



Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale

Une publication du Projet Rhône-Thur
Décembre 2005



Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale

Une publication du Projet Rhône-Thur

Auteurs :

Sharon Woolsey, Eawag
Christine Weber, Eawag
Tom Gonser, Eawag
Eduard Hoehn, Eawag
Markus Hostmann, Eawag
Berit Junker, WSL/FNP
Christian Roulier, Service conseil Zones alluviales
Steffen Schweizer, Eawag
Scott Tiegs, Eawag
Klement Tockner, Eawag
Armin Peter, Eawag

Auteurs des fiches :

Florence Capelli, Eawag
Lukas Unzinger, Schälchli, Abegg + Hunzinger
Lorenz Moosmann, Eawag
Achim Paetzold, University of Sheffield, UK
Sigrun Rohde, Département Bau, Verkehr und Umwelt, Canton d'Argovie

Développement du modèle Excel « Auswahl und Bewertung » :

Lorenz Moosmann, Eawag

Impressum

Editeur

Le présent document est une publication du projet de recherche « Rhône-Thur » de l'Eawag, de l'Institut fédéral de recherche sur la forêt, la neige et le paysage (WSL/FNP), du Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH, EPFL) et du Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW, ETHZ).

Traduction

Laurence Frauenlob, Waldkirch, Laurence.Frauenlob@t-online.de

Mise en page

Norbert Novak, MEDIA-N, Vienne, www.media-n.at

Edition de la version française : Florian Spielauer, Vienne, www.dubhead.at

Remarque

Ce rapport est/ou sera également disponible en langue allemande et anglaise

Contact

Armin Peter

Eawag

Seestrasse 79

CH-6047 Kastanienbaum

Rhone-thur@eawag.ch

Téléchargement sur le site www.rivermanagement.ch

Référence pour citation

Woolsey, S., C. Weber, T. Gonser, E. Hoehn, M. Hostmann, B. Junker, C. Roulier, S. Schweizer, S. Tiegs, K. Tockner & A. Peter. 2005. Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale. Publication du projet Rhône-Thur. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ, 113 p.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes pour leur aide constructive :

Marco Baumann, Amt für Umwelt, Canton de Thurgovie

Peter Baumann, Linnex AG

Tom Buijse, RIZA Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment, NL

Fredy Elber, AquaPlus

Werner Goeggel, Eawag

Willy Müller, Office de l'agriculture et de la nature, Canton de Berne

Pius Niederhause, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Canton de Zurich

Bruno Schelbert, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Canton d'Argovie

Hans-Peter Willi, OFEG

Remarques concernant le texte

Glossaire

Le manuel comporte un glossaire livrant une explication ou une définition des termes indiqués en couleur et en italique dans le texte. Les quatre termes fondamentaux que sont « zones alluviales », « suivi », « indicateurs » et « revitalisation » sont définis en début de glossaire. Leur utilisation étant cependant très fréquente, ils ne sont pas spécifiquement indiqués comme termes du glossaire dans le texte.

Genre des dénominations

Par habitude et pour plus de simplicité, les dénominations de personnes utilisées dans le texte sont au masculin. Elles se rapportent cependant toujours aux deux sexes.

Photographies

Toutes les photographies et figures ont été reproduites avec l'autorisation du photographe ou du détenteur des droits d'auteur.

Internet

Tous les sites indiqués dans le rapport étaient actifs en novembre 2005.

Table des matières

1	Introduction	7
1.1	Motivations et objectifs du manuel.....	7
1.2	Public visé	8
1.3	Structure du manuel	8
2	Etat des cours d'eau en Suisse	11
2.1	Endiguements et aménagements hydrauliques en Suisse	11
2.2	Diagnostic des cours d'eau suisses.....	12
2.3	Besoins d'intervention : prévention et durabilité	19
3	Bases de la revitalisation fluviale	21
3.1	Objectifs des revitalisations.....	21
3.2	Place dans le monde scientifique et dans la pratique	21
3.3	Déroulement d'un projet.....	24
3.4	Prise en compte de l'hétérogénéité biotique et abiotique	26
4	Bases du suivi des revitalisations	29
4.1	Positionnement du suivi.....	29
4.2	Concept général du suivi.....	30
4.3	Indicateurs	31
4.4	Références	37
5	Domaine d'application du manuel	41
5.1	Position dans le déroulement du projet	41
5.2	Possibilités d'application du concept	41
6	Objectives of rehabilitation projects	43
6.1	Société : protection et exploitation	44
6.2	Environnement et écologie	45
6.3	Economie.....	52
6.4	Mise en œuvre.....	52
7	Mesures de revitalisation et sets d'indicateurs	55
7.1	Elargissement du lit.....	59
7.2	Remise à ciel ouvert	61
7.3	Structuration du lit.....	66
7.4	Structuration des berges.....	68
7.5	Création et raccordement de chenaux secondaires	70
7.6	Raccordement des bras morts et des milieux alluviaux	73
7.7	Connectivité longitudinale	76
7.8	Dynamisation du charriage.....	79

8	Sélection des indicateurs.....	83
8.1	Conception et déroulement de la sélection des indicateurs.....	83
8.2	Mode d'utilisation du modèle Excel.....	86
9	Relevé et mesure des indicateurs.....	89
10	Suivi.....	91
10.1	Conception et déroulement du suivi.....	91
10.2	Principe d'utilisation du document Excel.....	94
11	Conclusions et perspectives.....	97
11.1	Résumé.....	97
11.2	Bilan de la méthode.....	97
11.3	Perspectives et développements futurs.....	98
11.4	Communication.....	99
11.5	Questions et contacts.....	99
	Glossaire.....	101
	Références bibliographiques.....	109

CD joint (en allemand)

- Copie numérique du manuel
- Annexe I : Fiches descriptives des indicateurs
- Annexe II : Méthodes concernant les indicateurs
- Annexe III : Modèle Excel « Auswahl und Bewertung »
- Annexe IV : Formulaire de réponse pour les utilisateurs

1 Introduction

1.1 Motivations et objectifs du manuel

Les cours d'eau suisses ont été fortement modifiés et altérés suite aux aménagements hydrauliques qu'ils ont subis au cours des deux derniers siècles pour les besoins de la protection contre les crues ou autres activités anthropiques. Pour tenter de compenser les déficits écologiques qu'ils présentent inévitablement, il est de plus en plus fréquent de procéder à une revitalisation des cours d'eau. On appelle revitalisation l'ensemble des interventions visant à réhabiliter un *écosystème* dans un état proche de son état naturel. Ces interventions se concentrent sur la restauration des éléments et processus clés du système. Même si les revitalisations sont généralement dominées par les aspects écologiques, elles ont souvent des répercussions importantes dans les domaines politique, socio-économique et agricole. Des revitalisations sont menées dans des habitats aquatiques et terrestres des plus divers. Le présent manuel se concentre cependant sur la revitalisation des cours d'eau.

Le guide présente un instrument permettant d'estimer si les différents objectifs constitutifs des projets de revitalisation ont bien été atteints. Dans le présent rapport, ce type d'évaluation est appelé suivi ou contrôle des résultats. La méthode proposée est basée sur une comparaison entre l'état initial et l'état final d'une sélection d'éléments et processus clés du système étudié. Grâce à cet instrument, l'utilisateur peut identifier les points sur lesquels se dégage une tendance à l'amélioration, ceux sur lesquels des déficits perdurent et ceux présentant plutôt une dégradation. Le suivi intervient au niveau des objectifs du projet. Il est basé sur l'utilisation d'indicateurs qui sont des grandeurs livrant des informations importantes sur les éléments et processus observés. Ils peuvent être de nature quantitative, semi-quantitative ou qualitative.

Aujourd'hui, les projets de protection contre les crues sont presque tous accompagnés de mesures de revitalisation. La méthode de suivi ici présentée peut donc également trouver une application dans ce type de projets, en se limitant toutefois à l'évaluation des aspects mentionnés. Un contrôle spécifique des résultats doit être impérativement mené pour tout ce qui relève de la sécurité. La deuxième correction de la Thur est un bon exemple de combinaison de mesures de protection contre les crues et de revitalisation (Figure 1.1). En plus des aspects sécuritaires et environnementaux, les préoccupations d'ordre économique et social ont également été prises en compte (Weber 2001).



Figure 1.1 : Tronçon de la Thur revitalisé à Schaffhäuser dans le cadre de la deuxième correction de la Thur (Durée du projet 1993–2004), TG/ZH, mai 2004 (Photo : C. Hermann, BHAtteam, Frauenfeld).

1.2 Public visé

Le guide du suivi des revitalisations fluviales s'adresse aux responsables de projets de revitalisation au niveau cantonal et communal. Il leur sert de base de planification pour l'exécution du projet de même que de ligne directrice pour l'évaluation du projet par des tiers. Les structures alors chargées de cette tâche (bureaux d'études, instituts ou universités) peuvent y trouver des méthodes concrètes pour la sélection et la mesure des indicateurs ainsi que pour l'interprétation des résultats. Le relevé des indicateurs exige souvent des connaissances et des compétences de spécialiste. Les utilisateurs peuvent donc provenir de domaines très divers, tels que la biologie, l'écologie, la *morphologie*, l'*hydraulique*, les constructions fluviales, les sciences sociales, etc..

1.3 Structure du manuel

Le manuel s'articule autour de trois grandes parties (Figure 1.2). L'appartenance des différents chapitres à ces trois parties est indiquée par les symboles figurant en bas à droite de la surface correspondante.

1.3.1 Situation initiale (chapitres 2 à 4)

Les déficits observés sur les cours d'eau suite aux constructions hydrauliques qu'ils ont subies sont récapitulés au chapitre 2. Cette analyse du déficit écologique met en exergue toute la nécessité des revitalisations. Les bases de la revitalisation fluviale seront présentées au chapitre 3, de même que le déroulement idéal d'un projet. Le chapitre 4 quant à lui expose les principes de base du suivi et décrit l'intérêt des indicateurs, puis propose une introduction sur les indicateurs décrits dans ce manuel et sur la définition de références.

1.3.2 Concepts de base (chapitres 5 et 6)

Cette partie présente les principaux concepts de base du suivi de revitalisations. Le chapitre 5 présente le domaine d'application du manuel tandis que le chapitre 6 décrit les principaux objectifs des projets de revitalisation.

1.3.3 Mise en œuvre (chapitres 7 à 11)

La partie « Mise en œuvre » présente le déroulement d'un suivi. Deux approches différentes peuvent être adoptées :

1. L'utilisation d'un des sets d'indicateurs proposés pour l'évaluation de mesures de revitalisation spécifiques.
2. La composition d'un set d'indicateurs individuel.

Le chapitre 7 présente les mesures fréquemment appliquées en Suisse et propose plusieurs sets d'indicateurs. Le chapitre 8 indique comment composer son propre set d'indicateurs et comment utiliser le modèle Excel « Auswahl und Bewertung » (annexe III) pour la sélection automatisée des indicateurs. Le chapitre 9 contient des informations sur le relevé et la mesure des indicateurs. Une fiche descriptive est donnée pour chacun des indicateurs à l'annexe I (en allemand). Des explications et méthodes plus détaillées pour le relevé des indicateurs sont indiquées à l'annexe II (idem). Enfin le chapitre 10 énumère les étapes du suivi en lui-même, basé sur les valeurs des indicateurs. L'évaluation peut être effectuée de manière automatisée à l'aide du modèle Excel « Auswahl und Bewertung ».

Le chapitre 11 dresse le bilan du concept du suivi et livre un pronostic de la suite des démarches. Il contient d'autre part un formulaire de réponse par le biais duquel les auteurs invitent les utilisateurs du manuel à prendre contact et à communiquer leurs résultats et expériences.

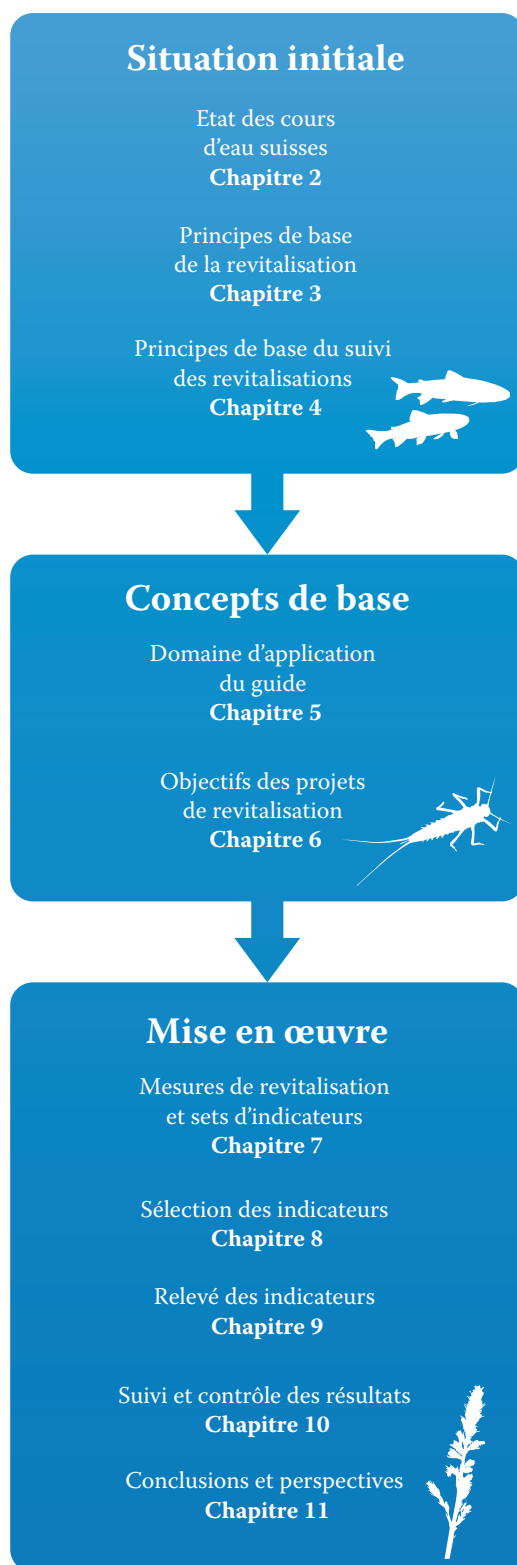


Figure 1.2 : Organisation du manuel en trois parties

2 Etat des cours d'eau en Suisse

2.1 Endiguements et aménagements hydrauliques en Suisse

Les premières interventions massives de l'homme sur les cours d'eau suisses remontent à la fin du Moyen-âge (Vischer 2003). Entre les années 1000 et 1700 la population tripla, entraînant une demande accrue de terrains à occuper. A cette époque les surfaces agricoles étaient principalement gagnées grâce au défrichage de la forêt en zone montagnarde, les grandes vallées étant encore laissées aux fleuves et rivières (Schnitter 1992). L'exploitation intensive de la forêt et le défrichement entraînaient cependant une forte érosion du sol et provoquèrent de ce fait une augmentation des débits de pointe et du *transport solide* dans les cours d'eau. Le Plateau fut alors le théâtre d'inondations importantes. Suite à la poursuite de la croissance démographique au XIXe siècle et de l'occupation des fonds de vallée qui l'accompagna, les effets des inondations devinrent bientôt dévastateurs (Schnitter 1992).

De premières tentatives de corrections fluviales ont été menées dès le début du XVIIIe siècle en vue de limiter les dommages occasionnés par les crues débordantes. Entre 1711 et 1714, un projet ambitieux de dérivation de la Kander dans le lac de Thoune a par exemple été réalisé dans le but de protéger Thoune des inondations (Schnitter 1992). Ce projet

d'avant-garde n'eut cependant pas l'effet escompté mais augmenta au contraire le risque d'inondation de cette ville en élevant le niveau du lac. Des mesures de protection supplémentaires furent alors nécessaires (Vischer 2003).

Le nombre d'aménagements de génie civil dans les cours d'eau augmenta considérablement au cours du XIXe siècle. Un des projets aboutis fut par exemple le détournement de la Linth dans le Walensee réalisé entre 1807 et 1816, premier projet de protection contre les crues entièrement initié et réalisé par la Confédération (Schnitter 1992, Vischer 2003). Après l'adoption de la Constitution fédérale de 1848, la Confédération disposa de moyens suffisants pour couvrir tout ou partie des coûts des projets de construction hydraulique et fut en mesure d'en soutenir un certain nombre (Vischer 2003). Grâce à ce subventionnement fédéral, les principaux fleuves et grandes rivières suisses furent corrigés et endigués avant la fin du XIXe siècle (Schnitter 1992, OFEFP 1998). Parmi les projets les plus importants, citons par exemple la correction du Rhin alpin (1862–1900), la première correction du Rhône (1863–1894) et la première correction des eaux du Jura (1868–1891 ; Vischer 2003). La Suisse connut une deuxième vague d'endigue-



Figure 2.1 (à gauche) :
Le Rhin alpin à Bad Ragaz, SG, en 1826. (Tableau de Johann Ludwig Bleuler reproduit avec l'autorisation de l'Amt für Umwelt de Vaduz, LI)

Figure 2.2 (à droite) :
Le Rhin alpin à Bad Ragaz, SG, en 2005. (Photo : U. Uehlinger, Eawag)

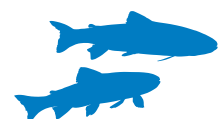




Figure 2.3 : La plaine alluviale de la Thur à Niederbüren vers 1920 avant la correction, SG. (Photo : Tiefbauamt du canton de St-Gall)

ments après 1950, conséquence du grand essor économique et de l'intensification de l'industrie, de l'agriculture et du développement urbain. Les cours d'eau ont ainsi dû céder de plus en plus d'espace aux hommes au cours du XXe siècle (OFEFP 1998). Les figures 2.1 à 2.4 présentent le Rhin alpin et la Thur avant et après leur correction.

2.2 Diagnostic des cours d'eau suisses

Les aménagements hydrauliques massifs imposés aux cours d'eau ces trois derniers siècles les ont bien souvent transformés en systèmes rectilignes et artificiels. Les cours d'eau suisses présentent en conséquence un déficit important dans de nombreux domaines. Les relations complexes qu'ils entretiennent naturellement avec les rives et les eaux souterraines en sont fortement perturbées (Ward et al. 2001). Ils sont parcourus d'innombrables ouvrages transversaux générant une fragmentation du système, néfaste au bon développement des végétaux et animaux qui le peuplent. Les déficits d'ordre *abiotique* ont une influence très nette au niveau biologique, ainsi la capacité des cours d'eau à remplir leurs fonctions écologiques est généralement défectueuse et leur biodiversité très réduite. Les systèmes alluviaux sont particulièrement concernés par ces dysfonctionnements. Les principaux déficits d'ordre *morphologique*, *hydrologique*, physico-chimique, biologique, sécuritaire et récréatif sont présentés plus en détail dans la suite de ce chapitre.



Figure 2.4 : La Thur canalisée à Schöffäuli, TG/ZH, en juin 2001. (Photo : C. Hermann, BHAtteam, Frauenfeld)

2.2.1 Ecomorphologie

Pour pouvoir remplir sa fonction de milieu de vie, un cours d'eau doit non seulement présenter une bonne qualité d'eau mais aussi une morphologie aussi naturelle que possible (cf. chapitre 6 ; exemples de cours d'eau richement ou pauvrement structurés, cf. Figures 2.5 et 2.6). En Suisse, l'état et la valeur naturelle des cours d'eau sont systématiquement évalués depuis 1998 à l'aide des méthodes standardisées du *Système modulaire gradué* (OFEFP 1998). Ce système se conforme à la Loi sur la protection des eaux du 24 janvier 1991. De conception volontairement globale, il vise à une évaluation intégrée des cours d'eau permettant l'identification des dysfonctionnements et des besoins d'intervention et servant de base à l'établissement de catalogues de mesures. Pour ce faire, il propose des méthodes d'évaluation intervenant à trois niveaux d'intensité différents et s'intégrant dans neuf modules : Ecomorphologie, Hydrologie, Aspect général, Macrozoobenthos, Poissons, Diatomées, Plantes aquatiques, Chimie et Ecotoxicologie. Les trois niveaux d'intensité sont le niveau R (régional), le niveau C (hydrosystème) et le niveau T (tronçon). Alors que les instruments méthodologiques sont déjà disponibles et en application au niveau R pour les modules Ecomorphologie et Poissons, d'autres modules en sont encore au stade du développement. Le module Ecomorphologie décrit les éléments qui com-



Figure 2.5 : Exemple de tronçon pauvrement structuré :
Le Liechtensteiner Binnenkanal canalisé à Ruggell, avril 2005
(Photo : A. Peter, Eawag).

posent ou forment la structure des cours d'eau et de leurs rives. 22 cantons ont déjà procédé au relevé des paramètres écomorphologiques au niveau R (voir par ex. la carte du canton de Berne : www.bve.be.ch/site/bve_gsa_gwq_fliessg_berbro_gbl058.pdf). Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent que plus d'un tiers des cours d'eau étudiés appartiennent aux catégories « très modifiés », « artificiels/peu naturels » ou « *mis sous terre /busés* » et présentent donc un fort déficit morphologique (Figure 2.7). Ainsi, 17% des cours d'eau étudiés sont *busés*. 90% des cours d'eau des 22 cantons ont été étudiés (= 25 443 km ; communication personnelle, OFEG, octobre 2005).

Le module Ecomorphologie comprend en plus de l'étude des quatre paramètres *morphologiques* (variabilité de la largeur du lit mouillé, aménagement du fond du lit, renforcement des pieds de berge, largeur et nature des rives) une évaluation du continuum fluvial mesurée par la *connectivité* longitudinale. Une bonne perméabilité du cours d'eau dans le sens de la longueur est indispensable aux échanges biologiques entre l'amont et l'aval (cf. chapitre 6). Elle est cependant bien souvent remise en cause par la présence de nombreux seuils, rampes et ouvrages de retenue. On a ainsi dénombré dans le canton de Zurich un total de 39 024 obstacles artificiels sur les 3 615 km du réseau hydrographique. Cela correspond



Figure 2.6 : Exemple de tronçon fortement structuré : Le Rhin antérieur à Gravas, GR, septembre 1991 (zone alluviale 34 ; Photo : Service conseil Zones alluviales).

à 10,8 obstacles par km de linéaire (communication personnelle, P. Niederhauser, AWEL Zurich). Dans le canton de Berne, 13 600 obstacles ont été comptés sur 6 800 km de rivière, ce qui correspond à deux obstacles par km de linéaire (Baur et al. 2004).

2.2.2 Modifications des régimes d'écoulement

Les principales perturbations des régimes d'écoulement sont dues à la production hydroélectrique particulièrement répandue en

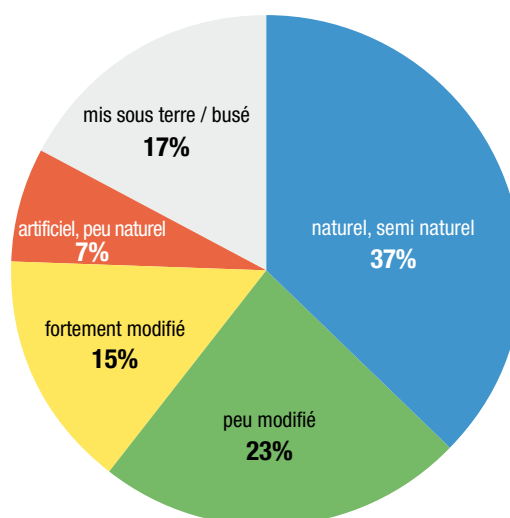


Figure 2.7 : Classification des cours d'eau en fonction de leur évaluation écomorphologique de niveau R (données : OFEG, état oct. 2005).

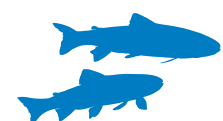




Figure 2.8 : Barrage fluvial dans le Rhin alpin près de Domat-Ems, GR, septembre 2003 (Photo : A. Peter, Eawag).



Figure 2.9 : Tronçon à débit résiduel dans le Rhin alpin, octobre 2002 (Photo : A. Peter, Eawag).

Suisse. Cette activité est à l'origine de lacs de retenue et de *tronçons à débit résiduel* (Figures 2.8 et 2.9) marqués par une perte de la dynamique fluviale et une homogénéité des vitesses d'écoulement. Ces tronçons présentent une modification importante du régime de *charriage* et de la composition du substrat ainsi qu'une altération de la température de l'eau. Enfin, les barrages font obstacle à la migration des poissons vers l'amont ou vers l'aval.

Le *marnage* est un autre problème engendré par les usines hydroélectriques fonctionnant par écluses. Calquée sur la demande, leur production d'électricité s'effectue principalement en journée, pendant les jours ouvrés. La res-

titution d'eau à partir de la retenue régulée en fonction de ce rythme de production entraîne donc des variations incessantes de débit dans le cours d'eau récepteur, ce débit étant plus élevé en période de production que pendant la nuit ou le week-end (Figure 2.10). Les effets de marnage altèrent le régime d'écoulement naturel, modifient le régime de *charriage* et portent donc atteinte aux habitats faunistiques et floristiques. En Suisse la production hydroélectrique couvre 60% des besoins en électricité. Environ 25% de ses usines hydroélectriques (> 300 kW) fonctionnent par écluses et provoquent un marnage dans le cours d'eau situé en aval (Baumann & Kalus 2003).

2.2.3 Charriage

De nombreux fleuves et rivières des Alpes et du Plateau suisse ont un régime de charriage fortement perturbé. A certains endroits, les apports de sédiments en provenance du bassin versant se sont considérablement réduits suite à la correction des ruisseaux, à la présence de pièges à sédiments ou à l'extraction de granulats (Figure 2.11) mais aussi à cause des protections de berges empêchant les apports par érosion. A contrario, les *émissaires* chenalisés présentent une capacité de transport excessive. Ce déséquilibre entre apports de matériaux et capacité de charriage a tendance à provoquer une érosion du lit pouvant entraîner un affouillement en pied de berge protégée, un abaissement du niveau de la nappe correspondante ou un *colmatage* total du fond. La construction d'ouvrages transversaux destinés à stabiliser le fond du lit constitue un

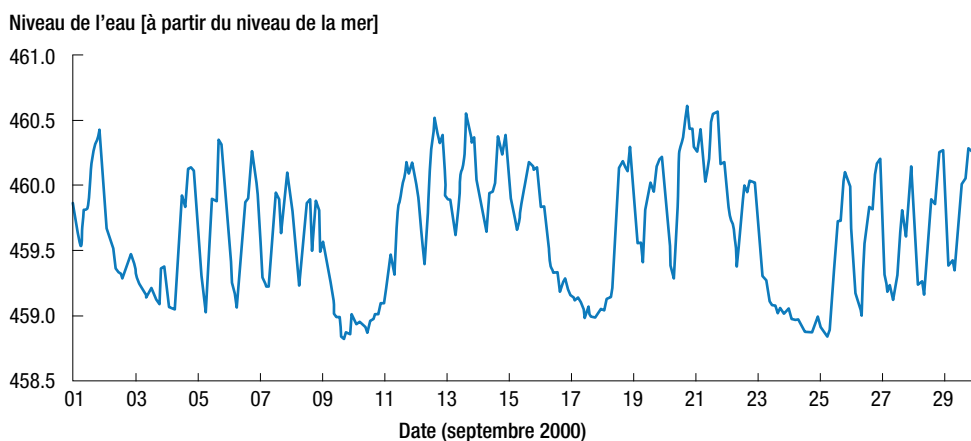


Figure 2.10 : Fluctuations du niveau du Rhône (marnage) près de Branson, VS, causées par les écluses hydroélectriques, septembre 2000 (Fette et al. 2005).

problème supplémentaire en compromettant la *connectivité* longitudinale du cours d'eau (Figure 2.12).

Le fond des cours d'eau présentant une forte érosion est généralement très colmaté. La charge solide fine transite alors sur la couche ainsi pavée et ne se dépose que localement dans les zones de faible courant.

Les rivières semi-naturelles d'une certaine largeur développent d'elles-mêmes des structures *morphologiques* dynamiques. Dans les Alpes et les Préalpes, le style fluvial naturel le plus fréquemment observé est alors le chenal en tresses. La formation de ces structures est souvent associée à des processus de dépôt de matériaux. S'il advient cependant que l'apport de charriage devient insuffisant, même ces rivières larges commencent à creuser leur lit, ce qui se traduit par une immobilisation des structures *morphologiques* (Figure 2.13).

Dans de rares cas, comme par exemple lors de crues particulièrement fortes, il se peut que l'apport de matériaux dépasse la capacité de charriage du chenal. On observe alors un dépôt de matériaux dans le lit, ce dernier venant concentrer l'écoulement et donc augmenter le risque de débordement sur les terrains avoisinants. Dans les cours d'eau étroits et canalisés, la capacité d'accueil d'atterrissements est plus faible, un charriage excédentaire y a donc un effet plus rapide sur la capacité d'écoulement que dans les chenaux plus larges.

2.2.4 Qualité de l'eau

Depuis le milieu du XIXe siècle, les eaux subissent de plus en plus d'apports de substan-



Figure 2.11 : Gestion du charriage dans le Rhône, bois de Finges, VS, octobre 2001 (Photo : Eawag).



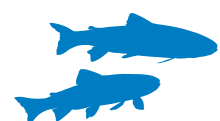
Figure 2.12 : Trème : Ouvrage transversal de stabilisation du fond, septembre 2001 (Photo : L. Hunzinger, Schälchli, Abegg + Hunzinger).

ces organiques et minérales de synthèse. Etant donné que bon nombre d'entre elles ne sont pas totalement biodégradables, elles se retrouvent en partie avec leurs produits de dégradation dans l'eau et les sédiments. Il en résulte une contamination par des centaines de substances dont seule une petite partie est chimiquement identifiée voire toxicologiquement testée (Fischnetz 2004).

La pollution chimique en provenance de l'industrie et de l'agriculture a nettement baissé au cours des dernières décennies. Certaines substances toxiques ont pu être remplacées par des produits moins nocifs pour l'environnement. Dans le même temps, le rendement



Figure 2.13 : Erosion du lit dans la Melezza, TI, 1997 (Photo : L. Hunzinger, Schälchli, Abegg + Hunzinger).



d'épuration des stations de traitement des eaux a pu être augmenté. Ces améliorations dans les domaines agricole et industriel sont malheureusement en partie contrebalancées par la consommation toujours croissante de produits chimiques au niveau domestique (Fischnetz 2004).

Aujourd'hui, les cours d'eau sont principalement concernés par les substances transitant par les stations de traitement des eaux polluées (STEP) ou provenant de pollutions diffuses. Les apports diffus sont principalement d'origine agricole mais peuvent également être générés par les agglomérations, l'industrie ou la circulation automobile. Ils livrent une grande partie des substances identifiables par voie analytique. Les STEP constituent des sources ponctuelles de nitrites, d'ammonium et de micropolluants organiques étant donné que l'épuration ne permet pas leur dégradation totale. Les rejets de station ont également une influence sur la température, le degré d'oxygénation et le pH des cours d'eau récepteurs. Même si la pollution chimique a considérablement régressé ces 30 dernières années, les pointes de concentration en composés azotés comme les nitrites et l'ammonium et les contaminations saisonnières en *pesticides*, parti-

culièrement marquées après les fortes pluies, représentent un risque réel pour l'*écosystème*, bien que limité dans l'espace et le temps. Etant donné le manque de données sur la pollution chimique des cours d'eau et sur les effets à long terme des substances polluantes, il est néanmoins très difficile d'estimer les effets concrets de ce type de pollution (Fischnetz 2004). Les hormones et autres composés à effets endocriniens contenus dans les eaux usées pourraient d'autre part faire émerger de nouveaux problèmes dans l'avenir (Aerni et al. 2004).

2.2.5 Biodiversité

Sa grande richesse en eau et la grande diversité de ses milieux aquatiques ont valu à la Suisse le surnom de « château d'eau de l'Europe ». Les lacs et étangs ne couvrent cependant que 3,4% de sa superficie tandis que les fleuves, rivières et ruisseaux ne comptabilisent que 0,7%. Malgré cette proportion assez faible, près de 8% des animaux indigènes, soit 3 300 espèces, vivent dans les lacs et rivières (Küry 2002). Mais les grands lacs et cours d'eau ne sont pas les seuls à présenter une importante *biodiversité*. Les petites masses d'eau comme les étangs, mares, fossés, canaux ou flaques plus ou moins éphémères jouent un rôle tout aussi important. De même, les sources et nappes phréatiques constituent des habitats particuliers abritant des espèces très spécialisées (Baur et al. 2004). Enfin, les zones alluviales sont considérées comme des centres importants de biodiversité à laquelle elles contribuent nettement le long du corridor fluvial (Figure 2.14). L'histoire des paysages alluviaux permet de bien appréhender le rôle écologique des cours d'eau : Les zones alluviales fluviales occupent aujourd'hui 1,2% de la superficie de la Suisse. Cette proportion était de 3,1% en 1870. La régression en surface des zones alluviales fluviales est donc de 63% depuis 1870. Si l'on ne considère que la partie terrestre de ces zones, cette régression atteint même 87% ! Ces deux valeurs sont données avec un intervalle de confiance de 95% (Müller-Wenk et al. 2003).

Partout dans le monde, la baisse de diversité biologique est nettement plus forte dans les milieux aquatiques continentaux que dans



Figure 2.14 : Les zones alluviales sont des milieux de grande valeur. En haut : La zone alluviale de la Sense, FR/BE, juin 1999. En bas : La Thur à Wuer, TG, juin 1995 (Photos : Service conseil Zones alluviales).

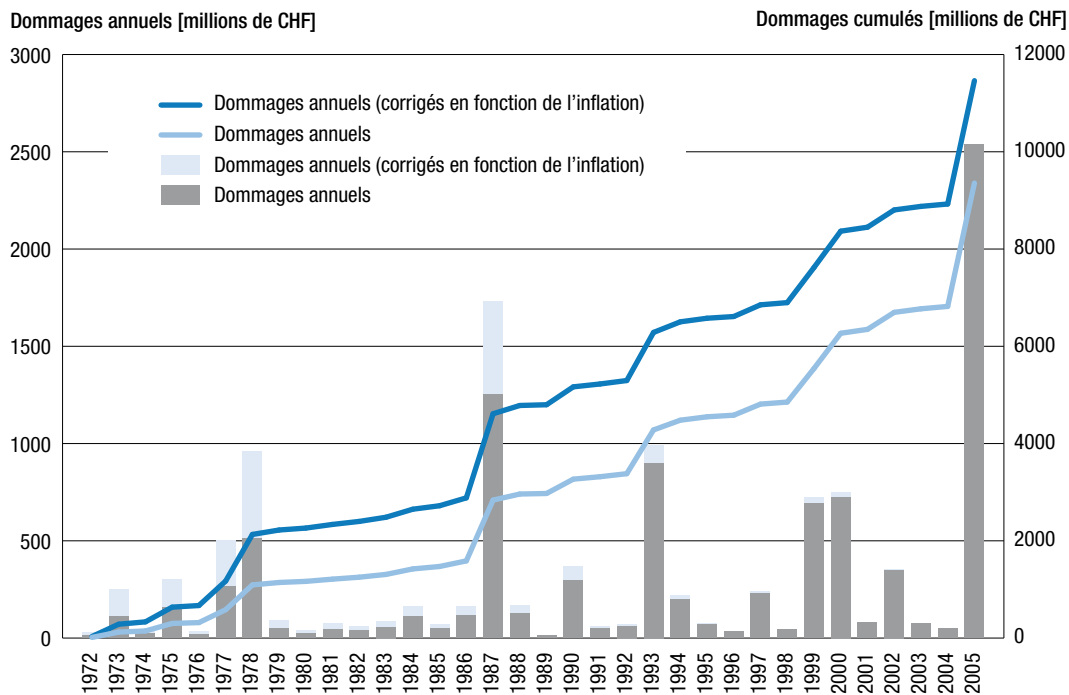


Figure 2.15 : Dommages causés par les inondations entre 1972 et 2005. Sont présentés les coûts effectifs et la part de l'inflation (données : OFEG, état novembre 2005).

les milieux terrestres (Tockner & Stanford 2002). Ce constat est également valable pour la Suisse. Ainsi, 28 des 54 espèces indigènes de poissons et cyclostomes se trouvent sur la liste rouge (Duelli 1994), 14 autres espèces sont potentiellement menacées, 46% des plantes aquatiques et 42% des plantes marécageuses sont considérées comme menacées (Landolt 1991) : 19 espèces indigènes d'amphibiens sur les 20 que compte la Suisse sont menacées ou déjà éteintes (Duelli 1994).

Les raisons de cette perte de biodiversité aquatique sont multiples. Les principaux facteurs actuellement mis en cause sont la perte



Figure 2.16 : Effets des crues de la Reuss : Débordement de digue à Jonen, AG, août 2005 (Photo : B. Schelbert, Département Bau, Verkehr und Umwelt, Canton d'Argovie, Abteilung Landschaft und Gewässer).

quantitative et qualitative d'habitats, la modification du bilan hydrique, la pollution chimique, les changements climatiques, la fragmentation des cours d'eau ainsi que l'expansion et l'établissement d'espèces introduites (Baur et al. 2004). Le facteur le plus important reste cependant la correction et l'endiguement des cours d'eau. Plus de 90% des zones humides ont été sacrifiées pour permettre le développement de l'agriculture et de l'urbanisation (Baur et al. 2004). De plus, 4 500 km de cours d'eau ont subi une modification *hydrologique* pour les besoins de quelque 500 centrales hydroélectriques de puissance maximale > 300 kW. A celles-ci s'ajoutent environ 1 700 petites et mini-centrales (Baur et al. 2004).

2.2.6 Protection contre les crues

Les mesures de protection contre les crues débordantes sur les 200 dernières années se sont avérées insuffisantes. Les coûts engendrés par les dommages causés par les inondations de 1978, 1987, 1993, 1999/2000 et 2005 ont été particulièrement élevés (Figure 2.15). La crue centennale d'août 2005 qui a touché une grande partie de la Suisse a causé à elle seule 2,5 milliards de francs de dommages (communication personnelle, OFEG, octobre 2005). De nombreuses rivières ont alors connu le débit

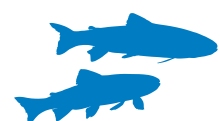




Figure 2.17 : Chästelbach en crue à Stössi (zone alluviale 107) dans la vallée du Maderanertal, UR, septembre 2005 (Photo : Service conseil Zones alluviales).

le plus élevé depuis que les mesures existent : l'Aar en aval du lac de Biemme, la Lütschine, la Kander, l'Aa d'Engelberg, l'Aa de Sarnen, la Reuss (Figure 2.16), la petite Emme, la Linth et la Sihl. Statistiquement, de tels débits ne se produisent que tous les 100 à 200 ans. Le niveau a également atteint voire dépassé son maximum historique dans la plupart des lacs.



Figure 2.18 : Crue de la Thur à Uesslingen, TG, août 2005. Grâce à une protection efficace contre les crues, aucun dommage n'a été subi (Photo : Police cantonale de Zurich).

