

# > Recueil des fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau

*Résultat du projet de «gestion intégrale des zones fluviales»*



**Editeur**

Office fédéral de l'environnement (OFEV)  
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement,  
des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

**Commande de la version imprimée**

OFCL, Diffusion des publications fédérales, CH-3003 Berne  
Tél. +41 (0)31 325 50 50, fax +41 (0)31 325 50 58  
verkauf.zivil@bbl.admin.ch  
www.publicationsfederales.admin.ch  
Numéro de commande: 810.300.126f

Cette publication est également disponible en allemand.

# > Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble

Sonia Angelone, Roland Fähr, Armin Peter, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

*Le projet de recherche « Gestion intégrale des zones fluviales », en fournissant des documents de base sur l'écologie et l'aménagement des eaux dans le cadre des revitalisations de cours d'eau, favorise leur planification et leur réalisation. Le présent recueil de fiches, destiné aux spécialistes des offices fédéraux et cantonaux ainsi que des bureaux d'ingénieurs et de conseil environnemental, rassemble les résultats de ce projet interdisciplinaire de l'Eawag, du WSL, du LCH-EPFL et du VAW-ETHZ.*

Au cours des 150 dernières années, de nombreux cours d'eau suisses ont subi des aménagements qui en ont fait des rivières à la morphologie monotone et à l'écologie appauvrie. Ils n'offrent plus qu'un espace réduit pour une évolution dynamique naturelle. Les conséquences négatives pour l'écologie sont telles que les cours d'eau font aujourd'hui partie des écosystèmes menacés. Cette fiche introductive expose les principaux déficits des rivières suisses ainsi que les changements intervenus dans la législation. Elle présente le projet de recherche interdisciplinaire « Gestion intégrale des zones fluviales », dont les résultats font l'objet du présent recueil, et indique les principales aides à l'exécution existantes. Elle décrit en outre les différentes fiches et comprend un glossaire des termes les plus importants.

## Régimes d'écoulement et de charriage

Environ 55 % des besoins énergétiques de la Suisse sont couverts par du courant produit dans les quelque 1600 centrales hydrauliques du pays (OFEN 2010). En prélevant de l'eau sur de longs tronçons, les centrales à accumulation modifient considérablement le régime des eaux des rivières. Les débits résiduels qui en découlent sont souvent bien inférieurs au niveau naturel, ce qui se répercute sur la valeur paysagère et sur les fonctions écologiques de l'ensemble du bassin versant. L'eau retenue par les centrales à accumulation est turbinée au moment où les besoins en énergie sont le plus élevés. Elle est ensuite rejetée dans la rivière, provoquant des pics de débit artificiels. Ce régime d'éclusées, qui n'est pas naturel, a des



Vue aérienne de la vallée du Rhin alpin (Haag SG, Benden FL).

Photo: D. Walser (Projet de développement du Rhin alpin [www.alpenrhein.net](http://www.alpenrhein.net))

conséquences négatives pour les cours d'eau jusque bien en aval des centrales. Celles-ci n'influencent pas seulement l'écoulement mais aussi le régime de charriage des rivières. Elles constituent des barrières artificielles qui contribuent au déficit de charriage au même titre que les ouvrages d'aménagement, les dépotoirs à alluvions et l'extraction de gravier. Un tel déficit peut entraîner l'incision du cours d'eau et faire baisser les niveaux piézométriques dans les zones alluviales. Pour être intact, un paysage fluvial a besoin tant d'un écoulement naturel que d'un régime de charriage dynamique (fiche 1 Amélioration de la dynamique, fiche 2 Biodiversité dans les cours d'eau).

### Morphologie artificielle

Les cours d'eau suisses ont été largement endigués pour protéger les agglomérations et lutter contre les inondations. Parallèlement, des améliorations foncières ont permis de récupérer de vastes surfaces utilisables par l'agriculture. En revanche, quelque 90 % des zones alluviales ont disparu et les diverses structures de berges ont été détruites (Lachat *et al.* 2010). On a surtout canalisé et endigué les rivières et asséché et mis sous terre les ruisseaux (fig. 1). Le lit de nombreux cours d'eau a été creusé plus profondément pour améliorer les surfaces agricoles environnantes et la protection contre les crues. Des ouvrages de chute ont été aménagés aux embouchures pour faciliter la jonction des affluents. D'autres ouvrages ou seuils de hauteur variable ont en outre été construits dans les tronçons enterrés pour éviter l'enfoncement du lit. Il existe aujourd'hui en Suisse environ 101 000 ouvrages transversaux artificiels de plus de 50 cm de haut (Zeh Weissmann *et al.* 2009). Ils constituent un obstacle à la migration de la faune aquatique et à la connectivité des cours d'eau, une fonction écologique importante (fiche 4 Connectivité des cours d'eau, fiche 6 Franchissabilité des rampes en enrochements).

### Nouvelles orientations de la protection contre les crues

Dans une rivière rétrécie, canalisée, le débit augmente plus rapidement, ce qui accentue les pics de crues en aval. Lorsque la section d'écoulement est trop petite, l'eau qui afflue se fraye son propre chemin, avec des conséquences fatales pour la population et les infrastructures dans les zones densément peuplées (fig. 2). Depuis 1987, les crues sont plus fréquentes en Suisse. L'ampleur des dégâts montre que, dans un contexte d'urbanisation croissante, les cours d'eau canalisés qui n'ont pas assez d'espace constituent une menace pour la sécurité de la population. L'augmentation des événements extrêmes a contraint les autorités compétentes à repenser l'utilisation des cours d'eau et à élaborer de nouvelles stratégies de protection contre les crues. Elles ont reconnu que, pour que cette protection soit efficace, les cours d'eau devaient avoir plus d'espace, ce qui permet aussi leur valorisation écologique. C'est pourquoi,

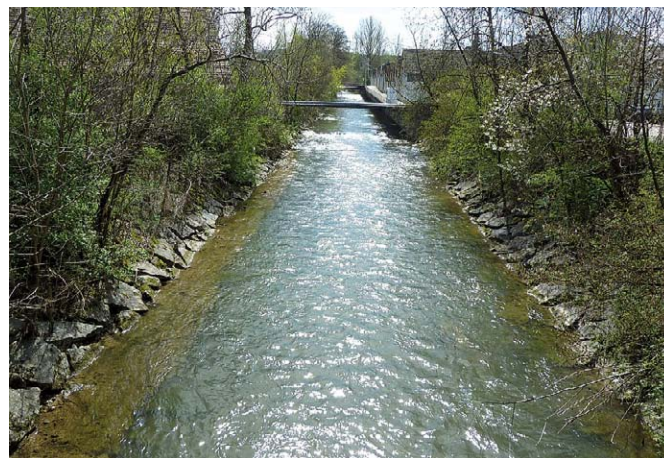


Fig. 1 Rivière canalisée: la Wigger près de Zofingue (AG).  
Photo: Armin Peter



Fig. 2 Crue près de Klosters (GR) en août 2005.  
Photo: Forces aériennes suisses



Fig. 3 Elargissement dans le val Mesolcina près de Grono (GR).  
Photo: Amt für Jagd und Fischerei Graubünden

depuis 2000, les nouveaux projets de protection contre les crues s'accompagnent de plus en plus de mesures de revitalisation. De nombreux cours d'eau ont ainsi déjà été élargis (fig. 3).

### Protection des eaux et droit

La loi fédérale de 1991 sur la protection des eaux (RS 814.20; LEaux) vise non seulement à sauvegarder la qualité des eaux, mais aussi à maintenir des débits résiduels convenables et à prévenir et réparer les atteintes nuisibles aux eaux. Elle exige, de même que la loi fédérale de 1991 sur l'aménagement des cours d'eau (RS 721.100; LACE), que les interventions respectent le caractère naturel des eaux (art. 37 LEaux, art. 4 LACE). Les cantons sont responsables de l'application de ces dispositions. Malgré ces bases légales, la protection des eaux est restée insuffisante. C'est pourquoi la Fédération Suisse de Pêche (FSP) a lancé, durant l'été 2006, l'initiative populaire «Eaux vivantes», à laquelle le Conseil des Etats a répondu en élaborant, à la demande de sa Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie (CEATE), un contre-projet indirect, «Protection et utilisation des eaux», adopté par le Parlement fin 2009. La FSP a ensuite retiré son initiative. La révision de la loi sur la protection des eaux (encadré 1) est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2011 et celle de l'ordonnance sur la protection des eaux (RS 814.201; OEaux) le 1<sup>er</sup> juin 2011.

### Recherche orientée vers la pratique

Les milieux scientifiques ont eux aussi reconnu le besoin de recherche en matière de protection des eaux. Deux projets interdisciplinaires, portés par les instituts du domaine des EPF et par l'OFEV, sont particulièrement utiles pour la pratique. Ils sont brièvement présentés ici. Des chercheurs de différentes disciplines (aménagement des eaux, sciences naturelles et sciences de l'environnement, sociologie) ont travaillé ensemble pour établir des bases en vue de l'amélioration de la protection des eaux. Le projet «Rhône-Thur» a étudié les questions des éclusées, de l'élargissement des cours d'eau, du suivi et de la prise de décisions dans le cadre de revitalisations de cours d'eau. Les principaux résultats ont été publiés dans des ouvrages scientifiques et dans des rapports de synthèse pour la pratique (encadré 2). Ils sont aussi disponibles sur le site internet [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch). Par la suite, le projet «Gestion intégrale des zones fluviales» s'est penché sur les cours d'eau dynamiques interconnectés et présentant une grande diversité d'habitats et d'espèces. Il a poursuivi l'élaboration d'outils de dimensionnement pour les questions d'aménagement des eaux (Schleiss *et al.* 2008). Les principaux résultats de ce projet figurent dans le présent recueil de fiches.

### > Encadré 1: La révision de la loi sur la protection des eaux implique les cantons

> Les cantons sont tenus de déterminer l'espace nécessaire aux eaux superficielles (espace réservé aux eaux) pour garantir leurs fonctions naturelles, la protection contre les crues et leur utilisation. Cet espace doit être défini pour tous les cours d'eau. Les cantons peuvent y renoncer à certaines conditions prévues par l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), qui précise aussi les utilisations et exploitations autorisées dans l'espace réservé aux eaux. Le budget de l'agriculture a été augmenté de 20 millions de francs par an afin de pouvoir indemniser les exploitants pour les restrictions d'utilisation.

> Les cantons sont tenus d'établir et de mettre en œuvre des programmes de revitalisation. Dans les 80 prochaines années, 4000 km de rives doivent être restaurés sur un total de 15 000 km de cours d'eau endigués. On estime à 2000 ha la surface de terres nécessaire à cet effet. La Confédération assume en moyenne 65 % des frais, soit environ 40 millions de francs par an. Des conventions-programmes doivent définir les prestations fournies par les cantons et celles financées par la Confédération.

> Les cantons doivent planifier et mettre en œuvre, dans un délai de 20 ans, une série de mesures d'assainissement des centrales hydrauliques existantes et des nouvelles installations. Il s'agit d'éliminer les atteintes dues aux éclusées, d'améliorer le régime de charriage et de rétablir la connectivité longitudinale. Les coûts sont estimés à environ 50 millions de francs par an et financés par un supplément de 0,1 ct./kWh au maximum, prélevé sur les coûts de transport des réseaux à haute tension. La production électrique n'est pas limitée par ces mesures.

### Le recueil de fiches

De nombreux cours d'eau doivent être valorisés écologiquement tout en respectant les exigences de la protection contre les crues. L'aménagement des eaux a donc besoin de stratégies et de mesures innovantes, dont la mise en œuvre requiert des échanges entre experts des milieux de la recherche, de la pratique et de la politique. Le présent dossier entend contribuer à cette évolution en présentant les nouvelles avancées de la recherche. Les thèmes ont été choisis en fonction des besoins actuels en matière de protection des eaux, dans le cadre d'une procédure interactive à laquelle ont participé des représentants de la recherche, mais aussi des différents services spécialisés de la Confédération et des cantons (cf. impressum). Certaines fiches présentent des résultats issus directement du projet «Gestion intégrale des zones fluviales». D'autres traitent de sujets qui, s'ils n'ont pas fait l'objet de ce projet, sont importants pour les revitalisations. La fiche 8 Suivi des projets de revitalisation résume les résultats du projet «Rhône-Thur».

## > Encadré 2: Publications utiles pour la pratique

### Projet « Rhône-Thur »

- > Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale (Woolsey *et al.* 2005)
- > Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur Projekt (Rohde 2005)
- > Synthesebericht Schwall/Sunk (Meile *et al.* 2005)
- > Planification concertée des projets d'aménagement de cours d'eau. Manuel pour la participation et la prise de décision dans les projets d'aménagement de cours d'eau (Hostmann *et al.* 2005)
- > Publications disponibles sur le site internet [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### OFEV et autres offices de la Confédération

- > Protection contre les crues des cours d'eau (OFEV 2001)
- > Idées directrices – Cours d'eau suisses (OFEV 2003)
- > Dossier Zones alluviales: fiches (OFEV 2001 – 2008)
- > Ecomorphologie des cours d'eau suisses (Zeh Weissmann *et al.* 2009)
- > Génie biologique et aménagement de cours d'eau: méthodes de construction (OFEV 2010)
- > Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques (OFEV, OFEN, ARE 2011)
- > Gestion par bassin versant (OFEV, OFEN, OFAG, ARE 2011)
- > Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau: [www.systeme-modulaire-gradue.ch](http://www.systeme-modulaire-gradue.ch)
- > Modules de l'aide à l'exécution « Renaturation des eaux »: [www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung/index.html?lang=fr)

## Le recueil comprend les fiches suivantes:

# 1



### Fiche 1: Amélioration de la dynamique

Les cours d'eau proches de l'état naturel sont des systèmes dynamiques: le lit et les rives sont régulièrement modifiés par des crues, entraînant la création de nouveaux habitats. Durant les dernières décennies, cette dynamique a souvent été restreinte suite à l'endiguement de nombreuses rivières. Son rétablissement est un objectif important des revitalisations. Cette fiche présente les bases nécessaires à l'amélioration de cette dynamique.

# 2



### Fiche 2: Biodiversité dans les cours d'eau

Des habitats diversifiés, dynamiques et proches de l'état naturel sont indispensables à la conservation et à l'amélioration de la biodiversité dans les cours d'eau. Cette fiche présente les principaux facteurs de la diversité des habitats et des espèces, ainsi que des mesures permettant d'accroître la biodiversité.

# 3



### Fiche 3: Indice hydromorphologique de la diversité

La diversité morphologique est nécessaire au fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Cette fiche propose un nouvel indice – l'indice hydromorphologique de la diversité (IHMD) – pour calculer la diversité hydromorphologique. Cet outil permet d'évaluer quantitativement les projets d'aménagement des eaux en ce qui concerne l'amélioration de la diversité morphologique.

# 4



### Fiche 4: Connectivité des cours d'eau

Les cours d'eau comptent plusieurs tronçons qui influent les uns sur les autres. Pour comprendre leurs interactions locales et régionales, il importe de disposer de connaissances sur la connectivité des milieux. Cette fiche décrit comment exploiter ces données dans le cadre des projets de revitalisation.

## 5

**Fiche 5: Élargissement local des embouchures**

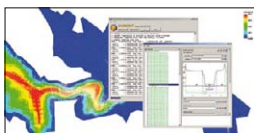
Lorsque les zones de confluence de deux cours d'eau ont une morphologie proche de l'état naturel, la connectivité des cours d'eau est maximale. Cette fiche explique comment l'élargissement local des embouchures accroît la diversité des habitats et la connectivité longitudinale des cours d'eau. Ces mesures sont souvent peu onéreuses car elles ne sont mises en œuvre que localement.

## 6

**Fiche 6: Franchissabilité des rampes en enrochements**

Les rampes en enrochements sont des tronçons de cours d'eau à forte pente parsemés de blocs de pierre. Elles remplacent les chutes et barrages artificiels aménagés pour stabiliser le lit des cours d'eau et permettent d'améliorer la connectivité longitudinale. Cette fiche présente les différents types de rampes en enrochements et précise quels sont ceux à utiliser en fonction des espèces et des situations.

## 7

**Fiche 7: Modélisation numérique des cours d'eau**

Les cours d'eau sont l'objet d'intérêts divergents, visant d'une part leur exploitation et d'autre part leur protection. Il est donc essentiel d'avoir une vue d'ensemble de leur aménagement hydraulique. La simulation numérique aide à évaluer les différentes possibilités d'aménagement hydraulique et leurs répercussions. Cette fiche décrit les processus de mise en place d'une modélisation et présente le logiciel de simulation *BASEMENT* avec des exemples d'application.

## 8

**Fiche 8: Suivi des projets de revitalisation**

Le suivi vise à garantir que les objectifs d'un projet ont bien été atteints. Il contribue également à améliorer les connaissances sur la réaction des cours d'eau. C'est pourquoi il doit être envisagé dès la planification d'un projet de revitalisation. Cette fiche décrit les principaux types de contrôles et la procédure à suivre pour leur planification et leur exécution.

**Glossaire**

Ce glossaire comprend les principaux termes utilisés dans le dossier. Source: Loat et Meier 2003, Woolsey *et al.* 2005, [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)

**Appauvrissement génétique**

Réduction de la diversité génétique d'une population. Ce phénomène concerne particulièrement les petites populations isolées. Un fort appauvrissement génétique peut entraîner des problèmes de consanguinité.

**Biodiversité**

Diversité biologique, décrivant le nombre, la variété et la variabilité des organismes vivants. Elle comprend trois niveaux: la diversité des espèces, la diversité au sein des espèces (diversité génétique) et la diversité des écosystèmes (ou diversité des habitats). Par biodiversité fonctionnelle, on entend la diversité des interactions au sein de chaque niveau et entre les niveaux.

**Charriage**

1. Matériaux solides minéraux (sable, gravier et pierres) arrachés à un bassin versant et entraînés vers l'aval par le courant. Le frottement mutuel arrondit les cailloux dont la taille diminue avec la distance. Les petites particules présentes dans l'eau et les plus petits matériaux entraînés sont appelés sédiments. Ils se déplacent en suspension, répartis à toutes les profondeurs.
2. Processus de transport de ces matériaux par glissement, roulement ou saltation sur le lit. En aménagement des eaux, le charriage correspond à la masse des matériaux transportés par unité de temps sur toute la section transversale du cours d'eau.

**Connectivité (longitudinale, latérale, verticale)**

Processus d'échanges et interactions au sein d'habitats aquatiques et entre habitats aquatiques et terrestres. On distingue trois niveaux: 1) Connectivité longitudinale: perméabilité d'un cours d'eau pour les organismes dans le sens du courant et le sens inverse, y compris échanges avec affluents. 2) Connectivité latérale: échanges entre cours d'eau, berges, zones alluviales et autres milieux environnants. 3) Connectivité verticale: échanges entre cours d'eau et eaux souterraines, par l'intermédiaire du lit.

**Différenciation génétique**

Répartition de la diversité génétique en plusieurs niveaux: au sein des populations d'une même espèce et entre ces populations, ainsi qu'entre populations de plusieurs espèces. Plus la différenciation est faible, plus les individus, populations et espèces sont semblables.

**Diversité des habitats**

Nombre, variété et variabilité des habitats dans une zone ou un écosystème. Elle constitue le troisième niveau de la biodiversité, après la diversité des espèces et la diversité génétique. Contrairement aux deux premiers niveaux, elle n'inclut que des caractéristiques géographiques et non biologiques.

**Diversité génétique**

Différences de patrimoine génétique entre individus et populations. La diversité génétique d'une population peut être calculée au moyen de méthodes de laboratoire qui permettent de définir la fréquence relative des caractères spécifiques du patrimoine génétique de chaque individu de la population.

**Dynamique**

Variations continues du régime hydrologique et du régime de charriage qui modifient les habitats des paysages fluviaux. Les processus dynamiques comprennent par exemple l'apparition ou la disparition d'un bras de rivière ou de bancs de gravier. La dynamique temporelle et spatiale est une question de survie pour de nombreuses espèces des milieux aquatiques et humides, car leur cycle de vie dépend de ses caractéristiques et de ses perturbations.

**Ecotone**

Zone de transition écologique entre deux écosystèmes, abritant souvent une plus grande diversité des espèces que la somme des espèces présentes dans les zones limitrophes. On parle aussi de biotope de lisière ou de biotope de transition.

**Effet de diffusion**

Effet positif d'une zone de diffusion sur les eaux environnantes. Les zones de diffusion sont des tronçons de cours d'eau abritant des biocénoses et/ou des populations servant de populations sources pour la colonisation d'habitats contigus appropriés. Le trajet de propagation des organismes, aussi appelé trajet de diffusion, peut être prolongé ou intensifié par la création d'éléments de connexion ou de transition.

**Effets d'éclusées**

Fluctuations plus ou moins régulières du débit dans un cours d'eau suite au fonctionnement par éclusées d'une centrale hydraulique à accumulation, les eaux étant retenues en période de faible demande électrique pour être turbinées en période de pointe. Le débit minimal est souvent appelé débit plancher et le débit maximal débit d'éclusée.

**Elargissement**

Elargissement du lit d'un cours d'eau canalisé. Utilisée en aménagement des eaux pour consolider le fond du lit, en remplacement d'un seuil, cette mesure présente de nombreux avantages écologiques: elle permet à la rivière de retrouver sa dynamique et de se ramifier, elle garantit la migration des poissons et des organismes aquatiques et offre de nouveaux habitats aux espèces animales et végétales des milieux aquatiques et humides.

**Erosion d'un cours d'eau**

Processus par lequel la force du courant arrache des matériaux solides au lit et aux berges. Les matériaux sont entraînés par la rivière et déposés dans des tronçons plus en aval.

**Flux génétique**

Echanges génétiques entre deux populations d'une même espèce. Le flux génétique entre populations dépend des individus migrants et de leur taux de reproduction.

**Hydraulique**

Etude des lois du mouvement des liquides. En aménagement des eaux, on s'intéresse essentiellement aux interactions entre courant, charriage et morphologie du cours d'eau, interactions qui sont influencées par les mesures d'aménagement.

**Idées directrices**

Objectif spécifique à atteindre pour un tronçon à revitaliser, décrivant l'état semi-naturel du cours d'eau concerné dans des conditions non perturbées mais en tenant compte des conditions irréversibles.

**Indicateur**

Variable ayant un caractère significatif pour un phénomène ou un événement particulier. Les phénomènes biologiques étant difficiles à appréhender, les indicateurs sont utilisés en écologie comme des valeurs de remplacement mesurables permettant de décrire un état ou les processus d'un écosystème. Le *Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale* décrit 50 indicateurs.

**Lit d'un cours d'eau**

Fond d'une rivière, correspondant à la surface de sol comprise entre les deux rives et normalement couverte d'eau, sur laquelle sont charriés les matériaux. Le lit peut être temporairement visible pendant les périodes de sécheresse et sur les tronçons à débit résiduel.

**Macrozoobenthos**

Invertébrés vivant dans ou sur le lit d'un cours d'eau et visibles à l'œil nu. Dans les rivières, il s'agit surtout de larves d'insectes, de crustacés, de vers, de sangues, d'escargots et de mollusques.

**Métapopulation**

Groupe de populations partielles entre lesquelles circule un flux génétique. Ce flux n'est pas réparti uniformément entre toutes les populations partielles car il dépend des migrations et du taux de reproduction des différents individus. Ceux-ci se déplacent en fonction de la qualité et de l'état des habitats et de leur connectivité, ce qui entraîne des dynamiques source-puits ou, localement, d'extinction-colonisation.

**Modèle numérique**

Programme permettant de résoudre les équations mathématiques au moyen desquelles sont décrits les processus d'écoulement et de transport dans les cours d'eau et qui ne peuvent pas être résolues de manière analytique en vue d'applications pratiques. Les équations de conservation de la masse et de l'impulsion ne peuvent être résolues que de manière approximative à partir d'éléments tridimensionnels et temporels discrets. Un modèle numérique comprend, outre le programme permettant de résoudre les équations, une grille de calcul servant à discrétiser l'espace ainsi que tous les paramètres destinés à spécifier les conditions.

**Monitoring**

Relevé systématique d'états ou de processus. On parle aussi d'observation à long terme ou d'observation de l'environnement. Il est essentiel de renouveler le monitoring pour pouvoir suivre les évolutions dans la nature et le paysage. Le monitoring permet la détection précoce de changements qui peuvent ensuite être étudiés plus en détail.

**Morphologie d'un cours d'eau**

Par morphologie, on entend l'étude de la texture et de la forme des organismes et des habitats. La morphologie d'un cours d'eau décrit ses caractéristiques structurelles. Pour définir les caractéristiques morphologiques d'un cours d'eau, on se fonde sur le profil transversal et longitudinal du lit, sa forme et sa pente, le régime sédimentaire et le régime de charriage ou sur les processus géomorphologiques dont dépend le tracé du cours d'eau.

**Population**

Ensemble d'individus d'une même espèce qui se reproduisent entre eux sur un territoire donné.



**Population source**

Population partielle d'une métapopulation qui sert de source aux populations partielles environnantes par l'émigration fréquente d'individus.

**Rampe en enrochements**

Tronçon de cours d'eau à forte pente, dont le lit est consolidé par des blocs de pierre. Ce système est utilisé à la place d'ouvrages de chute artificiels, tels que les seuils, pour rétablir la connectivité longitudinale pour les poissons et les organismes aquatiques.

**Revitalisation**

Ensemble de mesures destinées à rétablir les processus et éléments centraux dans les cours d'eau: structures, fonctions, caractéristiques physiques, morphologiques et hydrologiques, ainsi qu'une bonne qualité des eaux. L'objectif est de parvenir à un système qui s'entretient lui-même, avec des processus naturellement dynamiques et des habitats en réseau, ainsi que de rétablir la diversité biologique et des biocénoses adaptées au site. Depuis la révision du 11 décembre 2009, le terme « revitalisation » est défini dans la loi sur la protection des eaux (RS 814.20; LEaux) comme le « rétablissement, par des travaux de construction, des fonctions naturelles d'eaux superficielles endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre ». En Suisse, on parle souvent de renaturation, un terme qui inclut toutes les mesures de valorisation.

**Sédiments**

Matériaux très fins qui se déplacent en suspension dans l'eau. Lorsque le courant est faible, les particules les plus grossières se déposent sur le fond du lit et sont transportées avec les matériaux charriés.

**Service écosystémique**

Contribution directe ou indirecte d'un écosystème au bien-être humain. Les services écosystémiques sont fondamentaux pour l'alimentation et la production de biens, la sécurité face aux dangers naturels tels que les crues, ainsi que la détente en pleine nature.

**Simulation numérique**

Utilisation d'un modèle numérique pour faire un calcul sur un ordinateur.

**Structure génétique**

Modèles de composition génétique de populations. Lorsque le flux génétique entre les populations est élevé, la structure génétique est homogène, car les populations présentent une composition génétique semblable en raison des nombreux échanges. Lorsque le flux génétique est faible, la structure génétique est hétérogène, car les populations ont des compositions génétiques distinctes.

**Succession**

En biologie, processus par lequel des biocénoses différentes se succèdent au fil du temps en un lieu donné. La succession, qui se déroule dans des écosystèmes dont l'équilibre écologique est perturbé, vise à rétablir cet équilibre. Elle peut être rapide (quelques semaines ou mois) ou lente (plusieurs années ou décennies) en fonction des conditions environnementales.

**Suivi**

Contrôle destiné à vérifier si les objectifs d'un projet ont été atteints. Il comprend la vérification de l'efficacité, de la mise en œuvre et de la procédure de réalisation d'un projet ou d'une mesure. Il s'agit principa-

lement d'une comparaison avant-après ou d'une observation sur le terrain (p. ex. pour examiner un comportement). Lorsque les objectifs ne sont pas atteints, les raisons doivent en être définies. Le suivi écologique s'appuie sur des indicateurs abiotiques et biotiques.

**Transport de sédiments**

Ensemble des possibilités de déplacement de matériaux sur terre, dans l'eau et dans l'air. Dans les cours d'eau, ce terme s'applique à la fois aux sédiments et au charriage.

**Zone hyporhéique**

Ensemble des sédiments saturés en eau, situés au-dessous et à côté d'une rivière et contenant une certaine proportion d'eau de surface.

## Bibliographie

Hostmann, M., Buchecker, M., Ejderyan, O., Geiser, U., Junker, B., Schweizer, S., Truffer, B., Zaugg Stern, M., 2005: Planification concertée des projets d'aménagement de cours d'eau. Manuel pour la participation et la prise de décision dans les projets d'aménagement de cours d'eau. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.

Lachat, T., Pauli, D., Gonseth, Y., Klaus, G., Scheidegger, C., Vittoz, P., Walter, T. (Réd.), 2010: Evolution de la biodiversité en Suisse depuis 1900 – Avons-nous touché le fond? Haupt, Berne.

Loat, R., Meier, E., 2003: Wörterbuch Hochwasserschutz / Dictionnaire de la protection contre les crues / Dizionario della protezione contro le piene / Dictionary of Flood Protection. Haupt, Berne.

Meile, T., Fette, M., Baumann, P., 2005: Synthesebericht Schwall/Sunk. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETH.

