

## 3 > Indice hydromorphologique de la diversité

Walter Gostner, Anton Schleiss

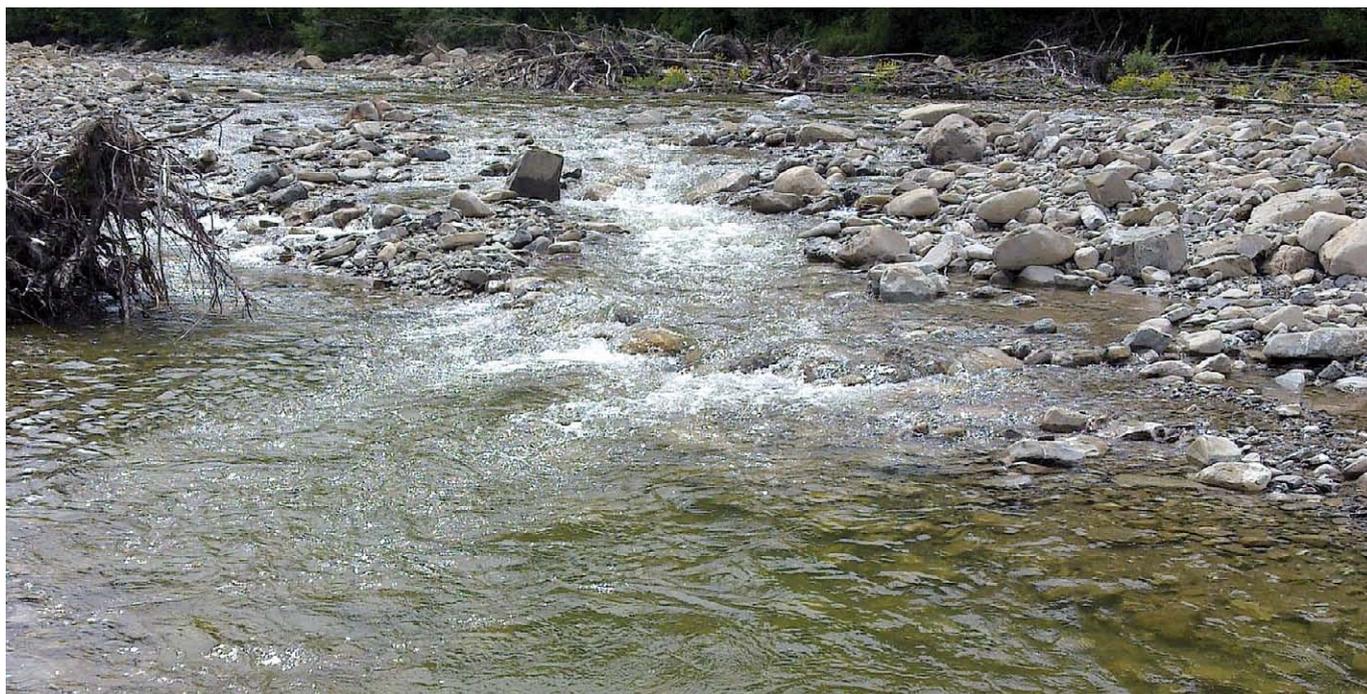
*La diversité morphologique est nécessaire au fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Cette fiche propose un nouvel indice – l'indice hydromorphologique de la diversité (IHMD) – pour calculer la diversité hydromorphologique. Cet outil permet d'évaluer quantitativement les projets d'aménagement des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

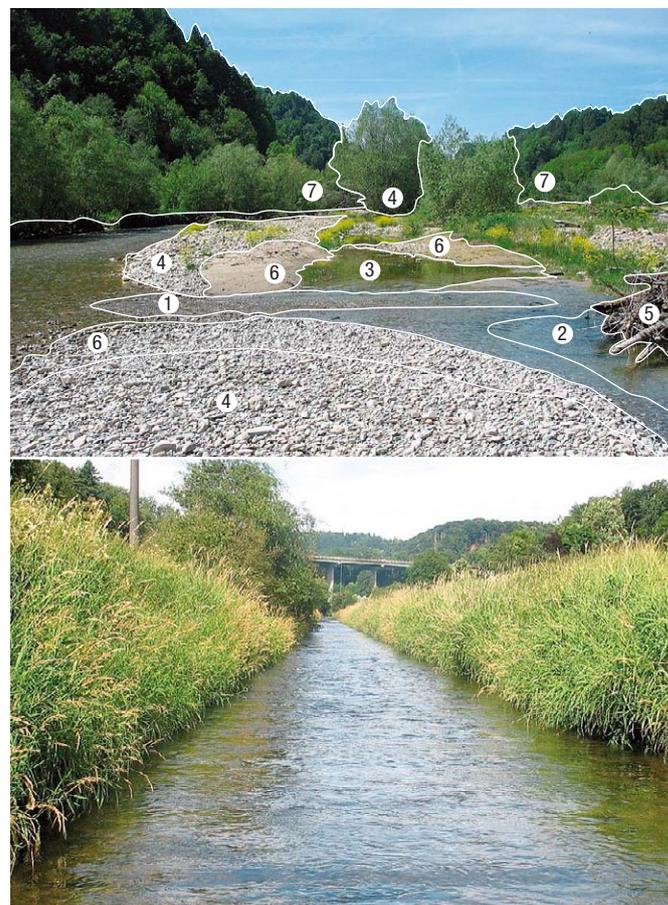


Fig. 1 En haut: tronçon de la Singine (FR) proche de l'état naturel avec des zones à fort courant (1), des zones profondes (2), des hauts-fonds (3), des bancs de gravier (4), du bois mort (5), différents substrats (6) et une large zone riveraine (7). En bas: tronçon endigué de la Bünz (AG) à faible diversité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