Seuls les lacs de Constance, de Neuchâtel et de Morat firent exception. Mais c'est aussi par leur étendue que les crues de 2005 furent exceptionnelles puisqu'elle dépassa celle des inondations de 1999 (communiqués de presse de l'OFEG des 22 et 24 août 2005). Alors que

les dégâts ont été importants dans de nombreux endroits (Figure 2.17), les régions disposant d'une protection suffisante contre les crues ont été épargnées (la Thur à Uesslingen, par exemple, Figure 2.18).

Pour réduire les dommages et pertes futurs, il est donc indispensable de mettre en place un dispositif efficace de protection contre les débordements. De nouvelles lois dans le domaine de l'aménagement des cours d'eau et de la protection des eaux doivent faciliter la mise en œuvre des mesures nécessaires.

2.2.7 Aspects récréatifs

Les cours d'eau « naturels » sont des milieux très appréciés pour la pratique de loisirs de proximité et sont propices à de nombreuses activités (baignade, promenade, pique-nique, vélo, pêche, observation, repos etc.). Dans les zones très peuplées comme en Suisse, ces espaces ont une valeur particulière. Les aménagements fluviaux réalisés ces 200 dernières années ont cependant supprimé un nombre important de ces espaces de détente. Les mesures de revitalisation peuvent leur rendre une partie de leur valeur récréative. Ainsi par

exemple, le décompte des visiteurs de la Thur a montré que les secteurs revitalisés comme ceux de Gütighausen et de Niederneunforn étaient nettement plus fréquentés que les autres (Capelli 2005).

2.3 Besoins d'intervention : Prévention et durabilité

Le diagnostic des cours d'eau suisses présenté au chapitre 2.2 montre à quel point il est nécessaire d'intervenir sur ces milieux. En général, les déficits individuels s'accroissent les uns les autres, ce qui fait qu'ils ne doivent pas être considérés isolément mais bien globalement comme un déficit polymorphe. Les revitalisations fluviales permettent dans une certaine mesure de restaurer les milieux aquatiques touchés par ces déficits. Pour obtenir des résultats satisfaisants, les bassins versants doivent être considérés comme des unités de gestion à part entière car les mesures appliquées isolément sur les différents tronçons ne peuvent avoir d'action globale. Les bases de la revitalisation des cours d'eau seront présentées au chapitre suivant.

La durabilité dans les domaines social, environnemental et économique est un autre facteur de succès des revitalisations. Ces trois domaines doivent être pris en compte de manière équitable et équilibrée. Etant donné que les intérêts qui les caractérisent sont souvent divergents, ils forment à eux trois un champ de contrainte (OFEG 2001 ; Figure 2.19).

Le but de la revitalisation fluviale n'est cependant pas uniquement de « réparer » les perturbations et dysfonctionnements mais aussi de préserver les milieux intacts existants. L'Ordonnance sur la protection des zones alluviales d'importance nationale va dans ce sens. L'OFEV est chargé de désigner ces zones, les cantons devant fixer les limites précises des aires à protéger et définir des zones tampons suffisantes d'un point de vue écologique. Les zones alluviales d'importance nationale doivent être conservées sans perte de superficie et en conservant leurs faune et flore indigènes typiques. L'Ordonnance sur les zones alluviales est entrée en vigueur le 15 novembre 1992. Jusqu'à présent, 282 objets alluviaux ont été définis, couvrant une superficie de 226 km², ce qui représente 0,55% du territoire national (OFEP 2005).

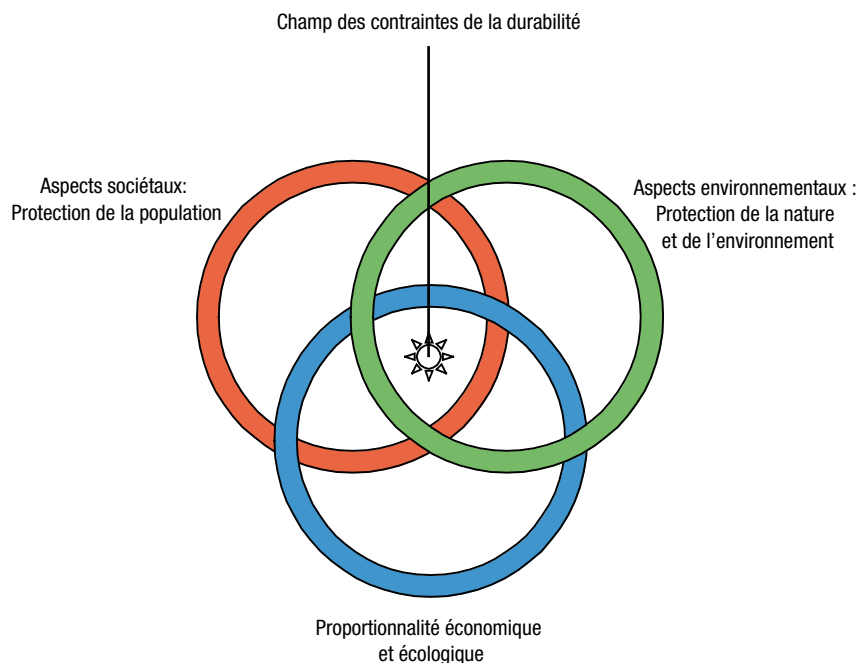
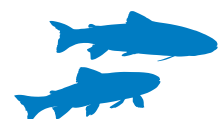


Figure 2.19 : Champ des contraintes de la durabilité (OFEG 2001).



3 Bases de la revitalisation fluviale

3.1 Objectifs des revitalisations

Lorsque l'on vise la valorisation écologique des milieux, plusieurs approches sont possibles. Les deux principales sont la renaturation ou restauration et la revitalisation. Le terme de renaturation désigne les efforts visant à replacer les *écosystèmes* dans leur état d'origine non perturbé (Bradshaw 1996, Roni 2005). D'où la terminologie anglaise de « restoration », restauration ou renaturation en français. On fait alors la distinction entre interventions actives et interventions passives (Roni 2005). Les restaurations actives prévoient des mesures directes d'aménagement destinées à rétablir les fonctions écologiques d'origine. Une renaturation passive agit quant à elle indirectement par la suppression des activités *anthropiques* responsables de la dégradation de l'écosystème ou empêchant sa restauration (Kauffman et al. 1997).

La revitalisation produit également une amélioration de l'état écologique de l'écosystème auquel elle s'applique mais ne le remplace pas dans son état d'origine (Bradshaw 1996, Roni 2005). Le terme anglais qui lui correspond est « rehabilitation ». Les revitalisations rétablissent les processus et éléments clés du développement de l'écosystème et améliorent l'état du milieu. L'objectif de ces mesures n'est pas de supprimer les symptômes d'un système dégradé (densité de poissons réduite par ex.) mais d'en combattre les causes (perte de diversité habitationnelle, *connectivité* réduite par ex.). Les termes de « renaturation » et de « revitalisation » ne sont cependant pas toujours correctement employés, non seulement dans la pratique mais aussi dans la littérature. La confusion entre restauration et revitalisation y est très fréquente.

Les revitalisations comme les restaurations sont pratiquées sur des milieux tant aquatiques que terrestres. Le présent guide du suivi des revitalisations concerne uniquement les cours d'eau. Le terme de « revitalisation » englobe

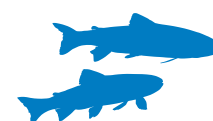
alors aussi des mesures présentant certes une composante écologique mais qui n'est pas forcément le principal élément. Ainsi le manuel traite également des mesures de revalorisation écologique s'inscrivant dans les projets de protection contre les crues. La restauration de l'intégralité des cours d'eau dans leur état d'origine est généralement rendue impossible, du moins en Suisse, par la forte pression immobilière dans les vallées. Dans l'idéal, une rivière revitalisée peut par contre devenir un système naturel capable de s'autoréguler, adapté au paysage dans lequel il évolue et correspondant à son type morphologique d'origine. De même, un tronçon revitalisé ne devrait pas avoir besoin d'entretien une fois les aménagements terminés (Henry & Amoros 1995). Pour que les cours d'eau dégradés puissent s'approcher d'un état naturel, il est nécessaire de revitaliser aussi bien les structures écologiques (la diversité spécifique et la complexité des communautés) que les fonctions écologiques (la productivité, les transports et transferts et les cycles) (Williams et al. 1997). La figure 3.1 présente sous forme de graphique les différents moyens de s'approcher de l'état naturel.

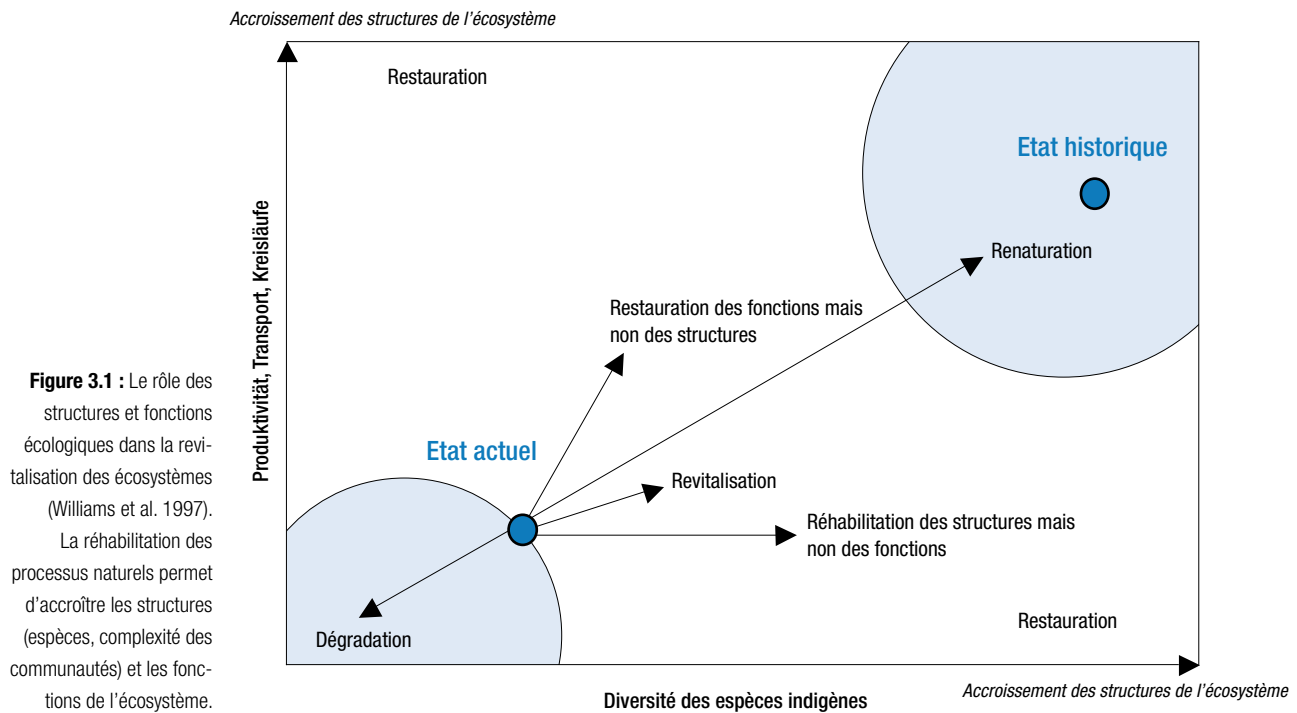
Le chapitre suivant expose les bases de la revitalisation des cours d'eau.

3.2 Etat des connaissances scientifiques et expérience pratique acquise : Positions en science et pratique

3.2.1 Bases légales

Le nombre de projets de revitalisation entrepris en Suisse a fortement augmenté, bien qu'il n'existe pas d'inventaire national des projets réalisés. Cette popularité croissante est peut-être liée au durcissement de la législation en matière de protection des eaux. La Loi sur la protection des eaux de 1991 a posé les fonda-





tions d'un édifice législatif visant une meilleure protection des eaux et une plus grande prise en compte des habitats et des rives. L'Ordonnance sur la protection des eaux qui a suivi a été adoptée en 1998 et est entrée en vigueur en 1999. Elle n'exige pas uniquement une bonne qualité de l'eau mais demande également à ce que les cours d'eau présentent une structure aussi naturelle que possible. D'autre part, l'Ordonnance sur l'aménagement des cours d'eau de 1994 impose aux cantons de définir un espace de liberté pour les cours d'eau. Son article 21 traite en trois points des zones de danger d'inondation et du besoin d'espace des rivières :

1. Les cantons désignent les zones dangereuses.
2. Ils déterminent l'espace minimal des cours d'eau nécessaire à la protection contre les crues et à la préservation des fonctions écologiques.
3. Ils tiennent compte des zones dangereuses et des besoins d'espace dans leurs plans directeurs et leurs plans d'affectation ainsi que dans d'autres activités ayant des effets sur l'organisation du territoire.

Cette ordonnance progressiste a vu le jour suite au constat d'un besoin d'instruments et d'approches nouvelles afin de répondre à la fois aux exigences de la protection contre les crues et à celles de la gestion durable des cours

d'eau. La principale difficulté est d'identifier les synergies entre protection contre les crues et revitalisation de façon à développer des aménagements durables. Seule une collaboration interdisciplinaire entre hydrauliciens, écologues et sociologues peut permettre de relever un tel défi.

L'Ordonnance de 1992 sur la protection des zones alluviales d'importance nationale charge les cantons de conserver les surfaces existantes dans leurs limites actuelles et de les valoriser. Pour ce faire, il est nécessaire que les perturbations de la dynamique fluviale naturelle et du régime de *charriage* soient éliminées. Cette revitalisation des zones alluviales dégradées est basée sur la réhabilitation de la dynamique fluviale. Les zones alluviales dégradées ne pouvant être revitalisées doivent être compensées par la création de sites de remplacement (Service conseil Zones alluviales 2001). En 2002, 97 des 169 sites d'importance nationale inventoriés avaient fait l'objet de mesures de revitalisation ou devaient en faire l'objet (Cosandey et al. 2002). La figure 3.2 indique le nombre de projets achevés, en cours ou programmés à cette date dans ces zones alluviales et à l'extérieur de celles-ci. Les données plus actuelles n'étaient pas encore disponibles au moment de la rédaction de ce manuel.

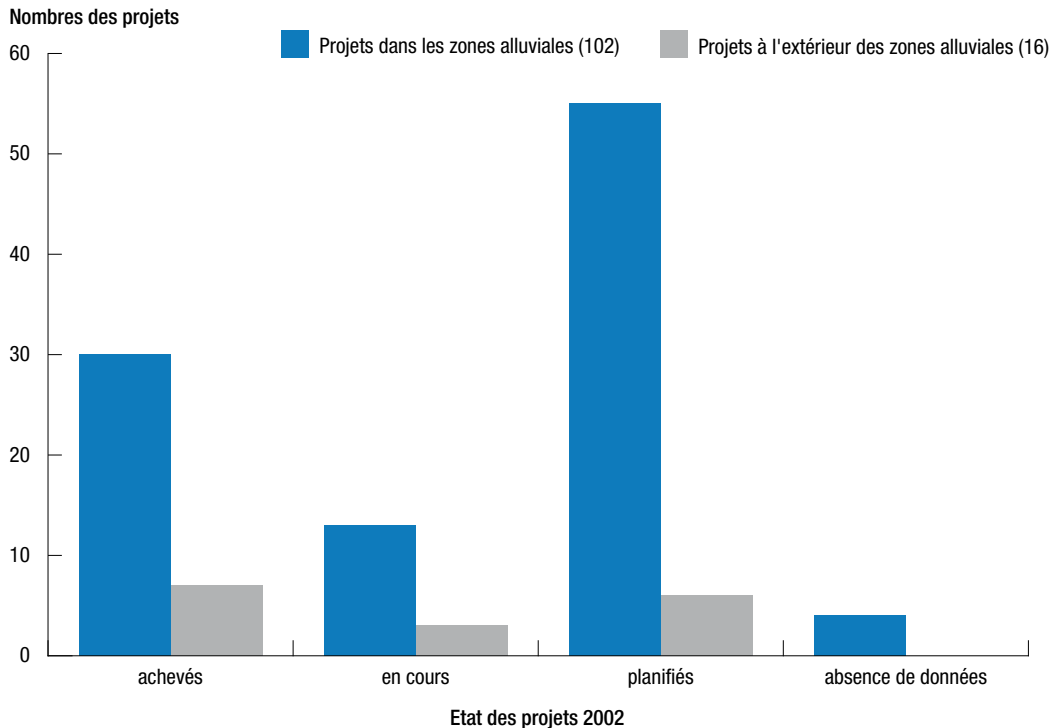


Figure 3.2 : Nombres et état des projets de réhabilitation de zones alluviales en Suisse (considérées à importance nationale ou non); achevés, en cours et planifiés (état 2002, Cosandey et al 2002).

En rédigeant les « Idées directrices Cours d'eau suisses », l'OFEFP, l'OFEG, l'OFAG et l'ODT ont fait un premier pas en direction d'une gestion durable des cours d'eau qui prenne en compte de manière équitable les aspects sociaux, écologiques et économiques qui touchent ces milieux. Ce document cherche à encourager les approches durables en rapport avec les cours d'eau et indique comment aborder les problèmes pour obtenir des solutions satisfaisantes. Les objectifs de développement fixés par les idées directrices sont d'assurer un espace suffisant réservé aux cours d'eau, un débit suffisant et une qualité d'eau suffisante (OFEFP/OFEG 2003).

3.2.2 Transfert international de connaissances

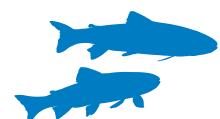
L'histoire des revitalisations fluviales est encore très jeune puisqu'elle ne date que d'une quinzaine d'années. Les projets futurs sont donc tributaires des connaissances scientifiques et de l'expérience pratique acquises auparavant (Downs & Kondolf 2002). Afin d'obtenir un aperçu de l'engagement scientifique dans le domaine de l'écologie appliquée à la revitalisation, une recherche a été effectuée sur Internet à l'aide du système « Web of Science » dans

les revues scientifiques internationales parues entre 1990 et 2005. Les mots-clés suivants ont été utilisés :

- « river » and « restoration » or « rehabilitation » / « rivière » et « renaturation » ou « revitalisation »
- « stream » and « restoration » or « rehabilitation » / « ruisseau » et « renaturation » ou « revitalisation »

Avant 1990, seules quelques publications éparées étaient référencées puis on observe une augmentation constante du nombre de publications dans ce domaine jusqu'en 2002. Après une phase de stagnation en 2003 et 2004, une reprise est à nouveau observable en 2005 (Figure 3.3).

La multiplication de ces publications est synonyme d'une augmentation des connaissances de base et du transfert du savoir, conditions indispensables à l'établissement d'une véritable science de la revitalisation. Mais le retour d'expérience est, en pratique, tout aussi important. Les succès comme les échecs constituent un véritable creuset dans lequel les projets futurs vont pouvoir venir puiser. La volonté de communication de réalisations des projets est donc un élément indispensable au progrès.



Nombre d'articles parus

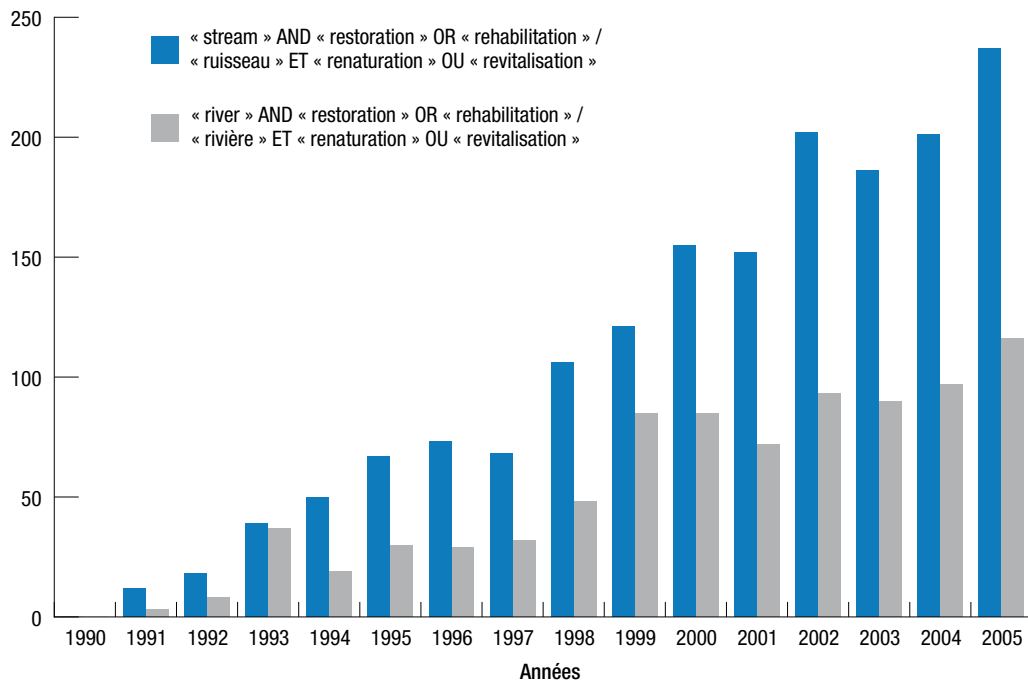


Figure 3.3 : Nombre de publications, correspondant aux mots-clés indiqués, parues chaque année de 1990 à 2005 dans les revues scientifiques internationales (état 1er novembre 2005) (Web of Science, <http://wok.consortium.ch/portal.cgi?DestApp=WOS&Func=Frame>).

3.2.3 Potentiel de revitalisation

Le besoin de revitalisation des cours d'eau suisses est considérable : Si l'on extrapole les données de l'enquête écomorphologique menée par 22 cantons sur 25 443 km de linéaire (cf. chapitre 2.2.1) aux 61 015 km du réseau hydrographique de la Suisse, on constate que 23 796 km de cours d'eau, soit 39%, sont soit « fortement modifiés », soit « artificiels/peu naturels », soit « *mis sous terre/busés* ». Les tronçons des catégories « naturels/semi-naturels » et « peu modifiés » se situent principalement dans les cours supérieurs et proche des sources (OFEFP 1998). C'est donc sur le Plateau que le potentiel de revitalisation est le plus grand. Malgré ce fort potentiel, la vitesse de revitalisation n'a été que de 10,6 km par an entre 1992 et 1998 (communication personnelle, OFEG, 2000).

3.3 Déroulement d'un projet

Les projets de revitalisation nécessitent une planification précise. La figure 3.4 indique le déroulement idéal d'une revitalisation, de la planification jusqu'à la phase de suivi et de contrôle des résultats. Les différents éléments sont inspirés du modèle de prestation 95 produit par la Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA 1996) articulé en cinq phases.

La revitalisation a pour objet de réhabiliter le milieu dans un état proche de celui dans lequel il se trouvait avant perturbation. Afin d'évaluer la distance entre ces deux états, on fait appel à des systèmes de référence donnant une indication de la variabilité naturelle des caractéristiques du milieu. Les systèmes de référence sont des cours d'eau représentatifs de l'état initial que l'on cherche à atteindre par les interventions (Chapman 1999). Malheureusement en Suisse, ces systèmes ont souvent disparu. On élabore alors un système théorique à partir de données historiques et modélisées dont les caractéristiques formeront les idées directrices du projet de revitalisation (Jungwirth et al. 2002 ; voir aussi chapitre 4.4). La formulation de ces dernières est une étape décisive du processus de planification (Nienhuis & Leuven 2001). Elles décrivent le potentiel naturel du cours d'eau en conditions non perturbées, en tenant compte également du contexte réel des aménagements. Pour pouvoir formuler des idées directrices réalistes, il est impératif de procéder à un diagnostic de l'état initial.

Une fois que ces idées directrices ont été formulées, les objectifs du projet sont définis en tenant compte du contexte socio-économique dans lequel il se place. La participation de représentants des différents groupes d'intérêts

est décisive lors de la formulation des objectifs si l'on souhaite une bonne acceptation du projet. Il est d'autre part important d'assurer une bonne information de la population et des intéressés sur le projet puis sur ses résultats par un travail de communication adéquat. Les trois éléments que sont le contexte socio-économique, les groupes d'intérêts et la communication sont importants pour l'ensemble des cinq phases.

Partant de la formulation des objectifs, la phase 2 aboutit au choix des mesures de revitalisation au travers d'une étude comparative

des variantes d'aménagement. Les phases 1 et 2 correspondant à la « Planification stratégique » et aux « Etudes préliminaires » font l'objet d'un « Manuel pour la participation et la prise de décision dans les projets d'aménagement de cours d'eau » qui, comme le présent guide, est édité par le projet Rhône-Thur (Hostmann et al. 2005). La phase suivante, consacrée à la conception du projet, livre une planification de détail des mesures de revitalisation. Pour pouvoir vérifier que les objectifs clairement définis dans la phase de planification ont bien

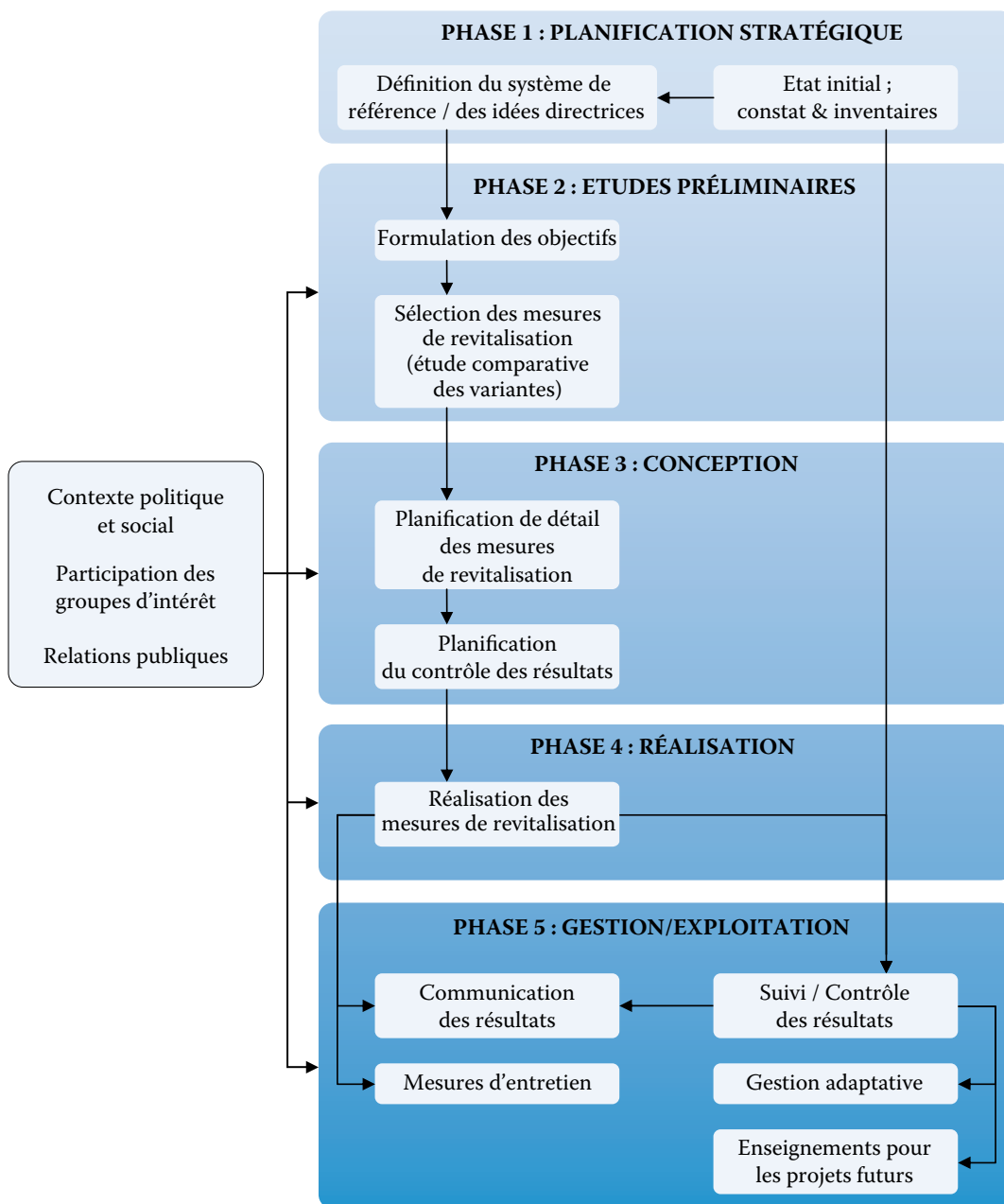
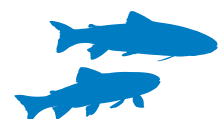


Figure 3.4 : Déroulement idéal d'un projet de revitalisation ; d'après Holl & Cairns (1996) largement modifié. La subdivision en cinq phases est inspirée du modèle de prestation 95 produit par la Société suisse des ingénieurs et architectes (1996).



été atteints après la réalisation des actions de revitalisation, il est impératif de procéder à un suivi ou contrôle d'efficacité. C'est ce suivi dont il est question dans le présent manuel. Les bases de ce processus seront présentées au chapitre 4 qui livre également des informations sur l'utilité des indicateurs et la définition de références. Le contrôle d'efficacité permet d'identifier les déficits encore existants et d'engager si nécessaire des mesures complémentaires pour les corriger. Cette stratégie de gestion adaptative est le concept de planification le mieux adapté à nos besoins puisque les effets des aménagements sont difficilement prévisibles en détail (Downs & Kondolf 2002). Dans ce type de management, chaque étape d'un projet est considérée comme une collecte d'informations dont les résultats peuvent être utilisés pour la modification ou le développement de l'étape suivante (Halbert & Lee 1991). Le suivi permet de tirer un certain nombre d'enseignements pour les projets futurs. Etant donné le peu d'expérience dont on dispose encore en matière de revitalisation, de tels enseignements sont particulièrement précieux. Ils ne peuvent cependant être mis à profit sans une bonne communication des résultats. Enfin, il arrive souvent que des mesures d'entretien soient nécessaires après la réalisation des aménagements, même si dans l'idéal cela ne devrait pas être le cas.

3.4 Prise en compte de l'hétérogénéité biotique et abiotique

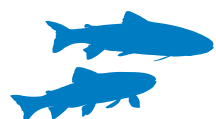
Les cours d'eau présentent de façon caractéristique une grande hétérogénéité tant spatiale que temporelle. Cette double dimension spatio-temporelle existe aussi bien pour l'hétérogénéité *biotique* qu'*abiotique* (Ward 1989). Elles influent sur les processus morphologiques, les événements perturbateurs et les crues, la distribution spatiale des organismes et habitats de même que sur le stade de la végétation dans la *succession* (Gregory et al. 1991). Ainsi, l'espace et le temps agissent de concert pour façonner les communautés et les *écosystèmes* (Lewis et al. 1996). Les interactions biologiques jouent aussi un rôle important comme

par exemple la concurrence pour les ressources vitales, la reproduction ou la prédation. De plus, des différences naturelles d'ordre géographique et climatique peuvent intervenir sur les processus physiques, la diversité spécifique et la composition de la faune et de la flore (Bunn & Davies 2000). Enfin, le développement biologique d'un cours d'eau dépend grandement d'un autre facteur, le pool d'espèces à partir duquel peut se produire la colonisation du milieu (Wevers & Warren 1986).

Dans la revitalisation des cours d'eau, le bassin versant joue donc un rôle spatial de premier ordre. Cela ne veut pas dire qu'il est indispensable de revitaliser la totalité du bassin versant mais plutôt qu'il est important lors d'interventions locales de tenir compte des processus relatifs aux cours d'eau à l'échelle du bassin versant (Boon 1998). Ainsi, les mesures de valorisation doivent prendre en compte le bassin versant dans toute sa dimension longitudinale, latérale et verticale (Lorenz et al. 1997). La méthode de suivi proposée dans ce guide est conçue pour des projets se focalisant sur les tronçons de rivière tout en se plaçant dans le contexte global du bassin versant.

Le succès des projets de revitalisation sous-entend une bonne prise en compte des événements et changements ayant affecté le milieu au cours de son histoire. Ces changements peuvent se produire à deux échelles de temps différentes : l'échelle annuelle et l'échelle historique. L'échelle annuelle concerne les phases *hydrologiques* et les fluctuations imprévisibles qui se produisent au cours d'une année ou d'une année à l'autre. L'échelle historique se rapporte aux événements se produisant à l'échelle de la décennie ou du siècle (Amoros & Bornette 2002). L'étude des événements et changements à l'échelle historique s'appuie souvent sur des cartes historiques permettant de reconstituer le tracé que présentaient les cours d'eau il y a plusieurs décennies ou plusieurs siècles. Mais ces données ne servent pas uniquement à la reconstitution du paysage fluvial. Elles permettent également une meilleure compréhension des processus actuels et une certaine prévision des effets futurs des mesures de revitalisation prévues (Boon 1998).

L'hétérogénéité du milieu impose une évaluation systématique du cours d'eau basée sur des relevés et observations répétés à différents moments dans le temps (Boon 1998). Cette exigence s'applique aussi bien à la caractérisation de l'état initial qu'au contrôle des résultats obtenus à la suite du projet. Etant donné que les différents aspects d'un cours d'eau peuvent se développer à des vitesses différentes et donc se manifester de manière décalée dans le temps, il faut s'attendre à ce que le verdict concernant le succès d'une revitalisation varie en fonction du moment de l'évaluation. Ainsi, les résultats d'évaluations menées sur plusieurs années rendent compte de l'évolution dynamique du système tandis qu'une évaluation unique et ponctuelle effectuée à la fin d'un projet ne peut donner qu'une idée imparfaite de son succès.



4 Bases du suivi des revitalisations

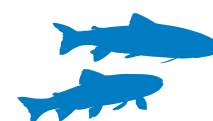
4.1 Position du suivi dans les projets

Le suivi est un élément important des projets de revitalisation et constitue l'objet principal de ce manuel. Il sert à vérifier et à apprécier la bonne atteinte des objectifs formulés dans la phase de planification par un relevé systématique de données (Dows & Kondolf 2002). Dans le présent manuel, il est défini comme suit : Le suivi d'une revitalisation fluviale consiste à déterminer dans quelle mesure les objectifs fixés par la direction du projet ont été atteints. Il s'appuie pour cela sur une comparaison entre la situation initiale et la situation après mise en œuvre des mesures et réalisation des travaux de revitalisation. L'observation se fait au travers d'indicateurs (abordés plus en détail au chapitre 4.3). À l'issue de cette comparaison, la variation de la situation est notée pour chaque objectif fixé selon cinq catégories différentes : dégradation / échec, pas de modification, légère amélioration / faible succès, amélioration moyenne / succès moyen et forte amélioration / fort succès. Cette démarche permet d'estimer de manière individuelle si les objectifs du projet ont été atteints. L'estimation du succès se rapporte donc uniquement aux objectifs définis puis évalués et non au degré d'adéquation du tronçon concerné avec un système de référence particulièrement naturel ou un système théorique correspondant aux idées directrices (abordés plus en détail au chapitre 4.4.1). Cependant, plus le nombre d'objectifs « atteints avec succès » est important, plus le milieu obtenu après revitalisation se rapproche du système de référence.

Le suivi permet d'autre part de mettre en évidence d'éventuelles erreurs dans la conception du projet, des effets inattendus des aménagements ou des déficits persistants sur le tronçon revitalisé. Ces problèmes peuvent être par la suite corrigés par le biais de mesures supplémentaires.

Étant donné le peu de connaissances encore disponibles en matière d'écologie appliquée à la revitalisation, le suivi se voit doté d'importantes fonctions de « controlling » très profitables aux projets futurs. Dans cet esprit, tous les enseignements sont précieux, qu'ils soient issus de succès ou d'échecs. Ils favorisent d'autre part une attitude responsable et durable par rapport aux ressources naturelles (Bash & Ryan 2002). Les projets ne peuvent cependant profiter les uns des autres que si leurs responsables sont prêts à reconnaître leurs échecs et à communiquer leurs résultats, bons ou mauvais (Kondolf 1995). Enfin, le contrôle des résultats permet de juger de l'efficacité des moyens engagés. Les projets réussis peuvent favoriser l'acceptation des projets futurs, les échecs ayant plutôt l'effet inverse.

Parmi les scientifiques, sociologues, économistes et politiciens, la nécessité d'un suivi des projets de revitalisation fluviale fait à présent l'unanimité. Or, cette démarche est restée exceptionnelle en Suisse comme à l'étranger jusqu'à très récemment. En plus du manque de temps, de moyens financiers et humains (Bash & Ryan 2002), l'absence de suivi est souvent justifiée par un manque d'instructions et de documents d'orientation dans la réalisation. Même si ces arguments restent parfois valables aujourd'hui, la tendance au suivi des projets est à la hausse. En Suisse, il est particulièrement pratiqué dans les cantons très actifs dans le domaine de la revitalisation, comme les cantons d'Argovie et de Berne par exemple. De plus, cette étape de contrôle est particulièrement importante dans le cadre de la revitalisation des zones alluviales d'importance nationale.



4.2 Concepts de suivi

4.2.1 Le suivi dans le programme « Auenschutzpark Aargau »

Le parc de protection des zones alluviales dans le canton d'Argovie (Auenschutzpark Aargau) a vu le jour suite à une initiative populaire de 1993. Celle-ci avait pour objectif de créer en l'espace de 20 ans un parc de protection des zones alluviales menacées occupant 1% de la superficie du canton. L'article constitutionnel s'y rapportant est entré en vigueur en 1994. Trois ans plus tard, le Grand conseil accorda une somme de 16 millions de francs jusqu'en 2003, puis 23 millions de francs pour la période actuelle 2004-2009. Diverses réalisations ont été lancées depuis 1995 et l'évaluation de leur efficacité fait l'objet d'un suivi. Ces activités de contrôle sont coordonnées par le « Kontrollprogramm Aargau » constitué des projets partiels suivants :

- Surveillance à long terme de la diversité biologique dans les surfaces exploitées du canton d'Argovie (LANAG). Les résultats sont rassemblés dans l'*indice de Kessler*
- Observations annuelles ponctuelles pour les espèces et milieux rares et protégés
- *Connectivité* entre milieux fluvial et riverain : analyse des tendances et extensification des prairies dotées de contrats d'exploitation, des semis des prairies, des jachères tournantes et des prairies sèches à fauche tardive
- Exploitation périodique des données et information régulière sur l'état de la nature et sur l'efficacité des mesures de protection. Communication au public des succès obtenus

Les processus dynamiques qui caractérisent les cours d'eau attirent des visiteurs en quête de détente qui, malheureusement, effarouchent les espèces sensibles aux dérangements. Espèces qui, de ce fait, ne sauraient donc servir d'indicateur pour ces processus dynamiques. L'ordonnance sur les zones alluviales exige notamment la restauration de la dynamique naturelle des cours d'eau et de leur régime de *charriage*. Le besoin en indicateurs adéquats est donc grand, mais ils doivent également correspondre au public visé. En effet, l'expérience montre que l'Auenschutzpark ne peut

atteindre ses objectifs que s'il bénéficie du soutien de la population, ce qui suppose une bonne communication vers le public. Ainsi, le suivi ne sert pas uniquement à l'optimisation des mesures mais constitue aussi un instrument précieux de relations publiques.