OFEFP, 2003: Idées directrices – Cours d'eau suisses, OFEFP, OFEG, OFAG, ARE, Berne.

OFEG, 2001: Protection contre les crues des cours d'eau. Directives. OFEG, Berne.

OFEN, 2010: Statistique suisse de l'électricité. Berne. Consultable sur Internet: [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

OFEV, 2001 – 2008: Dossier Zones alluviales: fiches. OFEV, Berne.

OFEV, 2009: Ecomorphologie des cours d'eau suisses. OFEV, Berne.

OFEV, 2010: Génie biologique et aménagement de cours d'eau: méthodes de construction. OFEV, Berne.

OFEV, OFEN, ARE, 2011: Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques. OFEV, OFEN, ARE, Berne.

OFEV, OFEN, OFAG, ARE, 2011: Gestion par bassin versant. Idées directrices pour une gestion intégrée des eaux en Suisse. OFEV, OFEN, OFAG, ARE, Berne.

Rohde, S., 2005: Integrales Gewässermanagement. Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur Projekt. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETH.

Schleiss, A., Peter, A., Fäh, R., Scheidegger, C., 2008: Dynamische Lebensräume und Hochwasserschutz – Forschungsprojekt « Integrales Flussgebietsmanagement ». Eau énergie air: 3/2008, p. 187–194.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tieg, S., Tockner, K., Peter, A., 2005: Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.

Zeh Weissmann, H., Könitzer, C., Bertiller, A., 2009: Ecomorphologie des cours d'eau suisses. OFEV, Berne.

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fäh, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fäh, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Angelone, S., Fäh, R., Peter, A., Scheidegger, C., Schleiss, A., 2012: Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble. In: Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau. OFEV, Berne. Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble.

### Conception et illustrations

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

# 1 > Amélioration de la dynamique

Christoph Scheidegger, Silke Werth, Walter Gostner, Anton Schleiss, Armin Peter

*Les cours d'eau proches de l'état naturel sont des systèmes dynamiques: le lit et les rives sont régulièrement modifiés par des crues, entraînant la création de nouveaux habitats. Durant les dernières décennies, cette dynamique a souvent été restreinte suite à l'endiguement de nombreuses rivières. Son rétablissement est un objectif important des revitalisations. Cette fiche présente les bases nécessaires à l'amélioration de cette dynamique.*

## Dynamique naturelle des cours d'eau

Chaque tronçon d'un cours d'eau est composé d'habitats aquatiques, amphibies et terrestres influencés par certains processus que l'on peut appréhender en fonction de leur fréquence et de leur intensité. Il s'agit des variations saisonnières du débit, du charriage et de la température de l'eau, ainsi que des fluctuations naturelles du débit selon un rythme horaire, journalier, annuel ou pluriannuel. Une dynamique naturelle est donc indispensable à la conservation et à la restauration de cours d'eau proches de l'état naturel, ainsi qu'à leur connectivité dans l'espace et dans le temps.

Les cours d'eau caractérisés par une dynamique marquée du régime hydrologique et du charriage présentent une grande

diversité en habitats (fiche 2 Biodiversité dans les cours d'eau) ainsi qu'une valeur élevée en termes de biodiversité et de prestations écosystémiques (Staub *et al.* 2011). En outre, les cours d'eau proches de l'état naturel, à la morphologie variée, ont un effet de rétention des crues extrêmes, favorisent l'infiltration dans la nappe et valorisent la fonction de détente du paysage. Au contraire, une dynamique et un régime de charriage appauvris réduisent la diversité des habitats.

## Formation de nouveaux habitats

La dynamique saisonnière du cours d'eau et le charriage créent dans le lit des microhabitats importants pour de nombreux animaux aquatiques, tant au moment de la reproduction que pour



La Singine (BE/FR), un cours d'eau dynamique.

Photo: Stephanie Speiser

le développement ultérieur ou pour les individus adultes. Les milieux terrestres, quant à eux – des bancs de gravier aux forêts alluviales en passant par la végétation des rives –, sont marqués par une succession de perturbations d'intensité et de fréquence variables (fig. 1). Pour pouvoir être colonisés par leurs biocénoses caractéristiques, les habitats doivent être disponibles et interconnectés dans l'espace et le temps.

Les habitats des cours d'eau ne peuvent pas être conservés de manière statique. Ils sont en continuelle transformation du fait de la dynamique et du charriage, et en particulier des crues. En cas de fortes crues, en effet, la morphologie du cours d'eau est modifiée dans l'espace et dans le temps. Le débit est à même de structurer le fond du lit sur une large surface, détruisant des habitats et faisant de la place pour de nouveaux milieux naturels. Lorsque les crues sont modérées, une partie du lit et la plupart des rives restent intactes. Mais si elles sont importantes, la totalité du lit est mise en mouvement et de nouveaux habitats se créent tant sur le fond de la rivière que sur les berges. Les très fortes crues (période de retour supérieure à 30 ans) peuvent entraîner le déplacement complet d'un cours d'eau (rives comprises).

Au plan écologique, la dynamique d'une rivière est suffisante lorsqu'elle permet la formation de tous les habitats et biocénoses typiques du site. Dans la plupart des cours d'eau suisses, elle a été fortement réduite par des mesures d'aménagement, l'extraction de matériaux et la régulation du débit (Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble), ce qui a pro-

voqué un fort recul de nombreuses espèces tributaires de ces habitats spécifiques et leur mise en péril (tab. 1).

### Les poissons profitent des crues

Les poissons frayant sur le gravier, telle la truite de rivière, ont besoin des crues pour se reproduire. En effet, les crues débarrassent le lit des sédiments fins qui s'y sont déposés et garantissent une qualité optimale du substrat pour le frai. Les crues ne doivent toutefois pas avoir lieu pendant le développement des embryons dans le substrat. La première année, les juvéniles de truites vivent principalement dans les radiers (zones peu profondes à fort courant). Les truitelles plus âgées et les adultes préfèrent quant à eux les zones plus profondes creusées par les crues.

La présence de poissons dépend en général d'une mosaïque de microhabitats variés. Dans les cours d'eau, ceux-ci sont détruits et se reforment deux à dix fois par an. On voit ainsi quelle est l'importance de la dynamique qui favorise la création d'habitats – notamment de berges structurées et de zones régulièrement inondées – pour les poissons et les autres animaux aquatiques. La structure et la densité des biocénoses, conséquences de cette dynamique, suscitent la formation de réseaux trophiques.

### Le transport de sédiments favorise la biodiversité

La périodicité de la mise en mouvement des sédiments est décisive pour les communautés végétales et animales des zones

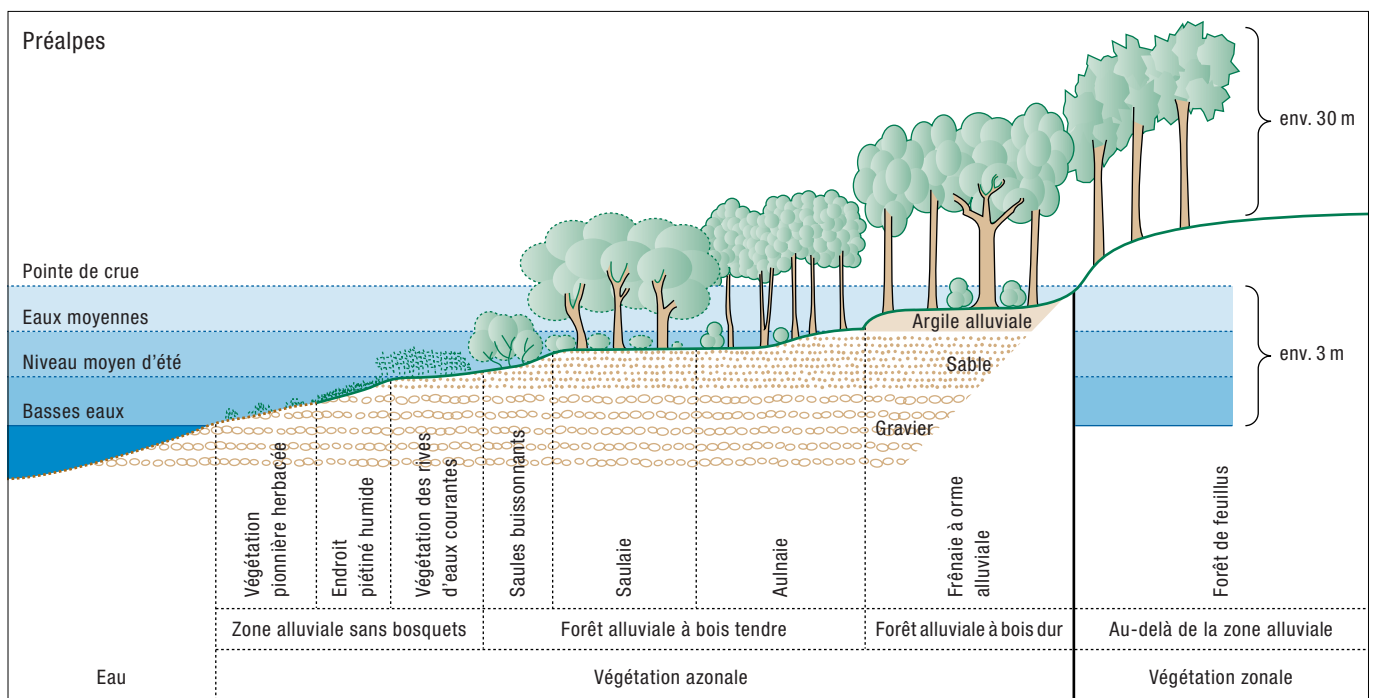


Fig. 1 Coupe schématique de la végétation alluviale sur le cours moyen d'une rivière des Préalpes. Illustration d'après Ellenberg et Leuschner 2010

alluviales (fig. 2). Si certains habitats sont détruits, de nouveaux bancs de gravier et de sable sont aussi créés (fiche 2 Biodiversité dans les cours d'eau). Cet équilibre dynamique permet la conservation de milieux et donc d'espèces caractéristiques des cours d'eau (tab. 1). Pour que les nouveaux habitats puissent être colonisés par la végétation alluviale, la mise en mouvement du sédiment doit avoir lieu à une saison précise. Pour les plantes dont la propagation s'effectue par l'eau, les crues qui déplacent les bancs de gravier doivent se produire en été. A cette période, les semences sont mûres et prêtes à être diffusées. Quant aux déversements écologiques dans les tronçons à débit résiduel, ils doivent être prévus en fonction du cycle de vie des plantes et des organismes aquatiques.

Le cycle de vie des espèces doit être pris en compte dans les projets de revitalisation, pour que les mesures telles que le déversement écologique ou la vidange de retenues hydrauliques puissent être programmées de manière optimale. La faculté germinative de nombreuses essences de buissons et d'arbres typiques des zones alluviales est limitée à quelques jours et certaines plantules ne peuvent se développer que sur des sédiments détrempés, peu après leur dépôt. Les biocénoses terrestres peuvent souvent s'établir sur de petits îlots dans la mesure où ceux-ci sont reliés les uns aux autres (encadré 1). Les surfaces indiquées dans le tableau 2 sont les surfaces minimales nécessaires à la survie à court terme des biocénoses. On ne peut pas attendre un effet de diffusion (fiche 4 Connectivité des cours d'eau) à partir de petites surfaces.

De nombreuses essences terrestres, notamment les spécialistes inféodés aux bancs de gravier comme le tamarin d'Allemagne, ont besoin de perturbations régulières (tab. 2) telles que les crues (fig. 3), sans quoi les bancs de gravier s'embuissonnent, deviennent à long terme des forêts alluviales et les espèces spécialisées disparaissent (fig. 2). Lorsque les perturbations sont trop fréquentes, elles détruisent plus de peuplements d'essences rares et spécialisées qu'il n'en apparaît, ce qui entraîne à long terme l'extinction locale (fiche 2 Biodiversité dans les cours d'eau). Dans les zones alluviales situées plus en altitude et moins souvent inondées, il est important que la succession puisse se dérouler dans la durée, autant que possible sans interventions humaines, pour que les végétaux ligneux se développent et atteignent leur maturité.

### Objectifs des revitalisations

Les mesures de revitalisation ont pour but de restituer au cours d'eau sa dynamique naturelle pour lui permettre de restaurer une grande richesse morphologique. Lorsque l'espace est limité, il faut trouver un compromis entre les différents besoins. Les mesures d'aménagement doivent être réalisées de manière à fournir une diversité d'habitats aquatiques et terrestres aussi importante que possible, ce qui a des répercussions positives sur la diversité des espèces dans le cours d'eau.

### > Tableau 1

Types d'habitats souffrant du manque de dynamique fluviale et nombre d'espèces menacées (d'après Delarze et Gonseth 2008)

Type d'habitat	Espèces menacées
Zone à ombre	15
Saulaie buissonnante alluviale	2
Végétation des rives d'eaux courantes	8
Zone à brème et à barbeau	17
Alluvions avec végétation pionnière herbacée	10
Aulnaie alluviale	2
Forêt alluviale à bois dur	8
Zone supérieure à truite	3
Roselière lacustre	22
Forêt alluviale à bois tendre	2
<b>Total</b>	<b>87</b>

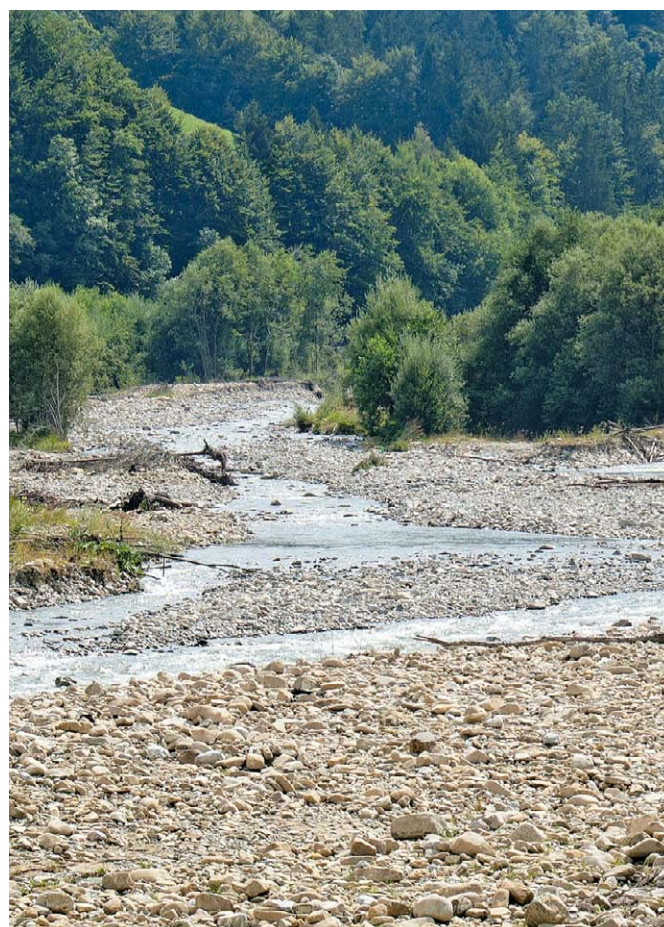


Fig. 2 Le cours supérieur de la Singine près de Plaffeien (FR), un bon exemple de cours d'eau à la dynamique naturelle. En cas de fortes crues, la végétation des bancs de gravier est détruite et de nouveaux bancs se forment, où se développeront des essences pionnières spécialisées. Photo: Christoph Scheidegger

Même les enrochements indispensables devraient être recouverts de roches meubles au-dessus du niveau moyen de crue, pour qu'une végétation riveraine puisse s'y établir par succession naturelle. Dans les tronçons pratiquement rectilignes, les enrochements doivent présenter une certaine sinuosité pour dynamiser l'écoulement. La richesse morphologique est toujours le résultat d'une dynamique fluviale entraînant le déplacement périodique des matériaux charriés et une certaine érosion des berges.

### Protection contre les crues et dynamique

Les projets de protection contre les crues doivent respecter le caractère naturel des eaux (art. 4 loi sur l'aménagement des cours d'eau [LACE], RS 721.100, et art. 37 loi sur la protection des eaux [LEaux], RS 814.20). Ils ne peuvent restreindre la dynamique que dans la mesure où cela est nécessaire et ils doivent favoriser autant que possible la diversité structurelle.

Comme l'a dit Goethe en 1809, «l'eau est un élément ami pour celui qui le connaît et sait le maîtriser». La protection contre les crues doit donc s'appuyer sur une connaissance précise des processus intervenant pendant les crues. Seule une telle approche permet de prévoir les mesures au bon endroit et de minimiser les interventions dans le cours d'eau. Jusqu'au début des années 1990, les mesures avaient comme principaux objectifs de lutter contre la force du courant et de maîtriser le charriage. Aujourd'hui, elles visent aussi à améliorer la qualité et la connectivité des cours d'eau (Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble).

Dans le cadre de la protection contre les crues, les mesures de construction sont destinées à préserver les cours d'eau d'une érosion dangereuse et à garantir une capacité d'écoulement suffisante non seulement pour l'eau, mais aussi pour le charriage et le bois flottant. En réduisant les processus déclenchés par les crues, tels que l'érosion, le dépôt de matériaux et le débordement, de telles mesures restreignent inévitablement la dynamique fluviale. Les projets respectant le caractère naturel des eaux doivent favoriser une dynamique aussi naturelle que possible. Pour cela, il faut toutefois de l'espace, qui est limité dans les régions très urbanisées. Toutes les possibilités doivent être exploitées mais, dans de nombreux cas, la dynamique est quand même restreinte. La dynamique peut être précieuse du point de vue écologique même sur une petite surface, car elle permet d'améliorer la diversité morphologique et les habitats disponibles. Cependant, pour éviter une dynamique débridée en cas de crues dans des zones urbanisées, il est souvent indispensable de construire des ouvrages de protection.

### Recommandations pratiques

La recherche est encore loin d'être en mesure de proposer un modèle quantitatif mettant en relation directe les paramètres

### > Encadré 1: Transport de sédiments et périodes de retour

La conservation à long terme des milieux aquatiques et humides dépend de périodes de retour spécifiques des déplacements de bancs de gravier. Elles doivent se situer entre les valeurs seuils minimales et maximales pour que les espèces cibles des biocénoses puissent aller au bout de leur cycle de vie. Les nouveaux habitats générés par les revitalisations doivent être reliés à des habitats du même type existant déjà (Werth *et al.* 2011; fiche 4 Connectivité des cours d'eau). Les surfaces minimales figurant dans le tableau 2 sont valables pour un peuplement. La surface nécessaire pour la survie à long terme de la biocénose régionale – y compris les espèces aquatiques et typiques des zones alluviales – est au moins dix fois supérieure.

### > Tableau 2

Habitats terrestres des cours d'eau (d'après Delarze et Gonseth 2008), surfaces minimales nécessaires à la conservation à court terme de leur diversité spécifique caractéristique, périodes de retour minimales et maximales des déplacements de bancs de gravier

Habitat	Surface minimale	Période de retour minimale	Période de retour maximale
Alluvions avec végétation pionnière herbacée	0,5 ha	3 ans	8 ans
Saulaie buissonnante alluviale	0,5 ha	8 ans	15 ans
Rivages avec végétation	0,5 ha	8 ans	15 ans
Forêt alluviale à bois tendre	1 ha	15 ans	40 ans
Aulnaie alluviale	1 ha	15 ans	40 ans
Sources et suintements	100 m <sup>2</sup>	50 ans	>150 ans
Forêt alluviale à bois dur	10 ha	40 ans	>150 ans

d'écoulement, la morphologie et la biodiversité. De tels liens ne sont possibles que pour des systèmes partiels (WSL *et al.* 2008). Toute revitalisation devrait avoir pour but de reconstituer la dynamique naturelle, car celle-ci se répercute sur la morphologie et la biodiversité aquatique et terrestre. Les projets de protection contre les crues doivent eux aussi respecter cette dynamique. En ce qui concerne ce domaine particulier, on se reportera à la directive de l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG 2001) et à sa version actualisée, ainsi qu'au document en préparation à l'OFEV (Wegleitung Hochwasserschutz und Revitalisierungen an Fliessgewässern, à partir de 2012).

Les revitalisations visent à rétablir, par des travaux de construction, les fonctions naturelles d'eaux superficielles endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre (LEaux, art. 4, let. m; Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble). La restauration de la dynamique joue dans ce cadre un rôle important. Les points suivants doivent donc être pris en compte:

- > Le rétablissement du régime hydrologique revêt un caractère décisif: si le courant ne structure pas lui-même le lit, une revitalisation n'est pas efficace, même si elle permet de diversifier la morphologie ou d'améliorer les conditions de charriage.
- > La restauration de la dynamique dépend de l'équilibre du régime de charriage. Les cours d'eau doivent donc permettre le passage des matériaux charriés. Si l'apport de matériaux est insuffisant, la dynamique hydrologique va inciser le bras principal au bout de quelques crues seulement. A l'inverse, si l'apport est excessif, les problèmes peuvent venir de la formation d'atterrissements.
- > Il faut donner aux cours d'eau suffisamment d'espace pour garantir la mise en mouvement du lit de gravier et le charriage et, ainsi, conserver les biocénoses aquatiques et typiques des zones alluviales. L'espace disponible pour les biocénoses et espèces caractéristiques des cours d'eau doit être élargi. Les indications figurant dans le tableau 2 doivent être considérées comme des surfaces minimales.

- > Les petites surfaces d'habitats existant avant un projet de revitalisation ont une grande valeur pour les biocénoses aquatiques et typiques des zones alluviales ainsi que pour les populations d'espèces rares. En revanche, les habitats isolés créés dans le cadre de la revitalisation ne sont souvent colonisés qu'à long terme (après plusieurs années).
- > Une bonne connectivité entre biocénoses typiques des zones alluviales peut améliorer l'efficacité des revitalisations même lorsque les habitats sont relativement petits. Il faut veiller à favoriser l'interconnexion des milieux naturels.

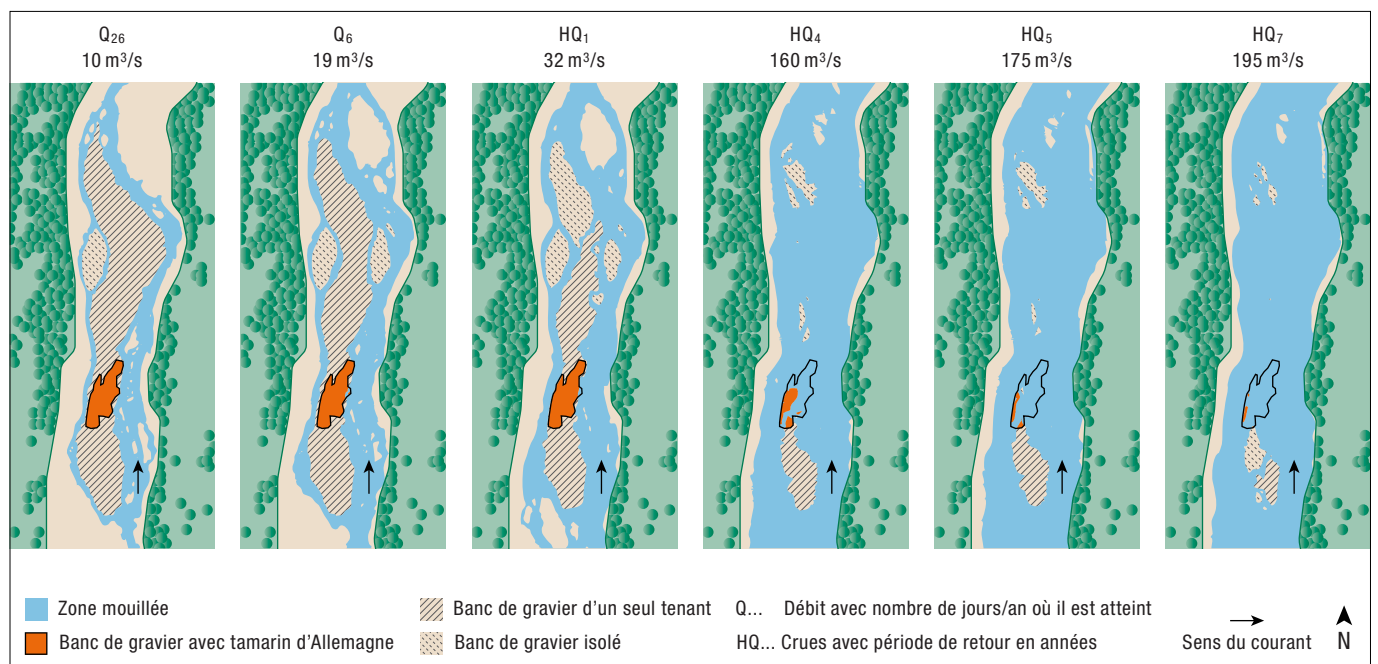


Fig. 3 Degré de submersion des bancs de gravier sur le cours supérieur de la Singine près de Plaffeien (FR). Les pics de débit sont atteints (de gauche à droite) pendant 26, 6 et 1 jours par an et les crues ont une période de retour de 4, 5 et 7 ans.

Illustration d'après Walter Gostner

## Bibliographie

Delarze, R., Gonseth, Y., 2008: Guide des milieux naturels de Suisse. Rossolis, Bussigny.

Ellenberg, H., Leuschner, C., 2010: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Eugen Ulmer, Stuttgart.

Goethe JW. von, 1809: Die wunderlichen Nachbarskinder. Internet: [www.digbib.org/Johann\\_Wolfgang\\_von\\_Goethe\\_1749/Die\\_wunderlichen\\_Nachbarskinder](http://www.digbib.org/Johann_Wolfgang_von_Goethe_1749/Die_wunderlichen_Nachbarskinder)

Marti, C., 2006: Morphologie von verzweigten Gerinnen. Thèse EPF Zurich, Zurich.

Méndez, PR., 2008: Seitenerosion in kiesführenden Flüssen. Thèse EPF Zurich, Zurich.

OFEV, 2001: Protection contre les crues des cours d'eau. OFEV, Berne.

Staub, C., Ott, W., Heusi, F., Klingler, G., Jenny, A., Häcki, M., Hauser, A., 2011: Indicateurs pour les biens et services écosystémiques. Systématique, méthodologie et recommandations relatives aux informations sur l'environnement liées au bien-être. OFEV, Berne.

Werth, S., Weibel, D., Alp, M., Junker, J., Karpati, T., Peter, A., Scheidegger, C., 2011: Lebensraumverbund Fliessgewässer: Die Bedeutung der Vernetzung. Eau énergie air: 3/2011, p. 224 – 234.

WSL, Eawag, ETHZ, EPFL, 2008: Indikatorsteckbriefe. Internet: [www.rivermanagement.ch/download.php](http://www.rivermanagement.ch/download.php)

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:  
 Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)  
 Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)  
 Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)  
 Roland Fäh, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
 Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)  
 Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fäh, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).  
 L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Scheidegger, C., Werth, S., Gostner, W., Schleiss, A., Peter, A., 2012: Amélioration de la dynamique. In: Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, OFEV, Berne. Fiche 1.

### Conception et illustrations

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
 Confédération suisse  
 Confederazione Svizzera  
 Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV



## 2 > Biodiversité dans les cours d'eau

Silke Werth, Maria Alp, Theresa Karpati, Walter Gostner, Christoph Scheidegger, Armin Peter

*Des habitats diversifiés, dynamiques et proches de l'état naturel sont indispensables à la conservation et à l'amélioration de la biodiversité dans les cours d'eau. Cette fiche présente les principaux facteurs de la diversité des habitats et des espèces, ainsi que des mesures permettant d'accroître la biodiversité.*

### Noyaux de biodiversité

La biodiversité, c'est-à-dire la diversité du vivant, comprend la diversité des espèces, la diversité génétique et la diversité des habitats, ainsi que la diversité des fonctions écologiques, notamment des services écosystémiques (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2005). La présence d'espèces rares et caractéristiques en est un élément important.

Les cours d'eau et les zones alluviales, avec leurs nombreuses espèces animales et végétales, constituent des noyaux de biodiversité (Hausammann 2008, Lachat *et al.* 2010). Les zones alluviales abritent, selon les estimations, 1500 essences végétales (OFEV 2005), soit environ un tiers de la flore suisse, sur seulement 0,55 % du territoire. Les animaux et végétaux

qui vivent dans les rivières et sur leurs bords (fig. 1) sont adaptés aux conditions environnementales de cours d'eau naturels et dynamiques. Or l'homme a porté atteinte à l'écologie de nombreux cours d'eau par des mesures d'aménagement et par la pollution des eaux, menaçant ainsi nombre d'espèces (tab. 1). Dans bien des cas, l'aire de distribution de ces espèces est située en grande partie dans notre pays, qui assume une responsabilité particulière pour leur protection. Il est possible d'améliorer la diversité des espèces dans son ensemble, ainsi que les espèces typiques des cours d'eau, en renforçant la connectivité et en rétablissant une dynamique proche de l'état naturel (fiche 1 Amélioration de la dynamique, fiche 4 Connectivité des cours d'eau).



Cours naturel de la Singine (BE/FR).

