

# Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité

Recherche axée sur la pratique en matière d'aménagement et d'écologie des cours d'eau



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

# Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité

Recherche axée sur la pratique en matière d'aménagement et d'écologie des cours d'eau

# Impressum

## Éditeur

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).

## Instituts de recherche

Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau Eawag  
Plateforme de constructions hydrauliques PL-LCH (EPFL)  
Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie VAW (ETH Zurich)  
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL

## Gestion de projet

Anna Belser (coordination du projet ; OFEV),  
Christoph Scheidegger (WSL), Sabine Fink (WSL),  
Christine Weber (Eawag), David Vetsch (ETH Zurich),  
Carmelo Juez (EPFL), Giovanni De Cesare (EPFL)

## Groupe d'accompagnement

*OFEV*  
Diego Dagani, Katharina Edmaier, Rémy Estoppey, Lorenzo Gorla,  
Susanne Haertel-Borer, Christian Holzgang, Andreas Knutti,  
Stephan Lussi, Benoît Magnin, Antoine Magnollay, Manuel Nitsche,  
Martin Pfaundler, Carlo Scapozza, Adrian Schertenleib,  
Gregor Thomas

## Administrations cantonales

Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE),  
Erik Olbrecht (GR), Pascale Ribordy (FR), Thomas Stucki (AG)

## Instituts de recherche

Johny Wüest (Eawag), Christoph Vorburger (Eawag), Anton Schleiss (EPFL), Giovanni De Cesare (EPFL), Robert Boes (ETH Zurich), Christoph Hegg (WSL), Rolf Holderegger (WSL)

## Bureaux d'ingénieurs

Tamara Ghilardi (CSD Ingénieurs SA), Lukas Hunzinger (Flussbau AG SAH), Sandro Ritler (Holinger SA)

## Autres

Roger Pfammatter (Association suisse pour l'aménagement des eaux [ASAE]), Andreas Stettler (ASAE), Benjamin Leimgruber (Aqua Viva), Tobias Walter (Aqua Viva), Esther Leitgeb (Aqua Viva), Stefan Vollenweider (Agenda 21 pour l'eau)

## Rédaction

Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

## Remerciements

Les auteurs remercient les personnes suivantes pour leur contribution précieuse à l'élaboration du présent ouvrage :  
Marta Antonelli (Eawag), Francesco Caponi (ETH Zurich),  
Melissa Dawes (WSL), Dorothea Hug Peter (WSL), Michèle Kännel Dobbertin (WSL), Paolo Perona (EPFL), Lucie Sprecher (Eawag),  
Davide Vanzo (ETH Zurich).

## Traduction

Service linguistique de l'OFEV

## Graphiques

anamorph Visuelle Kommunikation

## Mise en page

Funke Lettershop AG

## Photo de couverture

Rivière Moesa dans le val Mesolcina (GR)

© Sabine Fink

## Téléchargement au format PDF

[www.bafu.admin.ch/uw-2302-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-2302-f)

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en anglais, en allemand et en italien. La langue originale est l'anglais.