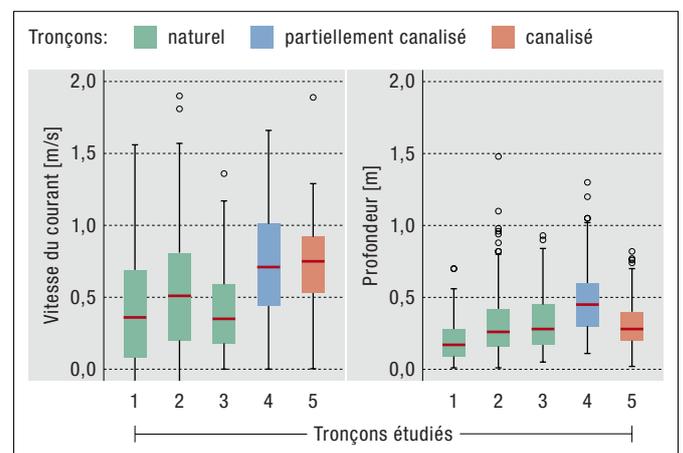


Fig. 2 Boxplots (diagramme des quantiles) présentant la vitesse du courant (à gauche) et la profondeur (à droite) des tronçons sélectionnés le long de la Singine (FR). La ligne rouge horizontale indique la valeur médiane. Les cases situées au-dessus et au-dessous comprennent au total 50% des données. 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 rééquilibre 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'amoindrissement 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.

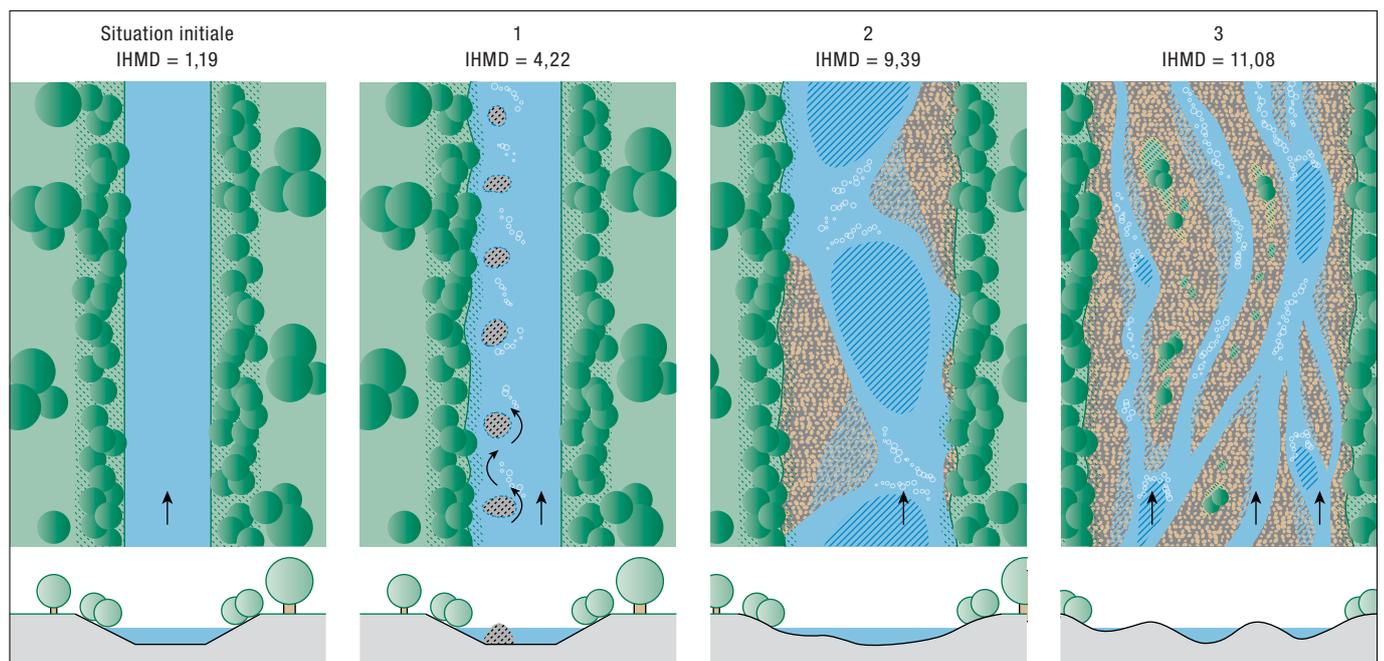


Fig. 3 Schéma des variantes envisageables pour une revitalisation avec indication de l'IHMD de chaque variante. De gauche à droite: situation initiale, variante 1 (fixation de pierres bétonnées), variante 2 (aménagement de bancs de gravier), variante 3 (rétablissement de la dynamique complète). Illustration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