Photo: Walter Gostner

### Diversité génétique

Une diversité génétique élevée est essentielle à la pérennité de populations stables et capables de s'adapter. La diversité génétique dépend de la taille des populations et de leurs liens avec d'autres populations. Les espèces rares – naturellement ou à cause d'interventions humaines – forment en général de petites populations isolées, à faible diversité génétique. Il peut en résulter des problèmes de consanguinité dont les effets se manifestent sur la vitalité et le taux de reproduction, car les individus résistent moins bien aux modifications de leur habitat. Les populations qui présentent une diversité génétique élevée peuvent mieux s'adapter aux nouvelles conditions et sont donc précieuses pour la protection de la nature (Werth *et al.* 2011).

Le tamarin d'Allemagne est une espèce caractéristique des zones alluviales. En Suisse, il forme souvent de petites populations sur les bancs de gravier des cours d'eau proches de l'état naturel. La plupart de ces populations ont été étudiées dans le cadre du projet «Gestion intégrale des zones fluviales», qui a révélé de grandes différences dans leur diversité génétique (fig. 2). Au bord de la Singine (BE/FR), on trouve actuellement une seule population, très appauvrie génétiquement malgré la qualité de l'habitat. Cet appauvrissement s'explique par la taille réduite, mais aussi par le manque de connectivité avec les populations autrefois situées en aval et détruites par des projets d'aménagement il y a plusieurs décennies (fiche 4 Connectivité des cours d'eau). En effet, il y a encore cent ans, le tamarin d'Allemagne était présent sur environ 30 km le long de la rivière. Au bord du Rhin alpin (GR/SG), la situation est inversée: plusieurs grandes populations ont survécu dans son bassin versant et leur diversité génétique est élevée. Ce phénomène étonnant – le Rhin alpin est endigué à plusieurs endroits – montre l'importance de la connectivité: les populations situées dans les zones canalisées bénéficient de suffisamment d'individus et de gènes venant de populations sources plus en amont.

### Habitats diversifiés

Un cours d'eau naturel offre aux organismes aquatiques, amphibiens et terrestres une multitude d'habitats distincts tels que bras principal, bras secondaires et bancs de gravier (fig. 3). Ces milieux sont influencés par de nombreux facteurs environnementaux, notamment la température (fig. 3), la lumière, la teneur en nutriments, la morphologie du cours d'eau et le régime d'écoulement. Les tronçons où les conditions environnementales varient se caractérisent par une grande diversité des espèces, car de nombreux animaux et végétaux y trouvent leur milieu idéal. Les espèces aquatiques dépendent en particulier du régime d'écoulement, lui-même influencé par la profondeur et la vitesse du courant. Pour les espèces terrestres, les facteurs essentiels sont la qualité des berges, leur hauteur



Fig. 1 Espèces caractéristiques des cours d'eau. En haut: tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*; photo: Silke Werth), en bas: criquet des iscles (*Chorthippus pullus*; photo: Theresa Karpati)

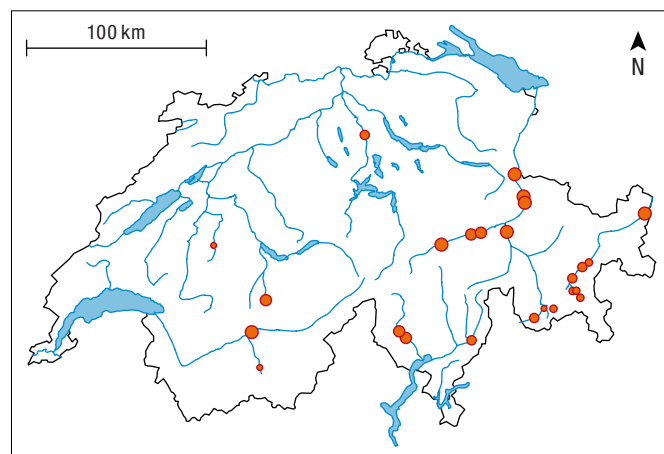


Fig. 2 Diversité génétique des populations suisses de tamarin d'Allemagne. La taille du cercle est proportionnelle à la diversité génétique de la population. Illustration d'après Silke Werth

au-dessus du niveau d'eau normal, la présence de bancs de gravier ainsi que les propriétés du substrat. Dans les tronçons naturels et proches de l'état naturel, les facteurs environnementaux importants (température, vitesse du courant, etc.) présentent une grande variabilité (fig. 3, 4), alors que les tronçons canalisés sont monotones (fig. 4).

De nombreuses espèces aquatiques et terrestres dépendent de la présence de bois mort. A proximité des gros troncs morts se forment souvent des zones d'eaux profondes et fraîches qui offrent de bonnes cachettes aux poissons. Lorsque ces troncs sont entraînés sur des bancs de gravier suite à une crue, il s'y dépose des substrats tels que le sable, sur lesquels des plantes peuvent s'établir. Les troncs morts constituent aussi, de par leurs structures et conditions, un habitat optimal pour le criquet des iscles (fig.1), une espèce menacée qui se nourrit de plantes, trouve refuge dans le bois mort et peut pondre ses œufs tout près, dans de petites surfaces de sable sans végétation.

### Connectivité des habitats

La présence d'espèces spécialisées dans les habitats dépend de la connectivité fonctionnelle de ceux-ci (fiche 1 Amélioration de la dynamique). La connectivité longitudinale favorise la

dispersion des espèces et influe sur les cycles des éléments nutritifs ainsi que sur les réseaux trophiques des cours d'eau. Ainsi, les habitats situés en aval ont besoin de l'apport de biomasse (p. ex. litière de feuilles, bois mort) venant de sites plus en amont. Les barrières telles que les lacs de retenue interrompent cette connectivité et portent atteinte à la biodiversité. Celle-ci est aussi influencée par la connectivité latérale entre habitats aquatiques et terrestres. Dans les petits cours d'eau, par exemple, l'ombre apportée par la végétation riveraine se répercute sur les conditions de température: l'eau est plus chaude dans les ruisseaux au bord desquels la végétation naturelle a été défrichée. Pour les organismes, cela a des conséquences directes, puisque l'augmentation de la température entraîne une diminution de l'oxygène disponible, et indirectes du fait de l'augmentation du nombre d'agents pathogènes (p. ex. de la maladie rénale proliférative [MRP] qui touche les truites).

Dans la Singine (BE/FR), la diversité des espèces de macrozoobenthos dépend de la position de l'habitat au sein du bassin versant (Alp *et al.* 2011). Celle des secteurs canalisés est comparable à celle des tronçons proches de l'état naturel du cours supérieur de la rivière. Le macrozoobenthos est favorisé par la bonne connectivité et la situation dans le bassin

### > Tableau 1

Espèces caractéristiques des paysages fluviaux proches de l'état naturel (OFEV 2011). Priorité: 1 très élevée; 2 élevée; 3 moyenne; 4 faible.

La colonne « Responsabilité » indique l'importance de la population suisse d'une espèce au plan européen ou mondial et donc la responsabilité internationale de la Suisse pour la conservation de cette espèce. Echelle: 4 très grande; 3 grande; 2 moyenne; 1 faible; 0 pas de responsabilité.

Nom français	Nom scientifique	Classe	Menace (Suisse)	Priorité	Responsabilité
	<i>Bembidion eques</i>	insectes	en danger d'extinction	1	2
	<i>Bembidion foraminosum</i>	insectes	en danger d'extinction	2	1
Oedipode des torrents	<i>Bryodemella tuberculata</i>	insectes	éteint	1	2
Criquet des iscles	<i>Chorthippus pullus</i>	insectes	en danger d'extinction	1	2
Oedipode des salines	<i>Epacromius tergestinus</i>	insectes	en danger d'extinction	1	2
Tétrix grisâtre	<i>Tetrix tuerki</i>	insectes	en danger d'extinction	1	2
Leucorrhine à large queue	<i>Leucorrhinia caudalis</i>	insectes	en danger d'extinction	1	2
Crapaud vert	<i>Bufo calamita</i>	batraciens	très menacé	3	1
Rainette verte	<i>Hyla arborea</i>	batraciens	très menacé	3	1
Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	oiseaux	très menacé	1	1
Petit Gravelot	<i>Charadrius dubius</i>	oiseaux	vulnérable	1	1
	<i>Bryum versicolor</i>	mousses	en danger d'extinction	1	2
Chondrille des torrents	<i>Chondrilla chondrilloides</i>	plantes à fleurs	très menacé	3	0
Tamarin d'Allemagne	<i>Myricaria germanica</i>	plantes à fleurs	potentiellement menacé	-	-
Argousier	<i>Hippophæe rhamnoides</i>	plantes à fleurs	non menacé	-	-
Saule faux daphné	<i>Salix daphnoides</i>	plantes à fleurs	non menacé	-	-
Rubanier émergé	<i>Sparganium emersum</i>	plantes à fleurs	vulnérable	4	0
Petite massette	<i>Typha minima</i>	plantes à fleurs	très menacé	3	0

versant: les organismes des tronçons proches de l'état naturel du cours supérieur se dispersent passivement jusque dans les passages canalisés en aval. En outre, certains facteurs importants sont identiques dans le cours inférieur et dans les sites proches de l'état naturel. Le régime d'écoulement naturel, la qualité de l'eau et l'état presque naturel du lit contribuent vraisemblablement à la grande diversité des espèces de macrozoobenthos dans les secteurs endigués. En revanche, le tamarin d'Allemagne et le criquet des iscles ne sont pas présents dans ces zones, car il n'y a pas de bancs de gravier pouvant servir d'habitat à ces espèces terrestres.

### Exigences des organismes

En fonction de leur cycle de vie, de nombreux organismes nécessitent différents types de milieux naturels. Ainsi, certains poissons et insectes aquatiques ont besoin d'habitats distincts pour la reproduction et le développement des juvéniles (Jungwirth *et al.* 2003). Nombre d'espèces d'insectes aquatiques pondent leurs œufs sur de grosses pierres émergeant de l'eau. Le succès de la reproduction dépend beaucoup de la présence de tels substrats (Alp *et al.* 2011). Les salmoniformes frayent dans des cours d'eau secondaires ou dans le cours supérieur des rivières, où ils trouvent des lieux de ponte parfaitement adaptés. Certaines espèces changent même d'habitat au fil des heures, par exemple les poissons qui ne restent pas au même endroit le jour et la nuit. Lorsqu'un cours d'eau n'offre pas les habitats nécessaires à certains stades de leur vie, les espèces caractéristiques et spécialisées disparaissent, ce qui peut aussi se produire lorsque la connectivité entre les sites n'est plus assurée dans le bassin versant.

### Menaces pour la biodiversité

Les barrières (lacs de retenue et autres aménagements) qui morcellent les cours d'eau constituent une menace pour la biodiversité. La diversité des habitats a été dramatiquement réduite par des endiguements. Les cours d'eau canalisés au profil monotone n'offrent des habitats appropriés qu'à quelques espèces généralistes. Les modifications du régime de charriage (dus p. ex. à l'extraction de gravier), du régime d'écoulement et de la température (dus p. ex. à l'utilisation de la force hydraulique) portent atteinte aux conditions de vie des espèces spécialisées des cours d'eau. Nombre d'entre elles sont aujourd'hui menacées (Delarze et Gonseth 2008). En outre, les apports de produits chimiques de l'agriculture, de l'industrie et des agglomérations nuisent à la qualité de l'eau et mettent en péril les espèces qui ont besoin d'une eau pure. En Suisse, la pollution chimique a diminué dans les cours d'eau depuis les années 1980, mais les espèces qui avaient disparu en raison de la contamination ne sont pas encore toutes revenues, notamment du fait du manque de connectivité des eaux, fragmentées par de nombreuses barrières artificielles.

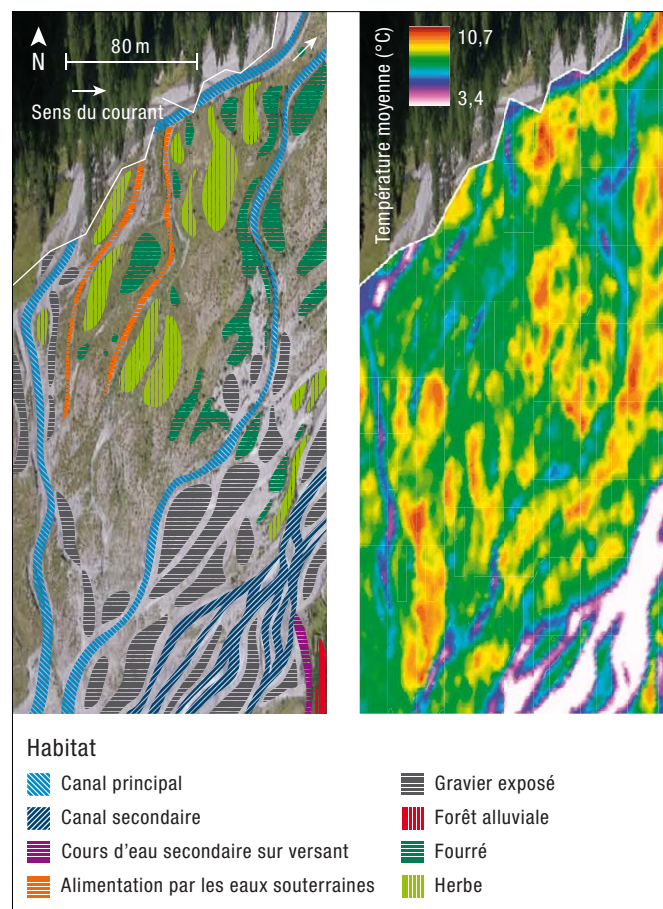


Fig. 3 Diversité des habitats (à gauche) et des conditions de température (à droite) dans une zone alluviale naturelle (Val Roseg, GR). La température est un facteur environnemental important qui influence les animaux et les végétaux dans les cours d'eau. Illustration d'après Tonolla *et al.* 2010

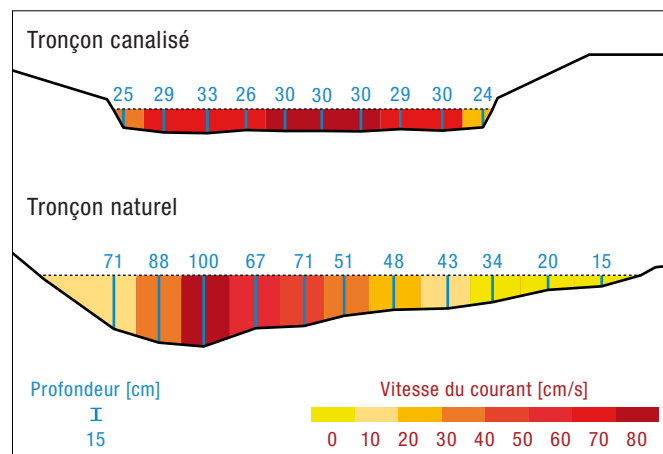


Fig. 4 Section transversale de tronçons canalisé (en haut) et naturel (en bas) d'un cours d'eau du Plateau (Bünz, AG), avec indication de la profondeur et de la vitesse du courant (pondérée en fonction de la profondeur). Illustration d'après Walter Gostner

Ces dernières empêchent en particulier les espèces ayant une faible capacité de dispersion de recoloniser certains tronçons. A l'avenir, la conservation de la biodiversité dans les cours d'eau devra aussi tenir compte des changements climatiques. Les variations saisonnières des précipitations prévues par les modèles climatiques sont particulièrement inquiétantes parce qu'elles risquent de modifier le régime d'écoulement de nombreux cours d'eau.

La biodiversité dans les cours d'eau est influencée par de nombreux autres facteurs. Les revitalisations qui visent à la conserver doivent donc s'appuyer sur une approche globale et prendre en compte les cours d'eau dans leur ensemble. Souvent, il ne suffit pas d'améliorer quelques aspects (p. ex. la morphologie) pour rétablir la diversité des espèces. Par le passé, de nombreux projets sont partis du principe qu'une restauration locale de la diversité morphologique accroîtrait la biodiversité. Mais il est apparu par la suite que d'autres facteurs environnementaux (p. ex. pollution chimique, éclusées) annulaient les effets positifs des améliorations morphologiques (Alp *et al.* 2011) et limitaient ou réduisaient à néant les résultats de la revitalisation.

### Recommandations pratiques

- > Il est nettement plus difficile de restaurer la biodiversité que de la préserver. La conservation des populations et des habitats de bonne qualité est donc prioritaire.
- > Les espèces aquatiques, amphibiens et terrestres doivent disposer de suffisamment d'habitats connectés à tous les stades de leur vie. Une morphologie variée ainsi que des zones riveraines et alluviales diversifiées sont essentielles à la restauration de la biodiversité.
- > Pour garantir la réussite écologique des revitalisations, il faut tenir compte des principales caractéristiques des habitats. Les tronçons à revitaliser en priorité doivent être définis sur la base des facteurs morphologiques et structurels, d'une part, et du régime d'écoulement, de la qualité de l'eau et de la connectivité des habitats dans le bassin versant, d'autre part (Werth *et al.* 2011). Un déficit de l'un de ces facteurs peut retarder voire empêcher la colonisation du tronçon revitalisé. Il convient aussi de noter que même des structures morphologiques variées ne garantissent pas l'apparition d'une grande biodiversité après une revitalisation.
- > La localisation dans le bassin versant influence le résultat des mesures: une revitalisation améliore davantage la biodiversité dans des tronçons proches d'habitats riches en espèces que dans des endroits très isolés, sans lien avec des populations sources.
- > Il peut être judicieux d'accompagner les revitalisations de mesures spécifiques de conservation des espèces. On peut par exemple, dans le cadre de la revitalisation de

berges abruptes, prévoir des parois de nidification pour le martin-pêcheur (*Alcedo atthis*) et des sites de reproduction pour les batraciens. L'urgence de ces mesures doit être évaluée sur la base de la Liste des espèces prioritaires au niveau national (OFEV 2011), qui indique pour chaque espèce le degré de menace ainsi que la responsabilité de la Suisse.

## Bibliographie

Alp, M., Karpati, T., Werth, S., Gostner, W., Junker, J., Peter A., Scheidegger, C., 2011: Erhaltung und Förderung der Biodiversität von Fliessgewässern. *Eau énergie air*: 3/2011, p. 216–223.

Delarze, R., Gonseth, Y., 2008: Guide des milieux naturels de Suisse. Rossolis, Bussigny.

Hausammann, A., 2008: Faune et flore des zones alluviales. Fiche n° 13, Dossier Zones alluviales. OFEV, Berne.

Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S., 2003: *Angewandte Fischökologie an Fliessgewässern*. Facultas Universitätsverlag, Wien.

Lachat, T., Pauli, D., Gonseth, Y., Klaus, G., Scheidegger, C., Vittoz, P., Walter, T. (Réd.), 2010: Evolution de la biodiversité en Suisse depuis 1900 – Avons-nous touché le fond? Haupt, Berne.

OFEV, 2005: Les zones alluviales de Suisse. OFEV, Berne. Internet: [www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00888/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00888/index.html?lang=fr)

OFEV, 2011: Liste des espèces prioritaires au niveau national. OFEV, Berne.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2005: Handbook of the convention on biological diversity including its Cartagena protocol on biosafety. Friesen, Montreal. Internet: [www.cbd.int/handbook](http://www.cbd.int/handbook)

Tonolla, D., Acuña, V., Uehlinger, U., Frank, T., Tockner, K., 2010: Thermal heterogeneity in river floodplains. *Ecosystems* 13: p. 727–740.

Werth, S., Weibel, D., Alp, M., Junker, J., Karpati, T., Peter, A., Scheidegger, C., 2011: Lebensraumverbund Fliessgewässer: Die Bedeutung der Vernetzung. *Eau énergie air*: 3/2011, p. 224–234.

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fähr, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fähr, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Werth, S., Alp, M., Karpati, T., Gostner, W., Weibel, D., Scheidegger, C., Peter, A., 2012: Biodiversité dans les cours d'eau. In: Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, OFEV, Berne. Fiche 2.

### Conception et illustrations

[anamorph.ch](http://anamorph.ch): Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

## 3 > Indice hydromorphologique de la diversité

Walter Gostner, Anton Schleiss

*La diversité morphologique est nécessaire au fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Cette fiche propose un nouvel indice – l'indice hydromorphologique de la diversité (IHMD) – pour calculer la diversité hydromorphologique. Cet outil permet d'évaluer quantitativement les projets d'aménagement des eaux en ce qui concerne l'amélioration de la diversité morphologique.*

### Importance de la diversité morphologique

Le fonctionnement des écosystèmes aquatiques est déterminé par des facteurs biotiques et abiotiques qui s'influencent mutuellement. Parmi les facteurs abiotiques, relevons l'importance de la qualité de l'eau, de la dynamique du cours d'eau et de sa morphologie. Ce sont les caractéristiques de l'écoulement qui différencient les cours d'eau à la morphologie naturelle de ceux dont la morphologie est artificielle (fig. 1). Dans les tronçons proches de l'état naturel se succèdent des passages où le courant est fort et des zones plus profondes où il est moindre. On trouve en outre des hauts-fonds où le courant est faible, des bancs de gravier de hauteurs différentes avec une végétation variée et divers stades de succession (fiche 2

Biodiversité dans les cours d'eau), du bois mort et plusieurs substrats. Une large zone riveraine sépare la rivière du paysage environnant. Les tronçons canalisés, au contraire, sont monotones et le courant ne varie pas, que ce soit latéralement ou longitudinalement.

L'homogénéisation de la morphologie d'un cours d'eau entraîne une diminution de la richesse en espèces et de la biomasse d'organismes des milieux aquatiques et humides. La diversité morphologique, à l'inverse, favorise le développement et la conservation d'habitats et de biocénoses abritant de nombreuses espèces (Jungwirth *et al.* 2003). Nombre de revitalisations visent donc à rétablir cette diversité pour favoriser celle des habitats. De nombreux organismes aquatiques,



*La diversité morphologique augmente la variabilité de la vitesse du courant: radier dans la Singine (FR/BE).*

Photo: Walter Gostner

amphibies et terrestres vivant dans ou près des cours d'eau ont besoin de plusieurs types d'habitats pour se reproduire et se développer (fiche 2 Biodiversité dans les cours d'eau). Ainsi, les poissons, tout au long de leur cycle de vie, recherchent des frayères avec un substrat adéquat, des zones à fort courant où ils trouveront de quoi se nourrir et des zones profondes à faible courant pour se reposer. Les populations piscicoles locales ne peuvent se maintenir que s'il y a suffisamment d'habitats de divers types.

### Indice hydromorphologique de la diversité

L'aménagement des cours d'eau ne doit pas se limiter à la planification et à la réalisation de mesures de protection contre les crues. Il doit aussi prévoir des mesures destinées à améliorer le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble). Jusqu'à présent, l'amélioration de la diversité morphologique dans le cadre de projets d'aménagement des eaux ne pouvait être évaluée qu'au plan qualitatif, à partir d'observations d'experts. L'indice hydromorphologique de la diversité (IHMD) décrit dans cette fiche permet désormais une évaluation quantitative (encadré 1). Il peut être calculé facilement, à l'aide de modélisations du courant et d'analyses statistiques de variables hydrauliques caractéristiques de la diversité morphologique, pour plusieurs variantes de projets qui peuvent ainsi être comparées. Il est ainsi possible de déterminer objectivement la variante qui aura le plus d'effets au plan écologique. On peut en outre savoir à quel point cette variante s'approche de l'état de référence.

L'IHMD comble une lacune entre l'évaluation de l'état d'un cours d'eau avant le début d'un projet d'aménagement (OFEFP 1998) et le suivi après la réalisation de ce projet (Woolsey *et al.* 2005). Il permet une appréciation a priori des projets en vue de leur optimisation. Il a été élaboré pour des rivières alpines charriant du gravier, dont l'état de référence peut correspondre à un tracé divaguant, à méandres ou en tresses. Ce type de cours d'eau était autrefois fréquent dans les Alpes. L'IHMD a donc un large champ d'application.

### Elaboration et développement de l'IHMD

L'IHMD a été élaboré à partir des constatations suivantes (Gostner et Schleiss 2011):

- La diversité morphologique d'un tronçon de cours d'eau peut être caractérisée par les valeurs hydrauliques que sont la vitesse du courant et la profondeur, ainsi que par leurs paramètres statistiques.
- Les paramètres statistiques des valeurs hydrauliques peuvent être combinés en une variable, l'IHMD, à l'aide d'une définition mathématique. Cette variable permet de caractériser la diversité morphologique des habitats aquatiques et semi-aquatiques d'un tronçon de cours d'eau.

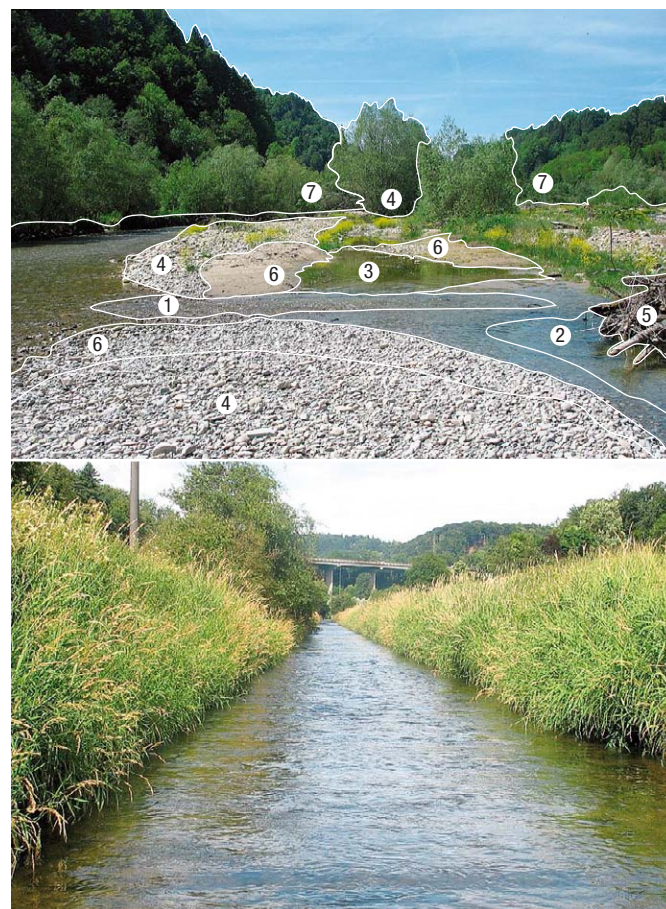


Fig. 1 En haut: tronçon de la Singine (FR) proche de l'état naturel avec des zones à fort courant (1), des zones profondes (2), des hauts-fonds (3), des bancs de gravier (4), du bois mort (5), différents substrats (6) et une large zone riveraine (7). En bas: tronçon endigué de la Bünz (AG) à faible diversité des habitats. Photos: Walter Gostner

Pour élaborer l'IHMD, il a fallu mener de vastes travaux d'investigation sur le terrain, le long de plusieurs cours d'eau suisses (Bünz, AG; Venoge, VD; Singine, FR/BE). Pour chacun des cinq tronçons plus ou moins endigués qui ont été étudiés, on a défini plusieurs profils transversaux (tab. 1) le long desquels la vitesse du courant et la profondeur ont été mesurés tous les 1 à 2 m. La figure 2 présente les résultats pour la Singine (FR/BE).

Cette figure indique les valeurs hydrauliques que sont la vitesse du courant et la profondeur. Dans les tronçons canalisés, la dispersion des variables est faible. La vitesse moyenne du courant est élevée, il n'y a presque pas de zones d'eaux calmes. Dans les tronçons naturels, au contraire, la variabilité des valeurs hydrauliques est plus marquée. Comme on pouvait s'y attendre, la variabilité des facteurs importants pour les habitats est plus élevée dans les tronçons naturels que dans les passages canalisés.



La diversité peut être décrite au moyen de l'écart type  $\sigma$ . Sa pondération est étroitement liée à la moyenne  $\mu$ , ce qui est exprimé par le coefficient de variation  $c_v = \sigma/\mu$ . La diversité  $V(i)$  d'une valeur hydraulique peut être calculée comme suit (Schleiss 2005):

$$V(i) = (1 + c_{v,i})^2 = \left(1 + \frac{\sigma_i}{\mu_i}\right)^2$$

L'IHMD d'un tronçon est calculé à partir du produit de l'indice partiel de diversité de la vitesse du courant  $v$  et de la profondeur  $t$ :

$$IHMD_{\text{tronçon}} = \prod_i V(i) = V(v) \cdot V(t) = \left(1 + \frac{\sigma_v}{\mu_v}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\sigma_t}{\mu_t}\right)^2$$

L'IHMD décrit la diversité spatiale des caractéristiques morphologico-structurelles d'un cours d'eau (cf. exemples concrets dans le tableau 2). Une modélisation, à l'aide du logiciel BASEMENT (fiche 7 Modélisation numérique des cours d'eau), des tronçons sélectionnés le long de la Singine a montré, pour différents débits, que les tronçons à morphologie différente présentent aussi une variabilité dans le temps différente. Dans les tronçons naturels, l'IHMD est pratiquement constant même si le débit change au fil des saisons, sauf pour les débits qui ne sont atteints ou dépassés que 5 jours par an environ. En revanche, dans les passages endigués, l'IHMD diminue à mesure que le débit augmente. En général, la diversité morphologique est plus élevée dans les tronçons naturels. En outre, les conditions de vie des organismes sont plus stables dans ces tronçons.

