes du Soudan.

Les projets de cet ordre de grandeur devraient être évalués par une instance indépendante et tenir compte des connaissances scientifiques les plus récentes.

C'est la conclusion que tirent des chercheurs de l'Eawag dans leur rapport paru en mars 2006. Ils estiment en effet que le barrage qui s'étendra sur 200 kilomètres piègera près de 130 millions de tonnes de sédiments par an. Aucun concept de gestion de cette charge n'a été proposé. De même, aucune mesure n'est prévue pour contrebalancer les problèmes éventuels liés à la qualité de l'eau dans la retenue et par les émissions de gaz à effets de serre. ○ ○ ○

Sodis reçoit le prix Croix-Rouge

La Croix-Rouge suisse (CRS) a récompensé le projet Sodis de l'Eawag (Solar Water Desinfection) et son responsable Martin Wegelin en lui décernant en juin dernier le prix Croix-Rouge attribué pour la première fois. Le prix créé pour les 140 ans de la CRS est doté de 25 000 francs et vise à récompenser les activités humanitaires. Le jury s'est avoué impressionné par l'engagement personnel de Martin Wegelin, l'initiateur de Sodis: il chercherait en effet inlassablement à mettre en pratique ses résultats de recherche et de développement et s'occuperait personnellement des partenariats et de la collecte de fonds nécessaires pour permettre aux laissés-pour-compte de vivre dans des conditions meilleures. D'après le jury, Sodis est une méthode «séduisante» contribuant à la réduction des maladies (intestinales) et de la mortalité dans les pays en développement. ○ ○ ○

CRS