© OFEV 2023

# Table des matières

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>	4.3	Modélisation numérique des structures de dérivation latérale	41
<b>Avant-propos</b>	<b>6</b>	4.4	Recommandations pour des applications pratiques	44
<b>Introduction</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>Refuges aquatiques durant les épisodes de crue</b>	<b>46</b>
<b>1 Planification stratégique pour la revitalisation et la conservation</b>	<b>10</b>	5.1	Qu'entend-on par refuges ?	46
1.1 Défis de planification de la revitalisation et de la conservation	10	5.2	Fonctionnement des refuges	46
1.2 Pourquoi utiliser des modèles pour la revitalisation des eaux ?	11	5.3	Disponibilité et évaluation des refuges : trois études	49
1.3 Application de la modélisation écologique aux projets de planification à l'exemple des champignons	12	5.4	Préservation et restauration des refuges	52
1.4 Planification de la revitalisation : échelles spatiales et temporelles	12	<b>6</b>	<b>Simulation des dépôts de sédiments fins dans les lits majeurs</b>	<b>56</b>
1.5 Structure et forme des habitats	14	6.1	Introduction	56
1.6 La connectivité, élément central d'une revitalisation réussie	16	6.2	Modélisation numérique	58
1.7 Utilisation d'informations génétiques pour évaluer la connectivité	16	6.3	Processus	58
1.8 Planification de la revitalisation des milieux fluviaux : aspects à prendre en compte dans l'utilisation de modèles	17	6.4	Aspects écologiques	60
<b>2 Modélisation éco-hydrodynamique des habitats riverains</b>	<b>19</b>	6.5	Étude de cas	61
2.1 Modélisation des habitats dans les milieux fluviaux	19	<b>7</b>	<b>Impact du colmatage des substrats sur la connectivité verticale</b>	<b>65</b>
2.2 Mise en relation des modèles écologiques et hydrodynamiques	20	7.1	Colmatage	65
2.3 Étude de cas : la Moesa	21	7.2	Décolmatage	71
2.4 Utilisation en pratique	25	7.3	Changements anthropiques et leurs conséquences	72
<b>3 Flux de ressources aquatiques et terrestres</b>	<b>28</b>	7.4	Conclusions	73
3.1 Importance des flux depuis les systèmes aquatiques vers les systèmes terrestres	29	<b>8</b>	<b>Répartition de la granulométrie et cycle de vie de la truite atlantique</b>	<b>75</b>
3.2 Données suisses sur les subsides de ressources aquatiques-terrestres	31	8.1	Introduction	75
3.3 Implications pour la gestion de cours d'eau	36	8.2	Substrat préféré en fonction de l'âge et du sexe de l'individu	76
<b>4 Réaction du chenal à la dérivation des eaux de crues vers les zones alluviales</b>	<b>38</b>	8.3	Lien entre la taille des femelles à maturité et la structure du substrat	77
4.1 Introduction	38	8.4	Implications pour les stratégies de soutien aux populations de truites et d'amélioration de leurs habitats	80
4.2 Estimation du déversement latéral	39	<b>9</b>	<b>Continuité des sédiments et mesures de recharge sédimentaire</b>	<b>84</b>
		9.1	Interruption de la continuité des sédiments	84
		9.2	Mesures de recharge sédimentaire	85
		9.3	Fondamentaux des processus	87
		9.4	Évaluation des effets	90
		<b>10</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>93</b>

# Abstracts

Riverscapes are a diverse habitat mosaic of patches ranging from wet to dry that are shaped by the hydro- and morphodynamic characteristics of the river. Sediment dynamics and connectivity are therefore two key elements influencing the flood protection and ecological functions in river restoration efforts. The interdisciplinary research project 'Riverscape – sediment dynamics and connectivity' links hydraulic engineering and ecology to evaluate measures fostering sediment dynamics and to explore functional riverscape habitats. This publication comprises a summary of the main research findings of the project, supplemented by perspectives from researchers and practitioners who were not directly involved in the project.

Les milieux fluviaux constituent une mosaïque d'habitats variés, allant des habitats très humides à d'autres complètement secs, qui se forment en fonction des caractéristiques hydrodynamiques et morphodynamiques des cours d'eau. Ainsi, la dynamique sédimentaire et la connectivité sont deux éléments influant sur la protection contre les crues et les fonctions écologiques dans les efforts de revitalisation des cours d'eau. Le projet de recherche interdisciplinaire « Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité » fait le pont entre l'aménagement et l'écologie des cours d'eau afin d'évaluer les mesures favorisant la dynamique sédimentaire et d'explorer les habitats fonctionnels des milieux fluviaux. La présente publication contient un résumé des principaux résultats de ce projet ainsi que des interprétations complémentaires de la part de chercheurs et de praticiens qui n'ont pas directement participé au projet.

Flusslandschaften bilden ein vielfältiges Habitatmosaik von feuchten zu trockenen Standorten, die durch die hydro- und morphodynamischen Eigenschaften des Flusses geprägt sind. Sedimentdynamik und Vernetzung sind daher zwei Schlüsselemente, die den Hochwasserschutz und die ökologischen Funktionen bei Massnahmen zur Fließgewässerrevitalisierung beeinflussen. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt «Lebensraum Gewässer – Sedimentdynamik und Vernetzung» verbindet Wasserbau und Ökologie miteinander, um Massnahmen zur Förderung der Sedimentdynamik zu beurteilen und funktionale Lebensräume in Flusslandschaften zu erforschen. Diese Publikation fasst die wichtigsten Forschungsergebnisse zusammen und ergänzt diese durch Beiträge von Forschenden und Fachleuten aus der Praxis, die nicht direkt am Projekt beteiligt waren.

I paesaggi fluviali sono caratterizzati da un mosaico di habitat diversi, da umidi ad aridi, plasmati dalle peculiarità idrodinamiche e morfodinamiche del corso d'acqua. La dinamica dei sedimenti e la connettività sono quindi due elementi chiave per la protezione contro le piene e le funzioni ecologiche negli sforzi di rivitalizzazione dei corsi d'acqua. Il progetto di ricerca interdisciplinare «Paesaggi fluviali: dinamica dei sedimenti e connettività» unisce la sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua al fine di valutare le misure che favoriscono la dinamica dei sedimenti ed esplorare gli habitat funzionali dei paesaggi fluviali. La presente pubblicazione comprende una sintesi dei principali risultati del progetto, integrata dai punti di vista di ricercatori e professionisti del settore non direttamente coinvolti nel progetto.