### Applications de l'IHMD

L'IHMD est un outil d'optimisation de la diversité morphologique dans le cadre de projets d'aménagement des eaux. La figure 3 illustre une application possible de l'IHMD par un exemple – considérablement simplifié – de variantes d'un projet de revitalisation. Au départ, il y a un tronçon canalisé, au profil trapézoïdal et aux rives consolidées. On suppose que l'état de référence de ce tronçon est celui d'une rivière alpine ramifiée, charriant du gravier, et que l'un des objectifs des idées directrices est de se rapprocher de cette morphologie initiale.

Les mesures envisageables sont les suivantes: intervention à petite échelle avec fixation de blocs bétonnés (fig. 3: variante 1); suppression de la protection sur une des deux rives consolidées pour permettre l'alternance de bancs de gravier, protection recouverte des berges le long de la bordure tampon autorisée (fig. 3: variante 2); suppression de la protection sur les deux rives consolidées pour permettre l'élargissement du lit et rétablir la dynamique complète sans limites latérales (fig. 3: variante 3).

### Encadré 1: L'indice hydromorphologique de la diversité (IHMD)

En quoi l'IHMD est-il novateur?

L'IHMD repose sur les valeurs hydrauliques qui caractérisent les habitats aquatiques. Il s'appuie donc sur des critères objectifs, contrairement aux méthodes d'appréciation (p. ex. le module Ecomorphologie du système modulaire gradué), qui se fondent en partie sur les estimations subjectives des experts sur le terrain.

Quels sont les avantages de l'IHMD?

Il est aujourd'hui habituel d'utiliser des modèles numériques bidimensionnels de débit pour évaluer les projets d'aménagement des eaux du point de vue de la protection contre les crues. L'IHMD peut être calculé à partir des valeurs hydrauliques déduites de la modélisation des débits des eaux moyennes au moyen de ces mêmes modèles, pour un coût supplémentaire limité.

Quelles sont les lacunes que vient combler l'IHMD?

L'IHMD permet de comparer quantitativement plusieurs variantes de projets d'aménagement des eaux du point de vue de l'amélioration de la diversité morphologique. Il ne s'agit pas d'un outil d'appréciation de l'état initial ou de suivi.

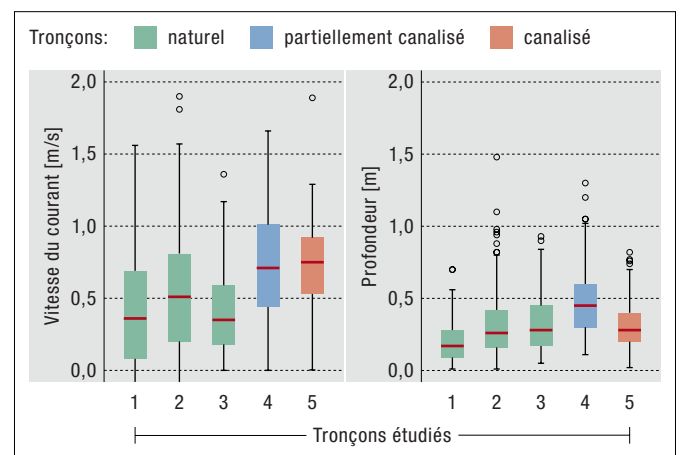


Fig. 2 Boxplots (diagramme des quantiles) présentant la vitesse du courant (à gauche) et la profondeur (à droite) des tronçons sélectionnés le long de la Singine (FR). La ligne rouge horizontale indique la valeur médiane. Les cases situées au-dessus et au-dessous comprennent au total 50% des données. Les tirets verticaux correspondent à deux écarts types. Les points figurant au-dessus de ces zones indiquent les valeurs dites aberrantes. Illustration d'après Walter Gostner

L'IHMD est défini de la manière suivante:

- > On procède d'abord à la modélisation bidimensionnelle du débit des eaux moyennes prévu juste après la réalisation du projet. Si le cours d'eau se trouve en situation d'équilibre dynamique, la composition des habitats reste constante même si, lorsque le débit structure lui-même le fond du lit, ils peuvent être déplacés. Les données d'entrée de la modélisation sont celles du modèle numérique de terrain pour les différentes variantes (y compris coefficient de rugosité) ainsi que le débit des eaux moyennes, qui doit être calculé ou peut être repris de l'une des courbes des débits disponibles pour le tronçon en question. Dans la plupart des cas, le modèle numérique existe déjà puisqu'il est utilisé pour le calcul du débit de crue.
- > On choisit ensuite, à partir des résultats de la modélisation, les vitesses du courant et les profondeurs à entrer dans les cellules du maillage du modèle numérique.
- > On calcule enfin les moyennes et les écarts types pour les valeurs hydrauliques – vitesse du courant et profondeur – ainsi que l'IHMD, d'après la formule ci-dessus.

Le calcul de l'IHMD pour l'état initial du tronçon permet d'évaluer l'ampleur de l'amélioration de la diversité morphologique prévue par les différentes variantes. Dans l'exemple de la figure 3, en comparaison avec l'état initial, la variante 1 ne permet qu'une petite amélioration. L'IHMD est nettement plus important dans la variante 2, mais la présence de rives consolidées empêcherait le développement complet d'habitats naturels. La variante 3 obtient l'IHMD le plus élevé et constitue le meilleur choix pour une revitalisation: elle produit une grande diversité d'habitats et stimule donc la biodiversité, à condition que la dynamique soit rétablie grâce au rééquilibrage du régime de charriage. On voit ainsi que l'IHMD per-

> **Tableau 1**

Résultats des observations sur le terrain au bord de la Singine (FR/BE)

Tronçon		(1) ramifié	(2) diva- guant	(3) ramifié	(4) part. endigué	(5) canalisé
Longueur	[m]	1850	770	620	685	940
Profil transversal		19	17	19	14	14
Distance profil transversal	[m]	100	48	10,4	53	72
Points		310	202	249	135	216
Débit Q	[m <sup>3</sup> /s]	2,30	2,93	3,19	5,65	5,81
Débit spécifique q	[l/s, km <sup>2</sup> ]	19,5	19,5	18,2	17,6	16,3

met d'évaluer les effets des différentes variantes sur l'hydromorphologie du cours d'eau.

#### Limites de l'application

Certains principes doivent être respectés lors de l'utilisation de l'IHMD pour que les projets d'aménagement des cours d'eau produisent des résultats à long terme. Il convient tout d'abord d'élaborer, pour les revitalisations, des idées directrices avec des objectifs clairement définis. Il s'agit notamment de déterminer si les caractéristiques morphologico-structurales du cours d'eau font obstacle à la réalisation de ces idées directrices. Si l'amointrissement de la biodiversité est dû à d'autres facteurs, p. ex. des apports d'éléments nutritifs ou de sédiments de l'agriculture, une pollution chimique ou la

> **Tableau 2**

Calcul de l'IHMD pour les tronçons sélectionnés le long de la Singine (FR/BE)

Tronçon		(1) ramifié, naturel	(2) divagant, naturel	(3) ramifié, naturel, peu endigué	(4) canalisé, partiellement endigué	(5) canalisé
Vitesse du courant	$\mu$ [m/s]	0,445	0,564	0,388	0,717	0,713
	$\sigma$ [m/s]	0,412	0,450	0,266	0,416	0,294
	$c_v$	0,93	0,80	0,69	0,58	0,41
	V(v)	3,71	3,23	2,84	2,50	1,99
Profondeur	$\mu$ [m]	0,196	0,319	0,314	0,461	0,306
	$\sigma$ [m]	0,131	0,222	0,184	0,219	0,149
	$c_v$	0,67	0,70	0,59	0,48	0,49
	V(t)	2,78	2,88	2,52	2,18	2,21
<b>IHMD</b>		<b>10,31</b>	<b>9,30</b>	<b>7,15</b>	<b>5,43</b>	<b>4,41</b>

fragmentation du cours d'eau, les mesures d'amélioration de la diversité morphologique ne suffiront pas à garantir le succès du projet (fiche 4 Connectivité des cours d'eau). Il doit donc y avoir une connectivité longitudinale, latérale et verticale pour que l'amélioration de la diversité morphologique se traduise par un accroissement de la biodiversité.

Le projet doit en outre étudier ou évaluer la dynamique du cours d'eau (fiche 1 Amélioration de la dynamique). Les cours d'eau dont la morphologie est diversifiée depuis longtemps se caractérisent par un équilibre dynamique. Lorsque le débit structure lui-même le fond du lit, de nouveaux habitats apparaissent régulièrement, mais il n'y a pas d'enfouissement ou d'atterrissement irréversibles. Pour pouvoir évaluer la stabilité temporelle des paramètres statistiques utilisés dans le calcul de l'IHMD, il faut étudier le régime de charriage et la dynamique des écoulements dans tout le bassin versant. Un apport insuffisant de charriage depuis l'amont associé à de fréquents pics de crues peut par exemple entraîner une limitation dans le temps des effets de l'amélioration ou de la restauration de la diversité morphologique. En effet, le bras principal s'enfonce du fait de l'accumulation des matériaux et, à long terme, la morphologie du cours d'eau s'appauvrit à nouveau. Les projets d'aménagement des eaux ne doivent donc pas se contenter d'améliorer la diversité morphologique, ils doivent aussi prévoir des mesures pour équilibrer le régime de charriage. C'est à cette seule condition que les services écosystémiques d'un cours d'eau peuvent être rétablis durablement.

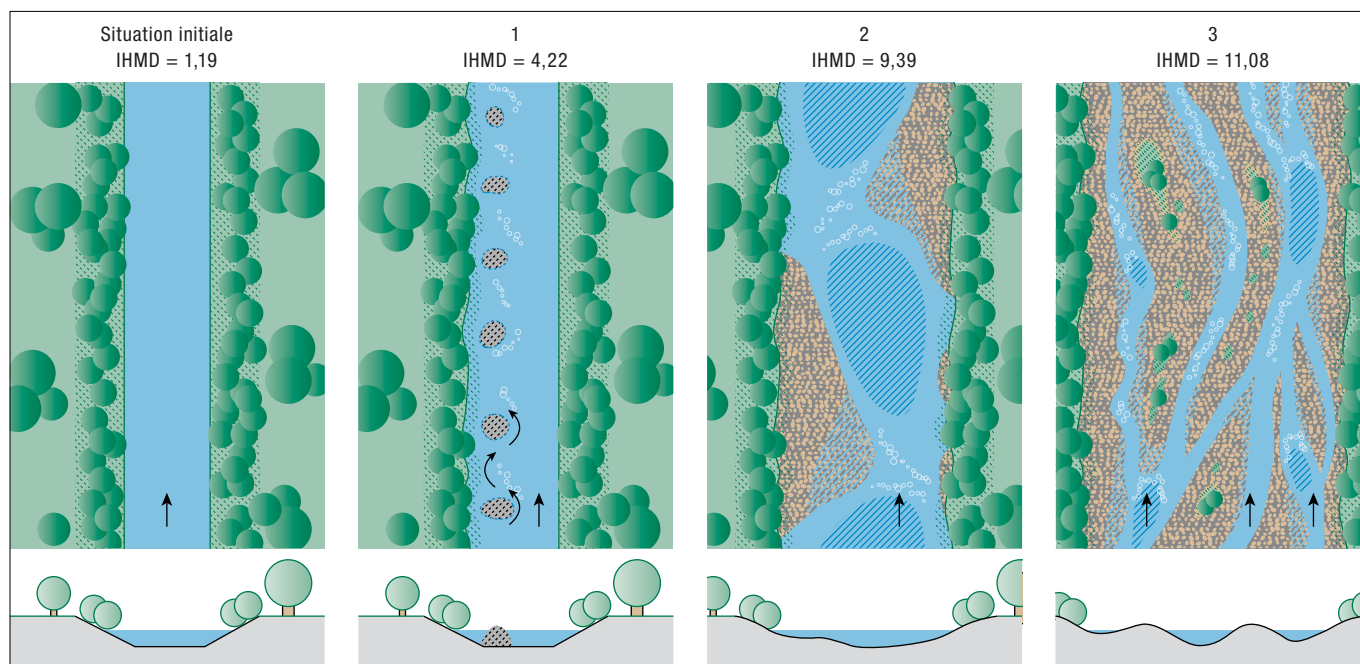


Fig. 3 Schéma des variantes envisageables pour une revitalisation avec indication de l'IHMD de chaque variante. De gauche à droite: situation initiale, variante 1 (fixation de pierres bétonnées), variante 2 (aménagement de bancs de gravier), variante 3 (rétablissement de la dynamique complète). Illustration d'après Walter Gostner

## Bibliographie

Gostner, W., Schleiss, A., 2011: Der hydromorphologische Index der Diversität – « eine Messlatte für das ökologische Potenzial von Hochwasserschutzprojekten ». *Eau énergie air*: 4/2011, p. 327–336

Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S., 2003: *Angewandte Fischökologie an Fließgewässern*. Facultas Universitätsverlag, Wien.

OFEFP, 1998: *Méthodes d'analyse et appréciation des cours d'eau en Suisse: Ecomorphologie niveau R (région)*. OFEFP, Berne.

OFEG, 2001: *Protection contre les crues des cours d'eau*. OFEG, Berne.

Schleiss, A., 2005: Flussbauliche Hochwasserschutzmassnahmen und Verbesserung der Gewässerökologie – Vorschlag eines hydraulisch-morphologischen Vielfältigkeitsindex. *Eau énergie air*: 7/8 2005, p. 195–199.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tieg, S., Tockner, K., Peter, A., 2005: *Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale*. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW ETHZ.

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fähr, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fähr, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Gostner, W., Schleiss, A., 2012: *Indice hydromorphologique de la diversité*. In: *Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau*, OFEV, Berne. Fiche 3.

### Conception et illustrations

[anamorph.ch](http://anamorph.ch): Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

## 4 > Connectivité des cours d'eau

Silke Werth, Maria Alp, Julian Junker, Theresa Karpati, Denise Weibel, Armin Peter, Christoph Scheidegger

*Les différents tronçons qui forment un cours d'eau font partie d'un tout et sont en interaction réciproque. Pour comprendre leurs interactions locales et régionales, il importe de disposer de connaissances sur la connectivité des milieux. Cette fiche décrit comment exploiter ces données dans le cadre des projets de revitalisation.*

### Connectivité des habitats

La connectivité désigne les processus d'échange et d'interaction qui s'opèrent entre les habitats aquatiques et/ou terrestres, p. ex. le transport d'eau, le charriage, l'énergie et les nutriments ainsi que le transport actif ou passif d'organismes. Nous considérons ici cette notion dans un sens plus étroit, concentré sur la propagation des organismes aquatiques, amphibiens et terrestres le long des cours d'eau. Nous distinguons en outre deux types de connectivité: la connectivité structurelle et la connectivité fonctionnelle. Les habitats sont interconnectés entre eux sur le plan structurel lorsque les organismes peuvent théoriquement se déplacer d'un biotope à un autre, notamment par des corridors, c'est-à-dire des structures paysagères étroites.

Ils sont considérés comme interconnectés sur le plan fonctionnel lorsque les organismes empruntent effectivement les corridors pour leurs déplacements et que l'on observe un flux génétique entre les populations. Les mesures de revitalisation visent à restaurer les fonctions naturelles des cours d'eau, et par là même leur interconnexion.

La connectivité longitudinale désigne les échanges entre l'amont et l'aval au sein d'un même bassin versant, ainsi qu'entre le cours d'eau principal et ses affluents (fig. 1, Uehlinger 2001). Les cours d'eau interconnectés longitudinalement assurent la diffusion de divers groupes d'organismes, la migration des poissons (p. ex. truite de lac, nase) et la dispersion de graines de plantes (p. ex. tamarin d'Allemagne). Ce type



Connectivité latérale avec les zones alluviales le long de l'Isar, à Moosburg (D).

Photo: Harald Matzke

d'interconnexion est également important pour les poissons qui ne migrent que sur de courtes distances (truite de rivière, chabot), ainsi que pour certains organismes aquatiques, amphibiens et terrestres, car le renouvellement des populations et le flux génétique entre les populations le long d'un cours d'eau et de ses affluents sont assurés. La connectivité longitudinale est donc essentielle pour le développement des populations et la survie de nombreux organismes.

La connectivité latérale désigne quant à elle les échanges entre le cours d'eau et les berges, les zones alluviales et les autres habitats terrestres, via les écotones (fig. 1). La connectivité latérale des cours d'eau avec les habitats terrestres des berges et les autres environnements est essentielle pour les amphibiens, les arthropodes et les insectes aquatiques, qui ont besoin de plusieurs habitats pour accomplir leur cycle de vie. Les réseaux trophiques terrestres et aquatiques sont par ailleurs interdépendants. L'interruption de la connectivité latérale a ainsi des conséquences négatives pour bon nombre d'organismes, pour les espèces prédatrices (oiseaux, poissons, invertébrés, etc.) comme pour les espèces qui se nourrissent des feuilles provenant de la végétation des berges (gammare, p. ex.).

Enfin, la connectivité verticale désigne les interactions entre le cours d'eau et sa zone hyporhéique, ainsi qu'entre le lit et les biocénoses aquatiques de pleine eau (fig. 1). La connectivité verticale est importante pour la préservation des eaux souterraines, ainsi que pour le développement de divers organismes, notamment des poissons et des invertébrés.

### Flux génétique et modèles de populations

La connectivité influence le flux génétique entre les populations (fig. 2). Il y a flux génétique lorsque des individus se reproduisent au sein de la population qu'ils ont rejointe au terme de leur migration, contribuant ainsi au pool génétique (somme des génotypes). Dans bon nombre de cas, aucun flux génétique ne s'opère dans la mesure où les espèces repartent ou meurent avant qu'il n'y ait eu reproduction. Comme les espèces ont des capacités de propagation différentes et sélectionnent plus ou moins spécifiquement leur habitat, des modèles théoriques ont été développés pour classer les populations (tab. 1). Ces modèles ne sont pas figés et peuvent varier pour une même espèce. Certaines espèces forment ainsi des populations en interaction dans certaines zones de leur aire de répartition, tandis qu'ailleurs, elles constituent des effectifs isolés ou des métapopulations (p. ex. tamarin d'Allemagne).

### Barrières

En Suisse, la connectivité des cours d'eau est entravée par des barrières naturelles ou anthropiques (Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble). La mesure dans laquelle une structure constitue une barrière biologique dépend de l'espèce. Si un barrage de plusieurs mètres de haut peut être franchi sans

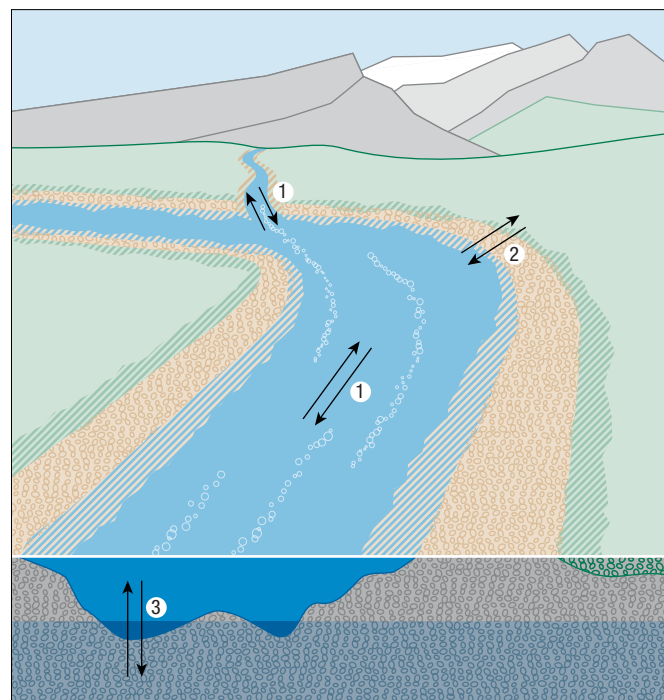


Fig. 1 La connectivité. 1: connectivité longitudinale entre les tronçons du cours d'eau principal et entre le cours d'eau principal et ses affluents; 2: connectivité latérale entre les écosystèmes terrestres et aquatiques; 3: connectivité verticale entre le fond du lit et la zone hyporhéique. Illustration d'après Malmqvist 2002

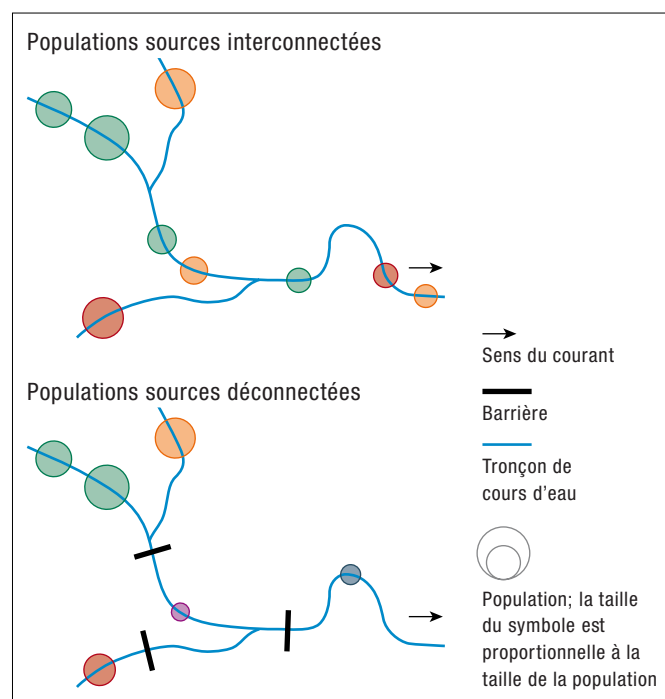


Fig. 2 Impact de la connectivité sur la taille et la composition génétique des populations locales chez un modèle source. Les effectifs ayant une différenciation génétique sont indiqués par des couleurs différentes. Illustration d'après Silke Werth

problème par les insectes aquatiques ailés à l'âge adulte, il constitue un obstacle à la migration de montaison des poissons et des invertébrés aquatiques non ailés tels que les gammarus et les bivalves (fiche 6 Franchissabilité des rampes en enrochements). Certains types de barrières entravent également la dérive vers l'aval, c'est-à-dire le transport passif d'organismes par l'eau. La dérive constitue un mode de propagation important pour le macrozoobenthos et influe sur la répartition des poissons. Après un épisode de crue, elle est responsable du peuplement de sites situés en aval et agit sur le développement et la structuration des biocénoses du macrozoobenthos. Des effets de barrière peuvent se manifester autrement que par des barrières physiques, par exemple en raison de situations particulières dans le cours d'eau (débit insuffisant ou courant important). Les barrages et les tronçons canalisés sans zones alluviales ni plages de graviers peuvent constituer des bar-

rières pour les organismes terrestres, et entraver leur propagation et leur flux génétique.





#### Distance et effet de diffusion

La distance entre les habitats constitue une barrière pour bon nombre d'espèces à dissémination limitée. Si elle n'est pas infranchissable, cette barrière n'en constitue pas moins un obstacle. Elle peut poser problème aux espèces endémiques qui peuplent des habitats rares. Le tamarin d'Allemagne est tributaire d'une mosaïque de bancs de graviers déposés par des crues à taux de retour différents et de certains stades de succession de la végétation. Or ce type d'habitat tend à se raréfier le long des cours d'eau modifiés par l'homme. Les mesures de revitalisation ne sont efficaces pour le tamarin d'Allemagne que si elles sont mises en œuvre à proximité des populations sources.

#### > Tableau 1

Modèles de populations pour les organismes terrestres et aquatiques des cours d'eau.

Illustrations: Tero *et al.* (2003) et Pollux *et al.* (2009)

Modèle	Illustration	Caractéristiques	Exemples	Priorité des mesures
Populations isolées		Les populations sont tellement isolées qu'il n'y a pas de flux génétique. Ce modèle de population vaut pour les espèces rares dont on ne relève pas d'effectifs au niveau des cours d'eau.	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Tamarin d'Allemagne (<i>Myricaria germanica</i>) sur le Plateau suisse</li> <li>&gt; Criquet des iscles (<i>Chorthippus pullus</i>) le long du Rhin antérieur</li> <li>&gt; Truite de rivière (<i>Salmo trutta fario</i>) dans des affluents non reliés au cours d'eau principal</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conservation des espèces sur les sites où il en subsiste des effectifs</li> <li>2. Repeuplement des habitats appropriés, uniquement s'ils subsistent et uniquement avec des organismes locaux</li> </ol>
Populations spatialement structurées		Les individus des espèces appartenant à ce modèle se déplacent essentiellement entre des effectifs occupant des zones contiguës. On observe une structure génétique différente selon les tronçons.	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gammarus (<i>Gammarus fossarum</i>) et chabot (<i>Cottus gobio</i>) le long de la Singine (BE/FR)</li> <li>&gt; Peuplier noir (<i>Populus nigra</i>) sur le Plateau suisse</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Préservation et conservation des effectifs tout le long du cours d'eau</li> <li>2. Amélioration de la connectivité longitudinale</li> </ol>
Métapopulations		<p>Les métapopulations se caractérisent par la disparition d'anciens effectifs et la naissance de nouvelles populations (en haut). L'effectif des populations créées doit être supérieur à celui des populations perdues pour que l'espèce ne s'éteigne pas localement.</p> <p>Chez les espèces se propageant par l'eau, la dispersion peut s'effectuer davantage vers l'aval (en bas). Il convient alors de protéger les populations sources sur les cours supérieurs des cours d'eau.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Tamarin d'Allemagne (<i>Myricaria germanica</i>) le long du Rhin antérieur et du Rhin alpin (GR/SG)</li> <li>&gt; Petite massette (<i>Typha minima</i>) dans le delta du Rhin</li> <li>&gt; Chondrille faux préranthe (<i>Chondrilla chondrilloides</i>)</li> <li>&gt; Criquet des iscles (<i>Chorthippus pullus</i>)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Préservation des plus grands effectifs possibles</li> <li>2. Mise en œuvre de mesures de revitalisation à proximité des effectifs existants</li> <li>3. Contrôle et, le cas échéant, amélioration de la connectivité longitudinale</li> <li>4. Contrôle et, le cas échéant, amélioration de la dynamique du cours d'eau</li> <li>5. Préservation et, le cas échéant, conservation des populations sources</li> </ol>
Populations groupées		Les espèces appartenant à ce modèle se propagent facilement et peuvent s'établir sur des sites très éloignés de leur point de départ. Elles voient leurs effectifs augmenter si des mesures de revitalisation sont menées, y compris à une grande distance des effectifs existants.	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Saule pourpre (<i>Salix purpurea</i>)</li> <li>&gt; Saule blanc (<i>Salix alba</i>)</li> <li>&gt; Ephémère (<i>Baetis rhodani</i>) le long de la Singine (BE/FR)</li> <li>&gt; Peuplier noir (<i>Populus nigra</i>) le long du Rhône (VS)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Préservation d'habitats intacts</li> <li>2. Mise en œuvre de mesures d'amélioration de la qualité des habitats si celle-ci est insuffisante</li> </ol>

On appelle effet de diffusion l'influence positive exercée par une zone de diffusion sur les eaux environnantes. Une zone de diffusion est un tronçon de cours d'eau abritant des biocénoses et/ou des populations sources qui colonisent les habitats contigus lorsque ceux-ci sont appropriés (fig. 2). Le trajet de dissémination des organismes est aussi appelé trajet de diffusion. Il est plus long dans les cours d'eau interconnectés, les organismes pouvant se déplacer sur de plus grandes distances.

### Modification temporelle de la connectivité

La connectivité des cours d'eau peut se modifier en cours d'année en fonction du débit. En cas d'assèchement d'un tronçon p. ex., que ce soit de façon naturelle ou anthropique (irrigation ou production d'énergie), la connectivité n'est plus garantie pour les organismes aquatiques. Si cet épisode survient en période de dissémination des organismes aquatiques, il ne pourra pas y avoir création de nouvelles populations. Le développement des populations s'en trouvera donc entravé, surtout s'il s'agit de métapopulations. Dans un cas extrême, cela peut entraîner à long terme l'extinction d'une espèce dans un bassin versant.

### Populations isolées

Les barrières ont une incidence sur le flux génétique des espèces aquatiques et terrestres. Lorsque le flux génétique est entravé sur plusieurs générations, les populations partielles se retrouvent isolées. Il peut en résulter un appauvrissement de la diversité génétique, notamment chez les espèces comptant de petites populations. Pour les grandes populations, il faut généralement attendre plusieurs générations avant qu'une différenciation génétique se produise ou que la diversité génétique diminue (Hartl et Clark 1997).

### Espèces aquatiques le long de la Singine

Trois espèces aquatiques aux stratégies de propagation différentes ont été observées le long de la Singine (BE/FR) (fig. 3):

- > Ephémère (*Baetis rhodani*): à l'état larvaire, elle se propage comme le gammare; au stade adulte, l'insecte ailé peut voler et franchir les obstacles.
- > Gammare (*Gammarus fossarum*): crustacé qui parcourt de petites distances en rampant (montaison et avalaison) ou en se laissant dériver (avalaison).
- > Chabot (*Cottus gobio*): poisson qui nage activement mais qui ne peut franchir des obstacles de plus de 0,5 m de haut (p. ex. seuils artificiels).