4.2.2 Le suivi au sein du fonds destiné à la régénération des eaux du canton de Berne

En 1997, le Grand Conseil du canton de Berne édicta une loi sur l'utilisation des eaux (LUE) inspirée de la loi fédérale de 1916 sur l'utilisation des forces hydrauliques. Cette loi donne un cadre juridique à l'utilisation durable des eaux publiques et privées ainsi qu'aux missions d'économie des eaux du canton. Les associations de protection de l'environnement bernoises profitèrent alors de l'occasion pour monter un projet populaire exigeant la création d'un fonds spécialement destiné au financement de la renaturation des cours d'eau. Le fonds pour la régénération des eaux qui vit alors le jour (art. 36a de la LUE ; RenF, www.be.ch/lanat/renf) fut doté d'environ 3,2 millions de francs par an. Depuis 1998, près de 400 projets d'un volume de 12 millions de francs ont été soutenus. En 2000, un concept général a été développé pour le suivi des projets. Le fonds distingue pour ce suivi sept types de mesures de renaturation : la renaturation du chenal, la remise à ciel ouvert, la restructuration ou l'élargissement des berges, l'amélioration du charriage, la création de bras secondaires, la revitalisation des rives et celle des zones alluviales. Le concept est basé sur l'appréciation des différentes catégories, pour chacune d'entre elles l'efficacité est évaluée à travers une sélection de projets. Pour cela, une série d'indicateurs correspondant aux différents objectifs des interventions est proposée pour chacune. Ces indicateurs sont exclusivement de nature morphodynamique, physico-chimique et biologique. Mais l'intérêt des indicateurs socio-culturels est tout de même reconnu. Les indicateurs biologiques sont principalement basés sur les organismes aquatiques (poissons et invertébrés). Une liste d'indicateurs recommandés pour les différents types d'interventions est indiquée dans le tableau 4.1 (voir également Kirchhofer & Breitenstein 2000).

4.2.3 Suivi des zones alluviales d'importance nationale

L'ordonnance sur la protection des zones alluviales d'importance nationale (ordonnance sur les zones alluviales) charge les cantons de prendre les mesures de protection et d'entretien nécessaires à la conservation des sites encore intacts (Lachat et al. 2001). Le suivi des zones alluviales a pour but de vérifier la bonne atteinte des objectifs de protection définis par l'ordonnance, mais sert aussi d'instrument pour l'optimisation de la protection de ces milieux. Les objectifs du suivi sont :

- la surveillance de l'état des zones alluviales et la comparaison avec l'état visé
- l'identification précoce des tendances évolutives et des menaces éventuelles
- l'évaluation des effets et de l'efficacité des mesures de protection
- l'analyse des problèmes de la protection des zones alluviales
- l'identification des besoins d'intervention et des potentialités d'optimisation pour une protection plus efficace des zones alluviales
- l'information ciblée des parties prenantes et du public
- la vérification de l'atteinte des objectifs de protection définis par l'ordonnance sur les zones alluviales

Les études portent en premier lieu sur les efforts de protection, la surveillance des objets n'occupant qu'un second rang (Bonnard & Roulier 2004).

Les concepts et priorités du contrôle des résultats dans les trois cas présentés sont très différents. Le présent manuel livre des instruments pouvant contribuer à une plus grande homogénéité dans le contrôle des résultats de la revitalisation des cours d'eau. Ici aussi, des indicateurs servent à apprécier les processus importants.

4.3 Indicateurs

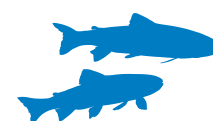
Les indicateurs sont des grandeurs mesurables livrant des informations précieuses sur l'état d'un *écosystème* et sur les processus qui le régissent (Lorenz et al. 1997). Dans notre guide, les indicateurs sont utilisés pour la caractérisation quantitative, semi-quantitative ou qualitative des objectifs du projet concerné. Ils peuvent être aussi bien biotiques qu'abiotiques. Le chapitre suivant présente un certain nombre de propriétés que doivent posséder les indicateurs. Il livre en outre des exemples d'indicateurs et présente ceux qui seront décrits dans le guide.

4.3.1 Propriétés des indicateurs

Les indicateurs biologiques comme par exemple la présence d'espèces animales typiques inféodées aux milieux aquatiques comme le castor (*Castor fiber*), la loutre (*Lutra lutra*), le saumon (*Salmo salar*) ou le martin-pêcheur (*Alcedo atthis*) sont souvent préférés aux indicateurs physico-chimiques, car plus parlants pour le grand public. Ces *espèces emblématiques*

Le suivi des zones alluviales comprend sept niveaux :

Programme au niveau administratif (normes juridiques)	Suivi de la mise en œuvre
Coordination inter-services, ressources (structure de mise en œuvre)	
Plans d'action, sorties intermédiaires (planification de la mise en œuvre)	
Sorties (Produits administratifs)	
Impacts, public politique (groupes cibles)	Suivi des effets
Suivi des effets dans la nature	
Evaluation générale	Evaluation générale



ques peuvent aider à obtenir l'adhésion de la population et à motiver les intéressés. L'intérêt de ce genre d'indicateurs ne doit pas être sous-estimé. Cependant, pour obtenir une représentation complète de la dynamique du cours d'eau, il n'en est pas moins nécessaire de recourir à des indicateurs supplémentaires de type intégratif capables de représenter un grand nombre de processus.

Pour être utilisable dans la pratique, un indicateur doit présenter le plus grand nombre possible de propriétés parmi celles indiquées ci-dessous (Cairns et al. 1993, Angermeier & Karr 1994, Lorenz et al. 1997).

- facilité de mesure et d'interprétation
- mesurable en continu et applicable dans une vaste zone géographique
- importance biologique et sociale
- intégratif
- peu coûteux
- non destructif
- existence de valeurs indicatives ou de référence
- en adéquation spatiale et temporelle avec la réalité du projet

4.3.2 Indicateurs possibles

Le nombre d'indicateurs possibles pour l'évaluation du succès du projet est pratiquement infini et il n'est donc pas facile d'en sélectionner un petit nombre (Cairns et al. 1993). Il est cependant indispensable d'apporter le plus grand soin à leur choix si on souhaite mettre en place un suivi efficace à long terme (Cairns et al. 1993). Le tableau 4.1 présente la liste des grandeurs de mesure utilisées dans les trois cas suivants :

- Indicateurs pour le suivi de la régénération des eaux dans le canton de Berne (RenF, cf. chapitre 4.2.2)
- Paramètres de mesure du *système modulaire gradué* suisse pour l'étude et l'appréciation de l'état écologique des cours d'eau en Suisse (cf. chapitre 2.2.1)
- Exemple du suivi du projet de revitalisation du Skjern au Danemark (voir ci-après)

Pour plus de clarté, les indicateurs du tableau 4.1 sont regroupés en différentes catégories. Ceux d'ordre faunistique sont indiqués en fin de liste.

La revitalisation du Skjern au Danemark

Le Skjern, situé au sud-ouest du Jylland, est le plus grand fleuve du Danemark. Jusqu'en 1962, il déployait ses méandres dans la vallée et sortait de son lit plusieurs fois par an. Ce faisant, il avait créé tout un réseau de lacs, mares et zones alluviales de grande valeur écologique. Entre 1962 et 1968, le bassin versant du Skjern a subi un drainage important assorti d'une chenalisation et d'un endiguement du fleuve pour livrer des terrains à l'exploitation intensive. La zone humide d'origine rétrécit jusqu'à ne plus occuper que 2% de sa surface initiale. Les conséquences ont été nombreuses : perte de *biodiversité* (les populations de loutre, d'oiseaux d'eau et de saumon étant particulièrement touchées), baisse de la capacité d'autoépuration, affaissement des sols et accroissement de la charge en nutriments. En 1998, le Parlement danois décida la revitalisation de 20 km du Skjern, soit 2 200 ha. L'objectif de ce programme était de créer une réserve naturelle d'un seul tenant qui reconstituerait des habitats pour les espèces alluviales et riveraines et permettrait la recolonisation d'espèces évincées. De plus, les nouvelles zones humides devaient servir de tampon entre le fleuve et les terres agricoles environnantes, permettant ainsi de limiter l'eutrophisation du Skjern et de son fjord. Enfin, la réserve naturelle devait devenir une importante zone récréative pour la population. Les mesures de revitalisation ont été réalisées entre 1999 et 2002. Elles comprirent notamment un arasement des digues et une reconstitution du tracé méandrique d'origine. Le coût du projet s'éleva à 34 millions d'euros (National Forest and Nature Agency 1999). Une analyse détaillée des coûts et profits est décrite dans l'article de Dubgaard et al. (2002). Un suivi est effectué depuis la fin du projet à partir des indicateurs cités dans le tableau 4.1.

Dans les trois cas présentés, les indicateurs d'ordre socio-économique ont été négligés, ce qui est malheureusement souvent le cas dans les suivis. Bien que notre guide s'intéresse particulièrement au domaine « Environnement et écologie », il tient également compte des objectifs fixés dans les domaines « Bénéfices

pour la société », « Economie » et « Mise en œuvre du projet » (cf. chapitre 6). La réussite du projet est évaluée pour chaque objectif mais pas pour l'ensemble du domaine dont il relève. Seul le domaine « Environnement et écologie » fait exception à cette règle. Le succès peut en effet y être évalué aussi bien pour l'ensemble du domaine que pour chacun des objectifs définis. Ce n'est cependant possible que sous certaines conditions (cf. chapitre 10).

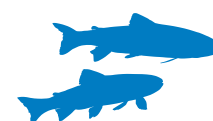
4.3.3 Indicateurs décrits

Ce manuel décrit un total de 50 indicateurs utilisés dans le suivi de la revitalisation des cours d'eau (Tableau 4.2). Leur liste a été établie sur la base de connaissances recueillies par des équipes d'auteurs spécialisés principalement dans le domaine aquatique. Il est tout

à fait concevable de mesurer des grandeurs supplémentaires livrant elles aussi des informations précieuses sur les effets des mesures de revitalisation. Notre liste d'indicateurs ne prétend donc pas être exhaustive et peut être complétée à loisir. Les indicateurs définis par l'utilisateur peuvent être rajoutés dans le modèle Excel intitulé « Auswahl und Bewertung ». La liste actuelle ne comprend pas par exemple d'indicateurs relevant du milieu terrestre comme les amphibiens, reptiles, oiseaux, insectes ou araignées. De même, elle fait l'impasse sur les *espèces emblématiques* qui pourront être introduites dans certains projets particuliers, afin de faciliter le travail de relations publiques. Par contre, elle se distingue de celles employées jusqu'ici par la prise en compte d'indicateurs socioéconomiques.

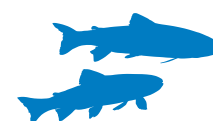
Groupe	RenF, canton de Berne (Kirchhofer & Breitenstein 2000)	Indicateur	
		Système modulaire gradué (OFEFP) *= méthode en cours de développement	Revitalisation du Skjern au Danemark (Dubgaard et al. 2002)
Aspect général		Sulfure de fer	
		Matières solides/déchets	
		Odeurs	
		Colonies hétérotrophes	
		Colmatage	
		Prolifération d'algues et de plantes	
		Mousse	
		Boues	
		Turbidité	
Continuité	Obstacles à la migration classés en fonction de leur hauteur	Cartographie et description de toutes les perturbations de la continuité	
Charriage	Atterrissement	Régime des matériaux solides*	Rétention et dépôt de matériaux solides
	Erosion		Matières en suspension
	Quantité de matériaux charriés, distance de transport		
	Dynamique du charriage et échanges des matériaux solides		
Hydraulique	Variabilité de la largeur	Variabilité de la largeur du lit mouillé	Niveau de l'eau et ses fluctuations
	Variabilité des vitesses d'écoulement	Variabilité des vitesses d'écoulement	Dynamique d'inondation
	Variabilité de la profondeur		
Hydrologie		Régime d'écoulement*	
		Dynamique de l'écoulement*	
Morphologie	Evaluation des besoins d'espace		Forme et profil du fleuve et de ses affluents

Tableau 4.1 : Indicateurs et paramètres utilisés pour le suivi et l'appréciation des cours d'eau : répartition en catégories.



Groupe	RenF, canton de Berne (Kirchhofer & Breitenstein 2000)	Indicateur	
		Système modulaire gradué (OFEFP) *= méthode en cours de développement	Revitalisation du Skjern au Danemark (Dubgaard et al. 2002)
	Tracé du cours d'eau : nom- bre de bras secondaires à différents débits, connecti- vit� latérale entre les nou- veaux chenaux ou mares et le chenal principal		Topographie et relevés d'altitude de l'hydrosystème
	Tracé : �volution		Habitats physiques
	Classe �comorphologique		
	Topographie, besoin d'espace		
	Variabilité des classes d'habitats piscicoles		
Matériaux organiques	Bois mort		Dépôt de nutriments, rétention de nutriments
			Nutrient cycle
Fond	Degré de colmatage	Largeur du fond	Mesure des hauteurs dans le lit
	Granulométrie	Aménagement du fond	
	Diversité structurelle		
	Composition du fond		
Rives	Part des rives plates et empierre�es	Largeur et nature du pied de berge	Erosion des berges
	Surfaces d'inondation	Aménagement des rives	
	Largeur des zones riverai- nes (besoin d'espace OFEG)		
	Eléments structurants : Bois mort, roches, végétation		
Végétation aquatique	Développement algal sur le fond	Indice diatomées	Succession de la végétation aquatique
	Végétation aquatique		Développement de <i>Luro- nium natans</i> et de <i>Oenan- the fluviatilis</i>
Végétation terrestre	Végétation amphibie		Succession de la végétation terrestre
	Degré d'ombrage et d'enso- llement		
	Communauté végétale riveraine : composition, extension		
	Organisation spatiale des communautés végétales		
	Succession		
	Température		
	Organismes sentinelles		
Connectivité	Connectivité au sein de l'hydrosystème, degré de connectivité		
	Connexions avec le paysage environnant		
	Cours de la rivière : con- nexions entre les nouveaux chenaux et mares avec le chenal principal		
Qualité de l'eau	Pollution organique	Ammoniaque/ammonium	Phosphore total
	Teneur en oxygène	Chlorures	Azote total
	Température	Conductivité	Fer total
		Paramètres géochimiques	Phosphore soluble
		Phosphore total	Fer soluble
		Azote total	Nitrates

Groupe	RenF, canton de Berne (Kirchhofer & Breitenstein 2000)	Indicateur	
		Système modulaire gradué (OFEFP) * = méthode en cours de développement	Revitalisation du Skjern au Danemark (Dubgaard et al. 2002)
		Nitrates	Nitrites
		Nitrites	pH
		Orthophosphates	Qualité de l'eau souterraine
		pH	Sulfates
		Pesticides, micropolluants organiques	Température
		Oxygène	
		Métaux lourds	
		Température	
		Régime thermique*	
FAUNE			
Macroinvertébrés aquatiques	Abondance	Composition taxonomique du macrozoobenthos	Evolution des populations
	Nombre d'espèces		
	Ecotypes		
Macroinvertébrés terrestres	Abondance		Evolution des populations
	Nombre d'espèces		
	Ecotypes		
Amphibiens	Espèces présentes		
Poissons	Classes d'âge	Composition de l'ichtyo- faune et dominance des espèces	Espèces présentes
	Nombre d'espèces	Déformations et anomalies	
	Biomasse	Densité des populations d'espèces indicatrices	
	Composition de la faune capturée selon les statisti- ques de pêche	Structure de la population des espèces indicatrices (classes d'âge, reproduction)	
	Reproduction des espèces piscicoles, présence de juvéniles		
	Reproduction des espèces frayant sur gravier : nombre de gravières, nombre de larves de truite fario, d'om- bre etc.		
	Indice de condition physique		
	Gravières, présence de juvéniles		
	Ichtyofaune larvaire et adulte		
Reptiles	Espèces présentes		
Mammals	Espèces présentes		Evolution de la population de loutre
Birds	Espèces présentes		Espèces présentes



Comme dans le tableau 4.1, les indicateurs décrits dans ce manuel ont été répartis en différents groupes (acceptation, fond du lit, poissons etc.). Cette classification a pour simple but de faciliter le repérage et la structuration du travail. Selon les objectifs définis pour le projet à évaluer, les indicateurs seront ensuite regroupés en sets. Ces objectifs doivent être atteints via la mise en œuvre de mesures de revitalisation (une meilleure connectivité latérale par la structuration du lit et le raccordement des annexes fluviales et des zones alluviales par exemple). Différents sets d'indicateurs sont proposés au chapitre 7 pour estimer dans quelle mesure différents moyens engagés ont permis d'atteindre les différents objectifs visés. Ces sets d'indicateurs sont basés sur le jugement et les recommandations des équipes d'auteurs. Des sets individuels peuvent être composés pour répondre aux besoins particuliers d'objectifs spécifiques (cf. chapitre 8).

A chacun des 50 indicateurs correspond une fiche descriptive figurant dans l'annexe I. Ces fiches comportent des instructions sur le relevé ou la mesure de l'indicateur concerné.

Les indicateurs sont mesurés avant et après la réalisation des aménagements de manière à mettre en évidence les différences éventuelles (cf. chapitre 10).

Les numéros utilisés dans le tableau 4.2 servent à l'identification des indicateurs. Les fiches de l'annexe I portent les numéros correspondants. Les lettres A, B et C figurant dans la colonne « Investissement » correspondent à des catégories d'investissement exprimé par le nombre de personnes-jours nécessaires pour un indicateur donné à la préparation et la réalisation d'un relevé ou d'une mesure et à l'exploitation des résultats (y-compris le nombre minimal de répétitions). Le nombre minimum de mesures nécessaire pour rendre compte de la variabilité naturelle et donc pour obtenir un résultat représentatif, est indiqué pour chaque indicateur dans sa fiche descriptive. Les indicateurs sont répartis en trois classes d'investissement :

Classe A	Classe B	Classe C
Investissement faible : < 2 person days	Investissement moyen : 2-3 person days	Investissement important : > 3 person days

Tableau 4.2 : Indicateurs décrits dans le présent guide du suivi des revitalisations de cours d'eau (répartis en groupes et indiqués par ordre alphabétique). Investissement : A < 2, B : 2-3, C > 3 personnes-jours.

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts	A
2	Acceptation	Acceptation du projet par l'ensemble de la population	B
3	Acceptation	Acceptation du projet au sein du groupe d'accompagnement	A
4	Perméabilité	Perméabilité pour les poissons	A
5	Aspects récréatifs	Nombre de visiteurs	A
6	Aspects récréatifs	Possibilités d'utilisation pour la détente et les loisirs	A
7	Aspects récréatifs	Accessibilité pour les usagers récréatifs	A
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons	C
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces	C
10	Poissons	Guides écologiques	C
11	Habitats piscicoles	Caches et structures	A
12	Charriage	Bilan des matériaux charriés	C
13	Hydraulique	Dynamique d'inondation : durée, fréquence et étendue des inondations	A
14	Hydraulique	Importance qualitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé	A
15	Hydraulique	Importance quantitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé	B
16	Hydraulique	Variabilité de la vitesse d'écoulement	C
17	Hydraulique	Variabilité de la profondeur maximale d'écoulement	B
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A
19	Paysage	Estimation quantitative de la structure du paysage : Diversité et distribution spatiale des types d'habitat	C
20	Paysage	Valeur esthétique du paysage	A
21	Macroinvertébrés	Nombre d'espèces et densité des populations d'arthropodes ripicoles terrestres	B

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement
22	Macroinvertébrés	Faune mixte d'organismes des eaux superficielles et souterraines	A
23	Macroinvertébrés	Composition taxonomique du macrozoobenthos	A
24	Macroinvertébrés	Présence d'espèces amphibiotiques dans la nappe	A
25	Matériaux organique	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A
26	Matériaux organique	Quantité de bois mort	A
27	Matériaux organique	Composition et colonisation des matériaux flottants	A
28	Participation	Qualité du processus participatif lors de la prise de décision	A
29	Participation	Satisfaction de la population vis à vis de la participation aux processus décisionnels	A
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels	A
31	Refuges	Potentiel de recolonisation par les macroinvertébrés benthiques	C
32	Fond du lit	Perméabilité du lit	B
33	Fond du lit	Dynamique structurelle du fond	B C
34	Fond du lit	Colmatage interne du fond du lit	A
35	Fond du lit	Qualité et granulométrie du substrat	A
36	Fond du lit	Structure du fond	A B
37	Fond du lit	Degré de consolidation du fond et nature des aménagements	A
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A
39	Zones transitoires / Ecotones	Couplage énergétique trophique entre milieu terrestre et milieu aquatique	C
40	Zones transitoires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C
41	Zones transitoires / Ecotones	Composition et densité de la faune de petits mammifères dans les zones transitoires	C
42	Rives	Largeur et nature des rives	A
43	Rives	Dynamique structurelle des rives	A
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre	A
45	Rives	Structure des rives	A
46	Rives	Degré de renforcement du pied de berge et nature des aménagements	A
47	Végétation	Espèces végétales typiquement alluviales	A
48	Végétation	Succession et régénération	C
49	Végétation	Mosaïque temporelle	B
50	Végétation	Composition des communautés végétales	A

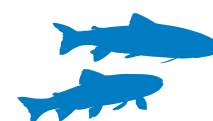
4.4 Références

4.4.1 Systèmes de référence

Les systèmes de référence représentent l'état que l'on souhaite atteindre par le biais de la revitalisation. Ils servent tout d'abord à la planification des projets de revitalisation avant de servir de modèles pour leur évaluation (SER 2002). On peut estimer qu'une revitalisation est globalement réussie lorsque le tronçon revitalisé présente une forte adéquation avec l'état de référence (Chapman 1999). Les systèmes de référence peuvent être existants donc

spatiaux, historiques ou issus de reconstitutions théoriques.

Les références spatiales sont celles de tronçons de rivière peu ou non influencés se trouvant dans la même zone géographique. De tels tronçons sont malheureusement particulièrement rares dans les zones très peuplées comme le Plateau suisse. La restauration dans l'état d'origine ne saurait donc constituer un objectif sensé, d'autant que l'état initial est généralement inconnu. Dans le cas des zones alluviales d'importance nationale, 18 sites servent de référence spatiale pour le suivi de projets de re-



vitalisation. Ces sites sont étudiés tous les cinq à dix ans afin de suivre leur évolution naturelle (Bonnard & Roulier 2004). Les sites de référence se rapprochent le plus possible de l'état d'origine. Celui-ci ne pourra en effet jamais être atteint, du moins dans nos contrées ; un certain degré *d'anthropisation* irréversible du paysage, et donc des cours d'eau, devant être accepté même dans un système de référence (Bundi et al. 2000).

L'établissement des références historiques peut être réalisé à partir d'anciennes cartes ou d'anciens relevés faunistiques et floristiques. Sur la base de ces informations historiques, il est possible de reconstituer le tracé d'origine du cours d'eau ou sa composition faunistique et floristique d'origine. Toutefois, les données historiques ne sont généralement disponibles que pour certains aspects du système étudié et se limitent souvent aux fleuves et grandes rivières. Les références issues de reconstitutions théoriques sont établies à partir des concepts hydroécologiques connus et de la conception scientifique générale d'un état de référence. Elles reposent sur les lois et principes de la *géomorphologie*, de l'*hydrologie*, de la zoologie, de la botanique et d'autres sciences naturelles. La définition d'une référence théorique laisse cependant une grande place à l'interprétation. D'autre part, les processus complexes qui régissent l'état d'un hydrosystème sont encore assez mal étudiés. Comme pour les références spatiales, ces deux approches doivent tenir compte d'un certain degré *d'anthropisation* irréversible des cours d'eau. Mais les trois méthodes ont en commun de se heurter à la difficulté de définir un état de référence reflétant toute l'amplitude de variation d'un hydrosystème (SER 2002).

Malgré les difficultés citées, la nécessité de définir des systèmes et valeurs de référence adaptés et réalistes reste indéniable. Ainsi, la question des références est aujourd'hui très actuelle dans le *système modulaire gradué* pour l'étude et l'appréciation des cours d'eau. Au niveau R (régional), l'intensité des études est relativement faible. Les analyses prévues à ce niveau doivent livrer une appréciation rapide des principaux aspects de l'état des cours

d'eau aussi bien à l'usage des spécialistes que des décideurs politiques et administratifs. Pour faciliter ce travail, un système unifié de classification est utilisé dans les différents modules. La notation peut être reportée sur une carte par des classes de couleur correspondant aux différentes catégories. Cette démarche permet une identification rapide des tronçons présentant un déficit important (OFEFP 1998). Au niveau C (cours d'eau), cette approche serait trop superficielle. Ce niveau prévoit en effet l'analyse de tout le tracé d'un cours d'eau. Les efforts de recherche et l'intensité des études y sont beaucoup plus importants qu'au niveau R. L'analyse détaillée des différents déficits écologiques dans le contexte global du cours d'eau observé permet l'établissement d'un catalogue de mesures hiérarchisé et adapté au système (OFEFP 1998). Ce niveau prévoit une appréciation de l'état du cours d'eau en comparaison avec un cours d'eau de référence. Pour ce faire, les tronçons étudiés doivent être notés en fonction de leur écart par rapport à l'état de référence. Or, les conditions de référence servant de base à la notation des cours d'eau suisses dans le système modulaire gradué n'ont pas encore été concrètement définies, que ce soit sous la forme de références spatiales, historiques ou théoriques.

4.4.2 Idées directrices

En l'absence d'un système de référence, le projet peut être évalué à partir d'« idées directrices » prédéfinies. Celles-ci correspondent à un système idéal à atteindre défini à partir des objectifs fixés pour un tronçon à revitaliser donné (Muhar et al. 1995). Les idées directrices décrivent le potentiel écologique naturel du cours d'eau concerné dans des conditions non perturbées mais en tenant compte du contexte culturel en place et des modifications irréversibles subies (Muhar et al. 1995, Jungwirth et al. 2002). Ce contexte comporte par exemple les droits d'usage existants, l'exploitation des terres et des ressources ainsi que les restrictions légales comme par exemple les périmètres et zones de protection (Jungwirth et al. 2002). Les idées directrices peuvent s'inspirer d'états de référence spatiaux, historiques et/ou issus

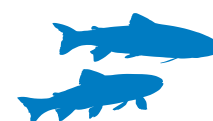
de reconstitution théorique. Le suivi consiste alors en une comparaison entre l'état atteint après revitalisation et celui défini par les idées directrices menant à une détermination du degré d'adéquation entre les deux états. La formulation d'idées directrices réalistes suppose une connaissance précise de l'état actuel du tronçon à revitaliser. Celle-ci est acquise par le biais d'une analyse complète de l'état initial et d'une analyse du déficit écologique, morphologique et socio-économique.

Les idées directrices spécifiques dont il est question dans ce chapitre ne doivent pas être confondues avec les « Idées directrices Cours d'eau suisses » définies par les offices fédéraux OFEFP, OFEG, OFAG et ODT (OFEFP/OFEG 2003). Les premières constituent l'objectif théorique concret d'un projet de revitalisation donné, alors que les secondes esquissent des mesures pouvant être prises par les cantons et les communes pour atteindre les objectifs de développement d'une politique de gestion durable des cours d'eau. Ces recommandations des offices fédéraux mettent l'accent sur l'intérêt d'un espace de liberté suffisant pour les cours d'eau, un débit suffisant dans les cours d'eau et une qualité de l'eau suffisante.

4.4.3 Valeurs indicatives

Le présent manuel ne comprend pas d'instructions pour la formulation d'idées directrices. Il expose et explique cependant divers objectifs pouvant occuper une place centrale dans un projet de revitalisation. Les idées directrices peuvent alors être concrétisées en fonction de ces objectifs. Le suivi est basé sur une comparaison entre état initial et état final en fonction des objectifs choisis. Une telle comparaison nécessite des valeurs concrètes pour les différents objectifs du projet, données par des indicateurs. Les valeurs mesurées pour les indicateurs sont comparées à des valeurs seuils définies pour chacun d'eux et correspondant à l'état « naturel » et à l'état artificiel. Pour pouvoir entrer dans un même système d'évaluation les valeurs des indicateurs doivent être standardisées. La valeur déterminée pour chaque indicateur est alors convertie à l'aide d'une méthode de *standardisation* spécifique

en une valeur comprise entre 0 pour l'état artificiel et 1 pour l'état « naturel » et reflétant sa valeur naturelle ou son degré d'adéquation avec l'objectif. Les valeurs seuils des indicateurs correspondant aux valeurs standardisées 0 et 1 sont appelées « valeurs indicatives ». De telles valeurs ont été définies pour chaque indicateur par les auteurs des fiches descriptives correspondantes, sur la base de leur expérience et des valeurs citées dans la littérature. Ces estimations sont basées sur l'expérience acquise sur les moyennes et grandes rivières du Plateau. Les valeurs indicatives « 0 » et « 1 » et les méthodes de standardisation sont indiquées dans les fiches descriptives (en allemand). Si exceptionnellement elles s'avéraient inadaptées à la situation, elles pourraient être modifiées par l'utilisateur. Un tel ajustage doit cependant être impérativement réalisé par un expert. Notre approche ne tient cependant pas compte des différences entre les types de cours d'eau. Les valeurs indicatives ne constituent donc qu'une estimation grossière permettant une première appréciation. Certains indicateurs ne se prêtent pas à la définition de valeurs seuils concrètes. Dans ce cas, on procédera à une évaluation qualitative ou semi-quantitative. Il serait également souhaitable d'adapter les valeurs indicatives aux différents types de cours d'eau, mais cela dépasserait largement le cadre de ce manuel.



5 Domaine d'application du manuel

5.1 Positionnement dans le déroulement du projet

La figure 3.4 présente le déroulement idéal d'un projet de revitalisation de cours d'eau. Le présent manuel peut apporter une contribution aux étapes suivantes :

5.1.1 Formulation des objectifs

Ce manuel facilite la formulation concrète des objectifs dans la mesure où il décrit les principaux objectifs des revitalisations fluviales (chapitre 6). L'utilisateur peut s'aider de ce référencement dans son travail de planification. Il ne propose cependant pas d'aide décisionnelle concrète pour la définition des objectifs du projet. Pour cela il est recommandé de consulter le manuel de Hostmann et al. (2005).

5.1.2 Sélection des mesures de revitalisation

La confrontation des objectifs du projet avec les mesures disponibles facilite le travail de planification. Les mesures sont exposées au chapitre 7. En ce qui concerne la procédure de sélection de celles-ci, il est également recommandé de se reporter au manuel de Hostmann et al. (2005).

5.1.3 Planification du suivi

Le suivi des revitalisations constitue le thème principal de ce manuel. Il permet d'estimer si les différents objectifs du projet de revitalisation ont effectivement été atteints. La planification du suivi comporte une sélection des indicateurs devant servir à l'évaluation de l'atteinte des objectifs. Des sets d'indicateurs sont proposés au chapitre 7 pour les mesures de revitalisation les plus courantes. Ces sets sont basés sur les objectifs concernés par la mesure choisie, mais l'utilisateur peut aussi composer ses propres sets d'indicateurs en fonction des spécificités de son projet (chapitre 8). Le choix des indicateurs est alors basé sur les objectifs du projet (chapitre 6). La sélection se fait

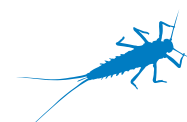
automatiquement à l'aide du modèle Excel « Auswahl und Bewertung » (Annexe III).

5.1.4 Suivi et contrôle des résultats

Le relevé et la mesure des indicateurs constituent, après la planification, la deuxième étape du suivi. Toutes les informations nécessaires aux relevés et aux mesures sont livrées par les fiches descriptives (chapitre 9 et annexe I). La troisième et dernière étape du suivi consiste en une analyse des résultats livrés par les indicateurs. Le manuel présente une méthode dont l'utilisation se trouve simplifiée grâce au recours du modèle Excel « Auswahl und Bewertung » (chapitre 10 et annexe III).

5.2 Possibilités d'application du concept

Le présent manuel livre un instrument pour le suivi des revitalisations de cours d'eau. Il est par exemple adapté aux projets visant à une valorisation de la *morphologie* et de la dynamique des cours d'eau. Cependant les possibilités d'application du concept proposé ne se limitent pas uniquement aux projets de revitalisation sensu stricto. Il convient également aux projets de protection contre les crues, ceux-ci étant actuellement quasi-systématiquement accompagnés de mesures de revitalisation. Il ne permet cependant pas d'évaluer les aspects sécuritaires, ceux-ci devant impérativement faire l'objet d'un contrôle spécifique de qualité effectué par un personnel compétent. La méthode d'évaluation présentée ici comporte en premier lieu une vérification de la bonne atteinte des objectifs fixés. Elle n'est pas destinée à l'appréciation de l'état du cours d'eau. Toutefois, plus le nombre d'objectifs considéré est important, plus l'estimation de l'adéquation par rapport à un système de référence ou au système défini par les idées directrices sera précise.



Pour prétendre à une valorisation écologique, un projet doit présenter le plus grand nombre possible de caractéristiques parmi celles citées ci-dessous :

- Le projet dispose d'idées directrices comportant des objectifs de revitalisation clairement définis.
- Le projet conduit à une amélioration notable de la diversité structurelle.
- Le projet conduit à une amélioration notable de la dynamique fluviale.
- Le projet conduit à une amélioration notable de la valeur écologique.
- Les aménagements ne portent pas atteinte de façon durable à l'hydrosystème.
- Le projet conduit à une amélioration notable de la protection contre les crues ou continue de l'assurer.
- Le projet augmente la *résilience* du cours d'eau.

Certaines difficultés ou restrictions d'utilisation du manuel peuvent apparaître dans les cas suivants :

Appréciation de la qualité de l'eau

Etant donné que la qualité des eaux s'est sensiblement améliorée au cours des trente dernières années avec l'apparition des stations d'épuration (Fischnetz 2004), les mesures visant pareille amélioration ne sont pas prioritaires. C'est pourquoi ce manuel ne propose pas d'indicateurs spécifiques de la qualité de l'eau. Si nécessaire, ils pourraient cependant être rajoutés par un utilisateur averti et être intégrés dans le suivi.

Modifications du régime d'écoulement

Dans bien des endroits, les tronçons de cours d'eau sont fortement influencés par les activités anthropiques telles que l'exploitation de l'énergie hydraulique, le prélèvement ou dérivation d'eau. Apparaissent alors des **tronçons soumis au marnage** ou à **débit résiduel** dans lesquels les efforts de valorisation écologique sont contrecarrés par des conditions d'écoulement particulièrement défavorables. Sur ces sites, même les meilleures mesures de revitalisation ne semblent pas permettre d'atteindre un état semi-naturel. Mais même si une op-

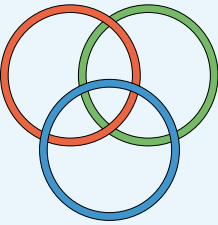
timisation totale n'est pas envisageable, une certaine amélioration peut tout de même être apportée. La plupart des indicateurs proposés ici peuvent alors être utilisés pour l'évaluation des tronçons influencés à marnage ou à débit résiduel. Un petit nombre d'entre eux ne s'y prête pas, notamment les n° 14 « Importance qualitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé », 15 « Importance quantitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé », 16 « Variabilité de la vitesse d'écoulement », 17 « Variabilité de la profondeur maximale d'écoulement », 34 « Colmatage interne du fond du lit » et 41 « Composition et densité de la faune de petits mammifères dans les zones transitaires ». Des indicateurs permettant d'évaluer les effets du marnage sont indiqués dans le rapport de Meile et al. (2005).

6 Objectifs des projets de revitalisation

Le présent guide porte exclusivement sur les revitalisations de cours d'eau. Le concept proposé pour le contrôle des résultats s'inspire des recommandations de l'OFEG sur la « Protection contre les crues des cours d'eau » (OFEG 2001). Ce document d'orientation définit la société, l'environnement et l'économie comme les trois éléments constitutifs du développement durable (cf. aussi Figure 2.19). Ce principe est généralisable et se voit donc recommandé pour la planification et l'évaluation des revitalisations. Des objectifs majeurs à prendre en compte lors de la revitalisation sont alors définis pour chacun de ces trois domaines (phase 2 de la figure 3.4) (Tableau 6.1). D'autres objectifs tels que l'« acceptation poli-

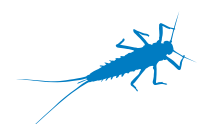
tique » et la « participation des acteurs » relèvent de la mise en œuvre du projet. La « mise en œuvre » n'est cependant pas un élément du développement durable et ne figure donc pas dans le tableau 6.1. Le suivi intervient au niveau des objectifs du projet, il permet à l'aide d'indicateurs d'estimer le degré d'atteinte des objectifs fixés pour le projet. Le succès d'un projet est d'autant plus grand que le nombre d'objectifs pour lesquels une amélioration notable a été atteinte est élevé. Les quatre domaines servent en premier lieu à regrouper les objectifs du projet.

La liste des objectifs a été établie en fonction du savoir et de l'expérience des auteurs. En plus de ceux exposés, d'autres objectifs



Société : protection et exploitation	Environnement et écologie	Economie
O b j e c t i f s :		
Protection durable contre les crues Approvisionnement durable en eau potable Augmentation de la valeur récréative	Régime d'écoulement semi-naturel Variabilité morphologique et hydraulique Régime de charriage semi-naturel Régime thermique semi-naturel Connectivité longitudinale Connectivité latérale Connectivité verticale Qualité de l'eau proche de l'état naturel Diversité et abondance semi-naturelles de la flore Diversité et abondance semi-naturelles de la faune Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires Création d'emplois de proximité Augmentation de la valeur immobilière

Tableau 6.1 : Objectifs possibles d'un projet de revitalisation fluviale réussi. Les objectifs sont répartis à travers les trois domaines du développement durable définis par l'OFEG (Weber 2001). Les objectifs en gras sont pris en compte dans la méthode de suivi proposée dans ce manuel.



peuvent être pris en compte. Dans le domaine « Environnement et écologie », la liste des objectifs est assez longue et complète. C'est pourquoi une évaluation groupée pour l'ensemble de ce domaine est effectuée en plus de l'évaluation des différents objectifs qui le composent. Dans les domaines « Société », « Economie » et « Mise en œuvre », le nombre d'objectifs considérés est par contre assez limité. Dans le cadre de notre manuel, ces trois thèmes ne feront donc pas l'objet d'une évaluation par domaine (cf. chapitre 10), celle-ci restant axée sur chaque objectif. La signification et la place des différents objectifs des projets de revitalisation sont exposées dans les pages qui suivent.