## Keywords:

*clogging, ecological function, flood protection, interdisciplinary research, refugia, river habitat, riparian species, river restoration*

## Mots-clés :

*colmatage, fonction écologique, protection contre les crues, recherche interdisciplinaire, refuges, habitat fluvial, espèces riveraines, revitalisation des cours d'eau*

## Stichwörter:

*Kolmation, ökologische Funktion, Hochwasserschutz, interdisziplinäre Forschung, Refugien, Lebensraum Fließgewässer, auenbewohnende Arten, Fließgewässerrevitalisierung*

## Parole chiave:

*colmatazione, funzioni ecologiche, protezione contro le piene, ricerca interdisciplinare, rifugio, ambienti fluviali, specie riparie, rivitalizzazione dei corsi d'acqua*

---

# Avant-propos

Les cours d'eau proches de l'état naturel font partie des habitats les plus riches en espèces de Suisse. De très humides à complètement secs, ils constituent une mosaïque de sites changeant constamment en raison des variations des conditions de débit et de la dynamique sédimentaire. Ils forment un corridor qui relie autant les bancs de gravier, les forêts alluviales et les étangs. La connectivité de ces habitats permet la préservation et le développement de la biodiversité.

En Suisse, à l'heure actuelle, de nombreux cours d'eau ne sont plus proches de leur état naturel. La plupart des rivières et ruisseaux sont corsetés et leur débit et leur équilibre sédimentaire ont été altérés. La biodiversité a considérablement reculé dans ces milieux fluviaux. De plus, les changements climatiques font grimper les températures des eaux et entraînent des conditions d'écoulement plus marquées. Les crues de grande ampleur et la fréquence en augmentation des étiages durant les périodes de sécheresse constituent une menace pour l'être humain et ses infrastructures. Il y a lieu de mettre en phase les mesures de protection contre les crues et celles de revitalisation afin d'améliorer la situation à long terme. Pour ce faire, il est nécessaire que les différentes disciplines collaborent étroitement.

Le projet de recherche interdisciplinaire « Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité » réunit les deux thématiques que sont l'aménagement des cours d'eau et l'écologie des cours d'eau. Des chercheurs des deux disciplines ont réuni leurs forces pour poser les principes fondamentaux et proposer des solutions pour rétablir la dynamique des sédiments et la connectivité des habitats. Cette publication présente les principaux résultats pertinents pour la pratique. Elle s'adresse en particulier aux experts de l'administration publique et au secteur privé.

Le projet de recherche « Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité » était un projet conjoint de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et des institutions de recherche que sont l'Eawag, l'EPFL, l'ETH Zurich et le WSL. Des experts issus de la pratique au sein des administrations cantonales, de bureaux d'ingénieurs et d'organisations non gouvernementales y ont également participé.

L'OFEV tient à remercier l'ensemble des participants pour leur précieuse collaboration ainsi que les représentants des administrations cantonales et du secteur privé pour leur soutien et leur engagement.

Katrin Schneeberger, directrice  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

---

# Introduction

Sabine Fink, Anna Belser, Giovanni De Cesare,  
Christoph Scheidegger, Christine Weber et David Vetsch

Les processus hydrologiques et hydrauliques tels que le transport de matériaux solides influent sur les organismes aquatiques, amphibiens et terrestres et leurs habitats, bien au-delà du lit principal d'un cours d'eau. Cette zone, nommée « milieu fluvial », abrite une grande diversité d'habitats riverains, qui varient dans l'espace et le temps en fonction du débit d'eau et de la dynamique sédimentaire. La faune et la flore adaptées à la vie en ce milieu tirent parti des environnements changeants. La dynamique sédimentaire en particulier peut fournir des nutriments, promouvoir la reproduction et créer ou altérer temporairement des habitats.

Dans les milieux fluviaux proches de l'état naturel, la grande surface reliant la terre à l'eau fournit suffisamment d'espace pour atténuer les dangers dus aux crues. Cependant, dans les milieux fluviaux altérés, les infrastructures humaines et les terres agricoles sont touchées par des événements qui dépassent le débit de dimensionnement, ce qui rend nécessaires des mesures de protection et une gestion du risque résiduel. La notion de degré de connectivité revêt la plus grande importance lorsqu'il s'agit d'associer protection contre les crues et garantie des fonctions écologiques dans les milieux fluviaux. En effet, les cours d'eau proches de l'état naturel sont connectés à leur environnement dans plusieurs dimensions : dans une dimension longitudinale de la source à l'embouchure, dans une dimension latérale de l'eau aux rives (comprises) et dans une dimension verticale de l'eau de surface à l'eau souterraine. La dynamique sédimentaire impacte la connectivité dans toutes ces dimensions et l'étendue des processus impliqués peut aller du simple habitat au bassin versant entier.