Le flux génétique entre les populations du chabot ou du gammare est moindre qu'entre les populations de l'éphémère (fig. 4), qui constitue le long de la Singine une population homogène dont la propagation ne semble pas être entravée. Le flux génétique élevé entre ses populations reflète sa structure génétique (fig. 4, A).



Fig. 3 Espèces dont le profil génétique a été étudié. A1: larve d'éphémère (*Baetis rhodani*); A2: insecte adulte ailé (photos: Maria Alp); B: gammare (*Gammarus fossarum*; photo: Maria Alp); C: chabot (*Cottus gobio*; photo: Jeannette Gantenbein); D: criquet des iscles (*Chorthippus pullus*; photo: Theresa Karpati); E: tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*; photo: Silke Werth)



Les barrières érigées au cours des cent dernières années le long de la Singine ont eu un impact sur la structure génétique des populations de chabots (fig. 4,B). Elles entravent surtout la montaison et induisent un appauvrissement génétique en amont des barrières ainsi qu'une différenciation des populations selon un gradient amont-aval.

L'impact des barrières ne semble pas notable chez le gammare, dont la structure génétique est davantage marquée par la distance géographique (fig. 4,C).

Le gammare et le chabot constituent le long de la Singine des populations spatialement structurées. La différenciation génétique de populations cohabitant à proximité les unes des autres est moindre que celle observée entre des populations plus éloignées, ce qui indique une faible capacité de propagation pour ces espèces.

### Espèces terrestres le long de l'Isar

Deux espèces terrestres aux stratégies de propagation différentes ont été observées sur le cours supérieur de l'Isar, dans le sud de l'Allemagne (fig. 3):

- > Criquet des iscles (*Chorthippus pullus*): espèce animale menacée d'extinction en Suisse, à faible capacité de propagation (ailes courtes).
- > Tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*): espèce végétale qui se développe sur des bancs de graviers et dans les zones alluviales le long des cours d'eau et qui est tributaire d'écosystèmes dynamiques. Elle se reproduit par semis naturel des graines, dispersées par le vent ou par l'eau. L'espèce est potentiellement menacée en Suisse.

Le lac de retenue de l'Isar et le lac d'accumulation de Sylvenstein entravent le flux génétique entre les populations de criquets des iscles vivant en amont et en aval des retenues (fig. 5).

Entre 1949 et 1990, le tronçon situé entre les deux lacs s'est retrouvé à sec chaque été en raison d'opérations de dérivation. Un flux génétique a pourtant été observé à cet endroit sur de longues distances, preuve que les faibles débits ont assuré la connectivité des sites terrestres et donc le mélange des populations de criquets des iscles.

Dans le cas du tamarin d'Allemagne, on observe une nette différenciation génétique des populations entre l'amont et l'aval des retenues (fig. 5). Celles-ci constituent en effet une barrière importante pour cette espèce, qui présente pourtant un fort potentiel de propagation (dispersion des graines par le vent et l'eau). Si le tronçon canalisé offre moins d'habitats adaptés pour le tamarin d'Allemagne, il n'entrave pas sa dispersion.

### Amélioration de la connectivité

L'amélioration de la connectivité des habitats fluviaux passe par une restauration de la dynamique naturelle des débits et du régime de charriage des cours d'eau. Il importe notamment de ménager un plus grand espace le long des cours d'eau pour favoriser les processus naturels et garantir un charriage suffisant. Le régime de charriage peut notamment être amélioré par la suppression de barrières ou la mise en place d'autres mesures (fiche 1 Amélioration de la dynamique).

Le tableau 2 recense des mesures d'amélioration de la connectivité des cours d'eau. Lors de la planification des mesures de revitalisation, la distance par rapport aux populations sources des organismes cibles et la taille des populations doivent notamment être prises en compte. Les aires revitalisées ne pourront être repeuplées avec succès que si elles ne se situent pas au-delà de la distance de propagation maximale des populations cibles. A noter que les distances de propagation varient considérablement d'une espèce à l'autre (tab. 3).

### > Tableau 2

Mesures d'amélioration de la connectivité

Objectif	Mesure	A prendre en compte	Espèces bénéficiaires
Connectivité longitudinale	Remplacement des ouvrages transversaux par des rampes en enrochements; revitalisation de tronçons; restauration de la connexion des affluents	Déclivité; interconnexion avec des tronçons naturels	> Poissons > Macrozoobenthos > Espèces vivant dans les zones alluviales et les bancs de gravier > Homme
Connectivité latérale	Restauration de l'état naturel des rives et des sites aquatiques proches des rives; suppression des aménagements; restauration des zones alluviales	Espace ménagé le long du cours d'eau	> Poissons > Macrozoobenthos > Espèces vivant dans les zones alluviales et les bancs de gravier > Homme
Connectivité verticale	«Ecoulement écologique» des eaux résiduelles; suppression des lits artificiels	Ecoulement dynamique; espace ménagé le long du cours d'eau	> Poissons > Macrozoobenthos > Plantes aquatiques > Ev. espèces typiques des zones humides

### Recommandations pratiques

Il est possible d'améliorer la connectivité longitudinale dans le cadre de mesures de revitalisation en reliant les aires revitalisées à des tronçons naturels ou quasi-naturels de cours d'eau. Les ouvrages transversaux peuvent par ailleurs être remplacés par des rampes en enrochements afin de rétablir la migration des poissons et des autres organismes aquatiques sur certains tronçons (fiche 6 Franchissabilité des rampes en enrochements). L'interconnexion des affluents à un cours d'eau principal présentant une structure naturelle (fiche 5 Elargissement local des embouchures) est importante car elle permet d'accroître rapidement le nombre d'espèces aquatiques. Suite aux mesures de revitalisation réalisées au niveau de l'embouchure du Binnenkanal, au Liechtenstein (restauration de la connectivité du canal avec le Rhin alpin [GR/SG]), le nombre d'espèces de poissons est ainsi passé de 6 à 16.

Les revitalisations doivent par ailleurs viser la mise en réseau des zones alluviales. Les besoins en termes d'habitats doivent être pris en compte: au cours de leur cycle de vie, bon nombre d'espèces s'établissent sur différents habitats, généralement contigus. Les amphibiens p. ex. ont besoin de bras morts pour frayer et pour la croissance des juvéniles, mais s'établissent sur d'autres sites en dehors des périodes de reproduction. La rainette séjourne ainsi habituellement dans des zones buissonneuses après la ponte des œufs.

Il est possible d'améliorer la connectivité latérale en ménageant plus d'espace le long des cours d'eau, qui retrouvent

### > Tableau 3

Distance maximale de propagation des différents groupes d'espèces (Werth *et al.* 2011)

Catégorie	Groupe d'espèces	Distance max.
Amphibiens	Grenouilles, crapands et sonneurs	1 à 4 km
Amphibiens	Tritons	0,5 à 1 km
Poissons	Cyprinidés	58 à 446 km
Poissons	Salmonidés	126 km
Insectes	Sauterelles	1 km
Insectes	Libellules	5 km
Mollusques	Escargots	10 km
Mollusques	Bivalves	0,9 à 3 km
Plantes	Plantes à fleurs	8 à 50 km

ainsi leur dynamique naturelle (fiche 1 Amélioration de la dynamique), et en restaurant l'état naturel des berges (p. ex. en supprimant les structures en béton et les aménagements latéraux). Les bancs de gravier et les forêts alluviales doivent également être restaurés. Au-delà de la zone dynamique du cours d'eau, la végétalisation des rives constitue une solution. Selon le site considéré, on peut envisager une mosaïque de surfaces cultivées de façon extensive et de surfaces végétalisées. La délimitation d'un espace suffisant le long du cours d'eau, avec une bande de rive non exploitée ou exploitée de

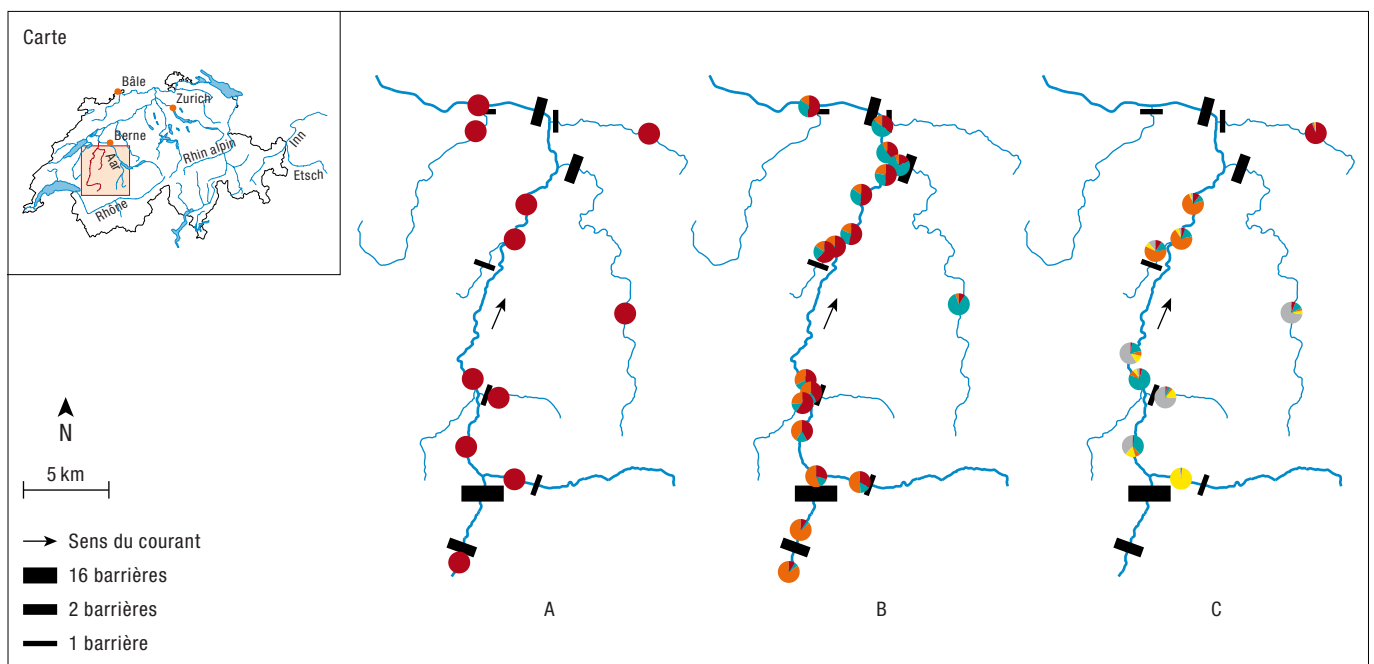


Fig. 4 Structure des populations des espèces aquatiques observées le long de la Singine (BE/FR). Les barrières sont représentées par des bâtons noirs. Les cercles de couleur indiquent les groupements génétiques des effectifs étudiés. A: éphémère, B: chabot, C: gammare. Illustration d'après Sonia Angelone

façon extensive, permet p. ex. d'améliorer la connectivité entre les habitats aquatiques et terrestres.

Enfin, la connectivité verticale peut être améliorée par des mesures de restauration d'un régime de charriage naturel et de prévention du dépôt de sédiments fins sur le fond du lit, qui réduit la perméabilité de ce dernier et empêche les échanges avec la zone hyporhéique. Sur les cours d'eau dont le régime est modifié du fait de la présence d'une centrale hydroélectrique sur le cours supérieur et qui charrient donc une proportion trop élevée de sédiments fins, on pourra envisager le déclenchement de « crues artificielles ». Il faudra alors veiller – comme pour les cours d'eau naturels – à ce que le niveau d'eau monte et redescende lentement. Les cours d'eau dont le lit a été bétonné devront quant à eux être libérés de leur corset afin qu'il puissent à nouveau charrier des matériaux et qu'une connectivité verticale soit rétablie avec la zone hyporhéique. Ces mesures peuvent améliorer le régime hydrique entre les cours d'eau et les terres environnantes et contribuer à l'accroissement des effectifs d'espèces comme la truite de rivière, qui fraie dans les lits graveleux.

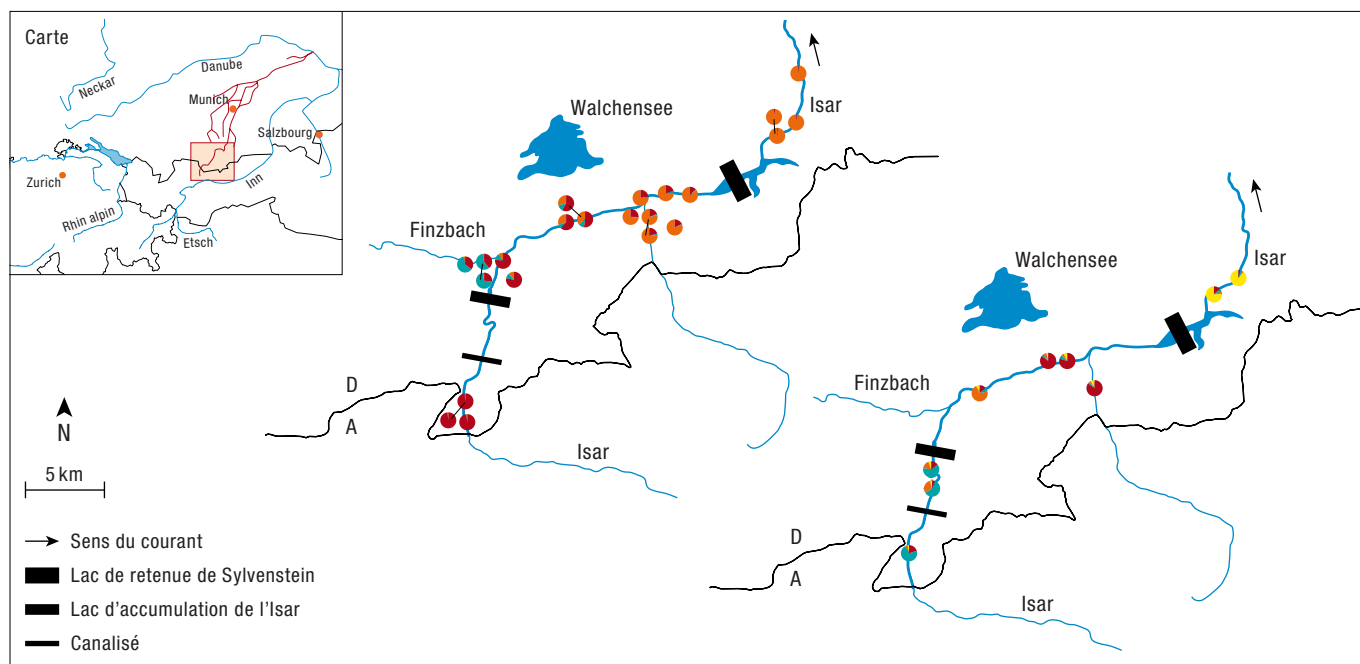


Fig. 5 Structure des populations des espèces terrestres observées le long de l'Isar, à la frontière entre l'Allemagne (D) et l'Autriche (A). Les barrières sont représentées par des bâtons noirs. Les cercles de couleur indiquent les groupements génétiques des effectifs étudiés. A gauche: criquet des iscles, à droite: tamarin d'Allemagne. Illustration d'après Sonia Angelone

## Bibliographie

Benda, L., Poff, LN., Miller, D., Dunne, T., Reeves, G., Pess, G., Pollock, M., 2004: The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. *BioScience* 54(4): p. 413–427.

Hartl, DL., Clark, AG., 1997: Principles of population genetics. Sinauer Associates, Sunderland.

Malmqvist, B., 2002: Aquatic invertebrates in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47: p. 679–694.

Pollux, BJA., Luteijn, A., Van Groenendael, JM., Ouborg, NJ., 2009: Gene flow and genetic structure of the aquatic macrophyte *Sparganium emersum* in a linear unidirectional river. *Freshwater Biology* 54: p. 64–76.

Tero, N., Aspi, J., Siikamäki, P., Jakalanemi, A., Tuomi, J., 2003: Genetic structure and gene flow in a metapopulation of an endangered plant species, *Silene tatarica*. *Molecular Ecology* 12: p. 2073–2085.

Uehlinger, U., 2001: Du tronçon de cours d'eau au bassin hydrographique. L'importance écologique de l'hétérogénéité spatiale et temporelle. *Eawag News* 51: p. 16–17, Internet: [www.eawag.ch/publications/eawagnews/www\\_en51/en51f\\_pdf/en51f\\_uehl.pdf](http://www.eawag.ch/publications/eawagnews/www_en51/en51f_pdf/en51f_uehl.pdf)

Werth, S., Weibel, D., Alp, M., Junker, J., Karpati, T., Peter, A., Scheidegger, C., 2011: Lebensraumverbund Fließgewässer: Die Bedeutung der Vernetzung. *Eau énergie air*: 3/2011, p. 224–234.

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fähr, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fähr, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Référence bibliographique

Werth, S., Alp, M., Junker, J., Karpati, T., Weibel, D., Peter, A., Scheidegger, C., 2012: Connectivité des cours d'eau. In: Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, OFEV, Berne. Fiche 4.

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Conception et illustrations

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

## 5 > Elargissement local des embouchures

Marcelo Leite Ribeiro, Koen Blanckaert, Jean-Louis Boillat et Anton Schleiss

*Lorsque les zones de confluence de deux cours d'eau ont une morphologie proche de l'état naturel, la connectivité des cours d'eau est maximale. La présente fiche explique comment l'élargissement local des embouchures accroît la diversité des habitats et la connectivité longitudinale des cours d'eau. Ces mesures sont souvent peu onéreuses car elles ne sont mises en œuvre que localement.*

### Diminution de l'interconnexion des cours d'eau canalisés

Dans les régions alpines, la correction des cours d'eau a souvent transformé en canaux les grands cours d'eau avec leurs multiples affluents et leurs bancs alternants. La plupart des cours d'eau corrigés, comme le cours supérieur du Rhône en Suisse, présentent en effet une diversité structurelle insuffisante: on n'y observe plus ni bancs de gravier, ni îles, ni alternance de tronçons à fort et à faible débit. Les cours d'eau principaux et les embouchures de leurs affluents ont été aménagés et canalisés. Sur le Rhône par exemple, de nombreux affluents ont été transformés en canaux au fond plat avec des murs de rives, qui pénètrent perpendiculairement ou inclinés dans le fleuve avec un seuil artificiel. L'objectif de ces

travaux était d'optimiser le régime de charriage des affluents du Rhône. Or, ces interventions ont fortement réduit la connectivité des cours d'eau et leur valeur écologique. Une étude portant sur 21 points de confluence avec le Rhône a démontré que leur écomorphologie et leur connectivité longitudinale sont insuffisantes (fig. 1; Bourgeois 2006). Le potentiel de revitalisation est important: grâce à la mise en œuvre de mesures locales, ces embouchures peuvent retrouver leur morphologie et leur connectivité d'origine.



Confluence de la Borgne avec le Rhône (VS).

Photo: Marcelo Leite Ribeiro

### Une petite intervention pour de grands résultats

A l'état naturel, les embouchures sont les points névralgiques des cours d'eau.

- > Du point de vue hydrologique: la dynamique complexe des cours d'eau et les différents régimes de charriage créent des zones d'alluvions et d'érosion, qui évoluent régulièrement avec les crues.
- > Du point de vue écologique: pour les cours d'eau, il est important que soient garanties la connectivité latérale et la connectivité longitudinale, ainsi que le charriage de matériaux et d'alluvions. Dans une zone de confluence se développent, sur un espace restreint, des écosystèmes très variés que l'on ne retrouve nulle part ailleurs. Ces spécificités sont dues aux interactions entre les débits, les régimes de charriage, l'apport d'alluvions et la morphologie.
- > Du point de vue paysager: les embouchures constituent des repères importants dans les paysages fluviaux. Lorsque leur état naturel est conservé ou restauré, elles constituent souvent des zones de détente appréciées.

Un projet de revitalisation ne peut pas atteindre pleinement son but écologique si la connectivité latérale et la connectivité longitudinale sont interrompues (fiche 4 Connectivité des cours d'eau). Des mesures prises à petite échelle sur un confluent peuvent ainsi avoir un impact positif sur une large zone du cours d'eau principal, voire sur l'ensemble du bassin versant (fig. 2, encadré 1).

### Elargissement des embouchures

Face à la méconnaissance des processus hydrodynamiques et morphologiques aux points de confluence des cours d'eau alpins présentant un fort régime de charriage, des modélisations ont été élaborées dans le cadre du projet « Gestion intégrale des zones fluviales ». L'étude a porté sur les interactions entre l'espace ménagé au niveau des embouchures, le régime de charriage et la morphologie. Les chercheurs ont notamment analysé les différences de morphologie en fonction de l'élargissement des embouchures et du débit (cours d'eau secondaires et principaux). Ils se sont basés sur un élargissement rectangulaire de longueur  $L_w$ , dans le sens du courant, et de largeur  $B_w$ , fonction de la largeur  $B_i$  de l'affluent (fig. 3) où:

- >  $L_w = 3 \cdot B_i$  et  $B_w = 2 \cdot B_i$  (petit élargissement)
- >  $L_w = 3 \cdot B_i$  et  $B_w = 3 \cdot B_i$  (moyen élargissement)
- >  $L_w = 4 \cdot B_i$  et  $B_w = 3 \cdot B_i$  (grand élargissement)

Les résultats ont mis en évidence une morphologie diversifiée dès le petit élargissement (fig. 4). Dans le cours d'eau principal, les chercheurs n'ont pas constaté de dépôts sédimentaires néfastes directement à la sortie de l'affluent. Par conséquent, l'élargissement des embouchures n'accroît pas le danger lié

### > Encadré 1: Objectifs écologiques réalisables grâce à l'élargissement local des embouchures

#### Accroissement de la variabilité de la profondeur de l'eau, de la vitesse d'écoulement et du substrat:

- > en développant des habitats (invertébrés, poissons, plantes, etc.)
- > en créant des refuges utilisables en cas de crue et d'exploitation par éclusées

#### Aménagement des berges:

- > en renforçant la diversité des espèces animales et végétales
- > en créant des centres de biodiversité

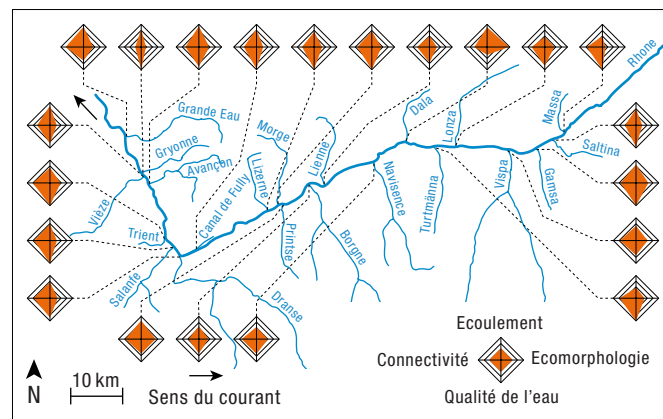


Fig. 1 Etat des lieux des affluents du Rhône en fonction des critères suivants: écoulement, écomorphologie, qualité de l'eau et connectivité longitudinale (CH), d'après Bourgeois (2006). La zone orange indique l'état actuel par rapport à un état sans atteinte (carré). Illustration d'après Bourgeois 2006

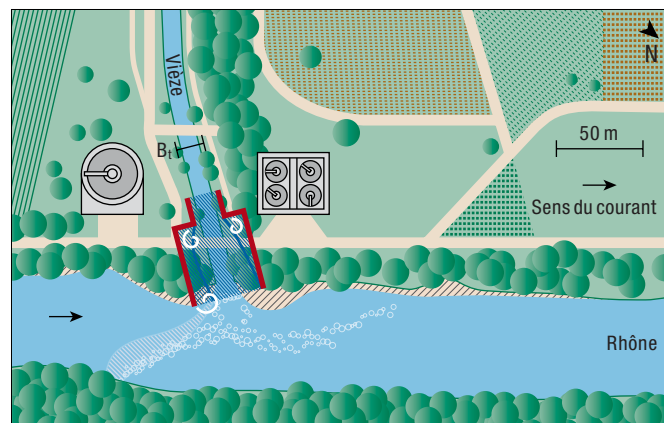


Fig. 2 Elargissement d'une embouchure (Vièze et Rhône, VS).  $B_i$ : largeur du cours d'eau. Illustration d'après Marcelo Leite Ribeiro

aux crues dans le cours d'eau principal. Cela est dû aux conséquences mêmes de l'élargissement: la capacité limitée de charriage est rapidement compensée par un léger rehaussement du fond du lit et le déplacement du chenal du canal principal.

L'élargissement d'une embouchure peut créer un angle naturel de confluence. Sur les cours d'eau secondaires alpins, cet angle est de 60 à 80 degrés. Lorsqu'une embouchure est canalisée, les modélisations laissent apparaître un net déplacement du fond du lit entre le cours d'eau principal et son affluent. Ce phénomène, qui s'observe aussi à l'état naturel sans qu'il y ait eu construction d'un seuil, entrave fortement la connectivité longitudinale des cours d'eau. Lorsque le débit de crue est suffisamment important pour modeler le lit du cours d'eau (débit entre  $HQ_2$  et  $HQ_5$ ), le fond du lit se déplace malgré l'élargissement de l'embouchure. En revanche, lorsque les débits de crue sont faibles, il se crée dans l'embouchure un flux qui améliore considérablement la connectivité longitudinale jusqu'à la rendre pratiquement optimale. Lorsque les débits sont élevés (1<sup>er</sup> cas), il se crée dans l'embouchure un couloir de débit principal, des bancs de sable et de gravier émergés ainsi que des zones d'eaux stagnantes. Les différents débits et profondeurs (fig. 4) améliorent considérablement la diversité des habitats. En cas de crue du cours d'eau principal, les bancs de sable et de gravier de l'embouchure sont régulièrement recouverts par les eaux.

L'élargissement local d'un affluent dans sa zone de confluence accroît donc la variabilité des paramètres nécessaires à la restauration des habitats, tels que la profondeur de l'eau (fig. 4), la vitesse d'écoulement et le substrat du fond du lit (fig. 3).

### Recommandations pratiques

L'élargissement des embouchures est une mesure intéressante dans le cadre d'un projet de revitalisation: il permet en effet de restaurer la diversité des structures morphologiques tout comme la connectivité des cours d'eau. De plus, cette mesure est relativement peu coûteuse car elle est mise en œuvre localement.

Les modélisations permettent de formuler les recommandations suivantes:

- > Un élargissement de 3 fois la largeur de l'affluent ( $B_w = 3 \cdot B_i$ ) sur 4 fois la largeur de l'affluent ( $L_w = 4 \cdot B_i$ ) est suffisant pour atteindre les objectifs de revitalisation. Cette modification n'accroît pas le danger dû aux crues du cours d'eau principal.
- > Les expériences en laboratoire n'ont porté que sur des élargissements simples, de forme rectangulaire. Bien que les résultats soient déjà positifs, un élargissement en trapèze s'avère plus fonctionnel (Bidaud 2010).

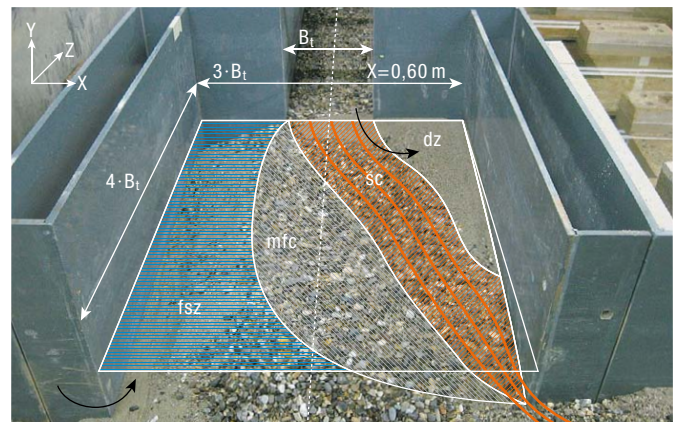


Fig. 3 Observation, dans le cadre d'une modélisation, du développement morphologique d'une zone de confluence élargie (éléments de calcul voir p. 2;  $B_i$ : largeur du cours d'eau). On constate l'apparition de bancs de sable et de gravier fin (dz) qui émergent ici et là, d'une zone d'eaux dormantes (fsz), d'un corridor d'évacuation (mfc) ainsi que d'une zone de transport des sédiments (sc). Illustration d'après Leite Ribeiro et al. 2011

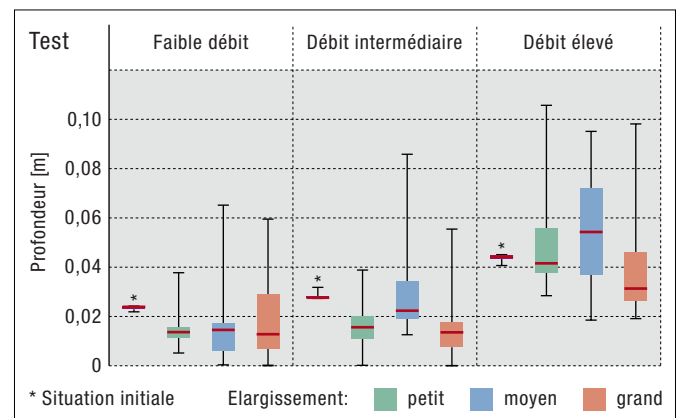


Fig. 4 Différences de profondeurs au point de confluence d'un cours d'eau et de son affluent. Comparaison entre trois types d'élargissement différents (petit, moyen, grand) pour trois types de débit différents (faible, intermédiaire, élevé; défini par le rapport entre le débit de l'affluent  $Q_i$  et celui du cours d'eau principal  $Q_m$ :  $Q_i/Q_m = 0,11$  (faible),  $0,15$  (intermédiaire) et  $0,20$  (élevé). Illustration d'après Leite Ribeiro et al. 2011

- > Dans les affluents canalisés, des dépotoirs à alluvions ont souvent été construits afin de limiter le charriage des alluvions et de renforcer la protection contre les crues. Dans ce cas, il convient de contrôler les mesures qui restaurent le régime de charriage correspondant à la dynamique morphologique du débit.