6.1 Société : protection et exploitation

Les systèmes d'eaux courantes et leurs zones alluviales sont l'objet d'une multitude de formes d'exploitation comme l'approvisionnement en eau potable, la navigation fluviale, la biodégradation des polluants, la production d'électricité et la pêche. Ils sont également fort appréciés pour les activités de loisir et de détente (Sparks et al. 1990). Une telle diversité d'attentes est évidemment particulièrement propice aux conflits d'intérêts de tous horizons (Ehrenfeld 2000).

Mais ces hydrosystèmes ne sont pas uniquement des milieux exploitables, ils sont également synonymes de dangers pour les populations riveraines. La protection contre les crues constitue donc un objectif important de l'aménagement des cours d'eau. Le maintien et la restauration des qualités d'exploitation, d'utilisation et de protection sont des objectifs majeurs souvent d'un grand intérêt économique.

Les objectifs suivants relèvent du domaine social : protection durable contre les crues, approvisionnement durable en eau potable et importante valeur récréative.

6.1.1 Protection durable contre les crues

Les aménagements durs de protection contre les crues ne sont pas compatibles avec les objectifs écologiques des revitalisations de cours d'eau. Contrairement aux mesures construc-

tives, les mesures écologiques de protection contre les crues visent à donner plus d'espace de liberté aux cours d'eau. Les zones alluviales et les surfaces de rétention des crues offrent des possibilités de protection naturelles puisqu'elles permettent d'atténuer les pics de débit et les fluctuations temporaires du niveau de l'eau (Pinay et al. 1990, Bayley 1991). Un élargissement du lit et l'arasement des ouvrages structurels de consolidation des berges contribuent à une amélioration de la *connectivité* latérale et favorisent donc la rétention des eaux dans les zones alluviales. Les inondations peuvent devenir des événements prévisibles à extension latérale limitée si le besoin d'espace des rivières est respecté (Nienhuis & Leuven 2001).

Ce guide ne propose pas d'indicateurs concernant l'objectif de protection durable contre les crues. En effet, l'évaluation de la sécurité par rapport aux crues doit faire l'objet d'un contrôle de qualité spécifique effectué par des spécialistes de ce domaine.

6.1.2 Approvisionnement durable en eau potable

Les plaines alluviales et leurs roches meubles post-glaciaires constituent des bassins d'accumulation des eaux souterraines particulièrement bien adaptées à l'approvisionnement en eau potable. Le réapprovisionnement des nappes se fait principalement par *infiltration* d'eau fluviale. Les ingénieurs ont mis à profit ce phénomène naturel en aménageant des trous de forage pour pomper les eaux souterraines à proximité des berges. La part d'eau *hyporhéique* fraîchement infiltrée dans l'eau pompée dépend de la perméabilité du fond du cours d'eau et de ses berges (taux d'infiltration spécifique). Au moment des crues, cette part augmente et varie en fonction de la *morphologie* du chenal et de ses rives.

Les ouvrages de captage des eaux ont une durée de vie de plusieurs décennies. Dans ceux situés dans les zones d'élargissement du lit, la part d'eau infiltrée augmente et le temps de séjour des eaux souterraines mixtes dans le sous-sol peut diminuer jusqu'à un niveau non souhaitable. Le même problème se pose suite à la construction ou l'élargissement d'un che-

nal parallèle (canal de drainage, *Binnenkanal*, par ex.). Partant de ces constatations, les projets de revitalisation sont soumis à des règles particulières dans les zones de protection des eaux souterraines ou de captage des eaux de manière à s'assurer d'un effet positif des aménagements sur l'approvisionnement en eau potable.

6.1.3 Valeur récréative

En plus de leurs fonctions écologiques et hydrauliques, les cours d'eau et leurs zones alluviales remplissent des fonctions importantes de détente et de loisirs pour la population locale. Certains cours d'eau ont même une importance récréative dépassant le niveau régional (l'Aar à Berne par exemple). L'objectif d'augmentation de la valeur récréative doit donc impérativement être pris en compte lors de la planification et donc de l'évaluation des revitalisations fluviales.

Les cours d'eau et leurs zones alluviales n'offrent pas uniquement un cadre privilégié pour les activités de plein air telles que la randonnée, le vélo, la baignade, la pêche, le footing et la marche nordique, mais sont également un lieu d'observation de la nature, de détente et de convivialité (Gloor & Meier 2001). Diverses études ont montré que la population locale privilégiait les milieux fluviaux naturels, diversifiés et facilement accessibles (House & Sangster 1991, Junker et al. 2003). Il est donc recommandé d'étudier la valeur récréative de l'espace fluvial en termes notamment de nombre de visiteurs, d'accessibilité, de diversité d'utilisation et de qualité esthétique du paysage.

6.2 Environnement et écologie

La capacité d'un cours d'eau à remplir ses fonctions écologiques est maintenue grâce au jeu de processus naturels internes au système et de la diversité spécifique et habitationnelle dépendante de ces processus (Angermeier & Karr 1994, Bradshaw 1996). Elle dépend d'autre part de la capacité de régénération et de restructuration du cours d'eau (Muhar & Jungwirth 1998). La capacité du cours d'eau à



Figure 6.2 : Observation ornithologique dans les environs de Broc, FR : une forme d'utilisation récréative de l'espace. 2003 (Photo : Service conseil Zones alluviales).



Figure 6.3 : Camping au bord de la Thur à Lütisburg, SG, juillet 1999 (Photo : Service conseil Zones alluviales).



Figure 6.4 : Activités de plein air sur le tronçon élargi de la Thur à Gütighausen, ZH, 2005 (Photo : A. Peter, Eawag).

remplir ses fonctions écologiques se rapporte donc davantage à sa *résilience* qu'à son état actuel (Angermeier 1997). Les processus dynamiques et le remodelage incessant de l'espace entraînant une *régénération* des structures en sont des caractéristiques majeures, de même que les fluctuations saisonnières des débits, de la température et de la turbidité de l'eau (Jungwirth et al. 2002). Les modifications chroniques comme le *marnage* peuvent à l'inverse nuire à la résilience du système et donc à sa capacité à remplir ses fonctions écologiques (Frissell & Bayles 1996).

Les principaux objectifs de revitalisation pouvant contribuer à un rétablissement de cette capacité sont exposés dans les pages qui suivent.

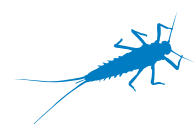




Figure 6.5 : Variabilité morphologique et hydraulique dans l'élargissement de la Thur à Schöffäuli TG/ZH, 2003 (Photo : A. Peter, Eawag).

6.2.1 Un régime d'écoulement proche des conditions naturelles

Dans des conditions « naturelles », le régime d'écoulement est responsable de diverses caractéristiques habitationnelles du milieu fluvial comme la profondeur de l'eau, la vitesse d'écoulement, les apports de nutriments, de bois flottants et de *sédiments* (Angermeier 1997, Stromberg 2001). D'autre part, un régime d'écoulement « naturel » est caractérisé par un régime des crues et une dynamique d'écoulement naturelle. A l'inverse, un régime d'écoulement fortement modifié est néfaste aux communautés fluviales de plantes aquatiques, d'invertébrés, de poissons et de *décomposeurs*. Cette contrainte doit être prise en compte lors de l'évaluation d'essais de réhabilitation entrepris sur des tronçons au régime perturbé. En Suisse, il est rare que des mesures soient prises en faveur d'une amélioration du régime d'écoulement, elle peut à la rigueur être obtenue dans le cadre de modifications de l'exploitation de centrales hydroélectriques dans une perspective écologique, d'augmentation des *débits résiduels* ou d'arrêt d'une activité de prélèvement d'eau.

Etant donné son importance, l'objectif « Régime d'écoulement proche des conditions naturelles » figure dans le tableau 6.1. Par con-

tre, il n'est pas considéré dans la méthode de suivi proposée ici car cet aspect n'est généralement pas modifié par les projets.

6.2.2 Variabilité morphologique et hydraulique

En plus du régime d'écoulement, un certain nombre de processus physiques est à l'origine de la formation des habitats et des *refuges* nécessaires à la faune et à la flore. A l'échelle du bief, la morphologie du cours d'eau est principalement définie par la pente, la profondeur d'écoulement, la largeur du lit et la charge en matériaux solides (Jungwirth et al. 2003). Le développement *morphologique* des habitats est en particulier conditionné par les processus dynamiques d'érosion et de sédimentation (Muhar & Jungwirth 1998).

Les conditions hydrauliques sont définies par le débit, la géométrie du chenal, la pente et la résistance à l'écoulement. Cette dernière composante dépend quant à elle du frottement granulaire ou de la granulométrie et des obstacles physiques comme les bancs de graviers, les épis etc. (Zarn 1997). Ces paramètres influent sur la vitesse d'écoulement, la profondeur d'écoulement, la contrainte de cisaillement, le transport sédimentaire et la stabilité du lit. Dans les cours d'eau bien structurés, l'écoulement est modifié par les bois morts, la végéta-



Figure 6.6 : Transferts et échanges de matériaux charriés dans le Rhône au niveau du bois de Finges, VS, août 2001 (Photo : Eawag).

tion et les grandes structures présentes dans le chenal. Ces cours d'eau présentent une plus grande variabilité d'écoulement et donc une plus grande diversité d'habitats que les cours d'eau pauvres en structures. D'autre part, cette diversité de structures génère de nombreuses zones d'eau calme servant de refuges et de niches au *benthos* et aux poissons (Jungwirth et al. 2003).

6.2.3 Un régime de charriage proche des conditions naturelles

Le débit et le bilan de matériaux solides sont des facteurs importants du modelage et de la dynamique *morphologique* du lit. Parmi les matériaux solides véhiculés par l'eau, on dis-



Figure 6.7 : La Dranse au niveau de Praz de Fort, VS, présentant un régime de charriage « naturel » (Photo : Service conseil Zones alluviales).

tingue les *matériaux charriés*, les matières en suspension et les matériaux flottants. Les matériaux charriés sont transportés sur le fond où ils subissent une certaine fragmentation. Ces matériaux proviennent de l'érosion verticale et latérale ainsi que des berges. Les matières en suspension sont composées de sables, de boues et de particules organiques. Les matières flottantes sont quant à elles constituées notamment de particules organiques apportées en surface ou entraînées à la surface (Jungwirth et al. 2003).

Deux facteurs jouent un rôle prépondérant dans le modelage du lit : la charge de fond et la capacité de charriage du cours d'eau. Si la capacité de charriage dépasse les apports de charge de fond, il se produit une incision du fond. Ce problème se pose notamment dans les zones à charriage réduit suite à une rétention ou un prélèvement de matériaux effectués en amont. Les cours d'eau présentant un profil transversal comprimé ont une forte tendance à l'incision. Par contre, si la charge apportée est plus importante que celle pouvant être évacuée par le cours d'eau, c'est un exhaussement du fond qui se produit (Jungwirth et al. 2003).

Dans les cours d'eau dynamiques, les crues produisent un remaniement du fond et un remodelage du lit (Jungwirth et al. 2003). S'il

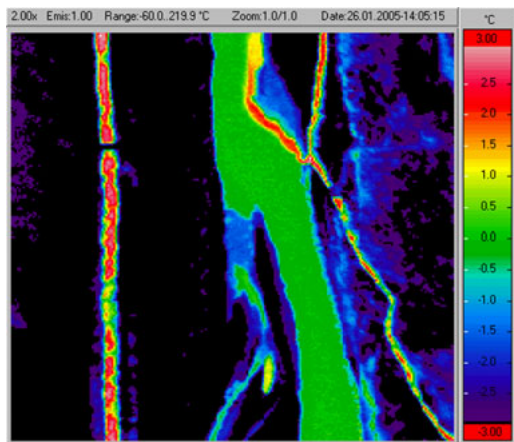


Figure 6.8 : Variabilité de la température dans l'élargissement de la Thur à Schafftäuli TG/ZH. En haut : photographie en lumière naturelle. En bas : photographie infra-rouges (résolution : 1 m² ; précision : 0,1 °C), janvier 2005 (Photos : C. Tanner, EMPA ; U. Uehlinger, Eawag).

ne se produit pas de transfert et d'échanges de matériaux de fond, un *colmatage* finit par apparaître. Les échanges entre écoulement de surface et écoulement souterrain sont alors perturbés, ce qui compromet la bonne alimentation de la nappe (Boschi et al. 2003). De plus, les espaces interstitiels si importants pour le *macrozoobenthos* et le frai des poissons deviennent alors inutilisables.

6.2.4 Un régime de température proche des conditions naturelles

La température de l'eau et le bilan thermique dépendent en premier lieu de l'ensoleillement, du climat et de l'*hydrologie* (Ward 1985). Les cours d'eau canalisés présentent généralement des températures relativement homogènes à l'exception des rivières très profondes à faibles turbulences. Dans les cours d'eau à la structure diversifiée, on observe au contraire de fortes disparités thermiques entre le chenal princi-

pal et les annexes aux eaux plutôt stagnantes (Jungwirth et al. 2003 ; cf. Figure 6.8). Dans de tels habitats alluviaux, la température est un facteur déterminant dans la biodiversité.

De grandes différences de température peuvent également apparaître sur un axe vertical ou en relation avec les eaux souterraines, offrant ainsi des *refuges* potentiels pour les organismes (Tockner et al. 2000). D'autre part, les conditions de température sur le fond et au sein du substrat revêtent une grande importance écologique puisqu'elles influent par exemple sur les taux de dégradation de la matière organique, les cycles de vie des *macroinvertébrés* et le développement des œufs et larves de poissons (Petts 2000). Etant donné les préférences thermiques spécifiques des poissons, seule une variabilité naturelle des températures peut être garante de biodiversité. D'un autre côté, les températures élevées peuvent s'avérer *létales* pour certaines espèces ou les perturber indirectement par leur action sur le métabolisme.

6.2.5 Connectivité

A partir d'une certaine importance, la capacité des systèmes alluviaux à assurer leurs fonctions écologiques dépend en premier lieu de la qualité des *connectivités* avec les milieux environnants (Petts 1996) qui, au niveau des cours d'eau, s'expriment sur trois axes : longitudinalement, transversalement ou latéralement et verticalement.

Connectivité longitudinale

La qualité des connexions entre cours supérieur et inférieur décide de l'importance des échanges de matières, de nutriments et d'organismes entre les milieux d'amont en aval. Les poissons et les macroinvertébrés sont particulièrement dépendants de cette connectivité, qui se trouve malheureusement interrompue par la présence d'ouvrages transversaux, obstacles qui se révèlent bien souvent infranchissables. Ces derniers peuvent empêcher la migration des poissons et donc anéantir toute possibilité de reproduction naturelle, entraîner un agrandissement du profil transversal, une accentuation du dépôt de fines et une perte d'habitats aquatiques (Muhar & Jungwirth



Figure 6.9 : Bras mort de l'Aar connecté à son environnement au niveau de Lyss-Dotzingen, BE, 2003 (Photo : Service conseil Zones alluviales).

1998) et causer une interruption du transport de bois morts et de matériaux flottants. Les ouvrages longitudinaux peuvent eux aussi nuire à la connectivité longitudinale.

Connectivité latérale

La connectivité latérale représente les contacts et les échanges entre les milieux aquatique, terrestre et alluvial. Son existence nécessite un régime d'écoulement naturel, de même qu'une dynamique naturelle d'inondations. Elle influe sur la composition, la productivité et l'état évolutif de la végétation riveraine et donc sur la température de l'eau, les conditions d'ensoleillement du milieu aquatique ainsi que sur la qualité et la quantité de la matière organique apportée au cours d'eau (Ward 1989). De plus, elle est souvent remise en cause par la chenalisation des rivières, la création de rives raides et le renforcement en dur des berges ; la rivière et le milieu terrestre sont bien souvent hermétiquement séparés l'un de l'autre.

Connectivité verticale

Les échanges entre les eaux de surface et la nappe, c'est à dire l'*infiltration* de l'eau fluviale dans l'*aquifère* ou l'*exfiltration* de l'eau souterraine dans la rivière, supposent une bonne connectivité verticale. Le bon fonctionnement de ces échanges est vital pour les organismes qui effectuent une partie de leur cycle de vie

dans la zone *hyporhéique* (Amoros & Bornette 2002). La qualité de ces échanges dépend du comportement de l'écoulement ainsi que de la qualité et de la température de l'eau.

6.2.6 Une qualité de l'eau proche des conditions naturelles

La qualité de l'eau des rivières influe sur la *diversité* et l'*abondance* de la faune et de la flore des habitats fluviaux de même, au travers de l'infiltration, que sur la qualité des eaux souterraines. En Suisse, elle est actuellement satisfaisante (Bundi et al. 2000).

Les mesures de revitalisation concernées par ce manuel n'ont qu'un effet subsidiaire sur la qualité de l'eau. Cet objectif de qualité n'est donc pas intégré à l'évaluation proposée ici, même s'il est mentionné dans le tableau 6.1.



Figure 6.10 : Saule blanc (*Salix alba*) et Baldingère (*Phalaris arundinacea*), 2004 (Photo : Service conseil Zones alluviales).

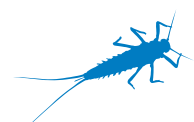




Figure 6.11 : A gauche : Tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*), 1987, à droite : Petite massette (*Typha minima*), 2001 (Photos : Service conseil Zones alluviales).



6.2.7. Diversité et abondance de la flore proches des conditions naturelles

La diversité et l'abondance de la végétation riveraine dépendent fortement de l'intensité et de la fréquence des débordements du cours d'eau et des apports d'éléments nutritifs qui les accompagnent. La végétation joue donc un certain rôle d'indicateur dans la disponibilité en habitats et la dynamique fluviale (Paar 1997). Elle est également un réservoir d'informations sur l'évolution temporelle du milieu : les communautés herbacées reflètent les conditions écologiques du moment tandis que la végétation arborée est le témoin de conditions environnementales passées tout en laissant entrevoir l'évolution future du peuplement forestier (Roulier 1998). La flore aquatique n'est pas prise en compte dans la méthode de suivi proposée dans ce manuel.

Suite à la canalisation des cours d'eau, de nombreuses communautés végétales typiquement alluviales se sont raréfiées (Delarze et al. 1998). La revitalisation stimule par exemple la formation de communautés pionnières à bois tendre (Ellenberg 1996). Elle peut aussi favoriser la réapparition d'une *zonation naturelle de la végétation* ou d'une *mosaïque* de formations herbacées, buissonnantes et arborées. Dans ce processus, les espèces pionnières herbacées colonisent tout d'abord les bancs de graviers apparus suite à la revitalisation, préparant le



Figure 6.12 : Le Hotu (*Chondrostoma nasus*) poisson typique de la Thur, n'a pu y faire sa réapparition qu'à la suite de la revitalisation partielle de la rivière, 2003 (Photo : A. Peter, Eawag).



Figure 6.13 : Œufs de Chevalier guignette (*Actitis hypoleucos*), Aergera près de Plasselb-Marly, FR, 1992 (Photo : Service conseil Zones alluviales).



Figure 6.14 : Œufs de Bergeronnette des ruisseaux (*Motacilla cinerea*) dans la zone alluviale de la Sense, FR/BE, 1997 (Photo : Service conseil Zones alluviales).



Figure 6.15 : Dépôt de bois mort et de matériaux organiques dans la zone alluviale de la Sense, FR/BE, juin 1999 (Photo : Service conseil Zones alluviales).

terrain pour les stades arbustifs et arborés. Les idées directrices servant à la restauration des paysages alluviaux « naturels » sont issues de documents et données historiques décrivant des rivières naturelles.

6.2.8 Diversité et abondance de la faune proches des conditions naturelles

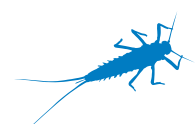
La forte dépendance entre la *diversité* et l'*abondance* de la faune d'une part et l'existence d'habitats adéquats d'autre part a déjà été soulignée. Les habitats nécessaires aux poissons, aux petits mammifères, aux *macroinvertébrés*, aux amphibiens, aux oiseaux et autres animaux aquatiques et semi-aquatiques sont le résultat d'une grande variabilité *morphologique* et *hydraulique*, d'un régime de température « naturel » et d'une bonne *connectivité* des milieux tant sur le plan latéral que longitudinal et vertical.

Diversité et abondance de la flore et surtout de la faune ne constituent pas uniquement un objectif écologique majeur mais sont généralement très appréciées de la population. Ce double objectif de revitalisation ne peut

être atteint qu'en combinaison avec d'autres objectifs d'amélioration de l'environnement et de l'état écologique (cf. Tableau 6.1).

6.2.9 Des cycles organiques viables

La colonisation du milieu par la faune et la flore n'est possible que si les apports de nutriments sont assurés. Cette disponibilité en éléments nutritifs est elle-même dépendante d'une multitude de facteurs *abiotiques*. La matière organique est au cœur d'un cycle dans lequel elle est tour à tour apportée, retenue et transformée. L'intensité de ces processus de même que la taille et l'origine des matériaux organiques se modifient tout au long du cours des rivières. Ainsi, dans le cours supérieur, le cours d'eau est alimenté par des apports extérieurs en provenance de la végétation riveraine. Dans le cours moyen, les apports d'éléments nutritifs trouvent principalement leur source dans la production primaire interne à la rivière. Le cours inférieur est quant à lui caractérisé par des échanges d'éléments nutritifs, de minéraux et de matière organique entre le



cours d'eau et ses milieux alluviaux (Lorenz et al. 1997). L'alimentation des cours d'eau en éléments nutritifs dépend donc fortement des cycles d'inondation, de la couverture arborée et arbustive, de la croissance de la végétation de même que de la *connectivité* latérale et longitudinale (Lorenz et al. 1997).

6.3 Economie

Un des impératifs économiques à respecter est certainement l'efficacité des moyens engagés, c'est à dire le rapport entre les ressources employées et les effets obtenus. L'évaluation des résultats en fonction de cet objectif économique est particulièrement complexe et ne peut être entreprise que plusieurs années après la réalisation du projet de revitalisation. C'est la raison pour laquelle l'objectif d'efficacité n'a pas été pris en compte dans notre manuel qui se limite donc aux aspects budgétaires.

6.3.1 Respect des impératifs budgétaires

Cet objectif concerne la manière dont les moyens financiers mis à disposition ont été employés. En effet, le succès d'un projet de revitalisation ne se mesure pas uniquement à ses effets écologiques et à son degré d'acceptation par la population mais aussi à l'efficacité de la mise en œuvre des moyens financiers et temporels disponibles (Bratrich 2004). Si le budget alloué au projet est dépassé, il se peut que d'autres projets de revitalisation aient à en faire les frais ou tout simplement que le projet ne puisse pas être achevé comme prévu. Le respect des impératifs budgétaires est donc un objectif économique important.

Les créations d'emplois et l'augmentation de la valeur immobilière sont également des objectifs économiques potentiels d'un projet de revitalisation. Ils ne seront cependant pas pris en compte dans la méthode proposée ici étant donné qu'ils ne concernent en réalité que les très grands projets. Des informations plus détaillées sur les impacts économiques des revitalisations fluviales sont données dans l'article de Spörri et al. (2005).

6.4 Mise en œuvre

En plus des trois éléments du développement durable indiqués dans le Tableau 6.1, une autre catégorie d'objectifs est décisive pour le succès des revitalisations fluviales : ceux relevant de la qualité et du déroulement de la mise en œuvre du projet. Ils portent sur l'acceptation politique d'un projet et sur la participation des acteurs et parties prenantes. Ces dernières décennies, la sensibilité de l'opinion publique face aux problèmes écologiques n'a cessé d'augmenter. Cette sensibilisation est d'autant plus forte que les personnes sont concernées directement ou indirectement par les conséquences de ces problèmes (Selin & Chavez 1995, Zaugg 2002).

6.4.1 Acceptation politique

La bonne acceptation politique d'un projet de revitalisation est une condition indispensable de son succès (Bratrich 2004). Le degré d'acceptation d'un projet décrit la manière dont ce projet et son déroulement sont accueillis par la population. Plus le degré d'acceptation est important, plus il sera facile de lancer à l'avenir des projets similaires dans la même région.

L'adhésion de l'opinion à un projet dépend certes de la valorisation récréative, de la protection contre les crues et de l'amélioration de la qualité écologique qu'il est susceptible de produire ou d'assurer, mais il serait fatal de négliger l'intégration des personnes concernées dans les processus décisionnels (Participation des parties prenantes) ou le respect des impératifs budgétaires. Le degré d'acceptation d'un projet est donc un indicateur intégratif livrant une information globale sur le succès de sa mise en œuvre.



Figure 6.16 : Participation de représentants de différents groupes d'intérêts à la formulation des objectifs d'un projet, mai 2005 (Photo : M. Buchecker, WSL/FNP).

6.4.2 Participation des parties prenantes

Les divers enjeux sociaux, écologiques et économiques liés aux cours d'eau peuvent donner lieu à des conflits d'intérêts (Jungwirth et al. 2002). Il est donc important d'assurer une participation précoce des personnes concernées directement ou indirectement par le projet afin d'identifier les conflits potentiels et de rechercher à temps des solutions consensuelles. La participation des groupes d'intérêts et de la population locale joue un rôle d'autant plus important que l'envergure des projets est grande. Les objectifs et missions sont alors :

- de favoriser l'adhésion de l'opinion aux revitalisations
- d'éviter à temps les conflits pouvant s'avérer coûteux à un stade ultérieur du projet (Susskind & Cruickshank 1987)
- d'obtenir la légitimation publique des décisions prises
- d'améliorer le climat de la prise de décision dans les projets futurs par un processus d'apprentissage social (Beierle & Konisky 2000)
- de favoriser l'éducation à l'environnement et l'intérêt pour les mesures hydrauliques et écologiques dans l'espace fluvial (House 1996)

La demande d'une participation du public dans la gestion des ressources naturelles a nettement augmenté depuis les années 1970. Malgré cet intérêt, les instructions *standardisées* pour l'évaluation des processus participatifs font encore grandement défaut (Farrell et al. 1976, Hampton 1977, Homenuck 1977, Vindasius 1977, Sewell & Phillips 1979, Beierle & Konisky 2000, Rowe & Frewer 2000, Jackson 2002). C'est principalement dû au fait que les indicateurs socio-économiques sont difficiles à quantifier. A défaut d'autre chose, les évaluations ont alors souvent recours à des paramètres qualitatifs.



7 Mesures de revitalisation et sets d'indicateurs

En Suisse, divers types de mesures sont actuellement appliquées aux cours d'eau en vue de leur revitalisation (Tableau 7.1). Les efforts visant à favoriser la diversité structurelle de l'hydrosystème fluvial sont les plus fréquents tandis que les aménagements visant à une amélioration du *charriage* sont assez rares. Si les mesures permettant de restaurer continuum fluvial existent déjà, elles gagneront certainement encore en importance du fait de la forte fragmentation des cours d'eau suisses (cf. chapitre 2). Le choix des mesures de revitalisation adéquates dépend de la nature des objectifs fixés pour les différents projets.

Dans le présent manuel, des sets d'indicateurs destinés au suivi des revitalisations sont proposés pour une sélection de mesures de revitalisation. Les mesures choisies s'appliquent toutes à une revitalisation active. Le suivi d'un projet est toujours basé sur les objectifs définis dans sa planification. Nous indiquons par conséquent les mesures permettant d'atteindre les objectifs décrits au chapitre 6 (Tableau 7.2). Le manuel ne propose cependant aucune aide décisionnelle pour le choix des aména-

gements les plus judicieux. Des informations à ce sujet sont données dans le manuel de Hostmann et al. (2005). Le choix des indicateurs dépend des objectifs fixés, alors que la composition des sets dépend de l'aptitude des indicateurs à décrire les résultats des mesures correspondant aux objectifs. L'adéquation des indicateurs pour les différentes mesures est donc indiquée dans le tableau 7.3, trois classes d'aptitude ont été définies. La notation des indicateurs en fonction de ces trois classes est basée sur l'expérience et l'opinion des experts.

Dans les chapitres qui suivent, les mesures de revitalisation choisies pour ce manuel seront brièvement décrites puis illustrées à l'aide d'exemples de revitalisations. Les sets d'indicateurs recommandés seront alors présentés. Pour les exemples concrets, des projets ont été choisis aussi bien en Suisse qu'à l'étranger. La taille des sets d'indicateurs est adaptée aux mesures qu'ils doivent décrire et aux objectifs correspondants. Les mesures ayant des effets complexes nécessitent logiquement des sets volumineux pour pouvoir juger correctement

Amélioration du régime d'écoulement
Restauration d'un régime d'écoulement naturel et dynamique
Augmentation du débit résiduel
Atténuation des effets néfastes du marnage
Augmentation de la diversité structurelle / de la connectivité latérale
Elargissement*
Remise à ciel ouvert*
Structuration du fond du lit*
Structuration des rives*
Création et raccordement de chenaux secondaires*
Raccordement des bras morts et des milieux alluviaux*
Création de zones et surfaces d'inondation
Restauration du continuum fluvial
Connectivité longitudinale*
Improving bedload regime
Dynamisation du charriage*

Tableau 7.1 : Mesures de revitalisation fréquemment réalisées en Suisse, réparties en différents domaines d'action. Les mesures marquées d'un astérisque sont traitées dans ce manuel.



de leur succès. Leur taille varie de 11 à 26 indicateurs permettant de couvrir tous les objectifs touchés par la mesure à laquelle ils s'appliquent respectivement. Ils sont généralement conçus pour les rivières de moyenne à grande taille du Plateau. Seule exception, le set correspondant aux « remises à ciel ouvert » s'applique aux ruisseaux. Il est vivement conseillé

d'utiliser un set d'indicateurs dans sa totalité. Si toutefois un utilisateur souhaitait ne pas utiliser le set recommandé, il lui serait possible d'en composer un à sa convenance à l'aide du modèle Excel « Auswahl und Bewertung » présenté au chapitre 8. Dans un tel cas de figure, le set recommandé peut servir de base de décision pour le travail de composition.

Tableau 7.2 : Aptitude des mesures les plus fréquemment appliquées en Suisse à l'atteinte des principaux objectifs des projets de revitalisation fluviale (respectivement indiquée par un point noir).

Mesure de revitalisation (entre parenthèses : chapitre correspondant dans le manuel)	Bénéfices pour la société		Environnement et écologie										Economie	Mise en œuvre
	Objectifs du projet													
	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Charriage semi-naturel	Régime thermique semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique	Participation des parties prenantes
Elargissement (7.1)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Remise à ciel ouvert (7.2)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Structuration du fond du lit (7.3)		•	•					•		•	•	•	•	•
Structuration des rives (7.4)	•	•	•		•	•	•		•	•	•	•	•	•
Chenaux secondaires (7.5)	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Bras morts et milieux alluviaux (7.6)	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Connectivité longitudinale (7.7)		•	•	•		•		•	•	•	•	•	•	•
Dynamisation du charriage (7.8)	•		•	•		•	•	•		•		•	•	•

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Importance de l'indicateur pour les différentes mesures								
			Investissement	Elargissement	Remise à ciel ouvert	Structuration du fond du lit	Structuration des rives	Création et raccordement de chenaux secondaires	Création de zones et surfaces d'inondation	Connectivité longitudinale	Dynamisation du charriage
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts	A	3	3	2	3	3	3	2	1
2	Acceptation	Acceptation du projet par l'ensemble de la population	B	3	3	2	3	3	3	2	1
3	Acceptation	Acceptation du projet au sein du groupe d'accompagnement	A	3	3	2	3	3	3	2	1
4	Perméabilité	Perméabilité pour les poissons	A	2	3	2	2	2	2	3	1
5	Aspects récréatifs	Nombre de visiteurs	A	3	3	2	3	3	3	2	1
6	Aspects récréatifs	Possibilités d'utilisation pour la détente et les loisirs	A	3	3	2	3	3	3	2	1
7	Aspects récréatifs	Accessibilité pour les usagers récréatifs	A	3	3	1	3	3	3	2	1
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons	C	3	3	2	3	3	3	3	2
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces	C	3	3	2	3	3	3	3	2
10	Poissons	Guides écologiques	C	3	3	2	3	3	3	3	2
11	Habitats piscicoles	Caches et structures	A	3	3	3	3	2	3	1	2
12	Charriage	Bilan des matériaux charriés	C	3	1	3	1	1	1	3	3
13	Hydraulique	Dynamique d'inondation : durée, fréquence et étendue des inondations	A	3	3	1	2	3	3	1	1
14	Hydraulique	Importance qualitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé	A	3	3	3	2	1	1	2	2
15	Hydraulique	Importance quantitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé	B	3	3	3	2	1	1	2	2
16	Hydraulique	Variabilité de la vitesse d'écoulement	C	3	3	3	2	2	1	2	2
17	Hydraulique	Variabilité de la profondeur maximale d'écoulement	B	3	3	3	2	1	1	2	2
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A	3	3	3	3	3	3	3	1
19	Paysage	Estimation quantitative de la structure du paysage : Diversité et distribution spatiale des types d'habitat	C	3	3	1	3	3	3	3	2
20	Paysage	Valeur esthétique du paysage	A	3	3	2	3	3	3	2	1
21	Macroinvertébrés	Nombre d'espèces et densité des populations d'arthropodes ripicoles terrestres	B	3	3	1	3	3	3	2	1
22	Macroinvertébrés	Faune mixte d'organismes des eaux superficielles et souterraines	A	3	3	1	1	1	2	1	2
23	Macroinvertébrés	Composition taxonomique du macrozoobenthos	A	2	3	3	2	2	3	2	3
24	Macroinvertébrés	Présence d'espèces amphibiotiques dans la nappe	A	3	3	1	1	1	2	1	2
25	Matériaux organique	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A	3	3	3	2	1	2	2	1
26	Matériaux organique	Quantité de bois mort	A	3	3	3	2	1	2	3	1
27	Matériaux organique	Composition et colonisation des matériaux flottants	A	2	1	1	2	2	2	3	1
28	Participation	Qualité du processus participatif lors de la prise de décision	A	3	2	2	2	3	3	2	1

Tableau 7.3 : Importance des indicateurs recommandés par le présent manuel pour l'évaluation du succès des différentes mesures de revitalisation :
3 = grande importance,
2 = importance moyenne,
1 = sans importance.
Investissement :
A : <2 personnes-jour,
B : 2-3 personnes-jour,
C : >3 personnes-jour.



N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Importance de l'indicateur pour les différentes mesures							
				Elargissement	Remise à ciel ouvert	Structuration du fond du lit	Structuration des rives	Création et raccordement de chenaux secondaires	Création de zones et surfaces d'inondation	Connectivité longitudinale	Dynamisation du charriage
29	Participation	Satisfaction de la population vis à vis de la participation aux processus décisionnels	A	3	2	2	2	3	3	2	1
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels	A	3	2	2	2	3	3	2	1
31	Refuges	Potentiel de recolonisation par les macroinvertébrés benthiques	C	3	3	2	3	3	3	2	2
32	Fond du lit	Perméabilité du lit	B	2	3	1	1	2	2	2	2
33	Fond du lit	Dynamique structurelle du fond	B C	3	2	3	1	1	1	2	3
34	Fond du lit	Colmatage interne du fond du lit	A	2	3	1	1	1	1	2	2
35	Fond du lit	Qualité et granulométrie du substrat	A	3	2	3	1	1	1	1	3
36	Fond du lit	Structure du fond	A B	3	2	3	1	1	1	2	3
37	Fond du lit	Degré de consolidation du fond et nature des aménagements	A	3	3	3	1	1	2	2	1
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A	3	3	2	3	2	3	1	1
39	Zones transitoires / Ecotones	Couplage énergétique trophique entre milieu terrestre et milieu aquatique	C	3	2	1	3	3	3	1	1
40	Zones transitoires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C	2	3	1	1	2	3	2	2
41	Zones transitoires / Ecotones	Composition et densité de la faune de petits mammifères dans les zones transitoires	C	3	2	1	2	2	3	1	1
42	Rives	Largeur et nature des rives	A	3	3	1	3	2	2	1	1
43	Rives	Dynamique structurelle des rives	A	3	2	1	3	2	2	2	1
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre	A	3	3	1	3	3	3	2	2
45	Rives	Structure des rives	A	3	2	1	3	2	2	2	1
46	Rives	Degré de renforcement du pied de berge et nature des aménagements	A	3	3	2	3	2	3	2	1
47	Végétation	Espèces végétales typiquement alluviales	A	3	3	1	2	2	2	1	1
48	Végétation	Succession et régénération	C	3	3	1	2	2	2	1	1
49	Végétation	Mosaïque temporelle	B	3	3	1	2	3	3	1	1
50	Végétation	Composition des communautés végétales	A	3	3	1	2	3	3	1	1



Figure 7.4 : Élargissement de la rivière Pascoletto près de Grono, GR, 2002 (Photo : M. Hostmann, Eawag).

Figure 7.5 : Élargissement de la Thur à Gütighausen, ZH, 2002 (Photo : M. Hostmann, Eawag).

Figure 7.6 : Élargissement de petite dimension dans le Liechtensteiner Binnenkanal à Ruggeli, 2005 (Photo : A. Peter, Eawag).



Figure 7.7 : La Thur près de Schöffäuli, TG/ZH. A gauche : avant son élargissement, à droite : en mai 2004 après élargissement du chenal (Photos : C. Hermann, BHAtteam, Frauenfeld).

7.1 Élargissements

7.1.1 Présentation

L'élargissement d'un cours d'eau canalisé consiste à l'élimination unilatérale ou bilatérale des ouvrages de protection linéaire et éventuellement à un élargissement mécanique du chenal de manière à conférer une plus grande liberté de mouvement à l'écoulement (Figures 7.4 à 7.6). Un tel aménagement est généralement pratiqué sur une longueur limitée de quelques centaines de mètres. Les élargissements de 1 à 2 km de long restent encore exceptionnels. Lorsqu'ils sont de dimension suffisante, les élargissements peuvent accroître les dépôts de *charriage* dans le chenal, ce qui contribue à une stabilisation du fond du lit et à la formation de bancs de gravier et de sable. Selon le type fluvial naturel, le supplément de largeur peut induire une ramification du chenal et la formation d'îles. Ce type d'aménagement peut d'autre part entraîner une augmentation de la variabilité des profondeurs et des vitesses d'écoulement, une multiplication des habitats alluviaux typiques et donc une augmentation de la biodiversité. Les tronçons élargis sont enfin généralement très appréciés sur le plan récréatif.

Les élargissements peuvent être pratiqués aussi bien sur les cours d'eau de taille moyenne que sur les fleuves et grandes rivières mais conviennent surtout aux chenaux autrefois ramifiés. Des informations supplémentaires et des instructions concernant le dimensionnement des aménagements (longueur et largeur) sont disponibles sur le site du projet Rhône-Thur, www.rivermanagement.ch.