Dans les milieux fluviaux connectés écologiquement, les espèces peuvent se réfugier dans des zones où l'impact des événements extrêmes (p. ex. les crues et les sécheresses) est réduit. La connectivité fonctionnelle promeut par ailleurs la biodiversité, même dans les zones de petite taille, car elle relie des habitats et permet aux organismes de se disperser et de coloniser de nouvelles zones. La recolonisation des milieux fluviaux est un processus fondamental étant donné que la dispersion des espèces riveraines est possible sur de grandes

distances le long de cours d'eau fonctionnels. La planification stratégique pour la restauration et la conservation à l'échelle du bassin versant jouit d'une perspective holistique. Les modèles permettent de représenter le potentiel des espèces à atteindre certains habitats dans les milieux fluviaux après plusieurs années, voire décennies, notamment dans des scénarios où les conditions climatiques et morphologiques sont changeantes (voir chap. 1 ; Fink et Scheidegger 2023). En outre, les espèces aquatiques et terrestres présentes dans les milieux fluviaux nécessitent des habitats spécifiques pour s'établir, croître et se reproduire. La formation de ces habitats sur des sites spécifiques dépend des facteurs climatiques et hydrologiques à l'échelle du bassin versant et de facteurs hydrodynamiques à l'échelle locale (voir chap. 2 ; van Rooijen *et al.* 2023).

Dans les milieux fluviaux proches de l'état naturel, les zones aquatiques et terrestres sont bien connectées entre elles et comprennent des réseaux trophiques où les insectes provenant de l'eau constituent des proies pour les prédateurs terrestres (p. ex. araignées et oiseaux ; voir chap. 3 ; Kowarik et Robinson 2023). Une connectivité latérale fonctionnelle entre les habitats aquatiques et terrestres est également importante pour la prévention des dangers naturels puisqu'elle permet de dévier les masses d'eau en cas de crue. Les milieux fluviaux disposant de suffisamment d'espace pour la rétention des eaux sont en mesure de réduire les pics de crue et donc d'atténuer les impacts en aval. Dans le cas d'un épisode de crue de grande ampleur, les structures de dérivation latérale dévient certes des quantités d'eau considérables, mais affectent aussi le transport de matériaux solides dans le lit principal (voir chap. 4 ; Frei *et al.* 2023). Sachant que des crues régulières sont essentielles à la végétation alluviale, la construction de structures de dérivation latérale peut également représenter une mesure écologique efficace.

Pendant les épisodes de crue de petite comme de grande ampleurs, les espèces des milieux fluviaux cherchent à s'abriter dans des refuges, qui sont des habitats aquatiques ou terrestres où l'impact des débits élevés et de la mobilisation des sédiments est réduit (voir chap. 5 ; Rachelly *et al.* 2023). La mosaïque d'habitats au sein des milieux fluviaux proches de l'état naturel crée une multitude de refuges, notamment lorsque l'apport sédimentaire – un prérequis pour que des

refuges soient disponibles et fonctionnels – est suffisant. En outre, la déposition de sédiments fins sur les zones alluviales lors de crues est importante pour la formation d'habitats riverains terrestres tels que les forêts alluviales riches en espèces. Ce processus dépend fortement de la structure au sein de l'habitat ; par exemple, les arbustes et la végétation herbacée promeuvent la déposition des sédiments. De plus, les connaissances sur les caractéristiques de déposition des sédiments fins dans les chenaux composés sont essentielles à la protection contre les crues dans les cours d'eau régulés (voir chap. 6 ; Conde *et al.* 2023).

Les sédiments en suspension peuvent également être déposés sur le substrat du cours d'eau, les particules fines étant retenues dans les espaces poreux, ce qui engendre un colmatage et réduit donc la porosité et les échanges d'eau (voir chap. 7 ; Dubuis *et al.* 2023). Lorsque le débit croît, un décolmatage se produit en raison de l'augmentation du charriage et de la resuspension des sédiments fins. Il est important de comprendre les facteurs responsables du colmatage étant donné que ce processus entrave les flux de nutriments et empêche l'eau bien oxygénée de circuler librement. Ce dernier élément est d'une importance capitale pour le développement des œufs pour les espèces de poissons frayant dans le substrat comme la truite atlantique. Par ailleurs, le type et la taille des sédiments dans le substrat des cours d'eau ont un impact sur la répartition spatiale de la truite atlantique, en fonction de l'âge et du sexe du poisson en question (voir chap. 8 ; Takatsu *et al.* 2023).

Il est crucial de parvenir à une dynamique sédimentaire proche de l'état naturel pour assurer la fonction écologique du substrat des cours d'eau. Il est possible de remédier à la discontinuité des sédiments en procédant à une recharge sédimentaire. L'approche optimale concernant les mesures de restauration du charriage dépend de l'objectif poursuivi, par exemple améliorer les habitats des poissons qui fraient, promouvoir les structures du lit des cours d'eau ou encore favoriser la dynamique de ces derniers (voir chap. 9 ; Mörtl *et al.* 2023). Pour toutes les mesures, le moment idéal ainsi que la qualité et la quantité du substrat introduit dépendent fortement des objectifs de protection contre les crues et des caractéristiques écologiques des espèces aquatiques et terrestres ou de l'habitat concerné par la recharge (p. ex. poissons et végétation sur le tronçon du cours d'eau).

La présente publication est le fruit d'un processus interactif impliquant les chercheurs travaillant sur le projet et un groupe d'accompagnement comprenant des praticiens de bureaux d'études, d'ONG ainsi que d'administrations cantonales et fédérales. Elle résume les principaux résultats de la phase de projet s'étendant de 2017 à 2021 (voir encadré 1) et inclut des explications de la part de chercheurs et de praticiens qui n'ont pas directement participé au projet (voir l'encadré « En pratique » à chaque chapitre). De plus amples informations sur le programme de recherche et sur les projets sont disponibles sur le site Internet « Aménagement et écologie des cours d'eau » : [www.rivermanagement.ch/fr](http://www.rivermanagement.ch/fr). Le site propose également des liens vers d'anciens rapports et des publications scientifiques.

### **Encadré 1 : Programme de recherche « Aménagement et écologie des cours d'eau »**

La loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, 1991) et l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, 1998) prescrivent des cours d'eau fonctionnels dans des milieux fluviaux proches de l'état naturel qui soient en mesure d'assurer la protection contre les crues. Depuis 2011, une stratégie de revitalisation nationale a été mise en place pour répondre à cet objectif. Faisant preuve de prévoyance, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a lancé, il y a 20 ans, le programme de recherche interdisciplinaire « Aménagement et écologie des cours d'eau » en collaboration avec les instituts de recherche VAW (ETH Zurich), PL-LCH (EPFL), Eawag et WSL. L'objectif du programme est d'élaborer des principes scientifiques et des solutions pratiques en relation avec les cours d'eau et de les mettre en œuvre. Des chercheurs actifs dans différentes disciplines et des experts de la pratique ont participé au programme. Les résultats sont conçus pour contribuer à la mise en œuvre de la LEaux de 1991 et de la loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau de 1991. Ils sont disponibles pour les praticiens sous la forme d'articles scientifiques et techniques, de manuels, de rapports et d'ouvrages de la série « Connaissance de l'environnement » de l'OFEV.

« Milieux fluviaux – dynamique sédimentaire et connectivité » était le quatrième projet de recherche pluriannuel du programme « Aménagement et écologie des cours d'eau », après les trois projets « Rhône-Thur », « Gestion intégrale des zones fluviales » et « Dynamique du

charriage et des habitats ». Ce quatrième projet s'intéressait à deux thématiques de recherche principales, les deux mettant l'accent sur la protection contre les crues et l'écologie dans les cours d'eau de taille moyenne : (i) la dynamique sédimentaire et (ii) les connectivités longitudinale, latérale et verticale. Vetsch *et al.* (2018) et Fink *et al.* (2018) fournissent une description détaillée du projet de recherche avec les principaux thèmes, les sous-projets et les questions de recherche.

D'importants produits liés à la pratique sont issus du programme de recherche, notamment :

- Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen (Woolsey *et al.* 2005) [en allemand et en anglais]
- Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt (Rohde 2005) [en allemand]
- Synthesebericht Schwall/Sunk (Meile *et al.* 2005) [en allemand]
- Manuel pour la participation et la prise de décision dans les projets d'aménagement de cours d'eau (Hostmann *et al.* 2005) [en allemand et en français]
- Recueil des fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau. Résultat du projet de « gestion intégrale des zones fluviales » (OFEV 2012) [en allemand, en français et en italien]
- Recueil de fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau. Dynamique du charriage et des habitats (OFEV 2017a) [en allemand, en français et en italien]