## Bibliographie

Benda, L., Poff, LN., Miller, D., Dunne, T., Reeves, G., Pess, G., Pollock, M., 2004: The Network Dynamics Hypothesis: How Channel Networks Structure Riverine Habitats. *BioScience* 54(4): p. 413–427.

Bidaud, L., 2010: Etude morphologique de confluences alpines. Application à la jonction du Rhône et de la Borgne, Travail de master, LCH-EPFL.

Bourgeois, M., 2006: Accroissement de la valeur naturelle de la vallée du Rhône par un raccordement optimal des affluents du Rhône, Travail de master, LCH-EPFL.

Leite Ribeiro, M., Blanckaert, K., Boillat, J.-L., Schleiss, A., 2011: Elargissement local de l'affluent dans une zone de confluence – Comportement morphologique et potentiel écologique. *Eau énergie air*: 3/2011, p. 235–242.

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fähr, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fähr, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Leite Ribeiro, M., Blanckaert, K., Boillat, J.-L., Schleiss, A., 2012:

Elargissement local des embouchures. In: Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, OFEV, Berne. Fiche 5.

### Conception et illustrations

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV



## 6 > Franchissabilité des rampes en enrochements

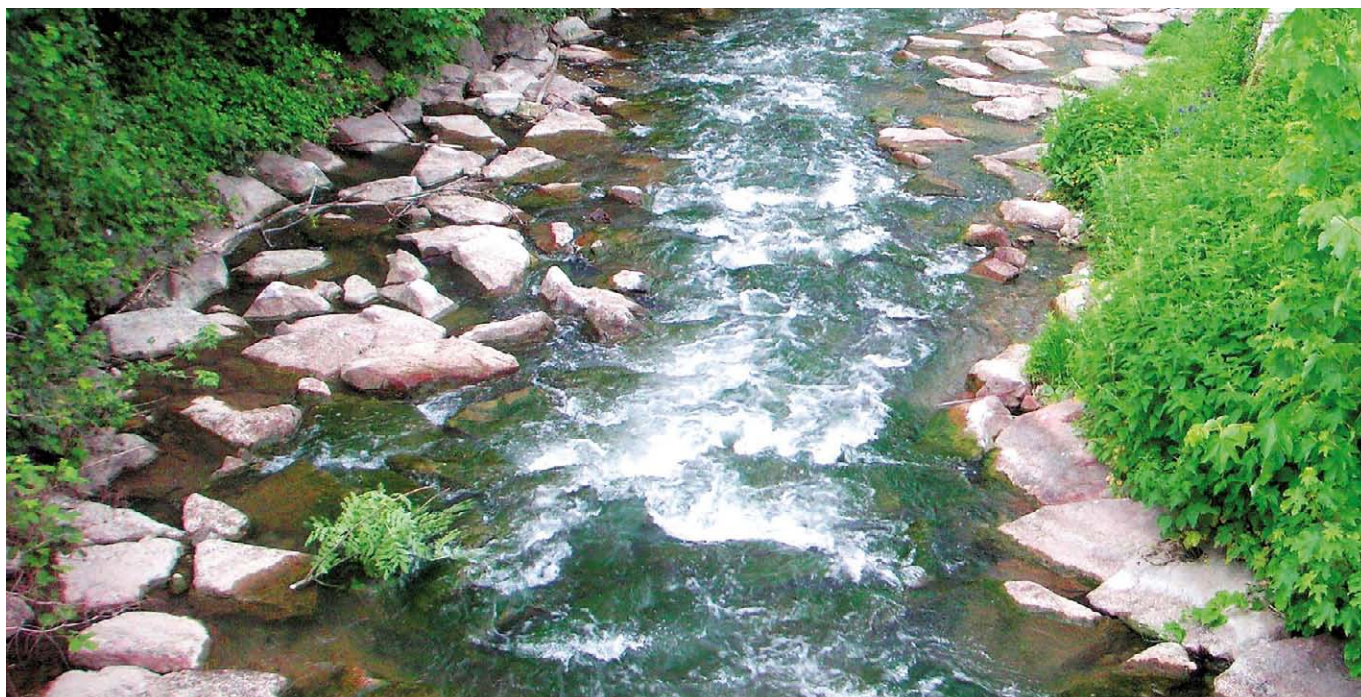
Denise Weibel, Armin Peter, Anton Schleiss

*Les rampes en enrochements sont des tronçons de cours d'eau à forte pente parsemés de blocs de pierre. Elles remplacent les chutes et barrages artificiels aménagés pour stabiliser le lit des cours d'eau et permettent d'améliorer la connectivité longitudinale. Cette fiche présente les différents types de rampes en enrochements et précise quels sont ceux à utiliser en fonction des espèces et des situations.*

### Cours d'eau fragmentés

Suite aux nombreux projets d'amélioration foncière, les cours d'eau ont été systématiquement corrigés et canalisés, provoquant en bien des endroits une érosion accrue des cours d'eau et une incision du lit (p. ex. Kander, BE). Des seuils et chutes artificiels ont alors été érigés dans le but de stabiliser le lit des cours d'eau et de bloquer l'érosion (fig. 1; Revitalisation de cours d'eau: vue d'ensemble). Ces ouvrages transversaux fragmentent le linéaire du cours d'eau et constituent des obstacles pour les organismes aquatiques dont la migration vers l'amont est entravée (fiche 4 Connectivité des cours d'eau). D'autres ouvrages comme les barrages destinés à la production hydroélectrique ou à l'irrigation, la mise sous terre de

cours d'eau et les tronçons fortement aménagés avec un lit bétonné ou pavé constituent également une entrave à la migration des organismes aquatiques. Or ces derniers (p. ex. poissons et écrevisses) doivent pouvoir circuler librement le long des cours d'eau. Les barrières entravent voire bloquent les mouvements naturels de la faune aquatique et rendent impossible la migration des poissons vers les frayères. Les insectes avec un stade adulte ailé parviennent quant à eux à franchir ces barrières, de même que les vertébrés comme le castor ou la musaraigne, qui peuvent contourner l'obstacle en passant par les berges.



Rampe aménagée sur l'Aabach à Wildegg (AG).

Photo: Thomas Schläppi

### Amélioration de l'interconnexion des cours d'eau

Les rampes en enrochements peuvent également être utilisées pour lutter contre l'érosion. Une rampe en enrochements est un tronçon de cours d'eau de forte pente aménagé avec de gros blocs de pierre (Lange 2007). Alors que les chutes et les seuils entravent la montaison des poissons, les rampes la facilitent considérablement. Sur les cours d'eau fragmentés, les ouvrages transversaux sont ainsi démontés et remplacés par des rampes en enrochements dans le but de rétablir la connectivité longitudinale. Afin de garantir une migration effective des organismes aquatiques, en particulier celle des poissons, les rampes doivent répondre à certains critères.

On distingue les rampes classiques en enrochements jointifs et celles en enrochements disjoints (fig. 2). Les rampes classiques ne remplissent pas toujours les critères assurant la migration des poissons, à savoir une vitesse maximale d'écoulement de 2 m/s et une profondeur d'au moins 20 cm le long de la rampe (DVWK 1996). Les rampes en enrochements disjoints, plus structurées, répartissent les vitesses d'écoulement de manière inégale, ce qui facilite la montaison des poissons. Plusieurs facteurs doivent être pris en considération lors de l'aménagement d'une rampe en enrochements (voir encadré 1). Le choix du type de rampe dépend de la composition faunistique de la station ou de sa composition potentielle ainsi que des performances natatoires des espèces présentes.

### Suivi

Après la construction, un contrôle d'efficacité s'avère nécessaire pour assurer que la rampe permette effectivement la remontée des espèces cibles. Il convient préalablement de définir la région piscicole à laquelle appartient le tronçon en question selon la zonation naturelle du cours d'eau. La composition potentielle en espèces est identifiée en fonction de la pente, de la largeur du cours d'eau et de sa température (fig. 3). La faune piscicole peut également être recensée grâce à des pêches à l'électricité. La fonctionnalité de la rampe doit être évaluée pour des espèces et des tailles de poissons bien spécifiques: dans les ruisseaux et les petits cours d'eau, le contrôle peut s'effectuer par des tests de captures-recaptures à l'aide de poissons marqués placés à l'aval de la rampe, puis recapturés en amont. Pour des résultats plus précis, on procède à un marquage PIT (transpondeurs passifs intégrés), qui consiste à implanter un émetteur dans la cavité abdominale du poisson; lors de leur remontée le long du cours d'eau, les poissons sont détectés par une antenne fixe ou portable. Sur les cours d'eau plus importants (Glatt [ZH] ou Aar [BE], p. ex.), on utilise plutôt la technique du radiopistage (émetteur actif très puissant).



Fig. 1 Les chutes et seuils artificiels entravent la migration des poissons. Barrages sur la Sissle (AG; en haut) et sur la Suhre (AG; en bas). Photos: Denise Weibel

#### > Encadré 1: Critères à prendre en compte lors de l'aménagement d'une rampe

- > Pente de la rampe
- > Longueur de la rampe
- > Type de rampe (types de blocs, structure)
- > Espèces de poissons potentiellement ou réellement présentes
- > Stabilité, notamment du pied de la rampe, en cas de crue
- > Franchissabilité pour les poissons de toutes capacités de nage

### Franchissabilité des rampes en enrochements

La franchissabilité d'une rampe varie en fonction des espèces de poissons, de leur taille et de la pente. Dans le cas de la truite de rivière et du chevaline, il a été démontré que le taux de remontée dépend de la taille et reste faible pour les juvéniles (<200 mm). Une rampe en enrochements dont la pente est supérieure à 6 % n'est franchissable que pour les truites de grande taille (>200 mm); elle demeure difficilement accessible aux juvéniles et reste infranchissable pour les petites espèces de type chabot. Les cyprinidés (famille de la carpe) à faible performance natatoire peuvent difficilement remonter une rampe de plus de 5 %.

Pour de nombreux cyprinidés de petite taille, tels que le goujon ou le blageon, la vitesse maximale admise de 2 m/s (DVWK 1996) est déjà trop élevée. Les rampes relativement longues formées d'une alternance de bassins séparés par de petits seuils transversaux présentent de faibles vitesses d'écoulement et offrent des zones de repos. En étiage, il peut toutefois se former de petites chutes d'eau entre les bassins (fig. 4). Pour les poissons à faible capacité de nage, comme le chabot, une chute de 15 cm est déjà impossible à franchir.

### Essais de modélisation

Des essais et des mesures ont été réalisés sur des rampes modélisées dans le cadre du projet «Gestion intégrale des zones fluviales». Ils montrent qu'une rampe en enrochements jointifs d'une pente de 6 à 10 % ne remplit plus les critères recommandés de franchissabilité ( $v_{\max} = 2 \text{ m/s}$ ;  $h_{\max} = 20 \text{ cm}$ ), même si le débit spécifique est faible. Avec des enrochements en rangées périodiques, les critères sont remplis pour une pente de 6 % tant que le débit spécifique ne dépasse pas  $2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . Lorsque les enrochements sont placés de manière irrégulière, le cours d'eau remplit les critères si le débit spécifique ne dépasse pas  $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . Les rampes en méandres constituent une alternative aux enrochements jointifs (Studer et Schleiss 2011). Grâce à l'agencement particulier des blocs, on obtient une répartition des vitesses d'écoulement qui facilite la montaison des poissons. Ce type d'aménagement permet ainsi de respecter les critères admis jusqu'à un débit spécifique de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  pour une pente de 6 % et jusqu'à  $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  pour une pente de 10 % (fig. 5). Les rampes en enrochements jointifs sont donc très rarement efficaces. Au contraire, les rampes structurées sont favorables à la remontée des truites, car elles offrent des conditions optimales jusqu'à  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  par mètre de largeur pour une pente de 6 % et jusqu'à  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  par mètre de largeur pour une pente de 10 %.

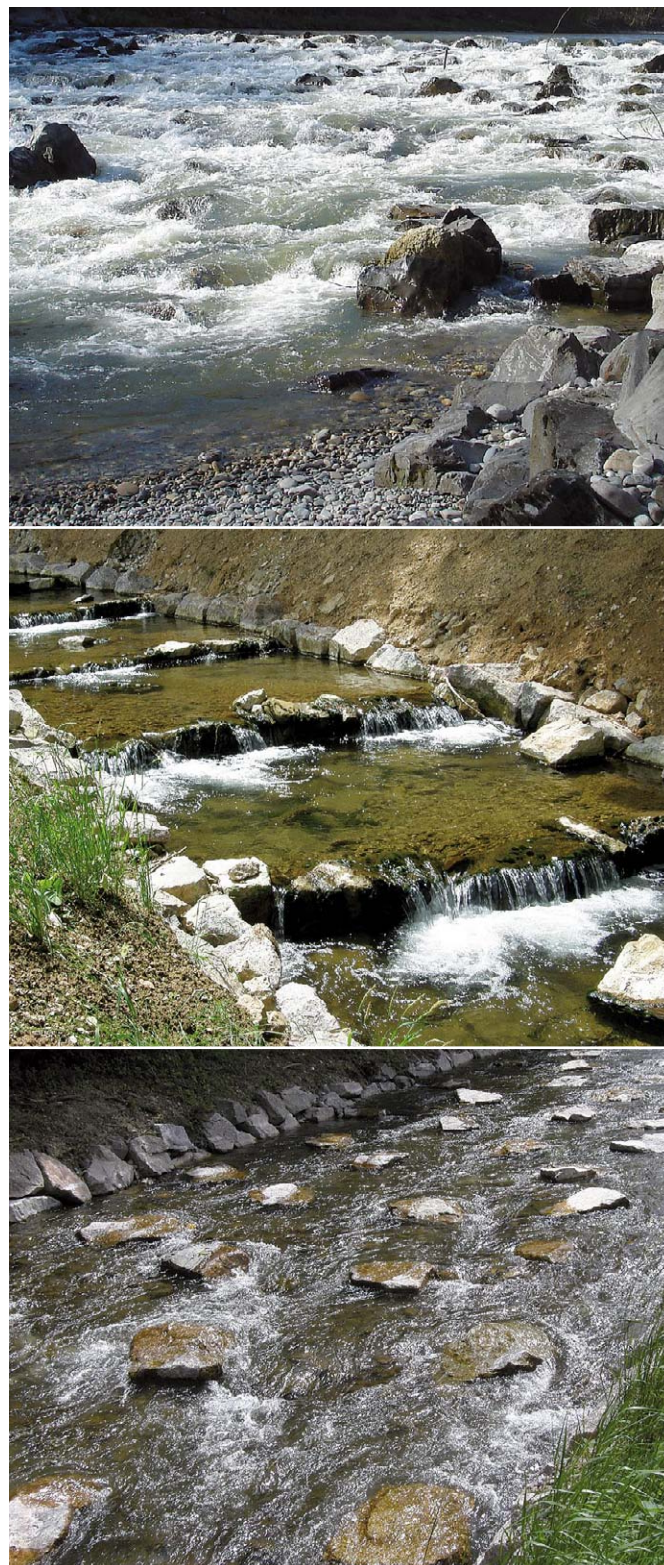


Fig. 2 Les différents types de rampe. En haut: enrochements jointifs sur l'Emme à Berthoud (BE; photo: Thomas Berchtold). Au centre: enrochements en rangées périodiques avec succession de bassins sur le Staffleggbach (AG). En bas: enrochements régulièrement répartis sur l'Aabach à Seengen (AG). Photos: Denise Weibel

### Recommandations pratiques

- > Les rampes en enrochements disjoints et bien structurés doivent être préférées aux rampes classiques, car elles permettent une meilleure répartition des vitesses et offrent de meilleures conditions pour la montaison des poissons.
- > Dans la région à truite, des rampes d'une pente de plus de 6 % peuvent être aménagées lorsque la truite est la seule espèce présente. Toutefois, les petites truites auront des difficultés à franchir l'ouvrage. Si d'autres espèces, comme le chabot, sont présentes, la rampe doit présenter une pente plus douce.
- > Dans la région à ombre, les rampes d'une pente supérieure à 5 % doivent être évitées, car elles sont inappropriées pour les petits cyprinidés. En cas de présence de poissons à faible capacité de nage (cyprinidés, chabot), la pente ne doit pas dépasser 3 % (DVWK 1996). L'aménagement de gros blocs le long des berges crée des zones d'eaux calmes le long de grandes rampes qui facilitent la migration des poissons (fig. 6). La franchissabilité de la rampe doit être assurée pendant au moins 300 jours par an (débit  $Q_{30}$ – $Q_{330}$ , Friedrich *et al.* 2005). En étiage,



Fig. 4 Succession de bassins séparés par une chute sur le Staffeleggbach (AG). Ce phénomène doit être évité sur les cours d'eau où vivent des chabots. Photo: Denise Weibel

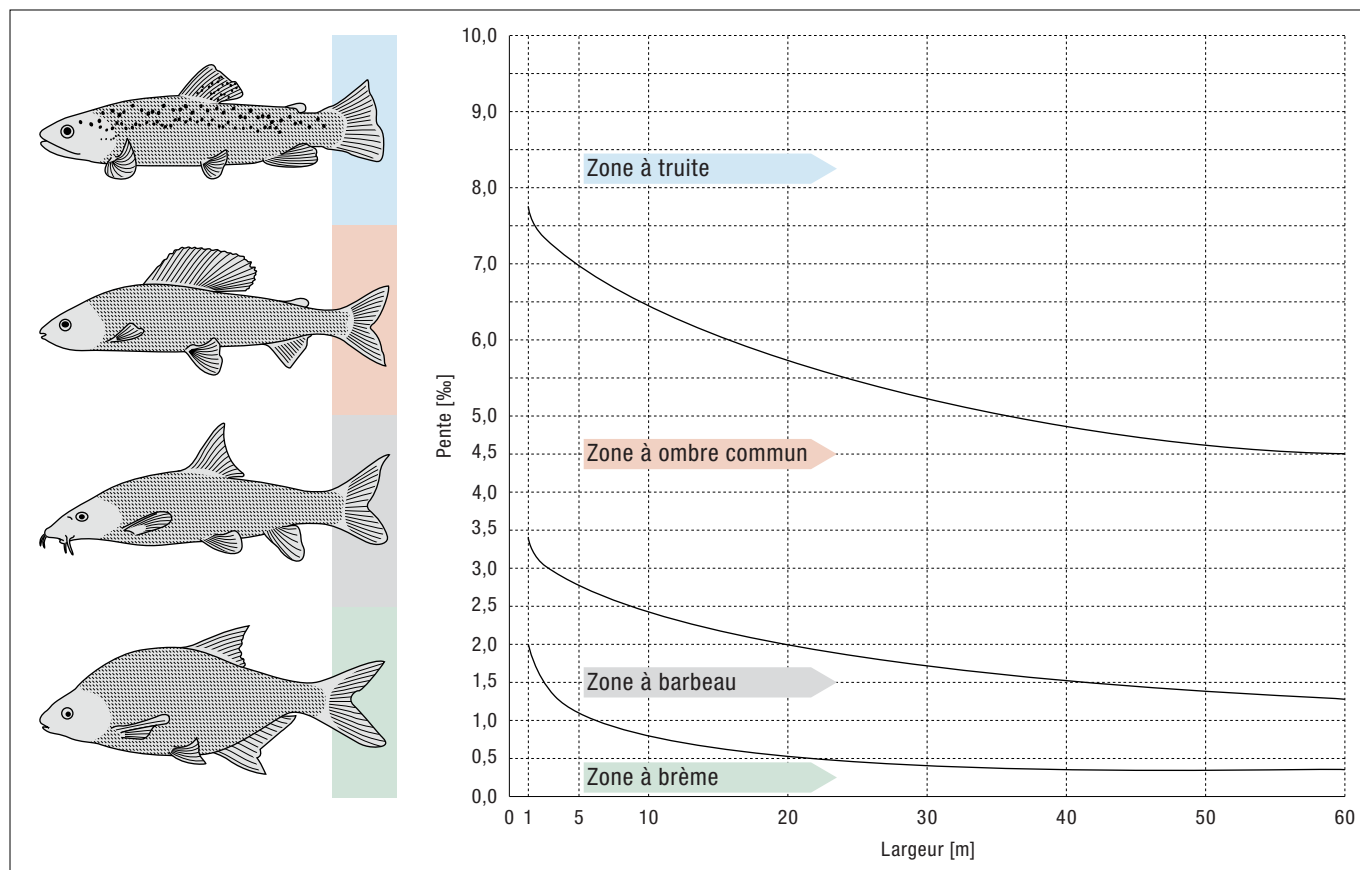


Fig. 3 Les espèces de poissons recensées sur un cours d'eau sont fonction de la pente et de la largeur de celui-ci. Illustration tirée du module Poissons niveau F (Schager et Peter 2004, d'après Huet 1949)

il convient d'éviter que les bassins de la rampe soient séparés par de petites chutes.

- > Un contrôle avant et après la construction de la rampe est recommandé afin de définir les espèces cibles, de vérifier les fonctionnalités écologiques du système et de tirer des conclusions pour les aménagements ultérieurs de rampes.

Pour savoir comment choisir et dimensionner une rampe, nous vous conseillons la lecture de la publication intitulée *Blockrampen Normalien* (Hunziker *et al.* 2008).



Fig. 6 Les enrochements sur les berges de la Suhre (AG) réduisent fortement les vitesses de l'écoulement. Photo: Denise Weibel

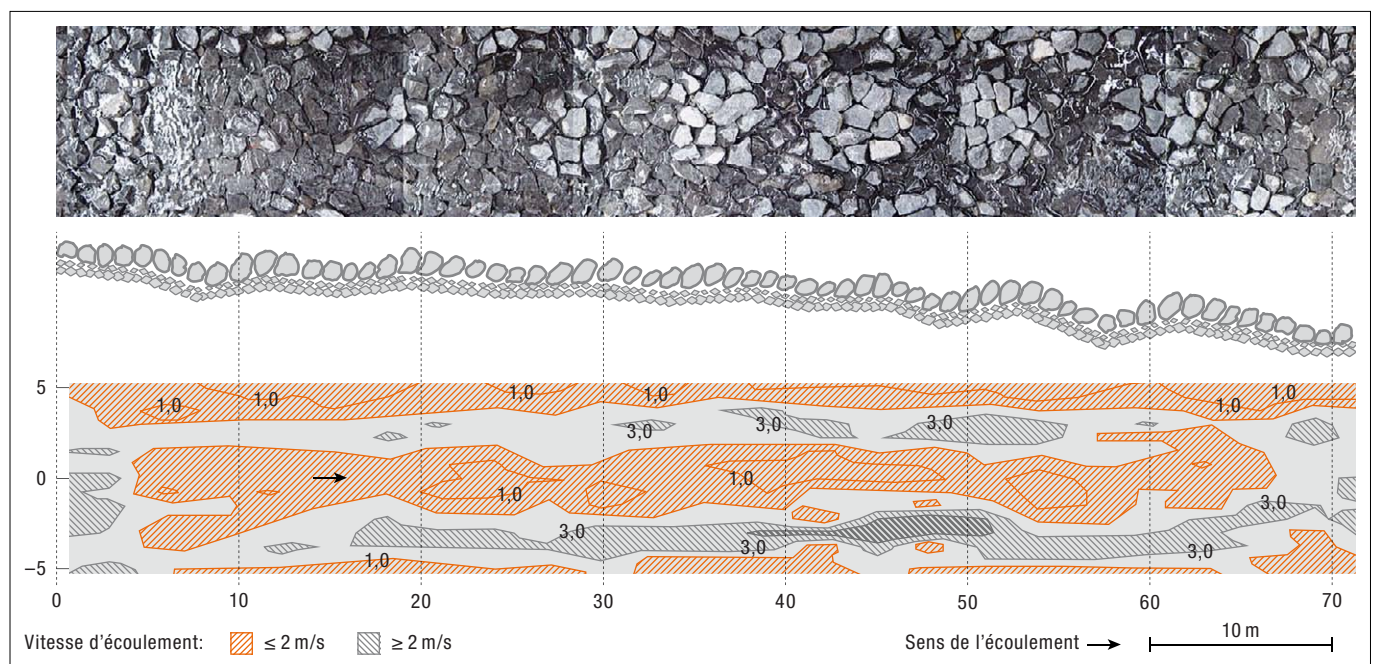


Fig. 5 Rampe en forme de méandres (en haut; type IV, 6%). Vitesse d'écoulement en m/s pour un débit par mètre de largeur de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (en bas). Les zones orange présentent une vitesse d'écoulement  $\leq 2 \text{ m/s}$ , les zones grises une vitesse d'écoulement  $\geq 2 \text{ m/s}$ . Illustrations d'après Markus Studer

## Bibliographie

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.), 1996: Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. DVWK-Merkblatt 232/1996.

Friedrich, H., Kolf, R., Pawlowski, S., 2005: Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

Huet, M., 1949: Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Revue suisse d'hydrologie 11: p. 333 – 351.

Hunziker, Zarn & Partner AG, 2008: Blockrampen Normalien – Manual zur Sanierung von Abstürzen. Aarau, Internet: [www.ag.ch/alg/de/pub/angebote/dokumente.php](http://www.ag.ch/alg/de/pub/angebote/dokumente.php)

Lange, D., 2007: Blockrampen – ökologische Bauwerke zur Sohlenstabilisierung. In: Minor, H.-E. (éd.), Blockrampen: Anforderungen und Bauweisen. EPF Zurich, Zurich, p. 5 – 21.

OFEFP, 1998: Ecomorphologie niveau F. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. OFEFP, Berne.

Schager, E., Peter, A., 2004: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Fischstufe F (flächendeckend). Mitteilungen zum Gewässerschutz 44. OFEFP, Berne.

Studer, M., Schleiss, A., 2011: Analyse von Fliessgeschwindigkeiten und Abflusstiefen auf verschiedenen Typen von Blockrampen. WasserWirtschaft 101(1 – 2): p. 67 – 71.

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fäh, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fäh, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Weibel, D., Peter, A., Schleiss, A., 2012: Franchissabilité des rampes en enrochements. In: Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, OFEV, Berne. Fiche 6.

### Conception et illustrations

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

# 7 > Modélisation numérique des cours d'eau

Patric Rousselot, David Vetsch, Roland Fäh

Les cours d'eau sont l'objet d'intérêts divergents, visant d'une part leur exploitation et d'autre part leur protection. Il est donc essentiel d'avoir une vue d'ensemble de l'aménagement des cours d'eau. La simulation numérique aide à évaluer les différentes possibilités d'aménagement hydraulique et leurs répercussions. Cette fiche décrit les processus de mise en place d'une modélisation et présente le logiciel de simulation BASEMENT avec des exemples d'application.