7.1.2 Exemples d'élargissements

L'élargissement de la Thur à Schaffäuli, Suisse

La Thur est une rivière de type torrentiel dans son cours supérieur prenant sa source près de Säntis, canton de St-Gall, et s'écoule sur 127 km avant de se déboucher dans le Rhin en aval d'Andelfingen. Lorsque sur son bassin versant de 1750 km² de fortes pluies viennent s'ajouter à des sols déjà saturés par la fonte des neiges, le niveau de la Thur peut monter très rapidement en l'espace de quelques heures seulement. Elle ne présente à ses abords aucun lac ni autre espace de rétention susceptible d'accueillir les eaux de crue. Au XIX^e siècle déjà, des inondations dévastatrices avaient motivé la mise en œuvre de grands travaux de régulation. Mais ces mesures importantes de protection contre les crues n'empêchèrent pas pour autant les inondations particulièrement fortes dont le XX^e siècle fut lui aussi porteur (Weber 2001). Après les crues de 1978 lors desquelles le débit de la Thur fut trente fois supérieur à sa moyenne annuelle, les cantons de Zurich et de Thurgovie décidèrent la planification d'une deuxième correction de la Thur. Les travaux démarrèrent en 1987 côté zurichois et en 1993 côté thurgovien. Leur but ne visait pas uniquement à améliorer la protection contre les crues mais aussi à valoriser écologiquement l'espace fluvial. Les principaux déficits de la rivière sur le plan écologique s'expriment par une perturbation du *charriage*, une faiblesse de la *connectivité* tant longitudinale que latérale et une qualité d'eau inégale. L'espace est d'autre part

fortement sollicité par les activités de loisir de la population riveraine (Weber 2001). Jusqu'en 2015, toute une série de projets devra permettre de combler le déficit écologique de la Thur tout en améliorant la protection contre les crues débordantes. Les élargissements constituent le type de mesure le plus généralement employé pour améliorer la dynamique fluviale.

L'élargissement de la Thur réalisé en 2001 et 2002 près de Schaffäuli est souvent cité en exemple (Figure 7.7) : Sur ce site, le chenal a été élargi bilatéralement de 50 à 100m sur une longueur de 1500 m. Du côté thurgovien, les berges ont été stabilisées avec des arbres en épis (troncs d'arbres) et des fascines (assemblages de branchages). Les extrémités amont et aval ainsi que le milieu de l'élargissement ont d'autre part été pourvus d'une stabilisation supplémentaire par des épis en tressage. Côté zurichois, la stabilisation des berges a été assurée par le biais d'ouvrages de guidage, d'épis plats, d'épis et de fascines (www.rivermanagement.ch/aufweitungen). Les élargissements ont nettement amélioré la dynamique fluviale, un grand nombre d'habitats nouveaux a fait son apparition : berges plates, bancs de gravier, annexes fluviales, *gués* et *fosses d'affouillement*. Une végétation pionnière typique régulièrement entraînée par les crues s'est développée sur les bancs de gravier (Figure 7.8). La diversité des macroinvertébrés a augmenté dans l'élargissement même si l'*abondance* et la biomasse sont restées constantes. Les habitats nouvellement apparus ont induit une augmentation du nombre d'espèces de poissons. Ainsi, le Hotu (*Chondrostoma nasus*) a pu refaire son apparition. Mais les oiseaux profitent également des nouveaux habitats, le retour du Petit gravelot (*Charadrius dubius*) a ainsi été salué comme un signe bienvenu de succès.

Figure 7.8 : Communauté alluviale pionnière typique sur les bancs de gravier de l'élargissement de Schaffäuli, TG/ZH, juillet 2003 (Photo : C. Roulier, Service conseil Zones alluviales).



Figure 7.9 : Le cours supérieur de l'Isar ayant conservé son caractère d'origine près de Vorderriß, Bavière, 1999 (Photo : Bayerisches Landesamt für Umwelt, Munich).



Élargissement de l'Isar près de Munich, Allemagne

Aux environs de 1850, l'Isar présentait encore son visage d'origine aux portes de la grande ville de Munich : il s'agissait alors d'une rivière sauvage et ramifiée aux rives non consolidées, divisée en une multitude de chenaux se déplaçant au gré des crues. A partir de 1850, l'Isar

connu une série de régulations visant à corseter son cours. L'Isar munichoise vit son tour venir entre 1900 et 1912, se faisant domestiquer par la construction d'un canal d'aménée. Pour les besoins de la protection contre les inondations, la rivière se vit doter d'ouvrages longitudinaux, de champs d'épis et de digues. Son caractère originel de rivière de montagne préalpine ne reste plus visible que dans certains sites préservés de son cours supérieur (Figure 7.9).

Depuis 2000, des mesures représentant 26 millions d'euros d'investissement ont été engagées sur divers sites aux alentours de Munich sur une longueur totale de 9,3 km de linéaire en vue de la transformation et de la valorisation de la rivière. La mesure principale a alors constitué en un élargissement du lit pouvant atteindre en de nombreux endroits plus du double de la largeur de départ. Le but était d'accorder un espace supplémentaire au cours d'eau lui permettant de remodeler lui-même ses berges à l'occasion des crues et permettant d'absorber une partie des eaux véhiculées lors de ces événements paroxysmiques. Les berges plates qui sont apparues suite à ces aménagements, particulièrement faciles d'accès, ont été très favorablement accueillies par la population en quête d'espaces de loisirs. En plus des élargissements, des îles de graviers ont été créées, les seuils verticaux et berges abruptes ont été aplanis. Ces aménagements ont créé de nouveaux habitats faunistiques et floristiques et permis d'améliorer la *connectivité* des milieux tant longitudinalement que latéralement. Un assainissement des digues a d'autre part été réalisé pour augmenter la protection contre les crues débordantes. Le projet de revitalisation de l'Isar est réalisé en partenariat entre le Wasserwirtschaftsamt München (service d'économie des eaux de la ville de Munich) et la Landeshauptstadt München. (Références et informations supplémentaires sur le site www.wasserwirtschaftsamt-muenchen.de/app/neues_leben_isar)

Autres exemples :

Élargissement de la Kander à Augand, Suisse, Fonds de renaturation du canton de Berne.

Autres exemples d'élargissements sur le site www.rivermanagement.ch/aufweitungen/aufw_bl.php.

7.1.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.10 est recommandé pour l'évaluation du succès de la mesure « Élargissement ».

7.2 Remise à ciel ouvert

7.2.1 Présentation

Le busage ou recouvrement des cours d'eau par des constructions ou infrastructures est une mesure autrefois mise en pratique pour les besoins de la protection contre les crues, de l'agriculture ou de l'évacuation des eaux usées (Figure 7.11). Depuis l'entrée en vigueur de la Loi sur la protection des eaux de 1991, la couverture et la mise sous terre des ruisseaux est interdite sauf rare exception (art. 38). Les tronçons busés présentent de graves déficits sur le plan *hydrologique*, hydrochimique et habitational, tout en constituant en outre un obstacle à la migration des poissons (Gallagher 1999).

Les données des relevés *écomorphologiques* de 22 cantons montrent que 17% des cours d'eau recensés sont busés ou mis sous terre (Chapitre 2). Les cours d'eau les plus touchés sont généralement ceux de plus petite dimension (d'ordre de Strahler 1 ou 2) situés en zone agricole. La remise à ciel ouvert de ces ruisseaux constitue un véritable défi de revitalisation du fait de la grande extension géographique du problème.

L'Ordonnance sur l'aménagement des cours d'eau de 1994 considère dans son article 6 les remises à ciel ouvert comme des mesures de revitalisation prioritaires. Relativement faciles à réaliser, elles présentent en outre un très grand potentiel écologique. Elles permettent en effet la restauration de la *connectivité* longitudinale, latérale et verticale des milieux et sont d'autre part créatrices d'une variabilité *morphologique* et *hydraulique* favorable à la *diversité* et à l'*abondance* faunistique et floristique. Les indicateurs de ce guide se prêtent à l'évaluation du succès de la remise à ciel ouvert des tronçons de ruisseaux à l'exception de ceux situés en tête de bassin. Dans ces zones, des conditions et interrelations complexes doivent en effet être prise en compte.



Mesure : Elargissement

Tableau 7.10 : Set de 26 indicateurs recommandé pour le suivi de la mesure de revitalisation « Elargissement ».

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (♦ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)										Economie	Mise en œuvre			
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Chariage semi-naturel	Régime thermique semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune			Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts*	A														♦	
5	Aspects récréatifs	Nombre de visiteurs	A	♦														
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons**	C			•	•		•	•				♦				
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces**	C			•	•	•	•					♦				
10	Poissons	Guildes écologiques**	C			•	•	•	•					♦				
12	Chariage	Bilan des matériaux charriés	C			•	♦		•					•				
17	Hydraulique	Variabilité de la profondeur maximale d'écoulement	B			♦	•						•	•				
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A														♦	
20	Paysage	Valeur esthétique du paysage	A			♦												
21	Macroinvertébrés	Nombre d'espèces et densité des populations d'arthropodes ripicoles terrestres	B										•				♦	
22	Macroinvertébrés	Faune mixte d'organismes des eaux superficielles et souterraines	A				•						•				♦	
23	Macroinvertébrés	Composition taxonomique du macrozoobenthos	A			•	•		•	•	•			♦				
25	Matériaux organiques	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A			•				•							♦	
26	Matériaux organiques	Quantité de bois mort	A	•						•							♦	
28	Stakeholder Participation des parties prenantes	Qualité du processus participatif lors de la prise de décision	A															♦
30	Stakeholder Participation des parties prenantes	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels*	A															♦
33	Fond du lit	Dynamique structurelle du fond	B C			♦	•		•	•	•	•	•	•				
34	Fond du lit	Colmatage interne du fond du lit	A	•		•	•						♦					

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (♦ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)												
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Charriage semi-naturel	Régime thermique semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique
35	Fond du lit	Qualité et granulométrie du substrat	A			♦	•					•	•			
36	Fond du lit	Structure du fond	A B			♦	•		•	•	•	•	•	•		
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A	•				♦		•	•					
40	Zones transitoires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C	•		•	•	•			♦					
43	Rives	Dynamique structurelle des rives	A	•		♦			•	♦		•				
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre	A				•			♦			•			
45	Rives	Structure des rives	A	•		♦			•	♦		•				
48	Végétation	Succession et régénération	C							•		♦				

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

♦ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré

7.2.2 Exemples d'aménagement

Le « Bachkonzept » de la ville de Zurich, Suisse
Aux alentours de 1850, de nombreux ruisseaux s'écoulaient à l'air libre sur une longueur totale d'environ 160 km sur l'actuel territoire de la commune zurichoise. En 1980, seuls 60 km environ persistaient, en zone forestière essentiellement. Dans le cadre du développement urbain, des ruisseaux furent *busés* pour l'évacuation des eaux usées, se dégradant bientôt pour devenir de véritables égouts. Les effets indésirables de ce détournement d'usage des ruisseaux furent l'occurrence d'inondations lors de pointes de débit et une surcharge inutile des stations d'épuration par les eaux fluvia-



Figure 7.11 : Déversement par conduite d'un affluent dans la Thur (peu avant la confluence de la Thur avec le Rhin), 2005 (Photo : A. Peter, Eawag).



les s'écoulant avec les eaux à traiter sans parler évidemment de la disparition des habitats faunistiques et floristiques correspondants. Pour tenter de contrecarrer ces effets indésirables, la Ville de Zurich développa un « Bachkonzept » (« Plan ruisseaux »), véritable plan de bataille destiné à établir un système d'assainissement durable assurant également une protection globale des eaux. Le « Bachkonzept » fut entériné par le Conseil municipal en 1998. Ce plan désigna les ruisseaux et tronçons à réouvrir, à recréer ou à revitaliser et définit les principes de la démarche de remise à ciel ouvert. Parmi ces principes figurent notamment le raccordement aux ruisseaux des eaux étrangères non polluées produites dans la zone qu'ils traversent, la création d'espaces récréatifs et l'aménagement naturel des ruisseaux visant la restauration d'habitats pour la faune et la flore indigènes. Sur la base du « Bachkonzept », près de 16 km de cours d'eau avait été réouverts, recréés ou revitalisés jusqu'en 2002 sur le territoire de Zurich. Le nouveau concept est très bien accepté par la population. La Ville de Zurich a même été récompensée du Prix suisse des cours d'eau en mai 2003 pour l'efficacité et la qualité de son « Bachkonzept » (Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ) 2003).

L'Albisrieder Dorfbach a par exemple été découvert sur une longueur de 2,5 km entre 1989 et 1991 en même temps que l'Algierbach (Figure 7.12). Le ruisseau traverse aujourd'hui des espaces verts et terrains privés de la périphérie de Zurich avec un débit de 12 l/s. Un



Figure 7.12 : L'Albisrieder Dorfbach remis à ciel ouvert dans la Saumackerstrasse, ZH, (Photo : Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ)).

étang de rétention des eaux pluviales a été emménagé en biotope. Le ruisseau a été boisé par endroits et son fond reconstitué à partir de matériaux de granulométrie variable. Une étude biologique effectuée en 2000 a montré que le tronçon réaménagé était bien colonisé, plus de 36 espèces animales ayant été recensées, soit plus du double des espèces comptées dans le bassin versant. Sur le plan de l'abondance et de la diversité, la faune était dominée par les éphéméroptères et les trichoptères. Des espèces nouvelles de vers, de sangsues et d'aselles aquatiques sont d'autre part venues s'installer dans le nouveau milieu créé. Le ruisseau est bien accepté par la population locale qui profite intensément du nouvel espace récréatif (Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ) 2003). D'autres exemples de ruisseaux remis à ciel ouvert dans la ville de Zurich sont présentés dans le document cité et pouvant être téléchargé sur www3.stzh.ch/internet/erz/home/medien/broschueren.ParagraphContainerList.ParagraphContainerList.0028.File.pdf/b_baeche_in_der_stadt.pdf.

La remise à ciel ouvert de la Litzibuch, Suisse

Depuis 1877, plus de 60% des petits ruisseaux du canton d'Argovie ont été busés. Au sud-est de la commune d'Oberwil-Lieli, près de la limite du Canton de Zurich, les ruisseaux ont même totalement disparu du paysage. Les abords du ruisseau Litzibuch ont été complètement asséchés en 1943-1944 par la mise en place d'un réseau très dense de drainage. Ces travaux ont permis de gagner des terrains agricoles de grande valeur. Mais en même temps, ils causèrent la disparition d'un réseau écologique diversifié et de structures marquantes du paysage. Suite à cette amélioration foncière, de nombreuses espèces disparurent de la zone géographique touchée, devenant très rares à l'échelle du canton.

A Oberwil-Lieli, une partie du système hydrographique du ruisseau enterré lors du remembrement a été réouvert en 2003 par des travaux de faible coût tant humain que financier, mais de grande efficacité. Il s'agit là d'un tronçon d'environ 200 m de long jugé particulièrement propice à une remise à ciel ouvert

Mesure : Remise à ciel ouvert

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (◆ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)														
				Bénéfices pour la société		Environnement et écologie							Economie	Mise en œuvre				
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Charriage semi-naturel	Régime thermique semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique	Participation des parties prenantes	
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts*	A													◆		
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons**	C			•	•		•	•								
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces**	C			•	•	•	•									
10	Poissons	Guides écologiques**	C			•	•	•	•									
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A														◆	
20	Paysage	Valeur esthétique du paysage	A		◆													
22	Macroinvertébrés	Faune mixte d'organismes des eaux superficielles et souterraines	A				•			•								
23	Macroinvertébrés	Composition taxonomique du macrozoobenthos	A			•	•		•	•	•							
25	Matériaux organiques	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A			•			•									
28	Participation	Qualité du processus participatif lors de la prise de décision	A															◆
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels*	A															◆
36	Fond du lit	Structure du fond	A B			◆	•		•	•	•	•	•					
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A	•				◆		•	•							
40	Zones transitoires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C	•		•	•	•			◆							
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre	A				•			◆								•
47	Végétation	Espèces végétales typiquement alluviales	A						•									◆

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

◆ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré

Tableau 7.13 : Set de 16 indicateurs recommandé pour le suivi de la mesure de revitalisation « Remise à ciel ouvert ».



et à une revitalisation au vu des aspects écologiques, techniques et agricoles. Etant donné la faiblesse de l'écoulement de quelques litres par seconde à peine, une coupe de 40 cm de large et de 35 cm de profondeur s'avérait en effet suffisante. Le ruisseau ainsi libéré remplit aujourd'hui une importante fonction de *connectivité* au sein de l'hydrosystème et constitue un enrichissement paysager de premier ordre. L'aménagement devrait permettre dans un avenir proche le retour d'une faune disparue telle que des libellules, demoiselles et amphibiens divers ainsi que l'installation d'espèces de mégaphorbiaie riveraine.

Le ruisseau remis à ciel ouvert se déverse dans le Geissweid-Bach, un affluent de la Repisch comptant d'après le Zürcher Naturschutz-Gesamtkonzept (schéma directeur zurichois de protection de la nature) au nombre des systèmes d'eau courante de très grande valeur écologique du canton de Zurich. Pour les autorités zurichoises, la revitalisation de ces cours d'eau et de leurs affluents revêt un caractère prioritaire, les busages devant être autant que possible éliminés et de petits réseaux « naturels » de ruisseaux de prairie devant être recréés. Le présent projet s'inscrit parfaitement dans le cadre de ces préoccupations. (Source : www.litibuch.ch/Landwirtschaftsbetrieb/Bachausdolung.htm)

7.2.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.13 est recommandé pour l'évaluation du succès de la mesure de revitalisation « Remise à ciel ouvert ».

7.3 Structuration du fond du lit

7.3.1 Présentation

La présence d'une grande variété de structures au fond du lit est déterminante pour la diversité habitationnelle d'un cours d'eau et donc pour sa qualité d'accueil faunistique et floristique. Dans ce cadre, les structures telles que les *fosses d'affouillement*, les *gués*, les bois morts et les rochers jouent un rôle prépondérant dans la distribution des vitesses d'écoulement et des substrats. Ces éléments structurants offrent d'autre part des caches et refuges pour différents organismes (Jungwirth et al. 2003). La structuration du fond du lit par intervention anthropique fait partie des mesures de revitalisation les moins coûteuses en terme d'efforts et de moyens. Le fond du lit doit cependant être aménagé aussi naturellement que possible (Figures 7.14 et 7.15). Si la diversité structurelle est accrue sans toutefois stimuler la dynamique fluviale, cette mesure ne permet généralement pas d'améliorer la capacité du cours d'eau à remplir ses fonctions écologiques.

7.3.2 Exemple

La Skerne, Angleterre

Le Skerne, d'un bassin versant de 250 km² de superficie, se déverse dans la Tees au sud de Darlington dans le Comté de Durham. Par le passé, le cours du Skerne fut rectifié pour faciliter la décharge de déchets de l'industrie sidérurgique dans la zone alluviale. Cette rectification conduisit à une incision importante de la rivière et à une altération significative de la qualité de l'eau. Des aménagements ont

Figure 7.14 (photo de gauche) : Le lit de la Thur revalorisé par structuration du fond dans la région d'Eggrank, Thurspitz, ZH, 2003 (Photo : Service conseil Zones alluviales).



Figure 7.15 (photo de droite) : Le lit du Liechtensteiner Binnekanal revalorisé par structuration du fond, 2005 (Photo : A. Peter, Eawag).



d'autre part été réalisés pour protéger la population riveraine très dense et les infrastructures des méfaits des crues débordantes. A l'heure actuelle, des égouts, conduites de gaz et décharges industrielles se trouvent à proximité immédiate de la rivière (Vivash 1999).

En 1995 et 1996, des travaux de revitalisation ont été réalisés sur un tronçon de 2 km en vue de l'amélioration de la qualité écologique du Skerne. Des méandres ont pu être recrées dans la partie aval du tronçon. Dans sa partie amont, l'espace disponible était insuffisant en raison de la présence d'une conduite de gaz le long d'une des berges et d'une décharge à proximité de la seconde. Dans cette partie

amont, l'option choisie a alors été de restructurer le lit monotone trapézoïdal de 9 m de large par le biais de différentes mesures. En premier lieu, des troncs d'arbre d'environ 30 cm de diamètre ont été fixés aux berges pour détourner l'écoulement. Fixés à l'aide de pieux et de fils de fer et remplis de pierres et de matériaux terreux, ces dispositifs étaient chargés d'initier la formation de bancs de gravier. Ils permirent effectivement la formation de petits méandres et l'augmentation de la diversité structurale. Les constructions ont cependant dû faire l'objet de réparations à la suite des crues hivernales. En second lieu, des éperons constitués de tapis végétalisés ont été installés dans la rivière

Mesure : Structuration du fond du lit

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Environnement et écologie			Economie	Mise en œuvre
				Variabilité morphologique et hydraulique	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts*	A					◆
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons**	C	•	◆			
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces**	C	•	◆			
10	Poissons	Guildes écologiques**	C	•	◆			
11	Habitats piscicoles	Caches et structures	A	•	•	•		
16	Hydraulique	Variabilité de la vitesse d'écoulement	C	◆	•			
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A				◆	
23	Macroinvertébrés	Composition taxonomique du macrozoobenthos	A	•	•	◆		
25	Matériaux organiques	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A	•		◆		
30	Participation des parties prenantes	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels*	A					◆
36	Fond du lit	Structure du fond	A B	◆	•	•	•	

Tableau 7.16 : Set de 11 indicateurs recommandé pour le suivi de la mesure de revitalisation « Structuration du fond du lit ».

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

◆ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré



pour retenir boues et limons afin de favoriser l'établissement naturel de la végétation. Les éperons pénétraient dans le courant sur plus de 2 m et servaient à empêcher le sapement des berges tout en créant des habitats supplémentaires. La troisième mesure appliquée fut la création d'un gué par déversement de roches et de graviers sur les berges opposées. Cet aménagement produisit une diversification de la profondeur, de la vitesse et des directions d'écoulement (Vivash 1999). (Davantage d'informations sur ce projet sur www.therrc.co.uk/projects/skerne.htm).

Des travaux destinés à améliorer la diversité structurelle du fond du lit ont également été réalisés dans le nouveau chenal de contournement de l'usine hydroélectrique de Ruppoldingen, canton de Soleure (cf. Chapitre 7.7.2).

7.3.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.16 est recommandé pour l'évaluation du succès de la mesure « Structuration du fond du lit ».

7.4 Structuration des berges

7.4.1 Présentation

Au niveau des berges, les éléments structurants dépendent principalement du tracé du cours d'eau, du substrat et de la végétation. Ces trois facteurs façonnent les habitats de la

zone de transition entre milieu aquatique et milieu terrestre et sont donc indispensables à la présence des organismes relevant de ces deux types de milieu (Jungwirth et al. 2003). Etant donné les activités passées d'aménagement fluvial et de constructions hydrauliques, les berges des cours d'eau sont cependant souvent enrochées ou bétonnées et d'une trop grande déclivité, la rivière se trouvant souvent totalement coupée de ses rives. Une structuration des berges peut, par exemple, consister en une élimination des constructions en dur, une végétalisation des talus ou un aplanissement relatif. Elle permet alors d'une part de rétablir la connectivité latérale des milieux et d'autre part de stimuler la formation d'éléments structurants au niveau des berges (Figure 7.17).

7.4.2 Exemple

Le Skerne, Angleterre

Dans le cadre de la revitalisation du Skerne présentée au chapitre 7.3.2, différentes mesures de végétalisation et de stabilisation des berges ont également été mises en œuvre. Ce type de mesures a surtout été employé pour le tronçon sur lequel les méandres ont été créés. Une première méthode a consisté à planter des pieux verticalement le long de la berge et de tresser entre eux des branches de saule. Cette méthode de tressage est particulièrement bien adaptée aux berges raides nécessitant soutien mécanique et protection contre l'érosion. Les



Figure 7.17 : Berge de la Thur revalorisée par la présence d'éléments structurants près de Wuer, TG, 1998 (Photo : Service conseil Zones alluviales).

Mesure : Structuration des berges

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (♦ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)													
				Bénéfices pour la société		Environnement et écologie				Economie	Mise en œuvre						
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Régime thermique semi-naturel	Connectivité latérale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique	Participation des parties prenantes			
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts*	A													♦	
5	Aspects récréatifs	Nombre de visiteurs	A	♦													
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons**	C			•		•			♦						
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces**	C			•	•				♦						
10	Poissons	Guildes écologiques**	C			•	•				♦						
15	Hydraulique	Importance quantitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé	B			♦		♦									
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A													♦	
21	Macroinvertébrés	Nombre d'espèces et densité des populations d'arthropodes ripicoles terrestres	B					•			♦						
25	Matériaux organiques	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A			•		•			♦						
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels*	A														♦
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A	•			♦	•									
40	Zones transitoires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C	•		•	•										
42	Rives	Largeur et nature des rives	A			♦	•	•	•	•	•						
43	Rives	Dynamique structurelle des rives	A	•		♦		♦		•							
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre	A					♦			•						
45	Rives	Structure des rives	A	•		♦		♦		•							
47	Végétation	Espèces végétales typiquement alluviales	A						♦								

Tableau 7.18 : Set de 17 indicateurs recommandé pour le suivi de la mesure de revitalisation « Structuration des berges ».

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

♦ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré



nouvelles berges aplanies ont quant à elles été pourvues de tapis formés de branches de saule maintenues dans des filets. Ce dispositif a été complété de roches à la limite entre terre et eau. Pour stabiliser les nouvelles berges, des troncs d'arbre ont d'autre part été fixés aux berges à certains emplacements critiques. Dans les zones soumises à une érosion moins forte, l'affouillement des berges est évité par un système de pierres maintenues dans des filets de nylon. Ces filets ont ensuite été recouverts de rouleaux de gazon ensemencés de construction similaire. Les berges du Skerne auparavant très pentues ont ainsi pu être restructurées de façon à éviter non seulement l'érosion mais aussi à créer de nouveaux habitats pour la faune et la flore (Vivash et al. 1998).

Une structuration des berges a également été réalisée dans le domaine du château d'eau de Vogelsang (cf. Chapitre 7.5.2) et dans la zone alluviale de Foort près d' Eggenwil (cf. Chapitre 7.8.2) dans le but de revitaliser le milieu.

7.4.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.18 est recommandé pour l'évaluation du succès de la mesure de revitalisation « Structuration des berges ».



Figure 7.19 (photo de gauche) : Bras secondaire de l'Aar près de Vogelsang, AG, 2004 (Photo : S. Woolsey, Eawag).



Figure 7.20 (photo de droite) : Ile de l'Aar près de Limmatspitz, AG, 2005 (Photo : S. Woolsey, Eawag).

7.5 Création et raccordement de chenaux secondaires

7.5.1 Présentation

Les chenaux secondaires sont des bras de petite taille qui s'écoulent parallèlement au chenal principal. Ils conduisent un écoulement aussi bien à basses eaux que lors des crues. Les chenaux secondaires se distinguent des cuvettes et fossés qui se situent au niveau de l'écoulement principal et sont isolés à l'étiage sous forme de mares. Les chenaux secondaires contribuent fortement à la diversité habitationnelle des cours d'eau et sont donc caractérisés par une grande *diversité* et une grande *abondance* tant faunistique que floristique. Ils peuvent se distinguer très nettement du chenal principal au niveau de la température, du substrat, de la profondeur, de la végétation riveraine, de l'offre alimentaire, des vitesses d'écoulement et donc remplir un rôle décisif en servant de *refuges* aux organismes (Habersack & Nachtnebel 1995). Par de simples travaux de terrassement, il est possible de raccorder d'anciens chenaux secondaires au chenal principal dont ils ont été déconnectés ou d'en créer de nouveaux.

7.5.2 Exemples

« Château d'eau » de Vogelsang, Suisse

A Vogelsang (commune de Brugg, canton d'Argovie), se rejoignent l'Aar, la Reuss et la Limmat, trois rivières qui drainent à elles seules près de la moitié de la Suisse. La zone alluviale qui a résulté de cette confluence a subi pendant des décennies les assauts de la civilisation humaine et de l'agriculture intensive. Par l'enrochement des berges de l'Aar et de la Limmat la *connectivité* latérale avait disparu, le glacis étant totalement coupé des rivières à l'exception des périodes de crues débordantes.

Dans le cadre de l'Ordonnance sur les zones alluviales de 1992, et du parc cantonal « Auenschutzpark Aargau », différents projets de revitalisation ont été réalisés dans la zone du « château d'eau » dans le but de rétablir la dynamique du milieu alluvial. Sur la rive gauche de l'Aar, un bras secondaire de 950 m de long a été recréé (Figure 7.19), des mares et étangs ont été aménagés, de petites baies calmes ont

été créées sur les berges concaves et des fossés creusés pour favoriser l'écoulement secondaire (Lachat et al. 2001). Entre l'île de l'Aar et la zone dite de « Schachenacher », les ouvrages de renforcement des berges ont été éliminés et le bras secondaire élargi (Figure 7.20). La rive gauche de la Limmat a elle aussi été revalorisée par la création d'un nouveau chenal secondaire porteur de nouveaux habitats. Le canal d'aménée de la petite usine hydroélectrique de Vogelsang qui divisait la presqu'île en deux a été élargi sur sa rive gauche alors aplanie. Pour accroître la diversité structurelle, des bancs de graviers et de galets ont été artificiellement créés dans cette zone. Le paysage fluvial « naturel » ainsi aménagé a permis le retour d'espèces typiques telles que le Martin pêcheur (*Alcedo atthis*), le Lorient (*Oriolus oriolus*), le Castor (*Castor fiber*), l'Ombre (*Thymallus thymallus*), le Peuplier noir (*Populus nigra*) et le Saule blanc (*Salix alba*) (Jenny 2003). Pour plus d'informations, veuillez consulter le site www.ag.ch/natur2001/auenschutzpark/.

Le Waal, Pays-Bas

Aux Pays-Bas, le Rhin se jette dans la mer du Nord par trois bras principaux. Véhiculant 70% des eaux du Rhin, le Waal est le plus important des trois. Ce cours d'eau constitue une voie navigable très empruntée entre l'Allemagne et Rotterdam (160 000 bateaux de marchandises chaque année). Dans le cadre de travaux de régulation fluviale exécutés aux XIXe et XXe siècles, des épis ont été installés dans la double optique de créer un chenal plus profond pour la navigation fluviale et de lutter contre l'érosion des berges. Etant donné que

les épis empêchent le méandrage du fleuve, la *régénération* naturelle des milieux alluviaux ne peut s'effectuer. Le niveau des zones alluviales augmente alors constamment du fait des dépôts ininterrompus de sédiments.

Le fort intérêt économique lié à la navigation fluviale interdisait toute revitalisation du chenal principal. L'option choisie fut alors la construction de chenaux secondaires dont les deux premiers, alimentés en permanence avec une capacité maximale d'écoulement de respectivement 1,2 et 0,5% du débit du chenal principal, furent réalisés en 1994 à Opijnen et à Beneden-Leeuwen. Les bras ainsi créés sont caractérisés par un écoulement peu profond et une connexion accrue avec le chenal principal (Figures 7.21 et 7.22). Un suivi biologique très intense a montré que les espèces de *macroinvertébrés*, de poissons, de macrophytes et de limicoles caractéristiques des eaux courantes profitaient presque immédiatement des nouveaux habitats des bras secondaires, ce qui se traduisait par une augmentation de leur *diversité* et de leur abondance (Simons et al. 2001).

Autre exemple :

Le Wildibach, Suisse : nouveau bras secondaire de l'Aar : développement de la faune piscicole du Wildibach (www.ag.ch/umwelt-aargau/pages/suchergebnis.asp?ID_Artikel=460). (Voir aussi le travail de diplôme de Boller & Würmli 2004.)

7.5.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.23 est recommandé pour l'évaluation de la mesure « Création et raccordement de chenaux secondaires ».



Figure 7.21 (photo de gauche) : Chenal secondaire nouvellement créé sur le Waal à Opijnen, Pays-Bas, juin 1997 (Photo : T. Buijse, RiZA, Pays-Bas).



Figure 7.22 (photo de droite) : Chenal secondaire nouvellement créé sur le Waal à Beneden-Leeuwen, Pays-Bas, 2003 (Photo : Bert Boekhoven, Pays-Bas).



Mesure : Chenaux secondaires

Tableau 7.23 : Set de 20 indicateurs recommandé pour le suivi de la mesure de revitalisation « Création et raccordement de chenaux secondaires ».

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (◆ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)														
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Régime thermique semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique	Participation des parties prenantes		
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts*	A														◆	
4	Connectivité longitudinale	Perméabilité pour les poissons	A					◆										
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons**	C			•		•	•				◆					
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces**	C			•	•	•					◆					
10	Poissons	Guildes écologiques**	C			•	•	•					◆					
16	Hydraulique	Variabilité de la vitesse d'écoulement	C			◆						•	•					
17	Hydraulique	Variabilité de la profondeur maximale d'écoulement	B			◆						•	•					
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A														◆	
20	Paysage	Valeur esthétique du paysage	A		◆													
22	Macroinvertébrés	Faune mixte d'organismes des eaux superficielles et souterraines	A									•		◆				
25	Matériaux organiques	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A			•						•		◆				
28	Participation	Qualité du processus participatif lors de la prise de décision	A															◆
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels*	A															◆
35	Fond du lit	Qualité et granulométrie du substrat	A			◆						•		•				
36	Fond du lit	Structure du fond	A			◆		•	•	•	•	•	•	•				
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A	•			◆		•	•								
40	Zones transitaires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C	•		•	•				◆							
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre	A							◆				•				
45	Rives	Structure des rives	A	•		◆		•	◆				•					
47	Végétation	Espèces végétales typiquement alluviales	A					•					◆					

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

◆ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré

7.6 Raccordement des bras morts et milieux alluviaux

7.6.1 Présentation

Dans les cours d'eau dynamiques, il arrive souvent que des éléments se forment qui ne sont traversés ou occupés par les eaux que périodiquement ou épisodiquement (Jungwirth et al. 2003). Il peut s'agir de bras morts, d'étangs, mares et flaques en zone alluviale, ces dernières apparaissant principalement lors des crues sous l'effet de la divagation des méandres. Les bras morts sont unilatéralement reliés au chenal principal tandis que les étangs et flaques de la zone alluviale sont totalement isolés. Les apports de matériaux biologiques et de sédiments fins conduisent à terme au comblement de ces milieux et à la perte de diversité structurelle et biologique (Jungwirth et al. 2003). Ces annexes hydrauliques peuvent être assez facilement raccordées au chenal principal de manière à redynamiser le milieu devenu stagnant. Aussi, les annexes apparues suite à des processus naturels peuvent constituer des habitats précieux. Dans ce cas-là, il est déconseillé de procéder à leur raccordement. L'opportunité de raccorder ces annexes fluviales au chenal principal devra être évaluée au cas par cas au travers d'expertises sur le terrain.

Les anciennes zones alluviales qui ne sont plus inondées suite à des aménagements hydrauliques peuvent également être reconnectées à l'écoulement principal par le biais de voies créées artificiellement, ce qui leur permet de retrouver une certaine dynamique et de développer une *succession* alluviale typique.

7.6.2 Exemples

La Marchme, bras mort de l'Aar, Suisse

Au cours de la correction de l'Aar réalisée entre 1887 et 1906, la rivière a été rectifiée et endiguée au niveau de Klingnau (canton d'Argovie). Les bras secondaires alors isolés commencèrent à se combler par atterrissement. Ne faisant pas exception, la Marchme a vu sa surface mouillée rétrécir peu à peu jusqu'à ne plus être formée que d'une succession de trous d'eau et fossés bordés de roseaux. Pendant l'hiver 1995/1996, ce bras mort a été revivifié

pour tenter de reconstituer la *mosaïque* d'habitats typiques des zones humides qui le caractérisait autrefois. Les mesures devaient également permettre la conservation voire le développement des populations de libellules et d'amphibiens ainsi que d'oiseaux nichant dans les roseaux. La priorité a alors été fixée sur le Martin-pêcheur (*Alcedo atthis*) et le Castor (*Castor fiber*) (Laimberger & Zumsteg 1998).

Dans le cadre des travaux, 13 000 m³ de sédiments d'atterrissement ont été évacués et 8000 m² de plan d'eau ont été rétablis. Ils aboutirent à la création d'une masse d'eau continue de 500 m de long, d'une profondeur maximale d'environ 1,5 m et d'une largeur de 10 à 20 m. De plus, une passe à poissons à quatre bassins a été construite, reliant ainsi la Marchme à l'Aar via le *Binnenkanal*. D'autre part, l'extensification de l'agriculture dans les environs a permis de réduire les apports de nutriments dans la Marchme. Un suivi des mesures effectué dans les milieux revitalisés fait état de résultats positifs : la Rousserole effarvate (*Acrocephalus scirpaceus*), Bruant des roseaux (*Emberiza schoeniclus*), le Râle d'eau (*Rallus aquaticus*) et le Grèbe castagneux (*Podiceps ruficollis*) ont déjà pu être observés. Un couple de Martins-pêcheurs (*Alcedo atthis*) s'est installé dans le nichoir construit au printemps 1996. Les castors (*Castor fiber*) ont eux aussi pris possession du nouveau milieu offert. Aujourd'hui, la Marchme est l'une des principales réserves naturelles de la région du barrage de Klingnau et l'un des rares bras morts encore existants dans le canton (Laimberger & Zumsteg 1998).

Le Brede, Danemark

L'hydrosystème du Brede au sud du Jylland (Danemark) est constitué de plus de 1000 km de cours d'eau et canaux alimentés par un bassin versant de 473 km². Les fleuves principaux en sont le Brede et le Lobaek brook. Le Brede lui-même s'écoule à proximité des villes dans une plaine à vocation agricole avant de se déverser dans la mer de Wadden en empruntant l'écluse de Ballum. Les deux fleuves ont subi



une rectification dans les années 1950 suite au développement de l'agriculture intensive. Les méandres ont été supprimés et le tracé canalisé. Le lit des cours d'eau fut creusé pour augmenter la capacité d'écoulement en cas de crue, des barrages ont été construits pour freiner l'écoulement et l'empêcher de former des méandres. Ces mesures ont conduit à l'assèchement ou à l'isolement des éléments alluviaux environnants et au fractionnement de l'hydrosystème. De ce fait, des habitats précieux et des structures de valeur disparurent. La pêche de la truite autrefois lucrative fut elle aussi pratiquement éliminée. Avant la régulation fluviale, les systèmes alluviaux permettaient de filtrer les éléments nutritifs d'origine agricole qui se déversèrent ensuite directement dans le fleuve. Ces apports nutritifs conduisirent à un développement excessif d'algues dans les eaux calmes de la mer de Wadden.

En 1991, un important programme de revitalisation fut lancé sur le Brede et ses affluents. Son objectif n'était pas uniquement d'augmenter la qualité écologique du milieu mais aussi de valoriser le système pour en améliorer l'usage par la population. Entre 1991 et 1997, 13,6 km de chenal canalisé ont été reméandrés sur 20 km de long. En parallèle, le fond a été surélevé de façon à ce que les éléments alluviaux puissent être plus fréquemment inondés lors des crues. Enfin, de nouveaux étangs ont été aménagés dans certains anciens méandres et un marais de grande valeur écologique, dont la faune et la flore étaient menacés d'assèchement et d'embroussaillage, a pu être restauré à Draved. Dans cette dernière zone, plusieurs canaux qui drainaient le centre du marais ont été colmatés en 1993. Cette mesure a entraîné la formation d'un lac de 25 ha. L'évolution des nouveaux habitats fait l'objet d'un suivi très complet. En plus de l'observation des *macroinvertébrés*, des oiseaux, des communautés végétales et des populations de poissons, ce suivi comprend également un contrôle des nutriments, des sédiments, du régime *hydrologique* et de la stabilité du fond du cours d'eau. Il prévoit d'autre part une analyse de l'acceptation du projet dans la population, de l'opinion publique, des aspects récréatifs et

du rapport coûts/bénéfices (County of Sonderjylland 1996). (Pour plus d'informations sur le projet, veuillez consulter le site www.thercc.co.uk/projects/brede.htm.)

Ce projet de revitalisation a fait l'objet d'une planification très soignée commencée plusieurs années avant le début des travaux. Le bassin versant du Brede a alors été appréhendé de façon globale, ce qui vaut à ce projet d'être considéré comme exemplaire au niveau européen (Nielsen 1996). D'autres projets de revalorisation écologique verront bientôt le jour dans l'hydrosystème du Brede, la revitalisation du Lobaek brook y occupant une place de premier plan (County of Sonderjylland 1996).

7.6.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.24 est recommandé pour l'évaluation de la mesure de revitalisation « Raccordement des bras morts et zones alluviales ».

Mesure : Raccordement des bras morts et milieux alluviaux

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (♦ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)												
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Régime thermique semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique	Participation des parties prenantes
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts*	A												♦	
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons**	C			•		•	•				♦			
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces**	C			•	•	•					♦			
10	Poissons	Guildes écologiques**	C			•	•	•					♦			
16	Hydraulique	Variabilité de la vitesse d'écoulement	C			♦					•	•				
17	Hydraulique	Variabilité de la profondeur maximale d'écoulement	B			♦					•	•				
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A												♦	
20	Paysage	Valeur esthétique du paysage	A		♦											
22	Macroinvertébrés	Faune mixte d'organismes des eaux superficielles et souterraines***	A							•			♦			
25	Matériaux organiques	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A			•				•			♦			
28	Participation	Qualité du processus participatif lors de la prise de décision	A													♦
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels*	A													♦
31	Refuges	Potentiel de recolonisation par les macroinvertébrés benthiques***	C					•	•	•	•	•				
35	Fond du lit	Qualité et granulométrie du substrat	A			♦				•		•				
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A	•			♦		•	•						
40	Zones transitoires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C	•		•	•				♦					
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre***	A							♦			•			
50	Végétation	Composition of floodplain plant communities	A						•			♦				

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

*** Cet indicateur nécessite le relevé des indicateurs n° 22 et 44. L'investissement comprenant également ces deux indicateurs est alors de niveau C.

♦ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré

Tableau 7.24 : Set de 18 indicateurs recommandé pour le suivi de la mesure de revitalisation « Raccordement des bras morts et milieux alluviaux ».



7.7 Connectivité longitudinale

7.7.1 Présentation

Les cours d'eau suisses sont fortement fragmentés par des ouvrages transversaux de toutes sortes. L'élimination de ce genre d'ouvrage contribue à rétablir la *connectivité* longitudinale des milieux. Notre manuel ne propose pas d'indicateurs pour les mesures consistant en une élimination des grands barrages et ouvrages de grande dimension étant donné que de telles interventions sont actuellement jugées irréalistes en Suisse (contrairement aux Etats-Unis). Le démantèlement de barrages, seuils et chutes artificielles de dimensions modestes représente à l'inverse une mesure de revitalisation très actuelle dans notre pays. Ces obstacles servent en premier lieu à la stabilisation du fond des cours d'eau. Les barrages s'opposent à la migration des poissons vers l'amont et vers l'aval (montaison, dévalaison) tandis que les seuils et chutes font surtout obstacle aux grands déplacements vers l'amont. Les barrages restreignent d'autre part le transport vers l'aval des matériaux organiques tels que les matériaux flottants et les bois morts. L'élimination des obstacles transversaux a donc un impact positif sur la connectivité longitudinale et en partie verticale des milieux, sur la *diversité* et l'*abondance* naturelles de la faune (principalement des poissons), sur les cycles organiques. Suivant le type d'obstacle, une amélioration de la variabilité *morphologique* et *hydraulique* peut également être obtenue. Il est toutefois indispensable lors de l'élimination des ouvrages transversaux de prévoir des solutions alternatives pour la stabilisation du fond.



Figure 7.25 : Rivière de contournement de l'Aar à Winznau, SO, 2005
(Photo : A. Peter, Eawag, 2004).

Les obstacles transversaux peuvent parfois être rendus franchissables par le biais de rivières de contournement ou de passes à poissons (Figure 7.25). Le problème de la dévalaison au cours de laquelle les poissons risquent de se blesser au contact des turbines ou des grilles n'est cependant pas encore résolu avec satisfaction. Les passes à poissons et les cours d'eau de contournement peuvent accroître la connectivité longitudinale et donc contribuer à la diversité et à l'abondance naturelles de la faune ou plus particulièrement des poissons. L'attractivité et donc la valeur récréative des cours d'eau ainsi équipés se trouvent accrues pour les pêcheurs amateurs qui y trouvent une faune piscicole plus abondante.

7.7.2 Exemples

Le cours d'eau de contournement de Ruppoldingen, Suisse

La centrale hydroélectrique de Ruppoldingen (canton de Soleure) construite en 1896 a été remplacée par une nouvelle installation entre 1996 et 2000. Les mesures de revitalisation réalisées en compensation de la nouvelle concession comprenaient la création d'un cours d'eau de contournement reliant l'aval à l'amont de la centrale. Cette nouvelle voie devait permettre le passage vers l'amont de toutes les espèces de poissons, même les moins combattives (www.poweron.ch/de/umwelt/content---1--1126.html). La rivière de contournement a une longueur totale de 1,2 km, une largeur de 10 à 20 m et une pente moyenne de 0,4% (Figure 7.26). Son débit varie entre 2 et 5 m³/s. Elle permet de surmonter un dénivelé total de 5,6 m. Dans le but de créer des habitats pour différentes espèces de poissons lithophiles, le chenal a été conçu de manière à présenter une certaine diversité de structure de fond et d'écoulement. Le nouveau concept est ainsi basé sur une succession de rapides graveleux parcourus par un écoulement assez superficiel et longés par un chenal parallèle plus profond et complété de zones d'accalmie offrant de grandes hauteurs d'eau et des rives de gravier partiellement plates. En complément, une zone alluviale de 5,2

ha située en aval de la centrale a été reliée à la dynamique d'écoulement et de variation de niveau de l'Aar, créant les conditions indispensables au rétablissement d'une zonation naturelle de la ripisylve, de la forêt de bois dur à celle de bois tendre (www.biodiversity.ch/downloads/hotspot_6_2002_D.pdf).

Le nouveau chenal de contournement est devenu un espace de valeur pour les poissons. Il abrite aujourd'hui une faune piscicole dense et diversifiée. La diversité des espèces présentes y est plus importante que dans l'Aar (www.atel.ch/atel_gesellschaften/atel_hydro/Ruppoldingen_Umwelt_gewinnt.jsp).

D'autres mesures de revitalisation ont conduit, en plus de la rivière de contournement, à la création de hauts-fonds, îles et surfaces d'évolution naturelle sur une longueur de 8,4 km. Grâce aux nouveaux habitats disponibles, le nombre d'espèces d'oiseaux présentes est passé de 35 à 47. De plus, le nombre de zones de nidification a augmenté. Le Martin-pêcheur (*Alcedo atthis*) niche encore à Ruppoldingen alors que le Petit gravelot (*Charadrius dubius*) y est venu s'installer. La revitalisation a également favorisé l'installation d'espèces végétales typiquement alluviales, le nombre d'espèces floristiques étant passé de 213 à 306. Mais la nature n'est pas la seule à profiter de la revitalisation du paysage de l'Aar, la population en tire également un grand bénéfice : Le site de Ruppoldingen a évolué vers une zone

de loisirs très appréciée (www.atel.ch/atel_gesellschaften/atel_hydro/Ruppoldingen_Umwelt_gewinnt.jsp).

Démantèlement d'obstacles sur le Brede, Danemark

Le projet de revitalisation de l'hydrosystème du Brede décrit au chapitre 7.6.2 prévoyait en plus de la réhabilitation d'anciens éléments alluviaux et la création de méandres, une restauration de la *connectivité* longitudinale. L'une des mesures les plus importantes a alors été en 1990 le remplacement de quatre barrages en béton par plusieurs gués dans la rivière Landeby et d'un grand barrage par trois gués d'une longueur totale de 110 m dans le Brede au niveau de Bredebrao. De plus, un grand barrage a été remplacé par des rampes dans le Lobaek brook. Enfin, plusieurs petits barrages en béton ont été enlevés du Brede, du Lobaek brook et du Ny Havnebaek brook. L'élimination de tous ces obstacles a permis de rétablir la migration des poissons et des macroinvertébrés aussi bien vers l'amont que vers l'aval. Il est aujourd'hui de plus en plus fréquent de rencontrer des truites de mer (*Salmo trutta trutta*) et des saumons (*Salmo salar*) dans le Brede. De plus, la population d'une espèce de corégone qui avait presque disparu au début des années 1980 s'est à nouveau établie (*Coregonus oxyrinchus*) (County of Sonderjylland 1996).

Autre exemple :

Cours d'eau de contournement de la centrale au fil de l'eau de Unzmarkt sur la Mur en Autriche (Jungwirth et al.1994).

7.7.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.27 est recommandé pour l'évaluation de la mesure « Connectivité longitudinale ».



Figure 7.26 : Cours d'eau de contournement de Ruppoldingen, SO, 2004 (Photo : A. Peter, Eawag).



Mesure : Connectivité longitudinale

Tableau 7.27 : Set de 13 indicateurs recommandés pour le suivi de la mesure de revitalisation « Connectivité longitudinale ».

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (♦ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)													
				Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Charriage semi-naturel	Connectivité longitudinale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune	Viabilité des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique	Participation des parties prenantes				
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts*	A													♦	
4	Connectivité longitudinale	Perméabilité pour les poissons	A				♦										
5	Aspects récréatifs	Nombre de visiteurs	A	♦													
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons**	C		•	•	•		♦								
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces**	C		•	•	•		♦								
10	Poissons	Guides écologiques**	C		•	•	•		♦								
12	Charriage	Bilan des matériaux charriés	C		•	♦	•		•								
16	Hydraulique	Variability of flow velocity°	C		♦	•			•	•							
17	Hydraulique	Depth variability at bankfull discharge°	B		♦	•			•	•							
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A													♦	
27	Matériaux organiques	Composition et colonisation des matériaux flottants	A				♦		•	•	•						
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels*	A														♦
47	Végétation	Espèces végétales typiquement alluviales	A				•	♦									

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

° Ces indicateurs ne se prêtent pas à l'évaluation de l'efficacité des passes à poissons étant donné que cette mesure de revitalisation n'influe pas sur l'écoulement du chenal principal.

♦ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré

7.8 Dynamisation du charriage

7.8.1 Présentation

D'un point de vue écologique, il est souhaitable d'obtenir un bilan des *matériaux charriés* qui corresponde aux caractéristiques *géomorphologiques* du cours d'eau. La plupart des projets de revitalisation porte sur des cours d'eau s'écoulant dans des plaines *alluviales* ou sur des *tronçons d'échange de matériaux* qui, dans leur état naturel, présenteraient une tendance à l'atterrissement ou se trouveraient en état d'équilibre dynamique. Suite à une réduction des apports de matériaux charriés en provenance du bassin versant et/ou à une capacité de charriage excessive, ces systèmes présentent aujourd'hui tout au contraire une tendance à l'érosion. Les efforts de dynamisation du charriage visent en général à augmenter les apports de matériaux charriés en provenance du bassin versant. Ils peuvent comporter une ou plusieurs des mesures suivantes :

- Démantèlement ou non vidange des pièges à sédiments
- Exploitation des pièges à sédiments à la faveur de l'émissaire (prélèvement de matériaux dans le piège et restitution dans l'émissaire)
- Transformation des barrages et des prises d'eau afin de les rendre plus perméables au charriage
- Abaissement temporaire du niveau des réservoirs des centrales au fil de l'eau lors des crues pour favoriser le transport solide
- Renoncement à l'extraction de gravier dans le cours d'eau
- Apport artificiel de matériaux solides au cours d'eau
- Démantèlement des ouvrages de stabilisation des berges pour assurer des apports de charriage provenant de l'érosion latérale
- Non-restriction du charriage naturel
- Réduction de la capacité de charriage par élargissement du chenal

7.8.2 Exemple

Déversement de matériaux pour la création de bancs de graviers dans l'Aar, Suisse

Dans son état naturel, l'Aar charriait en moyenne près de 20 000 m³ de matériaux solides par

an à l'aval de la confluence de l'Emme. Avec la construction des usines hydroélectriques de Flumenthal et de Bannwil ainsi que celle de pièges à sédiments à la confluence de l'Emme et de la Sigger vers 1970, le transport solide dans la rivière et les apports de l'extérieur ont été réduits à néant. En raison du stockage engendré par les usines hydroélectriques, les matériaux solides ne peuvent franchir les barrages au moment des crues. Le blocage du charriage induit en aval des centrales un curage du chenal et un *colmatage* du fond du lit entraînant une dégradation notable de la qualité du milieu aquatique. Dans le but de réactiver le charriage, deux grands bancs de gravier d'un volume d'environ 12 000 m³ chacun ont été artificiellement créés dans l'Aar dans des sites propices situés en aval des centrales. Lors des crues, ces amoncellements de graviers s'érodent progressivement, créant un apport régulier de charge solide en aval. Lorsque l'érosion est trop importante, les bancs de graviers doivent être reconstitués par de nouveaux apports artificiels. Un premier banc a été créé à Deitingen (canton de Soleure) en janvier 2005 (Figure 7.28), un deuxième en novembre 2005 à hauteur de Aarwangen (canton de Berne). Le projet est financé par les cantons de Soleure et de Berne et accompagné d'un suivi des mesures.

La zone alluviale de Foort près d' Eggenwil, Suisse

La zone alluviale de Foort située dans une boucle de la Reuss près d' Eggenwil a fait l'objet d'un projet de revitalisation de grande envergure planifié en 2001 et mis en œuvre au cours des hivers 2002/2003 et 2003/2004. Avant les travaux, les berges étaient fortement aménagées par le biais d'éléments en béton et d'enrochements et la dynamique alluviale de la rivière était pratiquement stoppée. La forêt alluviale était totalement exempte d'essences à bois tendre. Pour améliorer la qualité écologique du milieu, les protections de berges ont été démantelées sur une longueur d'environ 1500 m, six étangs ont été aménagés et deux bras secondaires d'environ 500 m de long ont





Figure 7.28 : Banc de gravier déversé dans l'Aar près de Deitingen, SO, 2005 (Photo : U. Schälchli, Schälchli, Abegg + Hunzinger).

été dégagés. Dans la ripisylve, les épicéas indésirables ont été abattus et la forêt éclaircie. Ces mesures ont permis d'étendre des surfaces régulièrement inondées et de rétablir la *connectivité* entre la rivière et les milieux alluviaux. Dans le but de réactiver le charriage et d'accroître la diversité structurelle du fond, des graviers et galets ont été déversés dans la partie concave de la boucle de la Reuss pour former plusieurs bancs de 2000 à 3000 m³ pouvant être érodés lors des crues (Figure 7.29) (Sources : www.pronatura-aargau.ch et www.ag.ch/natur2001/auenschutzpark).

La zone alluviale de la Bünz à Möriken, Suisse

Entre 1920 et 1940, la Bünz avait fait l'objet de travaux de canalisation et de creusement entre

Muri et Othmarsingen dans le but de protéger les terrains environnants des crues débordantes. En aval d'Othmarsingen, le ruisseau resta intact jusqu'à sa confluence avec l'Aar. Dans la zone de Möriken (canton d'Argovie), il est encore aujourd'hui libre de développer ses méandres à sa guise. La crue centennale de mai 1999 modifia totalement la topographie et donc les possibilités d'exploitation de cette partie du cours de la Bünz. Entre le 12 et le 13 mai, un débit de pointe de 70 m³/s a mobilisé 15 000 m³ de matériaux et dégagé un grand nombre de conduites d'eau, de gaz et d'égouts. Le lit du ruisseau s'est alors élargi à tel point qu'il occupe actuellement une bande de 100 m de large pour ses méandres. D'un jour à l'autre, une nouvelle zone alluviale est apparue au mi-

Figure 7.29 : Déversement de graviers au bord de la Reuss à Foort, Eggenwil, AG. Photo de gauche : dépôt de graviers à l'arrière d'un banc de graviers naturel. Photo de droite : le banc de gravier déversé a été entraîné lors de la crue d'août 2005.

(Photos : Oekovision GmbH, 8967 Widen.)





Figure 7.30 : Zone alluviale de la Bünz à Möriken, AG, juin 2000 (Photo : Oekovision GmbH, 8967 Widen).

lieu du paysage cultivé existant. Les bancs de gravier nouvellement apparus ont été rapidement colonisés par une végétation pionnière. La zone alluviale de 60 ha de la Bünz à Möriken a été reconnue d'importance nationale en août 2000 et inscrite à l'inventaire des zones alluviales (Schlupp & Schlebert 2001). Après la crue, aucune mesure d'aménagement n'a plus été entreprise. La Bünz peut développer ses méandres sans contrainte et mobiliser ou déposer sa charge de fond où bon lui semble (Figures 7.30 et 7.31). A l'avenir, les processus dynamiques de formation et d'entraînement des bancs de graviers devront être tolérés. Pour faciliter cette acceptation, les deux tiers de la zone alluviale sont passés dans le domaine public par le biais d'un remaniement parcellaire (Ringgenberg et al. 2004).

7.8.3 Set d'indicateurs

Le set d'indicateurs du tableau 7.32 est recommandé pour l'évaluation de la mesure « Dynamisation du charriage ».



Figure 7.31 : Zone alluviale de la Bünz à Möriken, AG, septembre 2005 (Photos : S. Woolsey, Eawag).



Mesure : Dynamisation du charriage

Tableau 7.32 : Set de 11 indicateurs recommandé pour le suivi de la mesure de revitalisation « Dynamisation du charriage ».

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Aptitude de l'indicateur à l'évaluation des principaux objectifs (◆ = Paramètre direct; • = Paramètre indirect)							Economie	
				Approvisionnement durable en eau potable	Variabilité morphologique et hydraulique	Charriage semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune		Respect des impératifs budgétaires
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons*	C		•	•	•	•			◆	
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces*	C		•	•	•				◆	
10	Poissons	Guildes écologiques*	C		•	•	•				◆	
12	Charriage	Bilan des matériaux charriés	C		•	◆	•				•	
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A									◆
23	Macroinvertébrés	Composition taxonomique du macrozoobenthos	A		•	•	•	•	•		◆	
32	Fond du lit	Perméabilité du lit	B	•	•	•				◆		
33	Fond du lit	Dynamique structurelle du fond	B		◆	•	•	•	•	•		
			C									
34	Fond du lit	Colmatage interne du fond du lit	A	•	•	•				◆		
35	Fond du lit	Qualité et granulométrie du substrat	A		◆	•			•	•		
40	Zones transitoires / Ecotones	Composition et densité de la faune de petits mammifères dans les zones transitoires	C	•	•	•				◆		

*/** Le relevé s'effectue simultanément pour les indicateurs marqués d'un même signe. L'investissement nécessaire correspond alors à celui d'un relevé simple.

◆ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré

8 Sélection des indicateurs

La méthode proposée dans ce manuel pour le suivi des projets de revitalisation fluviale permet d'estimer dans quelle mesure les objectifs fixés par la direction du projet ont bien été atteints. A l'aide d'indicateurs, elle évalue les changements enregistrés pour un tronçon donné dans un domaine donné sous l'effet des mesures de revitalisation engagées dans ce domaine afin d'atteindre des objectifs correspondants. Le chapitre 7 propose divers sets d'indicateurs adaptés aux mesures de revitalisation les plus courantes. La composition de ces sets dépend de l'objectif auquel se rapporte l'évaluation. Dans le cas d'objectifs particuliers différents de ceux déjà traités, un set personnel peut être composé à partir des indicateurs du manuel. Le présent chapitre propose une méthode de sélection des indicateurs adéquats. Dans une première partie seront présentés le principe et le déroulement de cette sélection. Le modèle Excel « Auswahl und Bewertung » fourni en annexe III facilite cette tâche. Son mode d'utilisation est explicité dans la deuxième partie du chapitre.

8.1 Principe et déroulement de la sélection des indicateurs

Les conclusions du suivi indiquent si les objectifs du projet évalué ont été atteints ou non. Le choix d'indicateurs pertinents dépend donc entièrement de la nature des objectifs fixés lors de la planification du projet. Dans le modèle Excel « Auswahl und Bewertung », la première étape consiste donc à fixer les objectifs à tester. Les principaux objectifs pour lesquels notre manuel propose des indicateurs sont exposés au chapitre 6. L'évaluation d'un objectif repose généralement sur l'observation de plusieurs indicateurs, le tableau 8.1 donne la liste de l'ensemble des indicateurs traités et recommandés dans le manuel. Les paramètres d'évaluation directe des objectifs sont indi-

qués par de symbole ♦, ceux ne contribuant qu'indirectement à l'évaluation par le symbole •. Les cases vides signifient que l'indicateur correspondant est inadapté à l'évaluation de l'objectif considéré. Les paramètres d'évaluation directe sont des indicateurs qui décrivent directement le domaine concerné par l'objectif considéré car ils en sont directement affectés. Les paramètres indirects sont des indicateurs décrivant indirectement le domaine concerné par l'objectif car n'étant qu'indirectement ou que secondairement affectés par ce dernier. Il est donc particulièrement recommandé d'intégrer les paramètres directs dans la sélection des indicateurs portant sur un objectif donné. Les indicateurs sont répartis en trois classes d'investissements (A, B et C) conformément aux explications du chapitre 4.3.3.

Dans le modèle Excel « Auswahl und Bewertung », les indicateurs sont d'autre part accompagnés d'une indication de la plage de temps à laquelle ils s'appliquent et de leur aptitude à évaluer les *tronçons soumis au marnage* et ceux à *débit résiduel*. La plage de temps correspond à la période la mieux adaptée au relevé de l'indicateur après la réalisation des mesures : dans la 1^{ère} à 2^{ème} année, dans les 3 à 5 ans ou dans les 6 à 15 après la réalisation.



Tableau 8.1 : Aptitude des indicateurs pour évaluer les objectifs principaux de projets: ♦ = Paramètres d'évaluation directe. • = Paramètres d'évaluation indirecte. Les indicateurs sont numérotés et regroupés par classe d'indicateurs ou d'investissement. A < 2 personnes/jour, B 2-3 personnes/jour, C > 3 personnes/jour.

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Bénéfices pour la société										Economie	Mise en œuvre			
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Variabilité morphologique et hydraulique	Charriage semi-naturel	Régime de température semi-naturel	Connectivité longitudinale	Connectivité latérale	Connectivité verticale	Diversité et abondance semi-naturelles de la flore	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune			Viability des cycles organiques	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique
1	Acceptation	Acceptation du projet par les groupes d'intérêts	A														♦	
2	Acceptation	Acceptation du projet par l'ensemble de la population	B														♦	
3	Acceptation	Acceptation du projet au sein du groupe d'accompagnement	A														♦	
4	Longitudinal Connectivité	Perméabilité pour les poissons	A						♦									
5	Aspects récréatifs	Nombre de visiteurs	A	♦														
6	Aspects récréatifs	Possibilités d'utilisation pour la détente et les loisirs	A	♦														
7	Aspects récréatifs	Accessibilité pour les usagers récréatifs	A	♦														
8	Poissons	Structure d'âge des populations de poissons	C			•	•		•	•				♦				
9	Poissons	Présence et fréquence des espèces	C			•	•	•	•					♦				
10	Poissons	Guildes écologiques	C			•	•	•	•					♦				
11	Habitats piscicoles	Caches et structures	A			•	•			•				•	•			
12	Charriage	Bilan des matériaux charriés	C			•	♦		•					•				
13	Hydraulique	Dynamique d'inondation : durée, fréquence et étendue des inondations	A								•				•			
14	Hydraulique	Importance qualitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé	A			♦	•				♦							
15	Hydraulique	Importance quantitative de la variabilité de la largeur du lit mouillé	B			♦	•				♦							
16	Hydraulique	Variabilité de la vitesse d'écoulement	C			♦	•						•	•				
17	Hydraulique	Variabilité de la profondeur maximale d'écoulement	B			♦	•						•	•				
18	Coûts	Coûts engendrés par le projet	A														♦	
19	Paysage	Estimation quantitative de la structure du paysage : Diversité et distribution spatiale des types d'habitat	C			•	•			•	•	•	•	•	•			
20	Paysage	Valeur esthétique du paysage	A			♦												
21	Macroinvertébrés	Nombre d'espèces et densité des populations d'arthropodes ripicoles terrestres	B								•				♦			
22	Macroinvertébrés	Faune mixte d'organismes des eaux superficielles et souterraines	A					•			•				♦			
23	Macroinvertébrés	Composition taxonomique du macrozoobenthos	A					•	•		•	•	•		♦			
24	Macroinvertébrés	Présence d'espèces amphibiotiques dans la nappe	A					•				•			♦			
25	Matériaux organiques	Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention	A					•			•					♦		
26	Matériaux organiques	Quantité de bois mort	A	•							•					♦		

N°	Groupe d'indicateurs	Indicateur	Investissement	Bénéfices pour la société		Environnement et écologie										Economie		Mise en œuvre			
				Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative	Approvisionnement durable en eau potable	Valeur récréative
27	Matériaux organiques	Composition et colonisation des matériaux flottants	A																		
28	Participation	Qualité du processus participatif lors de la prise de décision	A																		♦
29	Participation	Satisfaction de la population vis à vis de la participation aux processus décisionnels	A																		♦
30	Participation	Satisfaction des groupes d'intérêts vis à vis de la participation aux processus décisionnels	A																		♦
31	Refuges	Potentiel de recolonisation par les macroinvertébrés benthiques	C																		
32	Fond du lit	Perméabilité du lit	B	•																	
33	Fond du lit	Dynamique structurelle du fond	B C																		
34	Fond du lit	Colmatage interne du fond du lit	A	•																	
35	Fond du lit	Qualité et granulométrie du substrat	A																		
36	Fond du lit	Structure du fond	A B																		
37	Fond du lit	Degree and type of anthropogenic modification	A																		
38	Température	Hétérogénéité spatio-temporelle de la température de l'écoulement de surface	A	•																	
39	Zones transitoires / Ecotones	Couplage énergétique trophique entre milieu terrestre et milieu aquatique	C																		
40	Zones transitoires / Ecotones	Echange de substances entre rivière et nappe	C	•																	
41	Zones transitoires / Ecotones	Composition et densité de la faune de petits mammifères dans les zones transitoires	C																		
42	Rives	Largeur et nature des rives	A																		
43	Rives	Dynamique structurelle des rives	A	•																	
44	Rives	Longueur de la ligne de rive séparant milieu aquatique et milieu terrestre	A																		
45	Rives	Structure des rives	A	•																	
46	Rives	Degré de renforcement du pied de berge et nature des aménagements	A																		
47	Végétation	Espèces végétales typiquement alluviales	A																		
48	Végétation	Succession et régénération	C																		
49	Végétation	Mosaïque temporelle	B																		
50	Végétation	Composition des communautés végétales	A																		

♦ = Paramètres directs: Indicateurs donnant une mesure directe du domaine concerné par l'objectif

• = Paramètres indirects: Indicateurs mesurant une grandeur ou condition indirectement influencée par l'objectif considéré



Chaque objectif fixé pour le projet de revitalisation doit pouvoir être évalué à l'aide d'au moins un indicateur mais il est préférable d'en utiliser plusieurs. Les indicateurs permettant d'évaluer plusieurs objectifs à la fois sont donc particulièrement recommandés. De plus, les indicateurs permettant une évaluation directe sont à privilégier face aux paramètres indirects. Les résultats du suivi se rapportent donc uniquement aux objectifs définis puis évalués et non au degré d'adéquation du tronçon concerné avec un système de référence particulièrement naturel ou un système théorique correspondant aux idées directrices. Cependant, plus le nombre d'objectifs « atteints avec succès » est important, plus le succès global du projet équivaut à avoir atteint les objectifs et plus le milieu obtenu après revitalisation se rapproche du système de référence. Retenons donc que le suivi s'intéresse exclusivement aux objectifs du projet et ne permet pas d'évaluer le succès global de celui-ci. Dans les conditions exposées au chapitre 10, une estimation du succès écologique est cependant possible.

Il est conseillé de procéder à la sélection des indicateurs dans un groupe interdisciplinaire comprenant outre le manager du projet, des biologistes (spécialistes des poissons, des *macroinvertébrés*, de la végétation), des écologues, des *hydrologues*, des *hydromorphologues*, des sociologues et des spécialistes des constructions hydrauliques.

8.2 Mode d'utilisation du modèle Excel

8.2.1 Sets d'indicateurs recommandés

Si vous souhaitez utiliser l'un des sets d'indicateurs proposés pour les mesures traitées au chapitre 7, cliquez sur le bouton « Empfohlene Indikatorsätze » (=sets d'indicateurs recommandés) sur le feuillet « Start » du modèle Excel « Auswahl und Bewertung ». Sur la page suivante, soit le feuillet « Empfohlen », sélectionnez la mesure qui vous intéresse. En cliquant sur « weiter » (=suivant), vous faites alors apparaître le set d'indicateurs correspondant. Pour l'imprimer, cliquez sur le bouton « Druckansicht ». Vous pouvez à tout moment

revenir à une page précédente en cliquant sur le bouton « zurück » (=retour).

8.2.2 Création d'un set d'indicateurs individuel

Avant de pouvoir composer un set d'indicateurs individuel, il est nécessaire de définir les objectifs que les mesures de revitalisation doivent permettre d'atteindre. Le manuel ne livre certes pas de méthode directe à cet effet mais facilite cette tâche par la discussion qu'il fait des 14 objectifs les plus importants (chapitre 6). Une fois les objectifs fixés, les indicateurs permettant de les évaluer peuvent être sélectionnés à l'aide du modèle Excel « Auswahl und Bewertung ». Le modèle vous guide pas à pas jusqu'à l'obtention du set désiré.

Si vous choisissez l'option « Individueller Indikatorsatz » (=set d'indicateurs individuel) sur la page de démarrage, le programme crée une fiche de travail dans laquelle figurent tous les indicateurs classés par groupe et par ordre alphabétique. Dans la colonne « zeitliche Relevanz », les cases grises indiquent dans quel laps de temps il est judicieux de relever les indicateurs après la réalisation de la mesure de revitalisation. D'autre part est mentionné pour chaque indicateur l'investissement (= Erhebungsaufwand) nécessaire ainsi que son aptitude à la description des *tronçons soumis au marnage* et des *tronçons à débit résiduel*. L'aptitude des indicateurs à l'évaluation des différents objectifs est d'autre part indiquée par les symboles suivants : ♦ = Paramètre direct d'évaluation, • = Paramètre indirect d'évaluation, aucun symbole = non adapté à l'évaluation de l'objectif.

En premier lieu, cliquez sur les cases correspondant aux objectif que vous souhaitez évaluer, elles se situent juste au-dessus des objectifs à la ligne 6 du feuillet. Cliquez ensuite sur « weiter ». Le programme supprime alors automatiquement tous les objectifs et indicateurs ne devant pas être pris en compte dans votre contrôle personnalisé des résultats.

Seuls les objectifs sélectionnés et leurs indicateurs s'affichent maintenant à l'écran, lesquels indicateurs serviront à la composition de votre set personnel. Pour ce faire, cliquez sur

les cases correspondant aux indicateurs, elles se situent dans la colonne B, à gauche de la dénomination des indicateurs. Rappelez-vous que chaque objectif doit impérativement être évalué par un indicateur au moins. Les indicateurs intégratifs, c'est-à-dire ceux décrivant plusieurs objectifs, sont particulièrement recommandés. D'autre part, les paramètres directs sont préférables aux paramètres indirects d'évaluation. Lors de votre travail de sélection, veillez à ce que la plage de temps corresponde à vos besoins et possibilités. Enfin, si vous disposez de peu de moyens humains et financiers et souhaitez limiter les investissements nécessaires, limitez votre choix aux indicateurs figurant dans la colonne « A : < 2 Personentage ». Si la hauteur de l'investissement n'est pas d'une importance cruciale, vous pouvez ajouter des indicateurs de type B et C.

En fin de tableau, vous pouvez ajouter un maximum de trois indicateurs définis par vos soins. Ces indicateurs peuvent ensuite être sélectionnés en cliquant sur les cases correspondantes dans la colonne B. La dénomination de l'indicateur peut être inscrite dans la colonne E. Il convient ensuite de définir les objectifs devant être évalués à l'aide du nouvel indicateur. Pour ce faire, cliquez les cases correspondantes dans les colonnes N à AA.

Si vous cliquez ensuite sur « weiter », le programme efface tous les indicateurs n'ayant pas été sélectionnés. Si un ou plusieurs objectifs n'ont pas été décrits par au moins un indicateur, un message d'erreur s'affiche à l'écran. Sinon, le tableau affiché correspond à votre set d'indicateurs personnel qu'il vous est possible d'imprimer après avoir cliqué sur le bouton « Druckansicht ». Votre sélection peut également être sauvegardée sous la forme d'un « fichier Excel » (*.xls). Le modèle lui-même est un « modèle d'exemple Excel » (*.xlt). En tant que tel, il a été verrouillé quand il a été copié du CD.

8.2.3 Suite de la démarche

L'utilisateur est maintenant en mesure de relever ses indicateurs dans la zone du projet avant le début des travaux. Pour ce faire, les fiches descriptives de l'annexe I doivent être consul-

tées, les méthodes qu'elles présentent devant être utilisées pour les relevés et mesures. Pour pouvoir tenir compte de la variabilité naturelle, il peut être nécessaire selon les indicateurs de procéder à plusieurs mesures ou relevés et d'en calculer ou définir la moyenne. Vous trouverez des informations à ce sujet dans les fiches descriptives. Après la réalisation du projet, les relevés et mesures doivent être répétés de façon à calculer ou définir la moyenne après travaux. L'évaluation de l'atteinte des objectifs est basée sur la comparaison de ces valeurs. Des instructions concernant le moment le plus adéquat pour les mesures et relevés sont indiquées dans les fiches descriptives. Une fois les relevés terminés, l'évaluation peut être réalisée à l'aide du deuxième volet du modèle Excel « Auswahl und Bewertung » (cf. chapitre 10). Si les relevés sont répétés une deuxième, troisième ou énième fois après la revitalisation, les valeurs seront toujours comparées aux valeurs avant travaux. Une telle démarche permet de suivre l'évolution temporelle des résultats bien après la réalisation des aménagements.



9 Relevé et mesure des indicateurs

A chacun des indicateurs recommandés dans ce manuel correspond en annexe I une fiche descriptive livrant des informations sur sa méthode de mesure ou d'analyse. Dans certains cas, des références ou descriptions méthodologiques plus détaillées ont été rassemblées. Ces informations sont données en

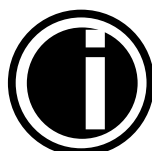
annexe II. Le cas échéant, des renvois à ces documents sont indiqués dans les fiches.

Les fiches descriptives présentent toutes la même structure et sont articulées en six sous-chapitres désignés par six symboles différents. Ces chapitres et leur contenu sont décrits dans les lignes qui suivent.



Groupe d'indicateurs : Nom de l'indicateur

Auteur : Nom, prénom, institut / bureau d'étude



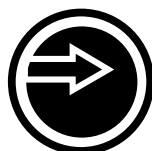
Informations générales

Description rapide de l'indicateur : Que mesure-t-il ? A quels objectifs du projet s'applique-t-il (cf. Tableau 1) ? Pourquoi est-il intéressant pour cet objectif ?

Société : protection et exploitation	Environnement et écologie	Economie	Mise en œuvre
Approvisionnement durable en eau potable	• Variabilité morphologique et hydraulique	Respect des impératifs budgétaires	Acceptation politique
Valeur récréative	• Régime de charriage semi-naturel		Participation des parties prenantes
	Régime de température semi-naturel		
	• Connectivité longitudinale		
	• Connectivité latérale		
	Connectivité verticale		
	♦ Diversité et abondance semi-naturelles de la flore		
	Diversité et abondance semi-naturelles de la faune		
	Viabilité des cycles organiques		

Tableau 1 : Adéquation de l'indicateur pour l'évaluation des objectifs du projet (exemple fictif)

♦ = Paramètre direct d'évaluation, • = Paramètre indirect d'évaluation



Mesure ou relevé

Paramètre : Quel paramètre l'indicateur mesure-t-il ?

Méthode de relevé : Comment mesure-t-on le paramètre ?

Relevés secondaires : par exemple, relevés GPS ou photographies aériennes du site de prélèvements

Investissement en temps et en personnel : Indication de la classe d'investissement. Combien de personnes et de personnes-heures sont-elles au minimum nécessaires à un relevé (préparation, mesure, interprétation) ? -> informations dans le tableau 2



Tableau 2 : Investissement en temps et en personnel estimé pour le relevé

Etape de travail	Spécialistes		Assistants	
	Personnes	Durée par personne	Personnes	Durée par personne
Total en personnes-heures (p-h)				
par exemple investissements supplémentaires (frais de port, laboratoires extérieurs etc.)				

Matériel nécessaire : Quels sont les appareils et l'équipement nécessaires aux mesures ?

Moment et fréquence des relevés : Moment le plus judicieux (par ex. plusieurs semaines, mois ou années après les travaux), moment de l'année le plus adéquat (prise en compte des crues ou des cycles vitaux pour les indicateurs biologiques), à quelle fréquence faut-il répéter les relevés (tous les mois, tous les six mois, tous les ans) ?

Particularités : Adéquation pour un type de cours d'eau ou une saison donnée. Comment les données relevées seront-elles stockées? Seront-elles enregistrées dans une base de données ? Quels seront les programmes utilisés ?

Autres sources de données : Est-il possible d'obtenir les données nécessaires en consultant une base de données existante ou à partir d'autres sources ou faut-il les recueillir soi-même ?



Analyse des résultats

Exploitation des données : Méthodes, programmes informatiques. *Standardisation* des valeurs mesurées par transformation en une grandeur sans dimension : Définition et explication des valeurs indicatives « 0 » et « 1 » (=0- und 1-Richtwerte) (seuils « état naturel » et « état artificiel » de l'indicateur) et de la méthode de standardisation (équation de standardisation ou classes de standardisation). Graphique de standardisation des données.



Relations avec d'autres indicateurs

L'indicateur est-il en relation avec d'autres indicateurs ? Existe-t-il des indicateurs complétant les informations qu'il livre ?



Exemples d'utilisations

Dans quels cas l'indicateur a-t-il déjà été utilisé avec succès ? Références bibliographiques brièvement commentées.



Références bibliographiques

Liste complète des références citées dans le texte.

10 Suivi

Ce chapitre présente de quelle manière les résultats du relevé des indicateurs peuvent être exploités et utilisés pour le suivi d'une revitalisation fluviale. Il indique ensuite comment utiliser le modèle Excel « Auswahl und Bewertung » pour effectuer un suivi automatisé. La marche à suivre est la même pour les sets d'indicateurs recommandés et pour les sets individualisés. Le modèle Excel figure en annexe III.

10.1 Conception et déroulement du suivi

La méthode d'évaluation se déroule en plusieurs étapes détaillées ci-après. La mise en pratique des différentes étapes à l'aide du modèle Excel est ensuite décrite au chapitre 10.2.

10.1.1 Calcul des moyennes

Les valeurs de base du contrôle des résultats sont les valeurs relevées pour les indicateurs. Chaque indicateur possède naturellement son unité propre. En suivant les indications des fiches descriptives deux moyennes sont calculées à partir de ces valeurs pour chacun d'eux : une valeur issue des données recueillies avant le début du projet et une valeur obtenue après l'achèvement des mesures de revitalisation.

10.1.2 Standardisation des données

Les couples de valeurs ainsi obtenues sont exprimées dans l'unité de l'indicateur auquel elles se rapportent (nombre d'individus, unité de surface, par ex.). Pour que les différentes grandeurs puissent être rassemblées dans une évaluation commune, il est nécessaire de convertir ces valeurs en une grandeur *standardisée* sans dimensions. Cette dernière est comprise entre 0 et 1 et reflète le degré de rapprochement à l'état naturel (la valeur naturelle) ou le degré de satisfaction de l'indicateur étudié. Deux valeurs seuil sont définies pour chaque indicateur : l'une correspondant

à l'état « artificiel » 0, l'autre à l'état « naturel » 1 (valeurs indicatives « 0 » et « 1 »). La valeur standardisée indique dans quelle mesure la valeur de l'indicateur mesurée sur le terrain se rapproche de son optimum. Les valeurs obtenues avant et après la réalisation des mesures sont donc séparément standardisées.

La standardisation des valeurs analytiques de l'indicateur, c'est-à-dire leur conversion en grandeurs sans dimension, se fait à l'aide des méthodes indiquées dans les fiches descriptives. Ces méthodes de conversion sont l'expression de la relation entre les valeurs mesurées pour l'indicateur et la valeur naturelle ou le degré de satisfaction. Pour nombre d'indicateurs, la conversion se fait de manière quantitative par le biais d'une équation. Celle-ci peut être linéaire ou au contraire refléter une relation mathématique plus complexe. Pour d'autres indicateurs, une telle démarche n'est pas applicable. La valeur naturelle ou le degré de satisfaction est alors évalué de façon qualitative ou semi-quantitative à l'aide de plusieurs critères ou catégories (classes de standardisation). Une moyenne est alors calculée à partir des points attribués lors de cette notation de manière à obtenir une valeur comprise entre 0 et 1.

Les valeurs indicatives « 0 » et « 1 » sont décrites pour chaque indicateur dans les fiches descriptives (« Richtwerte »). Ces valeurs sont recommandées par le groupe de travail à l'origine du manuel. Elles ont été déterminées sur la base d'avis experts et de l'expérience acquise sur des tronçons de référence. La standardisation des données se fait automatiquement en utilisant le modèle Excel. Les valeurs des indicateurs peuvent aussi être standardisées par un utilisateur averti, s'il a de bonnes raisons d'estimer nécessaire de modifier les valeurs « 0 » et « 1 » ou les équations ou classes de standardisation recommandées dans les fiches.



10.1.3 Evaluation : Indicateurs, objectifs, succès écologique

Indicateurs

Les couples de valeurs *standardisées* obtenues pour chaque indicateur vont être comparés dans une matrice de manière à mettre en évidence les changements induits par la mesure engagée (Tableau 10.1). Suivant la variation de la valeur, la matrice distingue cinq catégories correspondant à une amélioration ou à une dégradation plus ou moins importante de l'état initial (Tableau 10.2). Les catégories de variation sont indiquées par des couleurs différentes. Cette méthode permet non seulement de rendre compte de l'importance et de la nature de la variation mais aussi de tenir compte de l'état initial. En effet, selon l'état initial, une augmentation de 0,3 points sera considérée comme un petit succès (passage de 0,1 à 0,4) ou comme un succès moyen (passage de 0,5 à 0,8).

Objectifs

Dans un deuxième temps, l'évolution de la situation dans les domaines définis par les objectifs du projet est estimée et notée. Pour ce faire,

les valeurs standardisées « avant » et « après » de tous les indicateurs caractérisant le même objectif sont rassemblées dans le calcul d'une moyenne. On obtient de la sorte pour chaque objectif, une valeur « avant aménagement » et une valeur « après aménagement ». Ces deux valeurs sont alors comparées entre elles dans la matrice d'évaluation pour déterminer les catégories de variation de chacun des objectifs du projet.

Succès écologique

Etant donné que les trois grands domaines « Bénéfices pour la société », « Economie » et « Mise en œuvre » ne sont représentés que par un à deux objectifs (cf. Chapitre 6), il n'est pas nécessaire de procéder à de plus amples regroupements. Le contrôle des résultats s'arrête donc ici au niveau de chacun des objectifs qui les composent. La liste des objectifs a été établie sur la base de l'expertise des auteurs. Il est possible que d'autres objectifs gagnent à être considérés et puissent être ajoutés. La liste proposée ne se prétend pas exhaustive. Il serait certainement intéressant d'évaluer le

Tableau 10.1 : Matrice d'évaluation basée sur la comparaison des valeurs standardisées des indicateurs (avant et après les aménagements).

		Valeur avant aménagement										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Valeur après aménagement	0.0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.1	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.2	+	+	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.3	+	+	+	0	-	-	-	-	-	-	-
	0.4	+	+	+	+	0	-	-	-	-	-	-
	0.5	++	++	+	+	+	0	-	-	-	-	-
	0.6	++	++	++	+	+	+	0	-	-	-	-
	0.7	++	++	++	++	++	+	+	0	-	-	-
	0.8	+++	+++	++	++	++	++	+	+	0	-	-
	0.9	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++	++	0	-
	1.0	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	0

Tableau 10.2 : Catégories de variation

Symbole	Variation	Signification
-	Dégradation, échec	La différence entre l'état après aménagement et l'état initial est négative.
0	Absence de modification, statu quo	La différence entre l'état après aménagement et l'état initial est nulle.
+	Légère amélioration, faible succès	La différence entre l'état après aménagement et l'état initial est positive. L'attribution de la catégorie dépend de l'état initial.
++	Amélioration moyenne, succès moyen	La différence entre l'état après aménagement et l'état initial est positive. L'attribution de la catégorie dépend de l'état initial.
+++	Forte amélioration, succès important	La différence entre l'état après aménagement et l'état initial est positive. L'attribution de la catégorie dépend de l'état initial.

succès du projet pour ces trois domaines pris dans leur globalité, mais ce ne serait judicieux que s'ils étaient décrits par un nombre suffisant d'objectifs.

Le grand domaine « Environnement et écologie » est par contre décrit de manière assez complète par une vaste palette d'objectifs. Cette volonté du manuel est due au savoir et à l'expérience des groupes d'auteurs dans ce domaine. Les neuf objectifs définis couvrent divers aspects structurels et fonctionnels des systèmes d'eaux courantes, autorisant une évaluation du succès d'un projet à l'échelle de l'ensemble de ce domaine. L'évaluation du succès écologique devient alors à la fois réalisable et pertinente. Pour qu'elle soit suffisamment étayée, une telle évaluation doit impérativement reposer sur un minimum de cinq objectifs sur les neuf proposés (recommandation des auteurs). (Remarque : Cette clause implique que le set d'indicateurs proposé pour la mesure « Structuration du lit » est insuffisant pour évaluer les résultats dans

l'ensemble du domaine « Environnement et écologie », puisqu'il ne décrit que quatre objectifs.) Cinq classes de succès sont définies. Leur dénomination correspond à celle des catégories de variation :

- Echec, dégradation
- Statu quo, absence de modifications
- Faible succès, légère amélioration
- Succès moyen, amélioration moyenne
- Succès important, forte amélioration

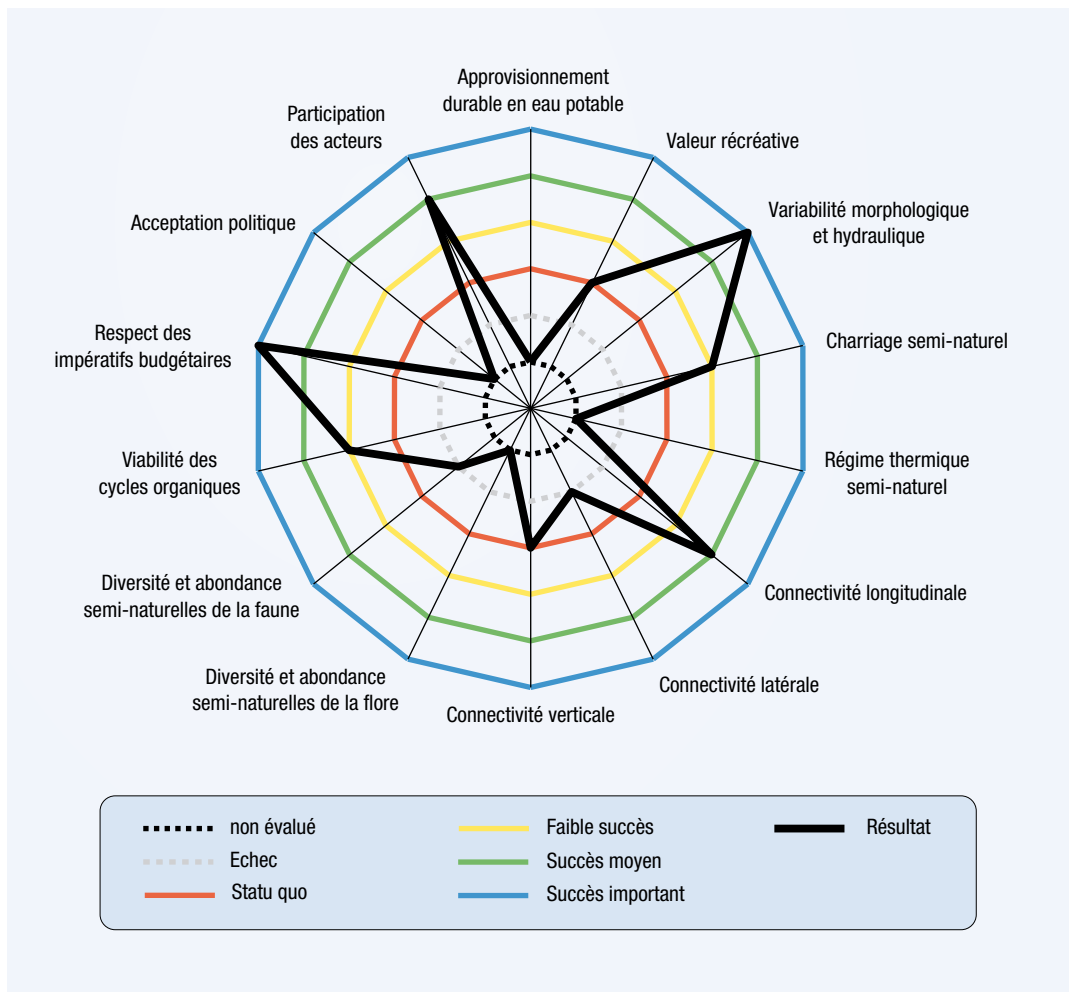
L'attribution des classes de succès dépend des catégories de variation des différents objectifs. Suivant le nombre d'objectifs évalués, les conditions à remplir pour entrer dans l'une ou l'autre des classes diffèrent légèrement. Ainsi, ces conditions sont les mêmes pour cinq et six objectifs, de même que pour sept et huit. Dans le même esprit, elles diffèrent légèrement si l'ensemble des neuf objectifs est pris en compte (Tableau 10.3). La définition des classes de succès est le fruit d'une réflexion fondée des auteurs.

	5 ou 6 objectifs évalués	7 ou 8 objectifs évalués	9 objectifs évalués
Echec	3 objectifs ou plus n'ont pas été atteints (échec).	4 objectifs ou plus n'ont pas été atteints (échec).	4 objectifs ou plus n'ont pas été atteints (échec).
	Le nombre d'objectifs atteints avec succès (faible, moyen ou important) est inférieur à celui des objectifs caractérisés par un échec.	Le nombre d'objectifs atteints avec succès (faible, moyen ou important) est inférieur à celui des objectifs caractérisés par un échec.	Le nombre d'objectifs atteints avec succès (faible, moyen ou important) est inférieur à celui des objectifs caractérisés par un échec.
Statu quo	3 objectifs au moins sont caractérisés par un statu quo ou une amélioration.	4 objectifs au moins sont caractérisés par un statu quo ou une amélioration.	5 objectifs au moins sont caractérisés par un statu quo ou une amélioration.
	2 objectifs au maximum sont caractérisés par un échec.	3 objectifs au maximum sont caractérisés par un échec.	3 objectifs au maximum sont caractérisés par un échec.
	Le nombre d'objectifs atteints avec succès (faible, moyen ou important) est supérieur ou égal à celui des objectifs caractérisés par un échec.	Le nombre d'objectifs atteints avec succès (faible, moyen ou important) est supérieur ou égal à celui des objectifs caractérisés par un échec.	Le nombre d'objectifs atteints avec succès (faible, moyen ou important) est supérieur ou égal à celui des objectifs caractérisés par un échec.
Petit succès	3 objectifs au moins sont caractérisés par un faible succès ou mieux.	4 objectifs au moins sont caractérisés par un faible succès ou mieux.	5 objectifs au moins sont caractérisés par un faible succès ou mieux.
	Tout au plus 1 objectif est caractérisé par un échec.	Tout au plus 1 objectif est caractérisé par un échec.	Tout au plus 2 objectifs sont caractérisés par un échec.
Succès moyen	3 objectifs au moins sont caractérisés par un succès moyen ou mieux.	4 objectifs au moins sont caractérisés par un succès moyen ou mieux.	5 objectifs au moins sont caractérisés par un succès moyen ou mieux.
	Tout au plus 1 objectif se caractérise par un statu quo.	Tout au plus 1 objectif se caractérise par un statu quo.	Tout au plus 2 objectifs se caractérisent par un statu quo.
	Aucun objectif ne se caractérise par un échec.	Aucun objectif ne se caractérise par un échec.	Tout au plus 1 objectif se caractérise par un échec.
Great success	3 objectifs au moins sont caractérisés par un succès important.	4 objectifs au moins sont caractérisés par un succès important.	5 objectifs au moins sont caractérisés par un succès important.
	Tout au plus 1 objectif se caractérise par un faible succès ou un statu quo.	Tout au plus 1 objectif se caractérise par un faible succès ou un statu quo.	Tout au plus 2 objectifs se caractérisent par un faible succès ou un statu quo.
	Aucun objectif ne se caractérise par un échec.	Aucun objectif ne se caractérise par un échec.	Aucun objectif ne se caractérise par un échec.

Tableau 10.3 : Conditions d'attribution des classes de succès dans le cadre de l'évaluation du succès écologique faisant appel à un nombre variable d'objectifs évalués.



Figure 10.4 : Représentation en diagramme radar des résultats d'une évaluation. L'exemple fictif montre dans quelle mesure les objectifs ont été atteints. Ainsi, le projet a particulièrement bien réussi dans les domaines « Variabilité morphologique et hydraulique », « Connectivité longitudinale » et « Respect des impératifs budgétaires » alors que les domaines « Connectivité latérale » et « Diversité et abondance « naturelles » de la faune » se soldent par un échec.



Si au moins cinq des neuf objectifs écologiques ont été évalués, la classe de succès écologique peut être directement déterminée à l'aide du modèle Excel « Auswahl und Bewertung » (cf. Chapitre 10.2).

La détermination du succès écologique global s'avère particulièrement judicieuse lorsque l'on souhaite comparer plusieurs projets entre eux. Une telle comparaison est néanmoins souvent difficile du fait de la disparité des situations initiales et des objectifs fixés. Pour être pertinente, l'estimation du succès global doit d'autre part reposer sur une grande diversité d'objectifs évalués. Comme nous l'avons indiqué en début de chapitre, seul le grand domaine « Environnement et écologie » remplit les conditions requises. Les domaines « Bénéfices pour la société », « Economie » et « Mise en œuvre » sont loin de le faire. Dans le présent manuel, on renoncera donc à un plus ample regroupement des résultats.

10.1.4 Diagramme radar

La représentation des résultats du suivi sous la forme d'un diagramme radar donne une vision générale des objectifs atteints. Dans ce diagramme, tous les objectifs sont placés de façon circulaire. Les cinq cercles de couleur correspondent aux cinq catégories de variation. Plus un objectif s'approche de la périphérie, plus le degré d'accomplissement est important. La figure 10.4 présente un exemple fictif de résultat d'un projet.

10.2 Principe d'utilisation du modèle Excel

Il est maintenant possible de mener l'évaluation par le biais du modèle Excel « Auswahl und Bewertung ». Pour ce faire, les valeurs de tous les indicateurs relevés avant et après aménagement doivent être disponibles. En partant de la page de démarrage, vous pouvez à nou-

veau composer votre set d'indicateurs (cf. Chapitre 8.2) ou utiliser une version sauvegardée de la sélection déjà effectuée. Si vous avez opté pour un des sets d'indicateurs recommandés, vous devez à nouveau le sélectionner dans le tableau. Après l'étape de sélection, cliquez sur « Weiter » pour afficher le tableau d'évaluation. Les indicateurs sont maintenant regroupés par objectif au sein des grandes unités « Nutzen für die Gesellschaft » (Benéfiques pour la société), « Umwelt und Ökologie » (Environnement et écologie), « Wirtschaft » (Economie) et « Umsetzung » (Mise en œuvre). Si un indicateur intervient pour plusieurs objectifs, il sera répété dans la liste. Le modèle vous conduit automatiquement à travers les différentes étapes exposées ci-dessous.

10.2.1 Saisie des moyennes

Vous devez inscrire les moyennes des valeurs des indicateurs avant aménagement dans la colonne D et après aménagement dans la colonne E. Pour les indicateurs intervenant plusieurs fois, les valeurs sont alors automatiquement copiées dans les cases correspondantes au niveau des différents objectifs. Pour cette raison, laissez libres les cases grisées.

R. d. T. : Les dénominations françaises des indicateurs sont indiquées dans le tableau 4.2 à la suite de leur numéro.

Comme l'indiquent les fiches descriptives, les moyennes ou données analytiques des indicateurs peuvent être des grandeurs physiques, des grandeurs sans dimension ou être exprimées sous la forme de classes. La saisie de ces grandeurs est décrite ci-dessous à partir d'exemples.

Eingabe		
vor	nach	Einheit
300	400	Individuen pro km ²

(a) Grandeur avec une unité (exemple : Indicateur n° 47 « Espèces végétales typiquement alluviales ») : Saisie des grandeurs de mesure dans les colonnes D et E.

(b) Grandeur sans dimension ou évaluée par un nombre de points (exemple : Indicateur n° 7 « Accessibilité pour les usagers récréatifs ») : Saisie du nombre de points dans les colonnes D et E.

Eingabe		
vor	nach	Einheit
7	8	Punkte (0 - 11)

Remarque : Certaines fiches descriptives indiquent déjà des grandeurs standardisées (comprises entre 0 et 1). Dans ce cas-là, laissez libres les cases des colonnes D et E alors en gris clair et inscrivez les valeurs dans les colonnes G et H prévues pour les valeurs standardisées.

(c) Catégories (exemple : Indicateur n° 34 « Colmatage interne du fond du lit ») : Les catégories doivent être sélectionnées dans le menu déroulant apparaissant alors.

Eingabe		
vor	nach	Einheit
Keine	Kriter	[-]
	Keine	
	Schwach	

(d) Grandeurs de mesure composées à partir de plusieurs catégories (exemple : Indicateur n° 8 « Structure d'âge des populations de poissons ») : Cliquez sur le bouton « f(x,y,z) ». Apparaît alors une fenêtre dans laquelle vous pouvez sélectionner les différentes catégories observées. Cliquez ensuite sur « Berechnen » (= calculer) et fermez la fenêtre.

Eingabe		
vor	nach	Einheit
f(x,y,z)	f(x,y,z)	[-]

(e) Indicateurs sans valeur « avant » (exemple. Indicateur n° 29 « Satisfaction de la population vis-à-vis de la participation aux processus décisionnels ») : Saisie d'une seule valeur dans la colonne E.

Eingabe		
vor	nach	Einheit
kein <vor>	0,5	Punkte (0 - 1)

(f) Indicateurs définis par l'utilisateur : L'utilisateur définit lui-même les valeurs standardisées (comprises entre 0 et 1) et les inscrit dans les colonnes G et H.

Eingabe			Standardisiert	
vor	nach	Einheit	vor	nach
		benutzerdefiniert	0,5	0,5

10.2.2 Standardisation des données

En cliquant sur le bouton « Standardisierung / Bewertung » (standardisation / évaluation), vous lancez la *standardisation* automatique des valeurs analytiques. Remarque : Si le programme ne réagit pas lorsque vous cliquez, vérifiez que la dernière case dans laquelle vous avez inscrit une donnée n'est plus activée. Si elle l'est encore (encadrée de noir), appuyez sur la touche Enter puis cliquez à nouveau sur le bouton.



Les valeurs standardisées sont indiquées avec une décimale, 0,05 étant arrondi à la décimale supérieure. La standardisation se fait indicateur par indicateur selon une approche quantitative (équation de standardisation), semi-quantitative voire qualitative (classes de standardisation) qui lui est spécifique. Pour plus d'information (en allemand) sur l'équation ou les classes utilisées, cliquez sur le bouton point d'interrogation figurant à côté du nom de l'indicateur.

Remarque sur le déroulement interne du programme : Le modèle Excel ne se sert pas directement de l'équation ou des classes de *standardisation* mais compare les valeurs de l'indicateur avec les classes standard 0-0,1, 0,1-0,2, ... 0,9-1, indiquées dans le tableau auxiliaire 4. Ce tableau peut être consulté en sélectionnant « Blatt » (= feuillet) et « Einblenden » (= afficher) dans la barre de menu « Format » (= format). Dans le cas où les valeurs indicatives pour les valeurs 0 et 1 et les équations ou classes de standardisation recommandées dans les fiches descriptives auraient été modifiées par l'utilisateur, les nouvelles valeurs standardisées doivent être saisies directement dans les colonnes G et H dans le feuillet « Bewertung » (= évaluation).

10.2.3 Evaluation : indicateurs, objectifs, succès écologique

Le résultat de l'évaluation apparaît dès que la standardisation est terminée. Il est structuré de la façon suivante : Les catégories de variation des différents indicateurs sont affichées dans la colonne I, celles des objectifs dans la colonne N et si plus de cinq objectifs écologiques ont été testés, le succès écologique dans la colonne T. Pour évaluer le degré d'atteinte des différents objectifs, le programme calcule la moyenne des valeurs standardisées des indicateurs correspondants et détermine à nouveau les catégories de variation auxquelles ils appartiennent. Les cinq catégories sont exprimées par les symboles indiqués dans le tableau 10.2. L'attribution des catégories dépend non seulement de la variation de la valeur par rapport à l'état avant aménagement mais aussi de la grandeur de cette valeur initiale (cf.

Tableau 10.1). Pour le succès écologique, les classes sont déterminées conformément aux conditions exposées dans le tableau 10.3. Les résultats de l'évaluation peuvent être imprimés sous forme de tableau dans leur globalité en cliquant sur le bouton « Druckansicht ».

10.2.4 Diagramme radar

En plus du tableau, vous pouvez obtenir les résultats sous la forme d'un diagramme radar. Il vous suffit pour cela de cliquer sur le bouton « Radar-Diagramm ». Pour l'imprimer, cliquez sur le bouton « Druckansicht ».

Si vous souhaitez inscrire d'autres valeurs de mesure dans le tableau d'évaluation, cliquez sur le bouton « zurück » dans le feuillet « Bewertung ». Si vous voulez modifier le tableau d'évaluation lui-même, c'est à dire si vous souhaitez utiliser d'autres indicateurs, sélectionnez le feuillet « Indikatorliste » (= liste d'indicateurs) et cliquez sur le bouton « zurück ».

10.2.5 Suite des opérations

A partir des résultats du suivi, il est possible d'identifier les points faibles du tronçon revitalisé n'ayant pu être améliorés par les mesures correctives et de prendre les décisions de mesures supplémentaires éventuelles. Elles permettent d'autre part d'acquérir une expérience précieuse sur les aménagements ayant produit les meilleurs effets.

Le suivi ne saurait être pertinent sans un nombre suffisant de répétitions. Des évaluations reposant sur les mêmes indicateurs doivent être effectuées à intervalles de temps croissants pour suivre l'évolution et les modifications du système ayant fait l'objet des efforts de revitalisation.

11 Conclusions et perspectives

11.1 Résumé

Le manuel décrit une méthode permettant de contrôler les résultats des projets de revitalisation de cours d'eau. Ce suivi consiste à évaluer dans quelle mesure les objectifs fixés pour le projet ont été atteints. Pour ce faire, on procède à une comparaison de la situation initiale dans le domaine concerné par chacun des objectifs avec la situation post réalisation des mesures de revitalisation. L'évaluation est basée sur un certain nombre d'indicateurs qui peuvent être relevés de manière quantitative, qualitative ou semi-quantitative. Le contrôle des résultats intervient au niveau des différents objectifs. Il ne permet pas de conclure sur le succès ou l'échec global du projet.

Le manuel propose pour le suivi deux approches différentes mais basées sur le même principe. Dans la première approche, des sets d'indicateurs pré-composés sont recommandés pour l'évaluation des huit mesures de revitalisation les plus fréquentes (cf. Chapitre 7, Tableau 7.1). Leur composition a été déterminée sur la base du savoir et de l'expérience des auteurs. Ces indicateurs permettent de décrire l'ensemble des objectifs concernés par la mesure à laquelle ils se rapportent. 14 objectifs sont envisageables. Ils sont répartis en quatre grands domaines : « Bénéfices pour la société », « Environnement et écologie », « Economie » et « Mise en œuvre ». Cette répartition a pour seule fonction de faciliter le repérage. Les objectifs sont exposés en détail dans le chapitre 6. Une autre approche consiste à définir soi-même des sets d'indicateurs adaptés aux exigences particulières du projet à évaluer. Ici aussi, le travail de composition est basé sur les 14 objectifs prédéfinis, plusieurs indicateurs pouvant être sélectionnés pour chaque objectif. Un modèle Excel intitulé « Auswahl und Bewertung » et livré en annexe III, permet de procéder à l'évaluation des objectifs soit à partir des sets d'indicateurs pré-composés soit

après sélection de sets individuels. Les informations nécessaires au relevé et à l'interprétation des différents indicateurs sont livrées dans des fiches descriptives fournies en annexe I.

Quelle que soit l'approche choisie, une comparaison de la situation avant et après aménagement permet ensuite d'attribuer à chacun des objectifs une catégorie de variation (cf. Chapitre 10). Au nombre de cinq, ces catégories correspondent au degré d'atteinte de l'objectif considéré, exprimé par une quantification du succès du projet dans le domaine défini par l'objectif. L'estimation de ce succès porte exclusivement sur l'objectif en question et ne permet pas de juger par exemple du degré de similitude du tronçon revitalisé avec un système de référence ou de son adéquation avec des idées directrices. Par contre, plus le nombre d'objectifs testés est élevé, plus leur bonne atteinte correspondra à un rapprochement avec le système de référence. Ainsi, s'il est possible d'évaluer plus de cinq objectifs dans le domaine « Environnement et écologie », il est permis de déterminer le succès écologique global du projet au vu de certaines conditions exposées sous forme de clé de détermination (Tableau 10.3). Cette démarche aboutit à l'affectation du projet dans une échelle de succès écologique à cinq classes. Les classes de succès ont la même dénomination que les classes de variation. Si au moins cinq objectifs ont été évalués dans le domaine « Environnement et écologie », le modèle Excel « Auswahl und Bewertung » détermine automatiquement la classe de succès écologique du projet de revitalisation.

11.2 Bilan de la méthode

La grande force de la méthode présentée dans ce manuel réside dans la prise en compte d'une grande diversité d'objectifs des projets de revitalisation. Les concepts développés jusqu'à



présent se limitaient exclusivement aux aspects écologiques. Le présent concept va au-delà et propose en complément une évaluation par les acteurs locaux et le public. Ces aspects ont trop souvent été négligés par le passé.

Une grande partie des indicateurs recommandés dans ce manuel se prête à l'évaluation de plusieurs objectifs à la fois. Ces indicateurs dits intégratifs sont d'autant plus précieux que le nombre d'indicateurs à relever doit être limité. Dans cette catégorie, les indicateurs innovants et peu conventionnels tels que le n° 25 « Lâcher de feuilles mortes pour la détermination de la capacité de rétention » ou le n° 27 « Composition et colonisation des matériaux flottants » sont particulièrement prometteurs. Les méthodes élaborées pour leur détermination et leur interprétation sont basées sur les derniers résultats de la recherche dans leur domaine. Compte tenu du fait que les données ne sont en général disponibles qu'en nombre assez réduit, seule une analyse qualitative ou au mieux semi-quantitative est souvent possible. Plus les indicateurs seront utilisés et éprouvés dans la pratique, plus la fiabilité et la précision de leurs valeurs indicatives augmenteront.

Les valeurs indicatives « 0 » et « 1 » recommandées pour les indicateurs dans leurs fiches descriptives sont basées sur le savoir et l'expérience des auteurs, de même que sur les valeurs citées dans la littérature. Ces estimations portent sur les cours d'eau de moyenne à grande importance du Plateau. Dans l'idéal, des valeurs indicatives doivent cependant être déterminées pour différents types de cours d'eau. Il s'agira là d'une tâche importante dans l'avenir.

La liste des indicateurs recommandés dans le présent manuel ne se prétend pas exhaustive et peut être complétée. Elle manque notamment d'indicateurs du milieu terrestre tels que les amphibiens, les reptiles, les oiseaux, les insectes et les araignées. Enfin, en sont absentes les espèces emblématiques susceptibles d'éveiller l'intérêt du grand public et donc de faciliter le travail de communication des projets particuliers.

Le concept utilisé ici ne permet encore que très difficilement de comparer les résultats

de différents projets. Un travail important de recherche devra être effectué pour pallier cet inconvénient.

11.3 Perspectives et développement futur

Le présent manuel est un premier pas sur la voie de l'uniformisation des méthodes de suivi employées en Suisse. Bien qu'il se présente sous la forme d'un produit bien finalisé, certaines améliorations s'imposeront très certainement une fois les premières phases d'application passées. Les résultats et expériences tirées de projets achevés peuvent constituer une aide très précieuse pour les futurs utilisateurs. Il est donc prévu dans un deuxième temps d'intégrer ces expériences vécues au manuel sous la forme d'exemples concrets. Ils pourront d'autre part servir de base à une révision de la première version. La durée de la phase de test au bout de laquelle une nouvelle version sera rédigée est estimée à deux ou trois ans.

Le travail de révision portera principalement sur les indicateurs et leurs fiches descriptives ainsi que sur le procédé d'évaluation. Les questions suivantes devront être traitées :

- Quels sont, parmi les indicateurs proposés, ceux qui ont fait leurs preuves dans la pratique ou qui se sont avérés inadaptés à l'utilisation prévue ?
- Quels sont les indicateurs particulièrement intéressants tout en étant relativement peu onéreux ?
- Quelles sont les fiches descriptives nécessitant des modifications ou des compléments ?
- Est-il nécessaire de rajouter certains indicateurs dans le manuel et lesquels ?
- Les sets d'indicateurs recommandés par les auteurs se sont-ils avérés efficaces sur le terrain ? Est-il nécessaire de leur apporter des améliorations ?
- Le procédé d'évaluation s'est-il avéré facile d'utilisation ?
- Est-ce que la méthode permet de bien rendre compte de l'état des tronçons revitalisés ?
- Est-il possible d'améliorer la méthode et sur quels points ?
- Comment permettre une meilleure comparabilité des projets ?

Des cours de formation sont proposés à l'Eawag pour l'initiation à l'utilisation du manuel. Pour toute information, veuillez consulter le site www.rivermanagement.ch.

11.4 Communication

Pour que la deuxième phase se déroule efficacement, une contribution des utilisateurs est indispensable. Dans ce sens, les utilisateurs sont priés de bien vouloir communiquer aux auteurs les résultats de leur suivi accompagnés d'un certain nombre d'informations sur le projet en question. Parmi ces informations, doivent impérativement figurer :

1. Le nom / la composition du groupe de travail chargé du projet
2. une courte description de l'environnement du projet (nom du cours d'eau, situation géographique, taille, particularités etc.)
3. un récapitulatif des objectifs évalués
4. la nature des mesures réalisées
5. les résultats de mesure des différents indicateurs (sous forme de fichier Excel)
6. une description qualitative de l'effet des mesures

7. la période à laquelle se déroule le suivi
8. une évaluation de la capacité de la méthode à être appliquée sur le terrain
9. les coordonnées de la personne à contacter en cas de questions

Pour cet effort de communication, le formulaire fourni ci-dessous peut être utilisé. Il est également disponible sous forme numérique à l'annexe IV (en langue allemande).

Le formulaire rempli et le fichier Excel comportant les résultats de mesure peuvent être envoyés par e-mail à l'adresse suivante : rhone-thur@eawag.ch.

11.5 Personne à contacter en cas de questions

Si vous avez des questions sur le concept ou sur les indicateurs, veuillez contacter :

Armin Peter
Eawag
Seestrasse 79
CH-6047 Kastanienbaum
e-mail : rhone-thur@eawag.ch

Formulaire de réactions et commentaires sur le « Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale »

1. Groupe responsable du projet :

2. Brève description de l'environnement du projet : nom du cours d'eau, situation géographique, taille, particularités etc.

3. Objectifs évalués (veuillez cocher les cases correspondantes) :

Bénéfices pour la société	Environnement et écologie	Economie	Mise en œuvre
<input type="checkbox"/> Approvisionnement durable en eau potable	<input type="checkbox"/> Variabilité morphologique et hydraulique	<input type="checkbox"/> Respect des impératifs budgétaires	<input type="checkbox"/> Acceptation politique
<input type="checkbox"/> Augmentation de la valeur récréative	<input type="checkbox"/> Régime de charriage semi-naturel		<input type="checkbox"/> Participation des acteurs
	<input type="checkbox"/> Régime thermique semi-naturel		
	<input type="checkbox"/> Connectivité longitudinale		
	<input type="checkbox"/> Connectivité latérale		
	<input type="checkbox"/> Connectivité verticale		
	<input type="checkbox"/> Diversité et abondance semi-naturelles de la flore		
	<input type="checkbox"/> Diversité et abondance semi-naturelles de la faune		
	<input type="checkbox"/> Viabilité des cycles organiques		



4. Mesures réalisées :

5. Résultats de mesure des différents indicateurs :

Veillez joindre au formulaire le fichier Excel que vous avez constitué à l'aide du modèle Excel « Auswahl und Bewertung », merci.

6. Description qualitative des effets des mesures :

7. Moment et cadre temporel du suivi :

8. Commentaires utiles à la révision et à l'amélioration du manuel :

Questions :

1. Quels indicateurs se sont avérés particulièrement utiles et efficaces dans la pratique ?
2. Quels indicateurs se sont avérés inaptes dans la pratique ?
3. Avez-vous des modifications ou compléments à suggérer pour les fiches descriptives ?
4. Souhaitez-vous le rajout de certains indicateurs dans le manuel ? Lesquels ?
5. Les sets d'indicateurs recommandés par les auteurs se sont-ils avérés efficaces sur le terrain ?
6. Quelles modifications apporteriez-vous au set d'indicateurs pré-composé que vous avez utilisé ?
7. Le procédé d'évaluation s'est-il avéré facile d'utilisation ?
8. Avez-vous d'autres commentaires ou suggestions à propos du manuel ?

Réponses :

9. Personne à contacter en cas de questions

Nom :
Institut / société :
Adresse :
Téléphone :
E-Mail :

Vous trouverez le formulaire en annexe IV sous forme numérique (« Rückmeldeformular »).
Veillez le renvoyer complété et accompagné du fichier Excel des données sur les indicateurs à l'adresse électronique suivante : rhone.thur@eawag.ch
N.d.T : Les annexes ne sont pas traduites en français. Pour le formulaire, référez-vous aux questions formulées ci-dessus.

Glossaire

Termes-clés

Etant donné la fréquence de leur utilisation, les termes-clés définis ci-dessous ne sont pas mis en exergue dans le texte.

Indicateurs

Les indicateurs sont des grandeurs mesurables livrant des informations précieuses sur l'état d'un écosystème et sur les processus qui le régissent (Lorenz et al. 1997). Dans la méthode proposée ici, les indicateurs sont les instruments de la caractérisation quantitative, semi-quantitative ou qualitative des domaines définis par les objectifs du projet. Ils peuvent être biotiques ou abiotiques.

Revitalisation

Les revitalisations ont pour objectif de restaurer les principaux processus et éléments d'un écosystème dégradé mais ne permettent pas de le replacer dans son état d'origine (Bradshaw 1996, Roni 2005). Dans la méthode proposée ici, le terme de revitalisation désigne la revitalisation des cours d'eau. A l'heure actuelle, les revitalisations comprennent également des mesures dont les préoccupations écologiques ne sont pas l'élément principal même si elles présentent encore une certaine composante écologique. La méthode proposée est de ce fait également applicable à l'évaluation des mesures de valorisation écologique engagées dans le cadre des projets de protection contre les inondations.

Suivi

Le suivi ou contrôle des résultats d'une revitalisation fluviale consiste à estimer dans quelle mesure les objectifs fixés pour le projet ont bien été atteints. Pour ce faire, la situation avant revitalisation est décrite objectif par objectif à l'aide d'un certain nombre d'indica-

teurs et comparée à la situation obtenue après aménagement. A l'issue de cette comparaison, le succès du projet est estimé pour chaque objectif selon une échelle de cinq catégories de variation :

- Dégradation / échec
- Absence de variation / statu quo
- Légère amélioration / faible succès
- Amélioration moyenne / succès moyen
- Grande amélioration / succès important

L'évaluation du succès des mesures porte exclusivement sur les objectifs fixés au préalable et évalués ensuite, elle n'indique pas le degré d'adéquation du système revitalisé avec un système de référence ou des idées directrices. Cependant, plus le nombre d'objectifs jugés atteints est important, plus la revitalisation entreprise aura permis de se rapprocher dudit système de référence.

Zone alluviale

Une zone alluviale est un milieu façonné et influencé par l'eau que l'on rencontre dans les fonds de vallée (Jungwirth et al. 2003). Ce type de milieu est inondé plus ou moins régulièrement par les crues et se caractérise par des eaux souterraines très superficielles voire affleurantes (Rossol & Werth 1992). Les zones alluviales constituent des milieux naturels exceptionnels abritant une très grande diversité faunistique et floristique du fait de l'importante dynamique habitationnelle imposée par les mouvements d'eau (Service conseil Zones alluviales 2001). Les zones alluviales remplissent souvent la fonction d'espaces de rétention des eaux.

Glossaire alphabétique

Les termes expliqués ci-dessous sont mis en exergue dans le texte.

Abiotique

On désigne sous le terme de facteurs abiotiques les éléments non vivants d'un écosystème (roches, eau, air, climat etc.).

Abondance

Dans le domaine de l'écologie, on appelle abondance la quantité relative des individus d'une espèce (densité d'individus, densité de population) présents dans une surface ou un volume donnés (d'après Da Lage & Métaillé 2000). L'abondance peut aussi être déterminée à partir du nombre absolu d'individus occupant de façon stationnaire cette surface ou ce volume (Wikipedia de).

Affouillement

Action érosive, notamment intense et localisée, du courant creusant le fond et les berges d'un cours d'eau et dégageant les matériaux issus du creusement (<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/indexfr.htm>).

Anthropogénique, anthropique

Influencé, causé ou créé par l'homme.

Aquifère

Le terme d'aquifère (du latin aqua = eau et ferre = porter) désigne dans le domaine de l'hydrogéologie une couche de terrain suffisamment perméable et poreuse pour permettre à l'eau de circuler en quantités exploitables. L'aquifère est géologiquement délimité par des couches imperméables (constituées d'argiles par ex.). Par cette succession de couches perméables et imperméables, l'eau souterraine s'organise en niveaux ou horizons. (D'après Wikipedia fr et de).

Bassins alluviaux

Zones naturelles de dépôt d'alluvions dans les plaines alluviales. Chenaux présentant une grande largeur de lit dans lesquels les apports de charriage dépassent la capacité de charriage du cours d'eau. Le chenal est ramifié et présente une tendance continue à l'atterrissement.

Benthos, benthique

Le terme de benthos désigne l'ensemble des animaux et végétaux vivant au fond des mers et des eaux continentales (le benthal) de même que les biocénoses (communautés) qui occupent ce biotope. Le benthos comprend aussi bien les êtres sessiles (fixés au fond) que les être rampant, marchant ou nageant de façon intermittente. On distingue selon la taille des organismes :

- Le macrobenthos (> env. 1 mm)
- le meiobenthos (de 1 mm à 0,063 mm) et
- le microbenthos (< 0,063 mm)

(Wikipedia de et fr)

Binnenkanal

Canal artificiel de drainage créé parallèlement à un cours d'eau dans le cadre de son aménagement en dur et véhiculant souvent de l'eau d'origine souterraine.

Biodiversité

Recouvrant la « diversité biologique », le terme de biodiversité englobe la diversité des espèces, la diversité génétique des espèces ainsi qu'un grand nombre d'habitats diversifiés (www.biodiversitymonitoring.ch/francais/aktuell/portal.php -> glossaire).

Biotique

On appelle facteurs biotiques les éléments vivants d'un écosystème.

Busage, mise sous terre

Les cours d'eau busés ou mis sous terre sont des cours d'eau dont l'écoulement a été confiné dans une conduite ou un canal souterrains.

Charriage, matériaux charriés, charge de fond, transports solide

Dans le domaine de la protection contre les crues, le terme de charriage désigne les matériaux solides entraînés par le courant sur le fond du lit d'un cours d'eau de même que leur processus de transport (Loat & Meier 2003).

De façon plus générale, il désigne les matériaux rocheux arrondis transportés par un glacier ou un cours d'eau. Pour les géologues, la définition du charriage se limite souvent au domaine de la glaciologie. Pour les hydrauliciens et les limnologues, il comprend également les matériaux solides transportés par le courant qui se déplacent sur le fond du lit d'un cours d'eau en glissant, en roulant ou en sautant. (D'après <http://de.wikipedia.org/wiki/Geschiebe>).

Colmatage

Dépôt de très fines particules d'argile ou de limon par ex., à la surface et dans les interstices d'un milieu poreux perméable tel qu'un sol, ayant pour effet de réduire la perméabilité. (<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/indexfr.htm>).

Connectivité (latérale, longitudinale, verticale)

Le concept de connectivité s'applique aux connexions, échanges et interactions entre différents habitats aquatiques et habitats aquatiques et terrestres. Objets de ces échanges sont notamment les flux d'eau, de sédiments, d'énergie, de substances nutritives, de détritiques de même que le transit d'organismes qu'ils soient actifs ou passifs (Muhar & Jungwirth 1998).

Connectivité latérale :

La connectivité latérale correspond aux connexions entre le cours d'eau et le milieu alluvial et terrestre.

Connectivité longitudinale :

La connectivité longitudinale concerne les échanges amont-aval entre les habitats du cours d'eau.

Connectivité verticale :

Elle concerne les échanges et connexions entre l'écoulement de surface et souterrain.

Décomposeurs

On appelle décomposeurs les microorganismes qui, dans un écosystème, utilisent l'oxygène (O₂) produit par les plantes par le biais de la photosynthèse pour décomposer la matière organique morte et produire du dioxyde de carbone (CO₂) et des sels minéraux. En référence à cette dernière fonction, on les appelle aussi minéralisateurs. Ces microorganismes sont présents dans tous les écosystèmes

et sont indispensables à son équilibre (d'après Wikipedia de « Mineral »).

Débit résiduel, tronçon à -

Tronçon de cours d'eau ne véhiculant plus qu'une quantité d'eau très limitée à la suite d'un ou de plusieurs prélèvements ou après une rétention. L'Ordonnance sur la protection des eaux définit un cadre juridique garantissant un débit résiduel suffisant dans les cours d'eau.

Détritiques

Dans le domaine biologique, le terme de détritiques désigne les produits ubiquitaires de la décomposition cellulaire. Dans le domaine géologique, il se rapporte aux débris de roches et aux restes d'organismes broyés (d'après Wikipedia de « Mineral »).

Diversité

Le terme de diversité se rapporte à la richesse en espèces, à la composition en espèces des communautés, au nombre d'espèces présentes, à la disparité des espèces. La diversité tient également compte de la densité des individus qui composent les communautés. Elle sert à caractériser la qualité du milieu.

Ecomorphologie, écomorphologique

L'écomorphologie décrit les éléments structurels et structurants du cours d'eau et de ses rives.

Ecosystème

Un écosystème est une unité fonctionnelle d'organismes par rapport à leur habitat. Ces êtres vivants sont tributaires des échanges avec leur environnement, qu'il s'agisse d'énergie, de substances nutritives ou d'autres informations. (www.biodiversitymonitoring.ch/francais/aktuell/portal.php -> Glossaire).

Emissaire, cours d'eau récepteur

On appelle émissaire un cours d'eau recevant les eaux d'un ou plusieurs affluents (Loat & Meier 2003). Ce terme désigne également le milieu dans lequel se déversent (légalement) des eaux produites artificiellement (rejets de stations d'épuration, eaux de drainage etc.) (Wikipedia de -> Vorfluter).

Espèces emblématiques

Les espèces jouissant d'une grande popularité du fait de leur taille ou de leur vulnérabilité sont considérées comme étant des espèces emblématiques. On retrouve notamment parmi elles le panda ou le lynx (www.biodiversity-monitoring.ch/francais/aktuell/portal.php).

Exfiltration

Résurgence d'eau à partir d'un aquifère à travers des matériaux poreux.

Fosse d'affouillement

Dépression creusée dans le lit d'un cours d'eau sous l'effet d'une perturbation de l'écoulement (Loat & Meier 2003).

Géomorphologie, géomorphologique

La géomorphologie est une branche commune de la géographie physique et de la géologie. Elle décrit les formes de la surface de la Terre et d'autres planètes (relief) et explique leur formation et leur évolution sous l'effet de la tectonique et de l'érosion, c'est à dire sous l'effet des interactions entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. On distingue la géomorphologie structurale qui s'intéresse aux processus de formation internes du relief, c'est à dire à la tectonique et la géomorphologie climatique spécialisée sur les processus externes tels que l'érosion, l'altération etc. La géomorphologie ne saurait donc être comprise sans une bonne connaissance du climat actuel et de son évolution au cours des ères géologiques (<http://de.wikipedia.org/wiki/Geomorphologie> et <http://fr.wikipedia.org/wiki/Géomorphologie>).

Gué

Endroit d'un cours d'eau où le niveau de l'eau est assez bas pour qu'on puisse le traverser à pied ou avec un véhicule (Loat & Meier 2003) et résultant des conditions d'écoulement (Rosol & Werth 1992).

Hydraulique

L'hydraulique est la branche de la physique qui étudie le comportement des fluides. Elle s'intéresse en particulier au comportement

de l'écoulement dans les chenaux ouverts (canaux, rivières) et les lacs de même que dans les conduites, les pompes et les aquifères. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Hydraulik> et <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydraulique>).

Hydrologie, hydrologique

L'hydrologie est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est à dire à sa distribution spatiale et temporelle dans l'atmosphère, à la surface de la Terre et dans le sous-sol (hydrogéologie) de même qu'aux propriétés biologiques, chimiques et physiques qui en découlent. Elle se consacre aux relations et interactions entre les différents états de l'eau, à son cycle, sa distribution à la surface du globe et à leurs modifications d'origine anthropique. (<http://de.wikipedia.org/wiki/Hydrologie> et <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrologie>)

Hyporhéos, hyporhéique

La zone hyporhéique est la zone de transition entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Elle est constituée d'un réseau cohérent d'habitats souterrains et d'espaces interstitiels. Elle abrite diverses espèces animales et microorganismes. L'hyporhéos est l'habitat privilégié des premiers stades larvaires d'un grand nombre d'espèces macrobenthiques (www.fish.washington.edu)

Indice de Kessler

L'indice de Kessler rassemble toutes les informations collectées dans le cadre du programme LANAG du canton d'Argovie (« Langzeitbeobachtung der Artenvielfalt in den Nutzflächen des Kantons Aargau » = Suivi à long terme de la diversité spécifique sur les surfaces exploitées du canton d'Argovie). Une valeur de 100 de l'indice correspond à la biodiversité moyenne dans tous les milieux naturels du canton d'Argovie en 1996 et 1997. Une augmentation de l'indice révèle que le nombre d'espèces végétales et animales différentes observées sur un site argovien donné a augmenté par rapport à cette date et inversement pour une diminution. L'indice est conçu de telle manière qu'il réagit surtout aux changements concernant les espèces les plus fréquentes. A

Calcul de l'indice de Kessler :

$$IK (Et) = \frac{DSMOis. (Et)}{DSMOis. (base)} + \frac{DSMGast. (Et)}{DSMGast. (base)} + \frac{DSMVég. (Et)}{DSMVég. (base)} + \frac{DSMPap. (Et)}{DSMPap. (base)} \times \frac{100}{4}$$

IK (Et) Indice de Kessler pour la forme d'exploitation E (forêt, urbanisation ou agriculture) dans l'année t.

DSM (Et) Diversité spécifique moyenne (par ex. : nombre moyen d'espèces végétales / surface d'étude) pour la forme d'exploitation E (forêt, urbanisation ou agriculture) dans l'année t

DSM (base) Valeur de base de la diversité spécifique moyenne (= moyenne des années 1996 et 1997) pour la forme d'exploitation et le groupe d'espèces considérés

Ois. Oiseaux

Gast. Gastéropodes (escargots et limaces)

Vég. Végétaux

Pap. Papillons

(www.ag.ch/natur2001/alg/pages/natur/programme/mehrjahresprogramm/kontrollprogramm/LANAG/Kessler.htm)

la manière d'un système d'alarme précoce, il met en évidence les priorités d'intervention. L'indice de Kessler a été ainsi nommé en l'honneur d'Erich Kessler, pionnier argovien de la protection de la nature.

Infiltration

Mouvement de l'eau pénétrant dans un milieu poreux depuis la surface du sol (Glossaire hydrologique international UNESCO/OMM, <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/indexfr.htm>)

Létal

Mortel. Qui entraîne la mort.

Macroinvertébrés

Invertébrés dont la taille (> 1 mm env.) permet l'observation à l'œil nu.

Macrozoobenthos

Invertébrés vivant au fond des eaux et dont la taille (> 1 mm env.) permet l'observation à l'œil nu : escargots, coquillages, vers, sangsues, crustacés, larves d'insectes etc.

Marnage, effets d'éclusées

Fluctuations brutales et fréquentes du débit suite au fonctionnement par éclusées des centrales hydroélectriques à accumulation, les eaux étant retenues en période de faible demande électrique pour être turbinées en pé-

riode de pointe (www.mdc.missouri.gov/fish/watershed/fabius/glossary/110glyt.htm).

Morphologie, morphologique

La morphologie étudie la structure et la forme des organismes et des milieux.

Mosaïque

Répartition des communautés végétales déterminée par les fluctuations des conditions environnementales (Gillet et al. 1991).

Pesticides

Terme général désignant les molécules minérales ou organiques créées par l'homme pour se débarrasser d'êtres vivants nuisibles. Ainsi, les herbicides sont destinés à éliminer les plantes adventices, les insecticides les insectes, les fongicides les champignons etc.

Ravines et ruisselets d'amont

Le charriage trouve son origine première dans les ravines et ruisselets de tête de bassin. Lors des crues, le fond se creuse sous l'effet de l'érosion et les talus et versants latéraux s'effondrent dans les eaux en ruissellement.

Refuges

Les refuges sont des stations dont les conditions particulières permettent aux organismes de survivre aux événements perturbateurs

(crues, étiages sévères, perturbations d'origine anthropique etc.) et à partir desquelles une recolonisation du milieu peut se produire après retour à la normale. La disponibilité en refuges est décisive pour l'élasticité écologique (résilience) de l'écosystème.

Régénération

Cycle de destruction et de reconstitution des communautés végétales.

Résilience

La résilience est la capacité d'un écosystème à supporter des modifications affectant certaines variables de ses états, tout en conservant l'essentiel de ses propriétés. Elle correspond donc à sa capacité à retrouver un état stable après une perturbation naturelle ou anthropogénique. Un écosystème a donc une forte résilience si, par autorégulation, une modification notable de ses paramètres ne provoque pas un changement durable du système (FISRWG 1998, Da Lage & Métaillé 2000).

Standardisation, standardiser

De façon générale, le terme de standardisation désigne l'uniformisation de différentes masses, de différents types ou autres. Son objectif est la création de standards communs. En statistique, on entend par standardisation la transformation de valeurs de différentes échelles en valeurs de même échelle dans le but par exemple d'autoriser les comparaisons. (D'après Wikipedia de -> Standardisierung)

Succession

Dans le domaine de la biologie et de la botanique, on entend par succession l'ensemble des divers stades de l'évolution de la végétation ou de la faune au cours du temps en un lieu donné. Lorsqu'elle est « progressive », c'est à dire lorsque le passage d'un stade à un autre se traduit par un accroissement de taille, de volume, ou éventuellement par une augmentation de la complexité physionomique ou de la richesse en espèces, elle conduit à un climax qui correspond à une utilisation optimale des ressources (optimum écologique). Dans le cas contraire, elle est dite « régressive ». Les

stades de la succession peuvent partir d'un stade pionnier s'installant sur sol nu (succession primaire) ou partir d'une communauté préexistante (succession secondaire). A la suite d'une forte perturbation de l'écosystème due par exemple à une crue, une sécheresse ou un incendie, la structure et la composition en espèces des communautés est nettement modifiée. Si la gravité de la perturbation est telle que la biocénose préexistante et son biotope sont totalement détruits, la succession repart d'un stade pionnier. (Da Lage et Métaillé 2000, Wikipedia de -> Sukzession)

Système modulaire gradué

Le système modulaire gradué est un système d'appréciation de la qualité des cours d'eau suisses issu de la collaboration entre l'Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage (OFEFP), l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), l'Eawag et les services cantonaux de la protection des eaux. Dans le cadre du système modulaire gradué, des méthodes pour l'analyse et l'appréciation de l'état des cours d'eau en Suisse sont développées. Des modules sont prévus dans les domaines de l'hydrologie, de la morphologie, de la biologie, de la chimie et de l'écotoxicologie. Les analyses sont subdivisées en trois niveaux d'investigation d'intensité différente. Les méthodes élaborées dans ce contexte servent de recommandations pour l'exécution aux services spécialisés cantonaux. La publication de base et la première méthode (Écomorphologie niveau R) ont été publiées dans la série „L'environnement pratique, Informations concernant la protection des eaux“ en 1998. D'autres méthodes sont parues ou paraîtront ultérieurement dans la même série. (www.modul-stufen-konzept.ch)

Dans le cadre du système modulaire gradué, l'état écomorphologique des cours d'eau est évalué dans une perspective habitationnelle. Dans une première phase, les tronçons observés sont notés au niveau régional selon divers critères écomorphologiques puis répartis en quatre classes de qualité selon le nombre de points obtenus. Ces critères écomorphologiques sont notamment la largeur du lit, la

variabilité de la largeur du lit mouillé, la nature et l'étendue de l'aménagement du lit, l'étendue de l'aménagement et la perméabilité du pied de berge et la largeur et la nature des rives. Les quatre classes de qualité écomorphologique sont : « naturel/presque naturel », « peu modifié », « fortement modifié » et « artificiel/peu naturel ». Les cours d'eau mis sous tuyau constituent une classe à part. Les paramètres écomorphologiques relevés peuvent être très utiles à la planification des projets d'aménagement des cours d'eau, en particulier dans le cadre de renaturations, étant donné qu'ils mettent directement en évidence les déficits morphologiques qu'il s'agit éventuellement de corriger (OFEFP 1998).

Tronçon d'échange de matériaux

Tronçon d'un cours d'eau dans lequel des matériaux solides sont successivement apportés, déposés et emportés (Loat & Meier 2003). La charge grossière, ou charriage, y est déposée lors de fortes crues pour être évacuée à petites doses vers l'aval lors d'évènements moins intenses. Le fond de ce type de tronçons est en équilibre dynamique permanent.

Zonation

Répartition stationnelle des communautés végétales le long d'un gradient écologique (d'humidité, de luminosité, de contrainte mécanique par ex.). Les zonations sont par exemple observables dans les zones d'atterrissement des berges lacustres, dans les complexes alluviaux, les éboulis ou les marges proglaciaires (BUWAL 1997).

Zonation végétale, zonation de la végétation

Succession spatiale de communautés végétales typiques en fonction des conditions du milieu.

Références bibliographiques

- Aerni, H.R., B. Kobler, B.V. Rutishauser, F.E. Wettstein, R. Fischer, W. Giger, A. Hungerbuehler, M.D. Marazuela, A. Peter, R. Schoenenberger, A.C. Voegeli, M. J. – F. Suter & R. I. I. Eggen. 2004. Combined biological and chemical assessment of estrogenic activities in wastewater treatment plant effluents. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 378 : 688–696.
- Amoros, C. & G. Bornette. 2002. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. *Freshwater Biology* 47 : 761–776.
- Angermeier, P. L. 1997. Conceptual roles of biological integrity and diversity. pp. 49–65. In : J.E. Williams, C. A. Wood & M. P. Dombeck (ed.) *Watershed restoration : Principles and practices*, American Fisheries Society.
- Angermeier, P. L. & J. R. Karr. 1994. Biological integrity versus biological diversity as policy directives. *BioScience* 44 : 690–697.
- Auenberatungsstelle. 2001. Auendossier : Faktenblätter. BUWAL, Bern.
- Bash, J. S. & C. M. Ryan. 2002. Stream restoration and enhancement projects : Is anyone monitoring? *Environmental Management* 29 : 877–885.
- Baumann, P. & I. Klaus. 2003. Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. *Mitteilungen zur Fischerei* 75. BUWAL, Bern. 112 pp.
- Baur, B., P. Duelli, P. J. Edwards, M. Jenny, G. Klaus, I. Künzle, S. Martinez, D. Pauli, K. Peter, B. Schmid, I. Seidl & W. Suter. 2004. Biodiversität in der Schweiz : Zustand, Erhaltung, Perspektiven : Wissenschaftliche Grundlagen für eine nationale Strategie. *Forum Biodiversität Schweiz*, Bern. 237 pp.
- Bayley, P.B. 1991. The flood-pulse advantage and the restoration of river-floodplain systems. *Regulated Rivers : Research & Management* 6 : 75–86.
- Beierle, T.C. & D.M. Konisky. 2000. Values, conflict, and trust in participatory environmental planning. *Journal of Policy Analysis and Management* 19 : 587–62.
- Boller, L. & D. Würmli. 2004. Sukzession der Fischfauna in einem neu geschaffenen Seitengerinne der Aare am Beispiel des Wildibachs. *Diplomarbeit, ETH Zürich & Eawag Kastanienbaum*. 94 pp.,
- Bonnard, L. & C. Roulier. 2004. Erfolgskontrolle Auen : Kurzfassung des Erfolgskontroll-Konzepts. Stand 6. Oktober 2004. BUWAL, Bern & Auenberatungsstelle, Yverdon-les-Bains. 15 pp.
- Boon, P.J. 1998. River restoration in five dimensions. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 8 : 257–264.
- Boschi, C., R. Bertiller & T. Coch. 2003. Die kleinen Fließgewässer – Bedeutung, Gefährdung, Aufwertung. vdf Hochschulverlag AG der ETH Zürich, Zürich. 119 pp.
- Bradshaw, A.D. 1996. Underlying principles of restoration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 : 3–9.
- Bratrich, C. 2004. Planung, Bewertung & Entscheidungsprozesse im Fließgewässer Management – Kennzeichen erfolgreicher Revitalisierungsprojekte, *Dissertation ETH Zürich & Eawag Kastanienbaum*. Diss Nr. 15440. 343 pp.
- Bundi, U., A. Peter, A. Frutiger, M. Hutte, P. Liechti & U. Sieber. 2000. Scientific base and modular concept for comprehensive assessment of streams in Switzerland. *Hydrobiologia* 422 : 477–487.
- Bunn, S.E. & P.M. Davies. 2000. Biological processes in running waters and their implications for the assessment of ecological integrity. *Hydrobiologia* 422 : 61–70.
- Cairns, J., P.V. McCormick & B.R. Niederlehner. 1993. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hydrobiologia* 263 : 1–44.

- Capelli, F. 2005. Indikatoren für die Evaluation von Revitalisierungsprojekten in der Praxis. Diplomarbeit, ETH Zürich & Eawag Kastanienbaum. 83 pp.
- Chapman, M.G. 1999. Improving sampling designs for measuring restoration in aquatic habitats. *Journal of Aquatic Ecosystems Stress and Recovery* 6 : 235–251.
- Cosandey, A.-C., C. Roulier & R. Thielen. 2002. Erfolgskontrolle Auen. Stand der Revitalisierungen in den Auengebieten von nationaler Bedeutung. Revitalisierungsdatenbank der Auen. BUWAL, Bern. 20 pp.
- County of Sonderjylland. 1996. The River Brede : enriching our countryside. 16 pp.
- Da Lage A. & G. Métaillé. 2000. Dictionnaire de biogéographie végétale. CNRS Editions, Paris, 579 p.
- Delarze, R., Y. Gonseth & P. Galland. 1998. Guide des milieux naturels de Suisse – Ecologie – Menaces – Espèces caractéristiques. Delachaux et Niestlé S.A. La bibliothèque du naturaliste, Lausanne. 415 pp.
- Downs, P.W. & G.M. Kondolf. 2002. Post-project appraisals in adaptive management of river channel restoration. *Environmental Management* 29 : 477–496.
- Dubgaard, A., M.F. Kallesøe, M.L. Petersen & J. Ladenburg. 2002. Cost-benefit analysis of the Skjern River restoration project. Social Science Series, Department of Economics and Natural Resources, Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen. 40 pp.
- Duelli, P. 1994. Rote Liste der gefährdeten Tierarten der Schweiz. BUWAL, Bern. 97 pp.
- Ehrenfeld, J.G. 2000. Defining the limits of restoration : The need for realistic goals. *Restoration Ecology* 8 : 2–9.
- Ellenberg, H. 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 1095 pp.
- Entsorgung und Recycling Zürich (ERZ). 2003. Bäche in der Stadt Zürich : Konzept, Erfahrungen und Beispiele. ERZ, Zürich. 66 pp.
- Farrell, G., J.P. Melin & S.R. Stacey. 1976. Involvement : a Saskatchewan perspective. Report for the Saskatchewan Department of Environment by Consultant Group Limited.
- Fette, M., J. Beer, O. Cirpka, R. Siber & B. Wehrli. 2005. Temperature fluctuations as natural tracer for river-groundwater interaction under hydropeaking conditions. Eingereicht bei *Journal of Hydrology*.
- Fischnetz. 2004. Sur la trace du déclin piscicole. Rapport final du projet «Réseau suisse poissons en diminution». Eawag Dübendorf et OFEFP Berne.
- FISRWG. 1998. Stream corridor restoration : Principles, processes, and practices. By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG)(15 Federal agencies of the US government). GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2 : EN 3/PT.653.
- Frissell, C.A. & D. Bayles. 1996. Ecosystem management and the conservation of aquatic biodiversity and ecological integrity. *Water Resources Bulletin* 32 : 229–240.
- Gallagher, A.S. 1999. Barriers. pp. 135–148. In : M.B. Bain & N.J. Stevenson (ed.) *Aquatic habitat assessment : Common methods*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Gillet, F., B. De Foucault & P. Julve. 1991. La phytosociologie synusiale intégrée : objets et concepts. *Candoella* 46 : 315–340.
- Gloor, D. & H. Meier. 2001. Soziale Raumnutzung und ökologische Ansprüche. Professur Forstpolitik und Forstökonomie, Department Forstwissenschaften, ETH, Zürich.
- Gregory, S.V., F.J. Swanson, W.A. McKee & K.W. Cummins. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience* 41 : 540–551.
- Habersack, H. & H.P. Nachtnebel. 1995. Short-term effects of local river restoration on morphology, flow-field, substrate and biota. *Regulated Rivers : Research & Management* 10 : 291–301.
- Halbert, C.L. & K.N. Lee. 1991. Implementing adaptive management. *The Northwest Environmental Journal* 7 : 136–150.
- Hampton, W. 1977. Research into public participation in structure planning. pp. 27–42. In : A.R. Sewell & J.T. Coppock (ed.) *Public Participation in Planning*, John Wiley, London.

- Henry, C.P. & C. Amoros. 1995. Restoration ecology of riverine wetlands.1. A scientific base. *Environmental Management* 19 : 891–902.
- Holl, K.D. & J.J. Cairns. 1996. Restoration ecology : some new perspectives. pp. 25–35. In : A. Breymer & R. Noble (ed.) *Preservation of Natural Diversity in Transboundary Protected Areas : Research Needs/Management Options*, National Academy Press, Washington D.C.
- Homenuck, P. 1977. Evaluation of public participation programmes. *Proceedings of the Canadian Conference on Public Participation* : 3–16.
- Hostmann, M., M. Buchecker, O. Ejderyan, U. Geiser, B. Junker, S. Schweizer, B. Truffer & M. Zaugg Stern. 2005. *Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten*. Publikation des Rhone-Thur Projektes. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.
- House, M.A. 1996. Public participation in water management and the promotion of environmental education. *Lakes & Reservoirs Research and Management* 2 : 1–5.
- House, M.A. & E.K. Sangster. 1991. Public perception of river-corridor management. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management* 5 : 312–317.
- Jackson, L.S. 2002. Consensus processes in land use planning in British Columbia : the nature of success. *Progress in Planning* 57 : 1–90.
- Jenny, J. 2003. Renaturierung des Limmatspitzes und Auenfest. Medienorientierung vom 21. Juni 2003. Pro Natura Aargau, Aarau. 2 pp.
- Jungwirth, M., G. Haidvogel, O. Moog, S. Muhar & S. Schmutz. 2003. *Angewandte Fischökologie an Fliessgewässern*. Facultas Universitätsverlag, Wien. 547 pp.
- Jungwirth, M., M. Hinterhofer, S. Schmutz & P. Parasiewicz. 1994. *Vergleichende Untersuchung des Fischeaufstieges an drei Fischeaufstiegshilfen im Rhithalbereich*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien. 248 pp.
- Jungwirth, M., S. Muhar & S. Schmutz. 2002. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47 : 867–887.
- Junker, B., M. Baumeler, R. Debrunner, P. Nigg, C. Poncini & M. Zschokke. 2003. Wie sieht die Bevölkerung aus Weinfeldern und Bürgern ihre Thur? *natur+mensch* 5 : 4–7.
- Kauffman, J.B., R.L. Beschta, N. Otting & D. Lytjen. 1997. An ecological perspective of riparian and stream restoration in the western United States. *Fisheries* 22 : 12–24.
- Kirchhofer, A. & M. Breitenstein. 2000. Erfolgskontrolle bei Gewässer-Renaturierungen im Kanton Bern. Amt für Natur, Kanton Bern, Bern. 35 pp.
- Kondolf, G.M. 1995. Five elements for effective evaluation of stream restoration. *Restoration Ecology* 3 : 133–136.
- Küry, D. 2002. Vielfalt unter Wasser. Flüsse und Seen als Hotspots der Biodiversität. *Hotspot* 6 : 6–8.
- Lachat, B., P.-A. Fossard, A. Kirchhofer & C. Roulier. 2001. Auen und Revitalisierungen, Faktenblatt 5 Auendossier, BUWAL, Bern. 12 pp.
- Laimberger, R. & M. Zumsteg. 1998. *Ausbagerung Altarm Machme : Aufwertung eines wichtigen Naturschutzgebietes*. Landschaft Aargau, Department Bau, Verkehr und Umwelt, Kanton Aaragu, Abteilung Landschaft und Gewässer.
- Landolt, E. 1991. *Gefährdung der Farn- und Blütenpflanzen in der Schweiz*. BUWAL, Bern. 185 pp.
- Lewis, C.A., N.P. Lester, A.D. Bradshaw, J.E. Fitzgibbon, K. Fuller, L. Hakanson & C. Richards. 1996. Considerations of scale in habitat conservation and restoration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53 : 440–445.
- Loat, R. & E. Meier. 2003. *Dictionnaire de la protection contre les crues*. Office fédéral des eaux et de la géologie, OFEG (Ed.). Haupt, Berne, 424 p.
- Lorenz, C.M., G.M.V. Dijk, A.G.M.V. Hattum & W.P. Cofino. 1997. Concepts in river ecology : Implications for indicator development. *Regulated Rivers : Research & Management* 13 : 501–516.

- Meile, T., M. Fette & P. Baumann. 2005. Synthesebericht Schwall/Sunk. Publikation des Rhone-Thur Projektes. Eawag-ETHZ, LCH-EPFL, Limnex AG, WSL. 48 pp.
- Muhar, S. & M. Jungwirth. 1998. Habitat integrity of running waters – assessment criteria and their biological relevance. *Hydrobiologia* 386 : 195–202.
- Muhar, S., S. Schmutz & M. Jungwirth. 1995. River restoration concepts – Goals and perspectives. *Hydrobiologia* 303 : 183–194.
- Müller-Wenk, R., F. Huber, N. Kuhn & A. Peter. 2003. Landnutzung in potenziellen Fließgewässer-Auen – Artengefährdung und Ökobilanzen. BUWAL, Bern. 80 pp.
- National Forest and Nature Agency. 1999. The Skjern River restoration project : Denmark's largest nature restoration project. The Danish Ministry of the Environment and Energy, Copenhagen. 33 pp.
- Nielsen, M.B. 1996. Lowland stream restoration in Denmark. pp. 269–289. In : A. Brookes & F.D.J. Shields (ed.) *River channel restoration : Guiding principles for sustainable projects*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK.
- Nienhuis, P.H. & R. Leuven. 2001. River restoration and flood protection : controversy or synergism? *Hydrobiologia* 444 : 85–99.
- OFEFP. 1997. Rives et végétation des rives selon la LPN. Définitions scientifiques et commentaires sur la base des articles 18 alinéa 1 bis et 21 de la loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage. 1997. 55 p.
- OFEFP. 1998. Méthodes d'analyse et appréciation des cours d'eau en Suisse. Ecomorphologie niveau R (région). 1998. 47 p.
- OFEFP. 2004. Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines. 2004. 133 p.
- OFEFP. 2005. Les zones alluviales de Suisse. Nouvelle édition 2005.
- OFEFP/OFEG. 2003. Idées directrices – Cours d'eau suisses. Pour une politique de gestion durable de nos eaux. 2003. 12 p.
- OFEG. 2001. Protection contre les crues des cours d'eau. Directives. 2001. 72 p.
- Paar, M. 1997. Handbuch des Vegetationsökologischen Monitoring. Methoden, Praxis, angewandte Projekte. Teil A : Methoden. BM für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- Petts, G.E. 1996. Sustaining the ecological integrity of large floodplain rivers. pp. 535–551. In : M.G. Anderson Des, E. Walling & P. D. Bates (ed.) *Floodplain Processes*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Petts, G.E. 2000. A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. *Hydrobiologia* 422 : 15–27.
- Pinay, G., H. Decamps, E. Chauvet & E. Fustec. 1990. Functions of ecotones in fluvial systems. pp. 141–169. In : R.J. Naiman & H. Decamps (ed.) *The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones*, UNESCO, Paris.
- Rapport, D.J., R. Costanza & A.J. McMichael. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology & Evolution* 13 : 397–402.
- Ringgenberg, B., U. Roth & S. Lussi. 2004. Auen und Raumsicherung, Faktenblatt 9 Auendossier, BUWAL, Bern. 12 pp.
- Roni, P. 2005. Monitoring stream and watershed restoration. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 350 pp.
- Rossol, A. & W. Werth (ed.). 1992. Schutzwasserbau, Gewässerbetreuung, Ökologie : Grundlagen für wasserbauliche Massnahmen an Fließgewässern. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft & Österreichischer Wasserwirtschaftsverband, Wien.
- Roulier, C. 1998. Typologie et dynamique de la végétation des zones alluviales de Suisse. Volume I : texte, tableaux, figures. Volume II : annexes (tableaux de végétation). Matériaux pour le levé géobotanique de la Suisse. 138 pp.
- Rowe, G. & L.J. Frewer. 2000. Public participation methods : A framework for evaluation. *Science, Technology and Human Values* 25 : 4–29.
- Schlupp, B. & B. Schelbert. 2001. Bünzaue Möriken – eine Aue entsteht. Auenschutzpark Aargau Info 8 : 2.
- Schnitter, N. 1992. Die Geschichte des Wasserbaus in der Schweiz. Alte Forscher – Aktuell. Olythus, Verlag für Verständliche Wissenschaft und Technik, Oberbözing. 242 pp.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. 1996. TOP teamorientiertes Planen

- mit dem neuen Leistungsmodell 95 des SIA (LM 95). Kapitel 2 : Planen mit LM 95. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- Selin, S. & D. Chavez. 1995. Developing a collaborative model for environmental planning and management. *Environmental Management* 19 : 189–195.
- SER. 2002. Society for Ecological Restoration Science and Policy Working Group. The SER Primer on Ecological Restoration. www.ser.org/.
- Service conseil Zones alluviales. 2001. Dossier zones alluviales : fiches. OFEFP, Berne.
- Sewell, W. & S. Phillips. 1979. Models for the evaluation of public participation programs. *Natural Resources Journal* 19 : 337–358.
- Simons, J., C. Bakker, M.H.I. Schropp, L.H. Jans, F.R. Kok & R.E. Grift. 2001. Man-made secondary channels along the River Rhine (the Netherlands); results of post-project monitoring. *Regulated Rivers : Research & Management* 17 : 473–491.
- Sparks, R.E., P.B. Bayley, S.L. Kohler & L.L. Osborne. 1990. Disturbance and recovery of large floodplain rivers. *Environmental Management* 14 : 699–709.
- Spörri, C., M. Borsuk, I. Peters & P. Reichert. 2005. The economic impacts of river rehabilitation : A regional input-output analysis. Submitted to *Ecological Economics*.
- Stromberg, J.C. 2001. Restoration of riparian vegetation in the south-western United States : importance of flow regimes and fluvial dynamism. *Journal of Arid Environments* 49 : 17–34.
- Susskind, L. & J. Cruickshank. 1987. *Breaking the impasse : Consensual approaches to resolving public disputes*. Basic Books, New York. 276 pp.
- Tockner, K., F. Malard & J.V. Ward. 2000. An extension of the flood pulse concept. *Hydrological Processes* 14 : 2861–2883.
- Tockner, K. & J.A. Stanford. 2002. Riverine flood plains : present state and future trends. *Environmental Conservation* 29 : 308–330.
- Vindasius, D. 1977. Evaluation of the Okanagan public involvement programme. Water Planning and Management Branch, Environment Canada.
- Vischer, D. 2003. *Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz. Von den Anfängen bis ins 19. Jahrhundert*. Berichte des BWG, Serie Wasser, Bern. 208 pp.
- Vivash, R. 1999. *Manual of river restoration techniques*. The River Restoration Centre, Silsoe, UK.
- Vivash, R., O. Ottosen, M. Janes & H.V. Sorensen. 1998. Restoration of the rivers Brede, Cole and Skerne : a joint Danish and British EU-LIFE demonstration project, II – The river restoration works and other related practical aspects. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 8 : 197–208.
- Ward, J.V. 1985. Thermal characteristics of running waters. *Hydrobiologia* 125 : 31–46.
- Ward, J.V. 1989. The 4-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8 : 2–8.
- Ward, J.V., K. Tockner, U. Uehlinger & F. Malard. 2001. Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. *Regulated Rivers : Research & Management* 17 : 311–323.
- Weber, H.-U. 2001. *Die Thur : Ein Fluss mit Zukunft für Mensch, Natur und Landschaft*. Kantone Appenzell I.Rh., Appenzell A.Rh., St. Gallen, Thurgau und Zürich, Bundesamt für Wasser und Geologie, Verabschiedet auf dem Säntis an der schweizerischen Wasserbautagung vom 12.–14. September 2001. 44 pp.
- Wevers, M.J. & C.E. Warren. 1986. A perspective on stream community organization, structure, and development. *Archiv für Hydrobiologie* 108 : 213–233.
- Williams, J.E., C.A. Wood & M.P. Dombeck. 1997. Understanding watershed-scale restoration. pp. 1–13. In : J.E. Williams, C.A. Wood & M.P. Dombeck (ed.) *Watershed restoration : principles and practices*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Zarn, B. 1997. Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität. Mitteilung Nr. 154, VAW, ETH Zürich.
- Zaugg, M. 2002. More space for running waters : Negotiating institutional change in the Swiss flood protection system. *GeoJournal* 58 : 275–284.

www.rhone-thur.eawag.ch



www.rivermanagement.ch

eawag
aquatic research o o o



Versuchsanstalt für Wasserbau,
Hydrologie und Glaziologie