## Des simulations pour la protection contre les crues

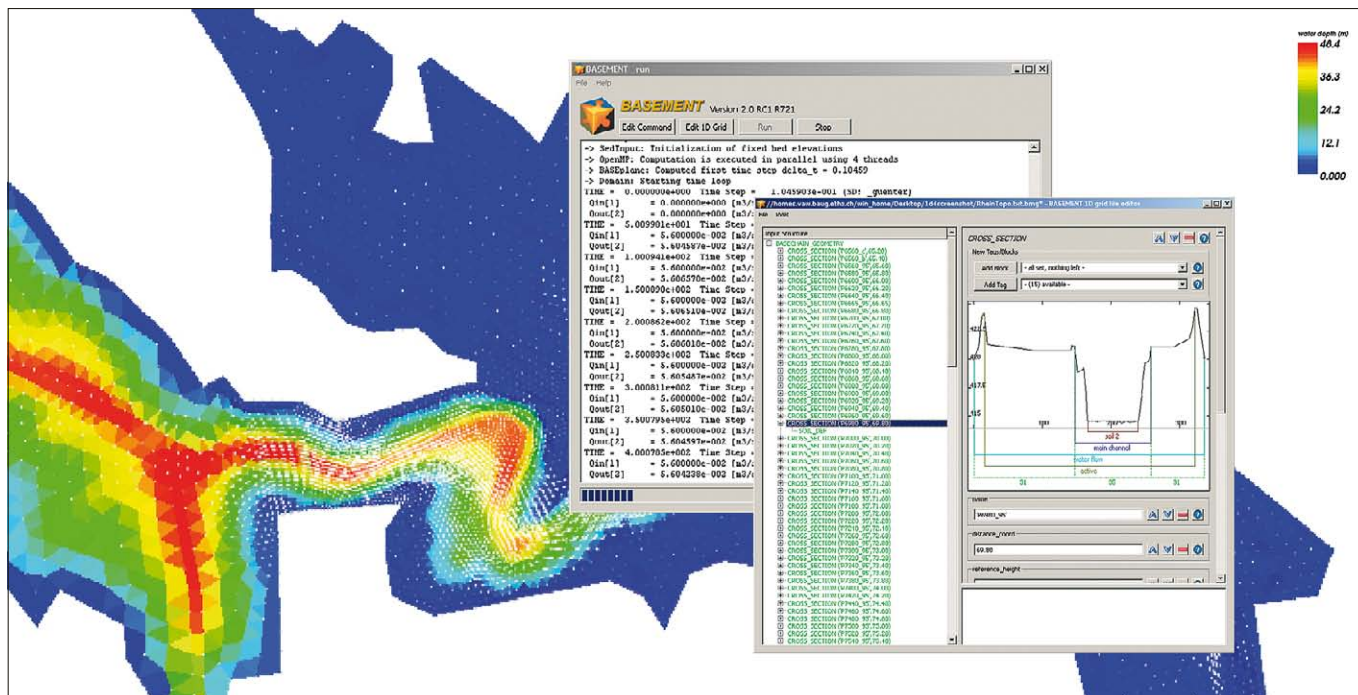
Depuis plusieurs années, les cours d'eau suisses sont revitalisés et améliorés au plan écologique. Les élargissements sont des mesures couramment mises en œuvre pour diversifier la morphologie et les habitats d'un cours d'eau. Ces aménagements posent toutefois de nouvelles exigences à la protection contre les crues. Face à ces défis, la simulation numérique permet de mieux gérer les projets: elle analyse les répercussions des travaux à planifier dans un souci d'équilibre des intérêts de toutes les parties.

La simulation numérique est particulièrement utile pour la prévention des crues, la réalisation de cartes des dangers, la régulation des cours d'eau et des lacs et le dimensionnement

des cours d'eau. Elle permet également d'analyser le développement morphologique et de définir, à l'aide d'indices, la diversité des habitats d'un cours d'eau. Enfin, grâce à la possibilité de modifier les paramètres, différentes variantes peuvent être testées, à des coûts bien inférieurs à ceux d'une expérimentation physique.

## Des modèles destinés aux ingénieurs

Le type de simulation à utiliser dépend de la problématique à résoudre et de la taille de la zone concernée. L'application est d'abord limitée par la capacité de l'ordinateur. Les modèles à haute résolution spatiale ou portant sur une zone étendue nécessitent un temps de calcul important. Ce délai peut être



Interface de BASEMENT: visualisation de la profondeur et de la vitesse d'écoulement.

Illustration: VAW, EPF Zurich

réduit si le modèle est simplifié ou si la région concernée est réduite.

#### Modèles 1D

Les modèles 1D basés sur des profils transversaux (fig. 1) sont réservés aux projets de simulation qui demandent peu de détails ou concernent des cours d'eau importants. Ils sont également exploitables pour des simulations sur de longues durées: ils analysent la variation, au cours du temps, du niveau de l'eau et du fond du lit, ainsi que la vitesse d'écoulement moyenne pour chaque profil transversal.

#### Modèles 2D

Les modèles 2D sont recommandés pour les processus locaux pour lesquels il faut disposer de données topographiques basées sur un modèle numérique de terrain (fig. 2). La simulation permet d'évaluer le niveau de l'eau et du lit, ainsi que la vitesse d'écoulement moyenne pour chaque élément de calcul. Ces modèles peuvent s'utiliser p. ex. pour calculer des inondations, pour réaliser une carte des dangers ou encore pour dimensionner des zones de rétention et des élargissements.

#### Modèles 3D

Les modèles 3D visent la résolution de problèmes concernant des dimensions spatiales réduites et où les courants turbulents jouent un rôle primordial. On utilisera ce type de modèle s'il s'agit p. ex. d'optimiser les conditions d'écoulement en amont d'une centrale hydroélectrique ou encore d'analyser un affouillement local sur un barrage ou une pile de pont.

La modélisation permet d'analyser non seulement les écoulements, mais aussi le transport des matériaux solides, afin d'identifier les modifications morphologiques du fond du lit. Ce calcul se base sur des formules empiriques et les résultats dépendent de la méthode choisie. Les modélisations physiques constituent une alternative aux simulations numériques. On y a recours si le changement d'échelle ne modifie pas les conditions d'écoulement. Les avantages de la modélisation physique résident dans la qualité des résultats. Les résultats d'une simulation numérique peuvent diverger selon la méthode, qui reste au libre choix de l'utilisateur. Avec un modèle physique, de telles incertitudes n'existent pas. En outre, certains calculs, comme celui d'écoulements complexes et turbulents, ne peuvent s'effectuer qu'à l'aide de modèles à haute résolution, qui sont coûteux et qui exigent des compétences techniques pointues. Toutefois, les modèles physiques présentent aussi des inconvénients: une modification en phase de projet est plus difficile à opérer qu'avec une modélisation numérique. En pratique, les deux modes de simulation sont souvent combinés dans un modèle hybride: le modèle numérique permet d'abord de préciser au maximum les dimensions et les conditions aux

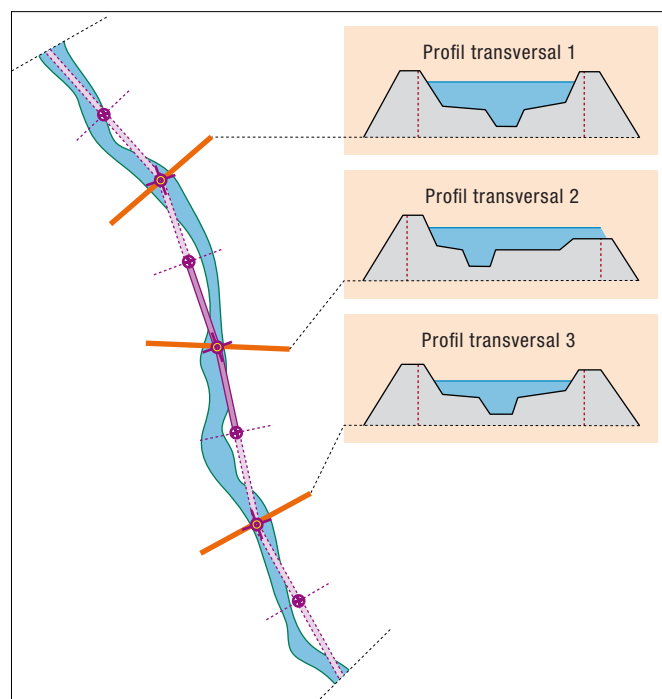


Fig. 1 Représentation schématique de la grille de calcul pour une simulation 1D. Des profils transversaux sont générés à plusieurs points du cours d'eau. Illustration d'après VAW, EPF Zurich

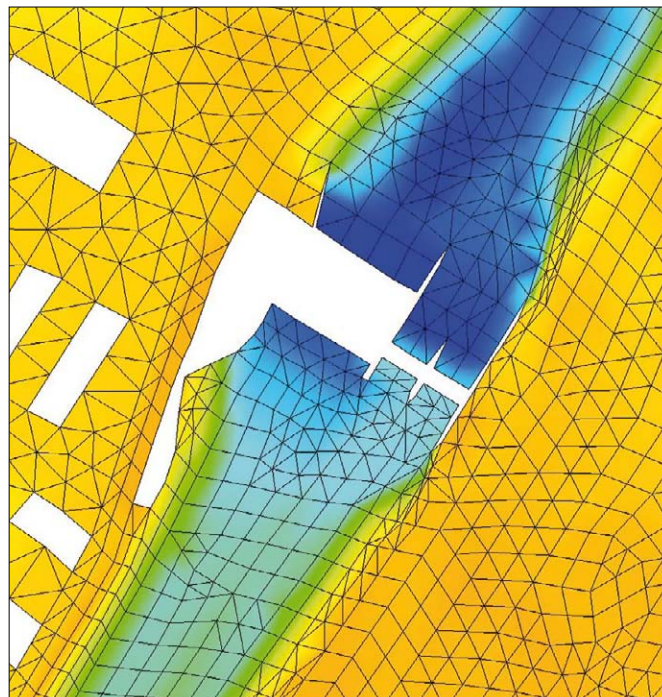


Fig. 2 Grille de calcul 2D, composée de triangles et de losanges. Les couleurs reflètent la topographie. Les bâtiments sont représentés en blanc. Le débit au-delà d'un barrage est modélisé comme condition aux limites intérieures. Illustration: VAW, EPF Zurich



limites. Le modèle physique est ensuite utilisé pour affiner le dimensionnement de l'ouvrage.

### Logiciel de simulation BASEMENT

*BASEMENT* est un programme gratuit développé en 2002 par le Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW) de l'EPF Zurich (encadré 1), à partir de la résolution des équations de Saint-Venant pour les modèles 1D et des équations d'écoulement en eaux peu profondes pour l'hydrodynamique des modèles 2D. Ces équations posent le postulat d'une répartition hydrostatique des pressions. Ils ne sont donc valables que si la composante verticale de la vitesse peut être ignorée. Pour le calibrage, le programme utilise les lois du frottement pour définir la rugosité du lit. Il est également possible de générer un modèle de turbulences.

*BASEMENT* propose différentes conditions aux limites pour le calcul de l'écoulement: hydrogrammes d'entrée, écoulement normal, structures hydrauliques telles que barrages et écluses. Ces structures peuvent également être utilisées au sein de la zone de calcul. *BASEMENT* permet par ailleurs de paramétrer automatiquement les barrages et les ouvrages de chute selon des critères cibles au choix. La figure 3 schématise le processus de modélisation de *BASEMENT*. Le transport des sédiments est divisé en transport par charriage et en transport par suspension. Le calcul du transport par charriage s'effectue à partir de formules empiriques, celui du transport par suspension au moyen d'une équation d'advection/diffusion. Il est ainsi possible de simuler à la fois la diffusion de produits toxiques et le transport de matériaux en suspension dans le cours d'eau. Différentes méthodes permettent de décrire l'échange des matériaux en suspension entre le fond du lit et l'eau. *BASEMENT* résout les équations de transport de manière à ce que les matériaux solides transportés puissent être classés en autant de catégories que l'utilisateur le souhaite.

Dans un cours d'eau, les sédiments sont principalement déplacés par la force horizontale du courant. Les matériaux du lit peuvent aussi être générés par des processus gravitationnels tels qu'une rupture de berge. Ce type de processus est représenté à l'aide d'un modèle géométrique basé sur un degré critique de déclivité.

L'efficacité de la simulation sur une grande zone géographique peut être accrue en couplant plusieurs modèles (fig. 4). Ainsi, il est possible d'évaluer un tronçon à l'aide d'un modèle 1D et d'intégrer un modèle 2D pour simuler un débordement. Par ailleurs, le logiciel est compatible avec tous les ordinateurs courants équipés de processeurs multi-core.

*BASEMENT* offre d'autres fonctionnalités: d'une part, la modélisation est paramétrable à partir du « Command File Editor ». Tous les paramètres y sont expliqués et illustrés par des exemples. Les champs de saisie sont clairement identifiés comme tels. D'autre part, l'utilisateur peut créer la grille des

### > Encadré 1: BASEMENT, logiciel de modélisation des cours d'eau

*BASEMENT* est un logiciel calculant les processus dans les cours d'eau en tenant compte de l'écoulement et du transport solide. Les processus peuvent être modélisés en une ou plusieurs dimensions, les différents modèles pouvant être combinés à loisir. Les effets d'ouvrages hydrauliques peuvent également être reproduits. Le transport des sédiments est subdivisé en transport par charriage et en transport par suspension. Le diamètre des grains peut être paramétré. La configuration des modèles s'effectue via une interface graphique. Il est prévu à terme de faire évoluer *BASEMENT* vers des fonctions permettant de modéliser les eaux souterraines, de simuler les écoulements de densité et de modéliser les écoulements en trois dimensions. Le programme et sa documentation (Fäh *et al.* 2011) sont téléchargeables gratuitement sur le site [www.basement.ethz.ch](http://www.basement.ethz.ch). Vous trouverez à la même adresse des fichiers avec différents exercices et cas qui permettent de se familiariser avec la modélisation numérique.

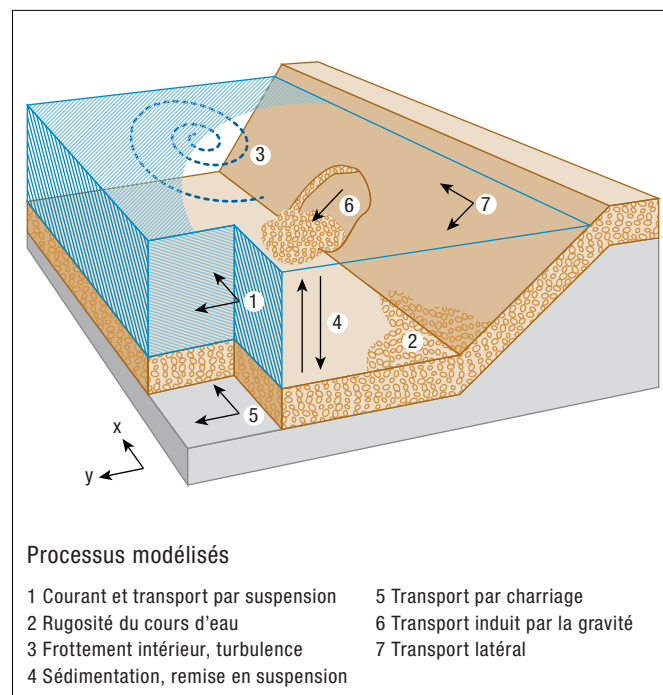


Fig. 3 Vue d'ensemble des processus simulés dans un modèle 2D. Illustration d'après VAW, EPF Zurich

modèles 1D. Cette opération s'effectue dans le « 1D-Grid Editor », qui restitue graphiquement les profils transversaux avec toutes leurs caractéristiques. Pendant le calcul, des résultats tels que la profondeur, la vitesse d'écoulement, ou encore les différences de hauteur du lit, peuvent être visualisés.

### Procédure

La modélisation (fig. 5) commence par l'acquisition des données. Il est indispensable p. ex. de connaître les conditions initiales et les conditions aux limites. Les lignes d'eau, les traces de crues, la distribution granulométrique ou la composition de la végétation sont des données qui facilitent le calibrage du modèle. Une base de données bien fournie peut améliorer fortement la qualité des simulations.

Sur la base de ces informations, le programme crée une grille de calcul correspondant aux dimensions du modèle. C'est à partir de cette grille et des conditions aux limites sélectionnées que commence la simulation à proprement parler. Dans une première étape, le modèle numérique est calibré à l'aide d'un événement documenté et, dans la mesure du possible, validé sur d'autres événements. Puis le logiciel calcule les variantes. Enfin, les résultats sont évalués et présentés.

### Conditions initiales: topographie

La plupart du temps, les informations topographiques sur un cours d'eau sont extraites des profils transversaux. Or souvent, les données ont été relevées sur des profils très espacés et il y a peu d'informations sur les secteurs intermédiaires. L'orthophotographie et la connaissance de la situation sur place sont de bons moyens pour améliorer la qualité du modèle. Pour les modèles 2D en particulier, les données des profils transversaux peuvent être interpolées pour obtenir un modèle de terrain plus dense. Hors de la section mouillée, en revanche, on dispose souvent de données haute résolution (données scannées au laser, p. ex.).

Pour les modèles 1D, la grille de calcul s'obtient directement à partir des différents profils transversaux. Pour les modèles 2D, une grille constituée de triangles et de losanges doit être créée à partir des informations concernant le terrain. Lors de la création de la grille, il convient de faire attention aux lignes de cassure existantes.

### Conditions aux limites: écoulement et transport des sédiments

Les hydrogrammes des stations de mesure de l'OFEV ou les résultats d'un modèle hydrologique peuvent servir de conditions aux limites pour les débits. Pour les conditions aux limites de bord, plusieurs éléments peuvent être utilisés, tels que les relations niveaux d'eau/débits ou les structures hydrauliques (barrages et écluses).

Les conditions aux limites pour le transport de sédiments sont rarement connues. Souvent, il faut évaluer l'apport annuel

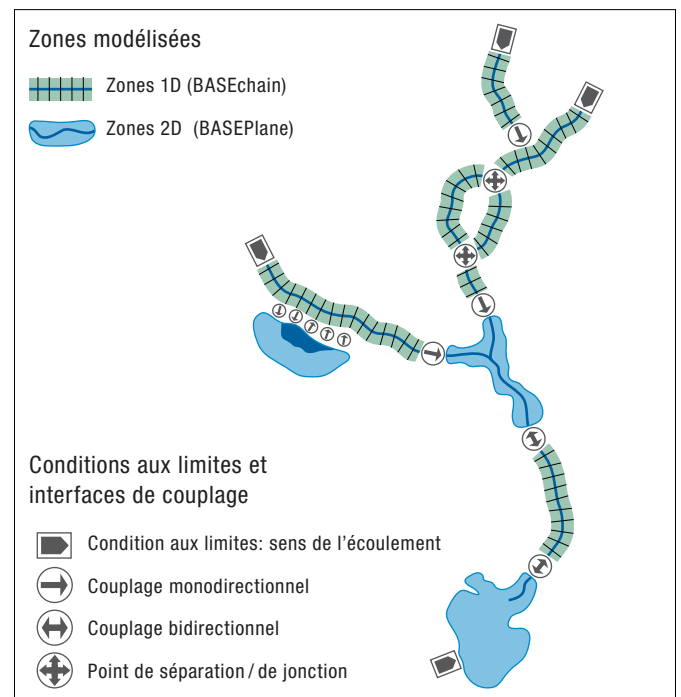


Fig. 4 Représentation schématique de zones modélisées en 1D et 2D pouvant être couplées de diverses manières. L'échange d'informations peut s'opérer dans un sens ou dans les deux sens. Illustration d'après VAW, EPF Zurich

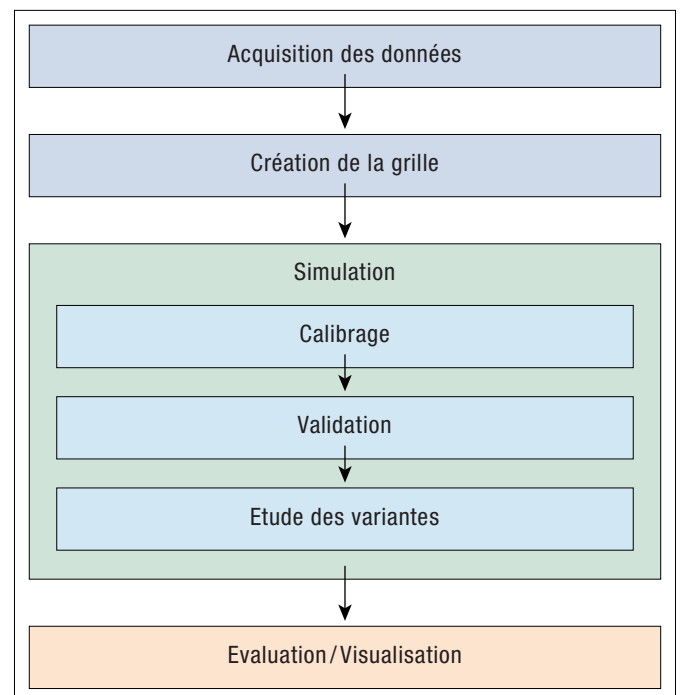


Fig. 5 Schéma du déroulement d'une modélisation numérique. Chaque processus peut être répété au besoin. Illustration d'après VAW, EPF Zurich

total de sédiments pour établir une fonction de transport liée à un hydrogramme. Cette fonction dépend pour l'essentiel de la formule de transport par charriage utilisée. Elle part souvent de l'hypothèse que la capacité de transport est exploitée à son maximum.

### Calibrage et validation

Les modèles numériques contiennent des paramètres de calibrage qui permettent d'adapter les résultats de la simulation à la situation réelle. Les données relatives au niveau de l'eau, enregistrées à différents moments, sont les plus pertinentes pour calibrer l'hydraulique, mais il est rare d'en disposer. Si elles n'existent pas, on utilisera, le cas échéant, les traces de crue dont les débits de pointe sont connus. Le calibrage s'effectue à partir des coefficients de frottement du lit du modèle numérique: ils sont modifiés jusqu'à ce que les valeurs simulées du niveau de l'eau concordent avec les valeurs mesurées.

Des calculs supplémentaires sont nécessaires pour les modèles avec transport de sédiments: la topographie doit être mesurée à différents instants. Pour le calibrage du transport par charriage et du transport par suspension, différents paramètres peuvent être choisis. Le modèle est validé quand, à partir des paramètres calibrés, un événement différent du cas utilisé pour le calibrage peut être reproduit qualitativement et quantitativement.

Le modèle calibré et validé sert de point de départ aux simulations à proprement parler. Les scénarios sont calculés à partir des différentes conditions aux limites pour l'hydraulique et le transport des sédiments. Les projets d'aménagement peuvent être insérés dans la grille de calcul pour en analyser les répercussions.

### Evaluation et représentation des résultats

La simulation numérique génère de gros volumes de données. Si les besoins en informations ne sont pas suffisamment ciblés, les fichiers de résultats seront extrêmement volumineux et le temps de calcul et de traitement sera très important. L'utilisateur doit donc identifier en amont les résultats dont il a besoin, car bien souvent, seuls certains aspects sont utiles. Les résultats sont compilés dans un fichier texte sous forme de tableau et peuvent être convertis dans un programme de visualisation. Pour les grandes représentations de données scalaires et vectorielles, le traitement des données s'effectue dans des programmes séparés commercialisés.

### Précision et temps de calcul

La précision des résultats est fonction de la méthode utilisée, des hypothèses de départ, de la qualité des données topographiques et des conditions aux limites. D'une manière générale, l'erreur est inversement proportionnelle à la résolution de la grille. C'est ce que l'on appelle la convergence. En pratique,

la résolution de la grille est restreinte par le temps de calcul. Le résultat d'une simulation numérique est donc toujours un compromis entre précision et temps de calcul.

Le temps à consacrer à la simulation numérique ne doit pas être sous-estimé. Certes, un modèle simple peut être créé en peu de temps, mais pour obtenir des résultats quantitativement et qualitativement fiables, il convient de bien poser le problème. La seule définition de la grille peut influencer sur la stabilité de la simulation, sur la durée du calcul et sur la qualité des résultats. Consacrer suffisamment de temps à la définition de la grille permet d'éviter par la suite des problèmes de simulation. Les principales lignes de cassure doivent être contrôlées et modifiées si nécessaire une fois les informations sur le terrain interpolées sur la grille de calcul; les conditions aux limites sont parfois positionnées à des endroits défavorables, ce qui peut entraîner des comportements irréguliers. Généralement, les conditions aux limites sont placées le plus loin possible de la zone analysée pour minimiser les effets secondaires.

Pour chaque donnée du problème, l'utilisateur doit se pencher sur les hypothèses de modèle sous-jacentes. Par exemple, pour les modèles 1D et 2D, l'hypothèse est une répartition hydrostatique des pressions. Il ne faut alors pas oublier que les équations ne sont valables que pour de faibles pentes. Les formules de transport par charriage, également, ne sont la plupart du temps valables que pour un domaine d'utilisation en ce qui concerne la taille des grains ou la pente du lit. Dans la pratique, ces hypothèses de base ne sont souvent pas respectées, ce qui entraîne localement des écarts entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées.

Quant aux modèles incluant le transport des sédiments, le calibrage est souvent extrêmement complexe. Les paramètres de calibrage sont plus nombreux que pour l'hydraulique pure. De plus, les conditions aux limites concernant le volume de sédiments charriés ne sont très souvent que des approximations sommaires, alors qu'elles influent fortement sur les résultats. Bien souvent, on ne dispose pas pour ces modèles de données topographiques à différentes périodes, ce qui rend le calibrage et la validation difficiles. Ce constat ne doit pas être oublié: les résultats numériques doivent être considérés sous un œil critique et leur plausibilité doit être vérifiée.

## Applications

Les exemples d'application suivants illustrent les possibilités de *BASEMENT*.

### Evolution du lit du Rhin alpin (1D)

Sur le Rhin alpin, l'objectif était de renforcer la protection contre les crues entre l'III (SG) et le lac de Constance, tout en tenant compte des contraintes liées à l'écologie, à l'utilisation des eaux souterraines, aux centrales hydroélectriques et aux activités de détente. Pendant la phase de planification, plusieurs variantes d'aménagement ont été simulées avec leurs répercussions à long terme sur l'évolution du fond du lit. Des modèles 1D ont été développés car la simulation devait porter sur une zone de 50 km et sur une longue période. Pour le transport par charriage, une méthode multigrain (8 diamètres de grain) a été utilisée. Le modèle a été calibré sur une période de 10 ans et validé sur une autre période de 20 ans. A l'aide du modèle validé, l'évolution du fond du lit a été simulée pour 7 variantes de mesures, pour une durée de 60 ans, et évaluée par rapport aux buts de protection contre les crues (fig. 6).

### Régulation automatique des lacs (1D)

Les dégâts créés par les crues peuvent être réduits grâce à une régulation optimale des lacs et des barrages. A l'aide d'un exemple, il a été testé si *BASEMENT* était approprié pour réguler les structures hydrauliques sur un vaste territoire (fig. 7). Le modèle numérique comprenait les trois lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat, les canaux qui les relient entre eux ainsi que des tronçons de l'Aar et de l'Emme. La simulation a été réalisée à partir de modèles 1D couvrant chacun une partie de la zone et couplés pour un total de 800 profils transversaux. Les barrages sont soumis à différentes réglementations. Les données sur trois mois de 2005 ont permis de calibrer le modèle général, qui a ensuite été validé par des données de 2007. Le modèle validé a alors permis de calculer différents scénarios concernant les barrages et la régulation des lacs.

### Diversité des habitats sur la Singine (2D)

La Singine (BE/FR) se trouve sur certains tronçons encore à l'état naturel. Les caractéristiques d'un tronçon de 2 km en tresses ont été simulées sur une année de débits.

Une simulation 2D a été réalisée pour représenter la diversité des structures de la topographie. Le modèle hydraulique a été calibré à partir de relevés du niveau d'eau. Les spécialistes ont ensuite étudié les répercussions des formules de transport par charriage (monograin et multigrain) sur la morphologie et sur la modification des habitats (fiche 3 Indice hydromorphologique de la diversité).

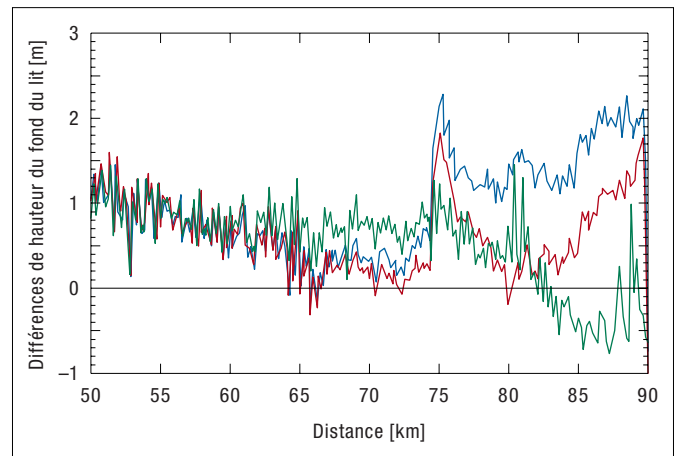


Fig. 6 Différences de hauteur du fond du lit du Rhin alpin simulées dans un modèle 1D avec différents aménagements, pour une période de 50 ans. La ligne 0 montre l'évolution du fond du lit si aucune mesure n'est mise en œuvre. Illustration d'après VAW, EPF Zurich

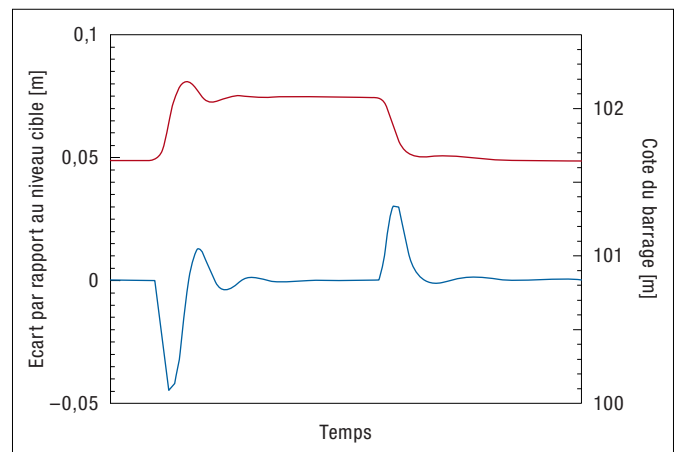


Fig. 7 Comportement d'un barrage régulé avec une diminution puis une augmentation brutales du débit. La ligne bleue montre l'écart entre le niveau réel et le niveau cible. La ligne rouge montre l'évolution de la cote du barrage. Illustration d'après VAW, EPF Zurich

### Evolution de l'embouchure du Rhin alpin (2D)

C'est par un canal que le Rhin alpin pénètre dans le lac de Constance (fig. 8). De grandes quantités de sédiments à grains fins sont transportés à la fois dans le canal et dans le lac. Un modèle 2D du delta a été créé pour évaluer les modifications à long terme du lit du canal. Pour le transport des sédiments, les grains étant fins, la modélisation a été axée principalement sur le transport par suspension. La topographie du canal est connue à deux dates distantes de 500 jours. Le modèle numérique a été calibré à partir de la situation antérieure et a permis

de reproduire qualitativement et quantitativement les différences de hauteur du fond du lit.

#### Impact hydraulique d'un élargissement (2D)

Les élargissements permettent d'améliorer la biodiversité et de renforcer la protection contre les crues. Une simulation hydraulique 2D a permis de définir les effets d'un élargissement avec différents cas de charge (fig. 9). Les résultats peuvent être utilisés comme conditions aux limites d'un modèle physique pour les élargissements planifiés.

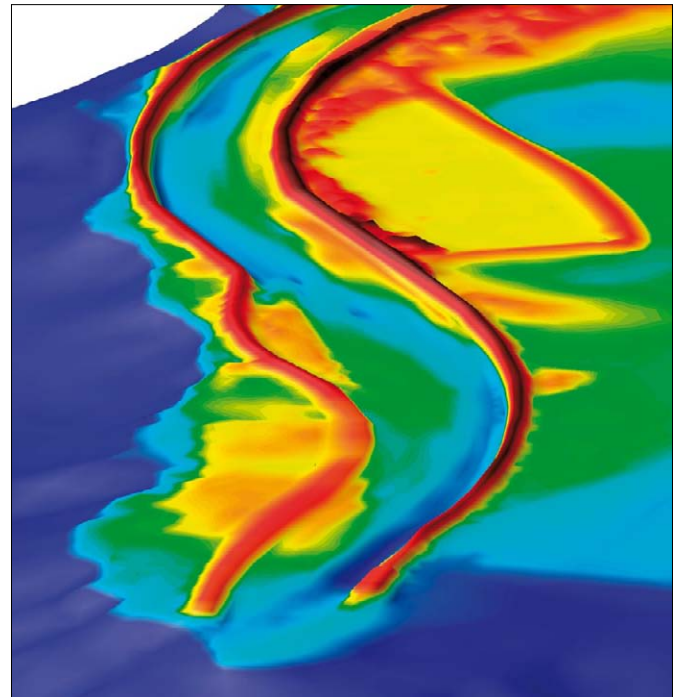


Fig. 8 Topographie du fond (2D) du canal amenant le Rhin alpin dans le lac de Constance. Illustration: VAW, EPF Zurich

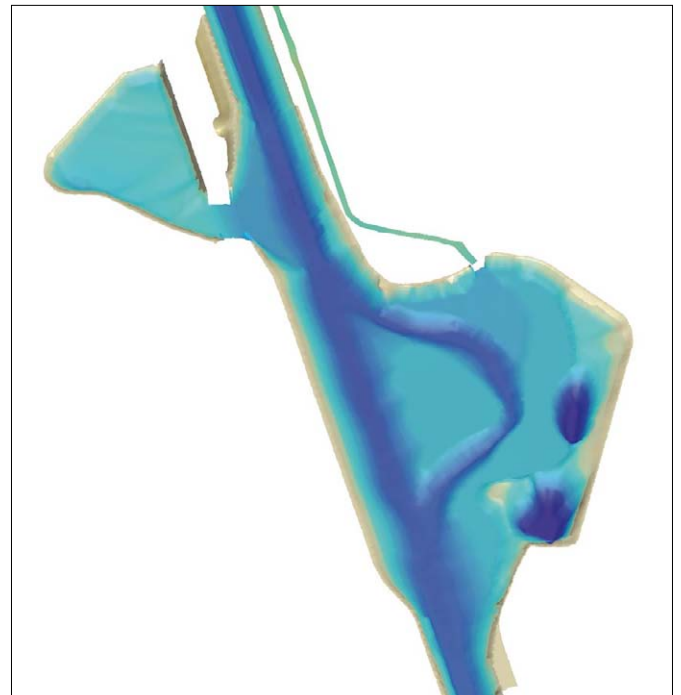


Fig. 9 Simulation (2D) des hauteurs d'eau dans un élargissement à proximité d'un évacuateur de crue sur un secteur canalisé. Illustration: VAW, EPF Zurich

## Bibliographie

Fäh, R., Mueller, R., Rousselot, P., Veprek, R., Vetsch, D., Volz, C., 2006–2011: *BASEMENT* – Basic Simulation Environment for Computation of Environmental Flow and Natural Hazard Simulation. VAW, EPF Zurich, Internet: [www.basement.ethz.ch](http://www.basement.ethz.ch)

Vetsch, D., Rousselot, P., Fäh, R., 2011: Flussgebietsmodellierung mit der Simulationssoftware *BASEMENT*. Eau énergie air: 4/2011, p. 313–319.

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fäh, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fäh, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Rousselot, P., Vetsch, D., Fäh, R., 2012: Modélisation numérique des cours d'eau. In: Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau, OFEV, Berne. Fiche 7.

### Conception et illustrations

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

## 8 > Suivi des projets de revitalisation

Armin Peter et Christoph Scheidegger

*Le suivi vise à garantir que les objectifs d'un projet ont bien été atteints. Il contribue également à améliorer les connaissances sur la réaction des cours d'eau. C'est pourquoi il doit être envisagé dès la planification d'un projet de revitalisation. La présente fiche décrit les principaux types de contrôles et la procédure à suivre pour leur planification et leur exécution.*

### Objectifs des suivis

Les suivis réalisés dans le cadre de projets de revitalisation visent à contrôler si les objectifs définis au début d'un projet ont bien été atteints. Ils permettent d'analyser la modification éventuelle des paramètres physiques, chimiques, hydrologiques ou biologiques. La planification des suivis implique le choix d'indicateurs et de conditions de référence. La nature du suivi ainsi que le cadre géographique et temporel doivent par ailleurs être définis. Les différents types de suivis sont répertoriés dans le tableau 1.

En Suisse comme ailleurs, on a désormais conscience de l'importance des mesures de revitalisation. Ces dernières années, bon nombre de cours d'eau, de zones alluviales,

de berges lacustres et d'autres habitats aquatiques ont été revitalisés, une tendance qui se poursuivra. Jusqu'ici, seuls quelques projets faisaient l'objet d'un suivi, dans quelques rares cas d'un suivi de grande envergure. D'après des enquêtes réalisées en Europe et aux Etats-Unis, moins de 10 % des projets ont donné lieu à des contrôles de mise en œuvre.

La planification d'un suivi étant une composante essentielle du projet de revitalisation, elle doit impérativement être intégrée dans un concept global. Dès la planification du projet, il convient de dresser un état des lieux du cours d'eau, condition sine qua non pour définir les objectifs à atteindre et les mesures à mettre en œuvre. Pour être sûr de disposer au moment opportun du budget nécessaire, les coûts relatifs au



*Pêche électrique dans le Rhin antérieur (GR). Recensement d'alevins de truite de rivière.*

*Photo: Armin Peter*

suivi devront être intégrés aux coûts globaux. Ces coûts sont fonction de la nature des contrôles effectués et de la fréquence des prélèvements.

L'état des lieux (base) devra être dressé avant la réalisation du projet de revitalisation. Les contrôles mis en place à la fin de la mise en œuvre du projet consisteront en des analyses à long terme. Un monitoring des tendances fournira par ailleurs des informations utiles pour l'évaluation des projets et les planifications ultérieures.

### Indicateurs pour la planification

La planification du suivi intervient au tout début du projet de revitalisation. Dès que le tronçon à revitaliser est défini, un état des lieux devra être réalisé (fig. 1). Dans l'idéal, plusieurs prélèvements seront effectués avant la mise en œuvre des mesures de revitalisation afin de prendre en compte les variations saisonnières, le dernier prélèvement ayant lieu juste avant le début du projet. L'état des lieux réalisé pour un tronçon influe sur la définition des idées directrices (Woolsey *et al.* 2005: p. 25). Les indicateurs doivent, eux aussi, être définis au tout début du projet, puis vérifiés après la formulation des objectifs. En règle générale, les objectifs sont fixés assez tôt.

### Choix du type de suivi optimal

La nature du suivi dépend du nombre de tronçons à contrôler et du temps disponible pour la réalisation des contrôles. Le suivi est défini en fonction des objectifs du projet de revitalisation, lesquels conditionnent le choix des indicateurs. Il existe deux grands types de suivis:

1. « Comparaison avant-après » (BA = before-after) ou « comparaison avant-après avec contrôle » (BACI = before-after control-impact design): les données sont collectées avant et après la mise en œuvre du projet

de revitalisation, des prélèvements étant également souvent effectués sur un tronçon non revitalisé (BACI). Ces analyses s'étalent sur plusieurs années: 5 à 7 ans avant et après pour les analyses intensives, 1 à 2 ans avant et après pour les analyses extensives (Hicks *et al.* 1991). Dans l'idéal, plusieurs « comparaisons avant-après » (BA, BACI) doivent être réalisées tout au long du tronçon (fig. 2).

2. « Observation post-projet » (post-treatment design): dans ce type de suivi, on compare les valeurs relevées sur le tronçon revitalisé et celles relevées sur un tronçon non revitalisé présentant des caractéristiques assez proches de celles du tronçon revitalisé avant travaux. Ce type de suivi est mis en place lorsqu'aucun état des lieux n'a été réalisé avant l'exécution du projet de revitalisation. Si possible, plusieurs tronçons non revitalisés seront utilisés comme référence. Les observations post-projet intensives s'étalent sur plusieurs années. Les analyses extensives durent 1 à 2 ans et intègrent une comparaison entre plusieurs tronçons revitalisés et non revitalisés.

Ces types de suivis possèdent des variantes. Pour plus d'informations, se reporter aux ouvrages de Roni (2005), de Roni *et al.* (2010) et de Hicks *et al.* (1991). Si la situation le permet, on optera pour les « comparaisons avant-après » (BA, BACI).

### Utilisation des cours d'eau naturels comme référence

Les suivis doivent toujours intégrer une comparaison avec un site de référence, p. ex. un tronçon à l'état naturel situé, dans l'idéal, à proximité du tronçon revitalisé. En l'absence de tronçons naturels, on utilisera comme référence un tronçon qui a été revitalisé il y a un certain temps. Les cartes historiques (fig. 3) ou les données d'experts (concepts et systèmes de classification scientifiques) peuvent également servir de références.

### > Tableau 1

Les différents types de suivis selon les méthodes MacDonald *et al.* (1991) et Roni (2005)

Type	Objectif	Exemples
<b>Etablissement d'un état des lieux (base)</b>	Déterminer les conditions physiques, chimiques ou biologiques pour la planification et les comparaisons ultérieures; donner un aperçu de l'état avant revitalisation	Morphologie des cours d'eau, présence d'espèces de poissons ou de benthos, composition chimique de l'eau
<b>Etat</b>	Définir les conditions (variabilité spatiale) des propriétés physiques ou biologiques	Densité de poissons à l'instant T dans un cours d'eau
<b>Tendance</b>	Indiquer les modifications sur une période choisie; monitoring annuel permettant d'observer les modifications de l'état des lieux	Modification de la densité de poissons ou du benthos sur la durée
<b>Mise en œuvre</b>	Vérifier si un projet a bien été mis en œuvre comme prévu	Les travaux ont-ils été exécutés comme prévu?
<b>Efficacité</b>	Vérifier si les mesures mises en œuvre ont produit l'effet escompté	Le nombre de tronçons profonds ou de tronçons à débit rapide a-t-il progressé?
<b>Validation</b>	Vérifier la relation de cause à effet entre les mesures de revitalisation et la réaction du cours d'eau (biologie, p. ex.)	La modification des habitats a-t-elle produit les effets biologiques escomptés?



Le site de référence peut être un tronçon isolé ou un ensemble de tronçons. A noter que si la méthode multi-tronçons peut conduire à des constatations contradictoires pour les différents indicateurs, elle livre des informations essentielles pour les projets à venir (Weber et Peter 2011). En Suisse, peu de tronçons naturels peuvent être utilisés comme sites de référence. Les connaissances sur les systèmes de référence sont par ailleurs insuffisantes. C'est pourquoi le projet « Gestion intégrale des zones fluviales » prend la Singine (BE/FR) comme référence (fig. 4).

### Indicateurs Smart

Les indicateurs doivent toujours être « smart » – en anglais: specific, measurable, accurate, realistic, timely (PAM).

Ils doivent par ailleurs être définis en fonction des objectifs du projet considéré. Dans le cadre du projet « Rhône-Thur », les indicateurs ont été classés selon les trois thèmes suivants: (1) société: protection et exploitation, (2) environnement et écologie, (3) économie. Le *Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale* (Woolsey *et al.* 2005) décrit 50 indicateurs et comprend un fichier Excel permettant de définir automatiquement les indicateurs appropriés, à partir des objectifs du projet. Le tableau 8.1 du guide donne un aperçu des indicateurs recommandés. On distingue notamment les paramètres d'évaluation directe des paramètres d'évaluation indirecte, les premiers étant plus efficaces que les seconds. Le tableau 7.3 du guide propose un grand nombre d'indicateurs (liste non exhaustive que l'utilisateur peut compléter à sa guise).

Le nombre d'indicateurs utilisés dépend des moyens financiers alloués au projet. Idéalement, on utilisera un ensemble d'indicateurs permettant d'analyser différents aspects du projet de revitalisation, sur les plans écologique (biodiversité), sociétal (acceptation du projet par la population) et de l'aménagement fluvial (hydraulique et fond du lit) (Woolsey *et al.* 2005). Requena et von Pfullstein (2011) proposent également des indicateurs relatifs au développement morphologique.

Pour l'objectif « Diversité et abondance semi-naturelle de la faune », 15 paramètres d'évaluation indirecte et 8 paramètres d'évaluation directe ont été définis (Woolsey *et al.* 2005: tableau 8.1). Angermeier (1997) propose de recourir à un mélange d'indicateurs, p. ex. à la fois des indicateurs compositionnels, structurels et fonctionnels. Les indicateurs compositionnels décrivent les éléments biotiques (abondance, biomasse, diversité des espèces, etc.) et les indicateurs structurels leur organisation ou leur modèle (répartition des générations, taille moyenne des poissons, etc.), tandis que les indicateurs fonctionnels renseignent sur les processus écologiques ou évolutifs (taux de croissance ou de survivance, Weber et Peter 2011). L'évaluation du succès d'un projet de revitalisa-

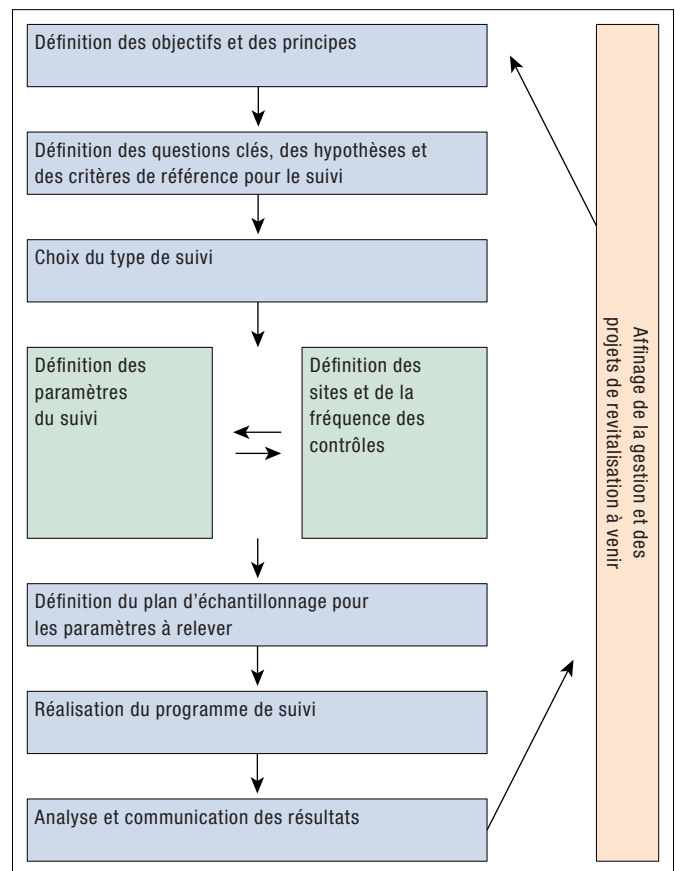


Fig. 1 Déroulement d'un contrôle de suivi d'après Roni 2005

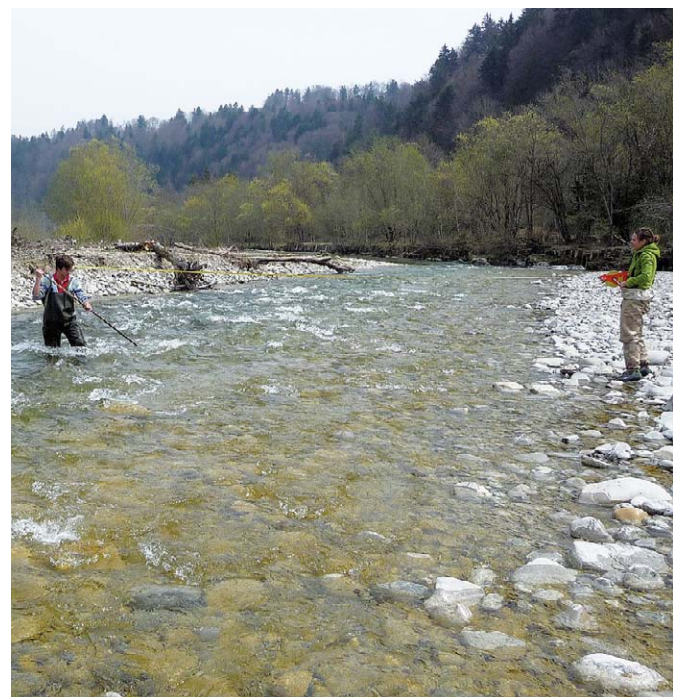


Fig. 2 Relevé de la largeur et de la profondeur d'un tronçon dans le cadre d'un suivi. Photo: Armin Peter

tion dépend des indicateurs choisis pour le suivi. Bien souvent, on opte pour des indicateurs ayant une portée emblématique (présence d'espèces figurant sur la liste des espèces menacées telles que la truite de lac, le nase ou le tamaris).

### Lieux et dates d'exécution des suivis

Les lieux et les dates d'exécution des suivis doivent être choisis de manière à ce que les modifications induites par le projet de revitalisation puissent être constatées. Les conditions temporelles doivent être définies avant le début du suivi. La règle veut que les suivis se déroulent sur une période d'au moins trois à cinq ans, idéalement sur dix ans. Cela est particulièrement important lorsqu'il s'agit de constater les variations de la densité d'une espèce. Si le budget alloué au suivi est faible, les modifications doivent être consignées sur un horizon moyen et sur un horizon lointain (p.ex. au bout de trois ans, puis au bout de cinq ans). La durée recommandée dépend des objectifs du projet. Le suivi s'achève généralement lorsque le succès du projet a été constaté. Si les objectifs ne sont pas atteints même au bout de plusieurs années, il convient d'en analyser la cause et d'examiner si le succès pourrait intervenir à l'issue d'une plus longue période (plus de dix ans, p.ex.).

La prise en compte de plusieurs tronçons non revitalisés (non traités) est surtout nécessaire pour le suivi « Observation post-projet » (post-treatment design). Si plusieurs tronçons sont utilisés dans le cadre d'une « comparaison avant-après » (BA, BACI), ce qui est recommandé, les tronçons de référence

doivent correspondre au type du cours d'eau revitalisé et ne pas se situer à une trop grande distance de celui-ci.

### Evaluation

Le *Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale* (Woolsey *et al.* 2005) propose une procédure d'évaluation en plusieurs étapes. Les valeurs obtenues pour chaque indicateur sont standardisées, une matrice d'évaluation permettant de comparer les valeurs « avant aménagement » et « après aménagement », c'est-à-dire d'identifier les modifications intervenues après la mise en œuvre des mesures de revitalisation (aggravation: échec; pas de modification; légère amélioration: petit succès; amélioration moyenne: succès moyen; forte amélioration: grand succès). On analyse ensuite l'évolution pour chacun des objectifs du projet, en établissant une moyenne pour les valeurs standardisées. Le chapitre 10 du guide décrit en détail le concept du suivi. Le programme Excel calcule le résultat pour chacun des objectifs et donne une représentation graphique de l'ensemble.

### Coûts

Les suivis sont plus souvent mis en place dans le cadre de projets de grande envergure que de projets aux budgets réduits. S'il n'existe aucune référence en matière de part des coûts du suivi dans le coût total du projet de revitalisation, une proportion de 5 à 10 % semble appropriée. Il importe notamment de prévoir suffisamment tôt les coûts relatifs à la définition des

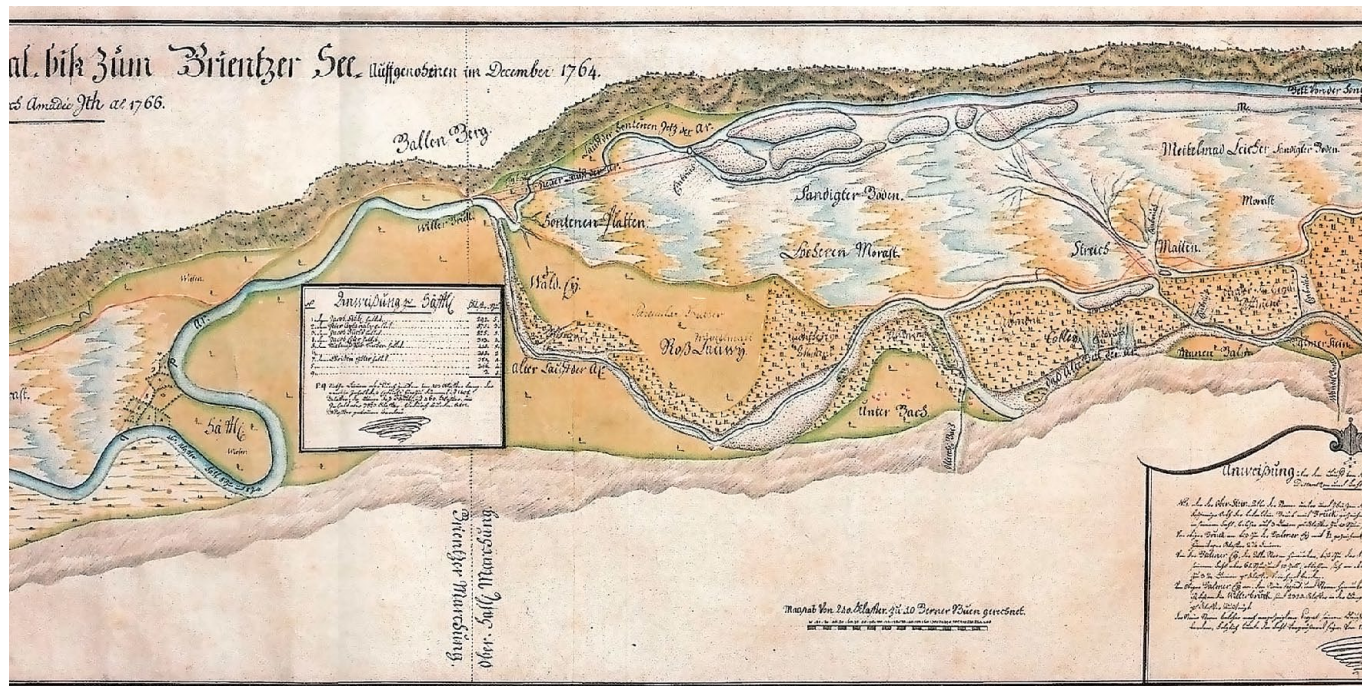


Fig. 3 Carte historique de la Hasliaare (BE), Mirani, 1764. Cette carte peut être utilisée comme référence pour le suivi d'un projet de revitalisation. Illustration: Heimatbuch de Brienz. Plans originaux: archives de la ville de Berne

indicateurs et de ne pas choisir que des indicateurs onéreux. D'un point de vue stratégique, il n'est pas nécessaire de procéder à un suivi complet pour tous les projets. Sur un ensemble de projets et de cours d'eau similaires, la quantification du succès d'un projet peut suffire, si l'on n'oublie pas d'inclure dans le suivi les petits cours d'eau. Si les projets de grande envergure doivent toujours faire l'objet d'un suivi complet, une évaluation simplifiée doit être envisagée pour les projets de faible envergure, avec un nombre restreint d'indicateurs (2 à 3 indicateurs clés) dans un souci de réduction des coûts. Il faudra alors veiller à inclure des indicateurs abiotiques et des indicateurs biotiques.



**Fig. 4** *La Singine et la zone alluviale près de Plaffeien (FR). Tronçon naturel pouvant servir de référence à un cours d'eau similaire.*  
Photo: Armin Peter

## Bibliographie

Angermeier, PL., 1997: Conceptual roles of biological integrity and diversity. In: Williams, JE., Wood, CA., Dombeck, MP. (éd.), *Watershed restoration: principles and practices*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland: p. 49–65.

Hicks, BJ., Hall, JD., Bisson, PA., Sedell, JR., 1991: Responses of salmonids to habitat changes. *American Fisheries Society Special Publication 19*: p. 483–518.

MacDonald, LH., Smart, AW., Wissmar, RC., 1991: Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams in the Pacific Northwest and Alaska. U.S. Environmental Protection Agency, Seattle, WA.

PAM (Programme alimentaire mondial des Nations Unies): *Monitoring & Evaluation Guidelines*. PAM, Rome, Internet: [documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ko/mekb\\_module\\_15.pdf](http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ko/mekb_module_15.pdf)

Requena, P., von Pfuhlstein, M., 2011: Erfolgskontrolle der morphologischen Entwicklung bei Flussaufweitungen – Erfahrungen aus der Praxis. *Eau énergie air*: 2/2011, p. 128–132.

Roni, P., Pess, G., Morley, S., 2010: Monitoring Salmon stream restoration: guidelines based on experience in the American Pacific Northwest. In: Kemp, P. (éd.), *Salmonid Fisheries: Freshwater Habitat Management*. Wiley-Blackwell: p. 119–147.

Roni, R., 2005: Overview and Background. In: Roni, P. (éd.), *Monitoring stream and watershed restoration*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland: p. 1–11.

Weber, C., Peter, A., 2011: Success or Failure? Do Indicator Selection and Reference Setting Influence River Rehabilitation Outcome. *North American Journal of Fisheries Management* 31:3, p. 535–547

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S., Tockner, K., Peter, A., 2005: *Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale*, Internet: [www.rivermanagement.ch/fr/docs/guide\\_suivi.pdf](http://www.rivermanagement.ch/fr/docs/guide_suivi.pdf)

## Liens utiles

Suivi des projets de revitalisation fluviale:  
[ecobe.infosite.ch/renf-public/Erfolgskontrollen](http://ecobe.infosite.ch/renf-public/Erfolgskontrollen)  
[www.rivermanagement.ch/fr/suivi\\_revita/welcome.php](http://www.rivermanagement.ch/fr/suivi_revita/welcome.php)

Monitoring d'un projet de revitalisation alluviale:  
[faculty.washington.edu/philroni/FSH428/Navigation%20Index/Assignments/Assignment%206/CH6\\_Pess\\_et\\_al\\_Floodplains.pdf](http://faculty.washington.edu/philroni/FSH428/Navigation%20Index/Assignments/Assignment%206/CH6_Pess_et_al_Floodplains.pdf)

## Impressum

### Concept

Dans le cadre du présent projet, des spécialistes en aménagement des cours d'eau, des écologues et des représentants des autorités fédérales et cantonales ont été invités à élaborer des solutions conjointes visant à supprimer les déficits relevés au niveau des cours d'eau. Les intervenants ont ainsi exploré les possibilités de réaliser des habitats dynamiques et interconnectés, et développé des concepts innovants pour la mise en œuvre des mesures d'aménagement des cours d'eau. Pour plus d'informations: [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

### Projet

Financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), le projet a été mené sous l'égide des quatre institutions suivantes:

Armin Peter, Eawag, Ecologie et évolution des poissons, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Christoph Scheidegger, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, Biodiversité et écologie de la conservation, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)

Anton Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, [www.lch.epfl.ch](http://www.lch.epfl.ch)

Roland Fäh, EPF Zurich, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW/ETHZ), Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurich, [www.vaw.ethz.ch](http://www.vaw.ethz.ch)

### Coordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

### Suivi technique

OFEV: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen  
Cantons: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projet: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fäh, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

### Edition

Office fédéral de l'environnement (OFEV).

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

### Rédaction

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

### Traduction et suivi linguistique

Aude Thalmann, Anne-Catherine Trabichet

### Référence bibliographique

Peter, A., Scheidegger, C., 2012: Suivi des projets de revitalisation. In: *Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau*, OFEV, Berne. Fiche 8.

### Conception et illustrations

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

### Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-1211-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1211-f)

Cette publication est également disponible en allemand (original) et en italien.

© OFEV 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV