

## 6 Galeries de déviation et crues artificielles

*Les lacs de retenue bloquent le passage des matériaux charriés. Cela conduit à des déficits de charriage en aval, qui se répercutent négativement sur l'état écologique et morphologique des cours d'eau. Il est possible d'accroître la disponibilité des sédiments et d'atténuer ces déficits en construisant des galeries de déviation et en déclenchant des crues artificielles. Exemples à l'appui, la fiche 6 explique en quoi consistent ces deux mesures et décrit leurs effets sur l'écologie et la morphologie des eaux.*

**M. Facchini, E. Martín Sanz, S. Fink, D. Vetsch, Ch. Robinson, M. Döring, A. Siviglia, Ch. Scheidegger, R. Boes**

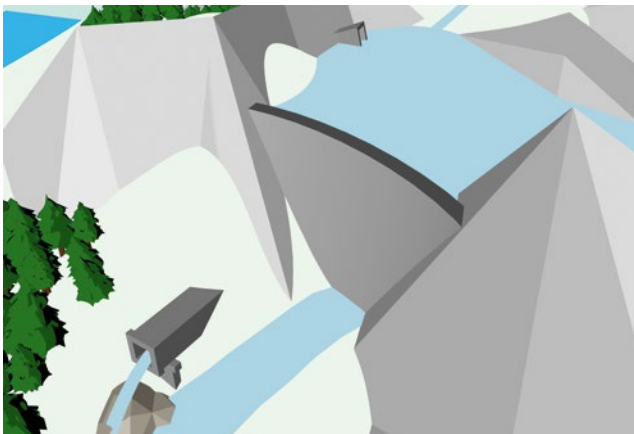
Les lacs de retenue interrompent la continuité des cours d'eau. Ils affectent le transport solide et réduisent la connectivité longitudinale des peuplements végétaux et animaux en fragmentant leurs habitats. En outre, lorsque le mouvement des sédiments est entravé, un déficit de charriage lourd de conséquences écologiques apparaît en aval. Le réservoir agit comme un dépotoir à alluvions et se comble progressivement si aucune contre-mesure n'est prise. Cette situation peut avoir des effets négatifs sur l'exploitation des installations (centrale hydraulique,

p. ex.): pertes de rendement, diminution de la rétention des crues, réduction de la flexibilité ou accroissement de l'usure des dispositifs mécaniques comme les turbines, en raison des concentrations élevées de matières en suspension.

La présente fiche décrit deux mesures permettant d'améliorer la continuité sédimentaire : la déviation de l'eau et des matériaux charriés par des galeries et les crues artificielles (fig.1). La purge des réservoirs est un autre moyen souvent utilisé. Cette opération est parfois confondue avec les crues artificielles ; elle vise toutefois un but différent, à savoir empêcher que le réservoir ne se comble et garantir le bon fonctionnement des organes de vidange. Les crues artificielles ont pour objectif la mise en valeur écologique du tronçon à débit résiduel situé en aval du barrage. Dans les deux cas, l'exploitant de l'ouvrage doit tenir compte d'aspects économiques. Des synergies existent entre les deux mesures, le déversement d'eau étant comparable. La concentration des sédiments représente toutefois un facteur critique lors des purges (cf. fiche 3).

**Fig. 1**

*Représentation schématique d'une galerie de déviation des sédiments (à gauche). Ouvrage de restitution de la galerie de déviation construite au barrage de Solis, sur l'Albula (GR; à droite); la photo a été prise le 23 mai 2014 lors de la deuxième opération de contrôle des crues de la galerie.*



Étant donné que le projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats» ne s'est pas intéressé aux purges de réservoir, cette mesure ne sera pas développée plus en détail dans ce qui suit. La présente fiche se concentre donc sur les galeries de déviation et les crues artificielles, dont elle traite d'abord les aspects techniques et fonctionnels, puis écologiques, avant de les illustrer par des exemples concrets.

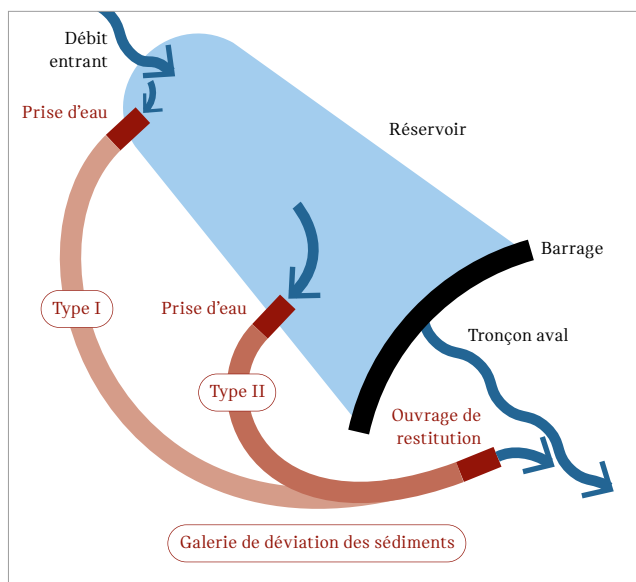
## Galeries de déviation

Les galeries de déviation des sédiments sont construites pour limiter le comblement des réservoirs et pour maintenir, le cas échéant rétablir, la continuité des cours d'eau, notamment pour le transport solide. En Suisse, dix barrages retenant les eaux de lacs relativement courts sont équipés de galeries de déviation opérationnelles (tab. 1) et d'autres installations sont prévues.

Les galeries de déviation des sédiments se composent d'un ouvrage de prise dans le réservoir, d'un conduit et d'un ouvrage de restitution en aval du barrage (fig. 2). Il

Fig. 2

Représentation schématique du fonctionnement d'une galerie de déviation des sédiments: la galerie détourne l'eau et les matériaux charriés dans le réservoir pour les restituer à la rivière en aval du barrage.



Source : VAW

en existe deux types: le type I représente celles dont l'ouvrage de prise se situe à l'extrémité supérieure du réservoir, en tête de retenue. Lors de la planification, il faut tenir compte de la longueur de la galerie et du tronçon d'accélération requis au niveau de la prise d'eau. L'écoulement est libre<sup>1</sup> dans toute la galerie (Auel et Boes 2011). L'installation «Pfaffensprung» sur la Reuss à Wassen (UR) en est un bon exemple. Le type II se distingue par un ouvrage de prise généralement plus proche du barrage, ce qui permet de réduire la longueur de la galerie. L'ouvrage de prise se trouve sous l'eau, et, d'un point de vue hydraulique, il y règne un écoulement en charge (Auel et Boes 2011). Si le dispositif de contrôle (vanne) destiné à régler le débit est installé à l'entrée de la galerie, la transition entre l'écoulement en charge et l'écoulement libre se fait à ce niveau-là. Cependant, s'il se trouve à la sortie, l'écoulement peut rester en charge sur tout le parcours. Dans les deux cas, il faut empêcher, notamment à l'aide d'une cloison siphonide, que des corps flottants comme les bois morts ne s'introduisent dans l'ouvrage pour éviter les embâcles. Le barrage de Solis (GR; cf. exemples), sur l'Albula, est équipé d'une galerie de type II.

## Fonctionnement

Les galeries de déviation des sédiments fonctionnent principalement pendant les crues naturelles, l'eau étant utilisée comme moyen de transport pour faire passer les matériaux solides à travers la galerie. En Suisse, ces installations sont généralement en service plusieurs jours par an (Auel 2014; Kondolf et al. 2014). Le dispositif de contrôle permet de régler le débit que l'on souhaite détourner. L'eau qui ne peut être ni dérivée, ni stockée dans le réservoir, est évacuée par les organes régulateurs du barrage (p. ex. turbines, évacuateur de crue ou vidange de fond).

Les galeries de type I sont capables de fonctionner lorsque la retenue affiche un niveau normal, puisqu'elles permettent le transit de la majeure partie du flux sédimentaire en conditions d'écoulement libre. Par contre, celles qui appartiennent au type II requièrent un certain abaissement du niveau d'eau du réservoir, une opération

<sup>1</sup> La définition de nombreux termes tels qu'«écoulement libre» sont définis dans le glossaire du site [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch), rubrique **Produits et publications**.

**Questions ouvertes**

- Propagation des sédiments venant d'être déversés et efficacité de la réactivation du transport solide (aspects écologiques)
- Moment idéal, fréquence et durée de l'exploitation des galeries de déviation des sédiments ou des crues artificielles, ainsi que débit de pointe optimal (aspects écologiques)

visant la formation d'un courant à même de mobiliser les sédiments dans la zone de comblement (Auel 2014).

L'exploitation de galeries de déviation pendant les crues produit des effets comparables à ceux des crues artificielles en aval des barrages. Elle permet de procéder à des déversements d'eau contrôlés. Le débit de pointe et la durée de l'opération sont ajustés au cas par cas de manière à améliorer les conditions écologiques (Martín Sanz et al. 2015) et limiter les atteintes à l'environnement dans le tronçon aval. Alors que les crues artificielles sans apport solide ne transfèrent que de l'eau directement en aval, les galeries de déviation captent les matériaux charriés par le cours d'eau en amont du lac de retenue pour les restituer plus bas. Les galeries de déviation sont actionnées de préférence pendant une crue naturelle afin de restaurer tant que possible les conditions (fréquence

des crues et disponibilité des sédiments) qui régnaient avant la construction du barrage.

Auel et al. (2016) ont examiné comment l'écologie et la morphologie des tronçons situés en amont et en aval de quatre barrages ont évolué sous l'influence des galeries de déviation. Au moment du relevé, ces ouvrages étaient en service depuis 0 à 92 ans. Plus la durée d'exploitation des galeries de déviation augmente, plus les conditions observées à l'aval se rapprochent de l'état qui régnait avant la construction des barrages, ou en amont des réservoirs. Pour éviter que leur exploitation ne cause des dommages, mais aussi pour favoriser la dynamique sédimentaire et ses effets positifs, ces installations doivent sans cesse être adaptées, en fonction des expériences réalisées. De nouvelles études de cas permettront encore de déterminer les améliorations à apporter.

**Répercussions territoriales et temporelles**

La charge solide traversant la galerie de déviation dépend grandement de l'emplacement de l'ouvrage de prise, de la forme du lac et de l'atterrissement, ainsi que de la composition du matériel déposé. Une étude menée dans le cadre du projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats» a montré que l'exploitation de ce type d'installation peut transformer le fond du lit en aval en provoquant des phénomènes d'atterrissement ou d'érosion, selon les cas. L'ampleur des altérations

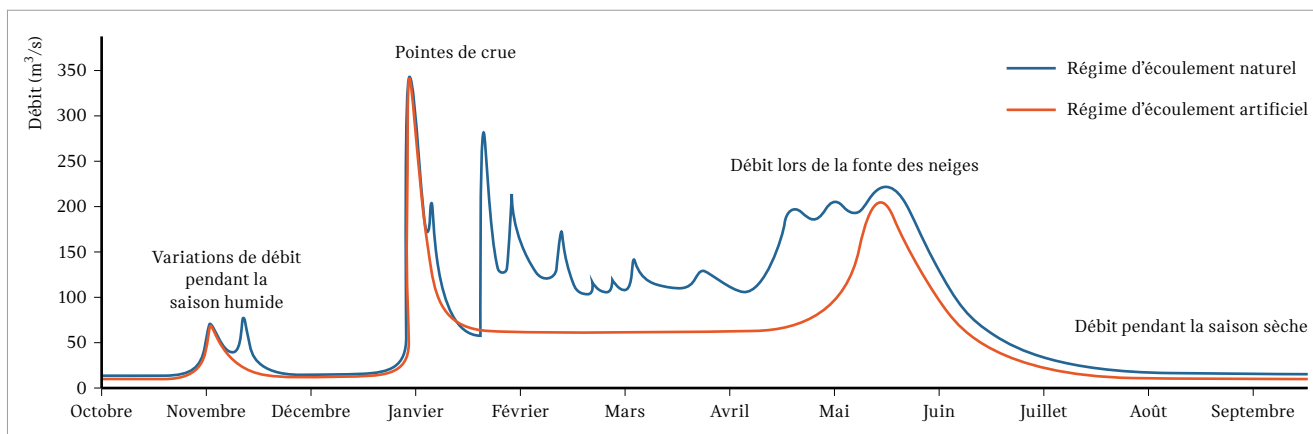
**Tab. 1**

*Galeries de déviation en Suisse; le type de galerie est illustré à la figure 2. \* En fonction du niveau d'eau du réservoir.*

Barrage	Centrale	Type de galerie	Cours d'eau	Exploitant
Egschi	Rabiusa-Realta	II	Rein da Sumvitg	Kraftwerke Zervreila AG
Bassin de compensation Hintersand	Linth-Limmern	I	Sandbach	Kraftwerke Linth-Limmern AG; Xpo Hydroenergie
Palagnedra	Verbano	I/II *	Melezza	OFIMA
Pfaffensprung	Amsteg	I	Reuss	SBB AG – Infrastruktur Energie
Rempen	Siebnen	I	Wägitaler Aa	Xpo/ewz – AG Kraftwerk Wägital
Runcahez	Tavanasa	I	Rein da Sumvitg	Xpo – Hydro Surselva AG
Sera	Gondo	I	Grosses Wasser	Alpiq HYDRO Exploitation SA
Solis	Rothenbrunnen/Sils	II	Albula	ewz
Val d'Ambrà	Nuova Biaschina	I	Rierna	Azienda Elettrica Ticinese
Ual da Mulin	Bargaus	I	Ual Draus	Flims Electric AG

Fig. 3

Exemple d'hydrogramme présentant l'évolution typique d'un écoulement naturel dit fonctionnel. Les pointes de crue sont coordonnées avec les fonctionnalités hydromorphologiques, écologiques et biogéochimiques afin de préserver les habitats des différentes espèces.



Source : UC Davis Center for Watershed Sciences (vue)

morphologiques varie selon la durée de l'exploitation, la pointe de crue ainsi que le volume d'eau et de sédiments charrié (Facchini 2017). Le lit du cours d'eau d'un tronçon typique alpin est ainsi affecté sur les premiers cent mètres en aval, voire sur plusieurs kilomètres. Les chercheurs ont aussi constaté que ces modifications se décalent dans le sens du courant peu après la première mise en service, mais que, après l'instauration d'un certain équilibre, elles diminuent de nouveau avec le temps ou la fréquence à laquelle les galeries de déviation sont utilisées. Au fil des ans, le cours d'eau retrouve des conditions morphologiques proches de celles qui régnaient avant la construction du barrage. Ce processus peut parfois prendre plusieurs décennies.

### Crués artificielles

Des crués artificielles sont déclenchées dans le monde entier pour valoriser les habitats se trouvant dans les cours d'eau en aval des grands barrages. Sont qualifiés de « grands » les barrages capables de stocker une part considérable du débit moyen annuel. Vu le volume de rétention, les crués de petite à moyenne ampleur ne suffisent pas pour faire démarrer l'évacuateur de crués, et l'écoulement ne présente donc presque aucune dynamique en aval. Les lâchures (évacuations contrôlées d'eau stockée dans le réservoir) permettent de générer

une crue artificielle dans le tronçon aval en vue de favoriser la variabilité de l'écoulement et la dynamique sédimentaire. Les objectifs écologiques visés par les crués artificielles dépendent de chaque situation. Souvent, il s'agit de valoriser les habitats et d'offrir de meilleures frayères aux espèces piscicoles lithophiles telles que la truite.

Si les crués artificielles se multiplient en Suisse comme dans le monde, leur fréquence et leur ampleur varient selon la situation locale et le but visé. Leur déclenchement nécessite une gestion appropriée des cours d'eau situés en aval des barrages. À cette fin, il convient de consigner et d'évaluer régulièrement leurs effets sur les tronçons inférieurs, en particulier avant et après les épisodes de crue. Ces opérations pourront ainsi être optimisées en vue d'une valorisation écologique des cours d'eau et d'une meilleure sécurité en cas de crués.

### Mise en œuvre

L'ampleur, la fréquence et la durée des crués artificielles doivent être modélées sur le régime d'écoulement naturel pour que l'hydrologie et le régime sédimentaire des cours d'eau altérés puissent être améliorés (fig. 3). Une exploitation adaptée du barrage permet de régler le débit de pointe et la durée d'un événement de manière à créer des conditions hydrologiques et écologiques optimales, c'est-à-dire un régime d'écoulement dit fonctionnel, dans le

tronçon aval (Martín Sanz et al. 2015). Par contre, il faut éviter de générer des crues ou des charges de matières en suspension qui outrepassent le régime naturel. Dans les tronçons à débit résiduel souffrant d'un déficit de charriage, les crues artificielles devraient être combinées avec des apports de sédiments directement en aval du barrage pour empêcher l'incision du chenal, mais aussi la déconnection et l'assèchement des zones alluviales.

## Aspects écologiques

Les rivières sont caractérisées par leur écoulement, leur charge solide et leur température (cf. fiche 1). Ces trois paramètres doivent être pris en compte dans la mise en œuvre d'une gestion optimale des cours d'eau influencés par des barrages.

### Transferts de sédiments

Les déversements contrôlés d'eau et de sédiments opérés par l'exploitation de galeries de déviation ou le déclenchement de crues artificielles permettent d'améliorer le régime sédimentaire dans le tronçon aval. La mise en œuvre de ces mesures doit toutefois satisfaire à des critères écologiques. Un transfert de sédiments et de matières organiques favorise la formation de nouveaux habitats, et donc la diversité des habitats. Les déplacements de bancs de gravier sont particulièrement importants, puisqu'ils entraînent la création de micro-habitats pour les espèces aquatiques, amphibiens et terrestres ainsi que l'apparition d'espèces pionnières (cf. fiches 1 et 5). En outre, les inondations et les transferts de sédiments occasionnels ont un impact positif sur l'évolution des frênaies humides et des saulaies blanches, car ils contribuent à une accumulation d'éléments nutritifs.

Comme le montre l'exemple de l'Albula en aval de la galerie de déviation de Solis (cf. exemples), l'impact des écoulements et des transferts de sédiments est généralement proportionnel à leur ampleur : les grands déversements d'eau avec apports solides peuvent ainsi éroder profondément et remodeler le lit du cours d'eau, en diminuant non seulement la densité et le nombre des espèces de macro-invertébrés, mais aussi la population d'algues. Une érosion marquée peut réduire la respiration dans les sédiments, alors que celle-ci est une fonction impor-

tante pour l'activité métabolique (cf. fiche 1). Selon la fréquence des déversements contrôlés d'eau et de sédiments, l'état initial peut cependant se rétablir relativement rapidement. Avant d'actionner une galerie de déviation ou de déclencher une crue artificielle, il conviendrait donc de toujours tenir compte du fait que des débits importants peuvent fortement influencer la structure et le fonctionnement des cours d'eau. Cela se répercute aussi sur la production primaire et secondaire ainsi que sur la décomposition de la biomasse. C'est pourquoi ces opérations doivent être dimensionnées de manière à obtenir les changements écologiques souhaités. En outre, il est souvent nécessaire de les répéter pour en maintenir les effets (Martín Sanz et al. 2017).

### Connectivité longitudinale

Les galeries de déviation ne favorisent pas seulement la continuité sédimentaire, mais aussi le transport de graines et de parties de plantes (cf. fiche 3). Elles assurent leur propagation dans le cours inférieur ainsi que la connectivité longitudinale des habitats terrestres et aquatiques (Auel et al. 2016). Étant donné que les galeries fonctionnent uniquement en cas de crue, la connectivité se limite à cette période ; le reste du temps, les graines coulent dans le réservoir et perdent leur faculté germinative, parce qu'elles restent trop longtemps sous l'eau (cf. fiche 4).

Les graines de certaines espèces végétales (*Myricaria germanica*, *Salix* ssp, p. ex.) sont seulement transportées pendant une période précise de l'année en flottant à la surface de l'eau. Pour en favoriser la propagation, il faudrait donc programmer les crues artificielles à ce moment-là, à savoir pendant l'été. En outre, la date et l'intensité des déversements d'eau peuvent se révéler décisives pour la survie des jeunes plantes, car celles-ci risquent davantage d'être emportées par le courant (cf. fiche 5).

Aussi bien l'exploitation de galeries de déviation que les crues artificielles favorisent l'approvisionnement des végétaux en éléments nutritifs, dont elles assurent le transport (cf. fiche 3).

Fig. 4

Le Spöl : débit résiduel (à gauche ; env.  $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ ) et débit de crue (à droite ; env.  $43\text{ m}^3/\text{s}$ ).



Photos : Urs Uehlinger, Eawag

## Exemples

### Galerie de déviation de Solis

La galerie de déviation construite au niveau du barrage de Solis, dans le centre des Grisons, pour détourner les sédiments dans l'Albula a été mise en service en 2012. Longue de 973 m, elle présente une section arquée de 4,4 m de largeur et une pente moyenne de 1,9%. Sa capacité hydraulique maximale s'élève à  $170\text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui correspond environ à une pointe de crue quinquennale. Appartenant au type II, elle débouche dans l'Albula à 300 m en aval du barrage (fig. 1) et a déjà fonctionné à huit reprises pendant des crues (situation à l'automne 2016).

La crue la plus importante jusqu'ici est survenue le 13 août 2014. La galerie a alors fonctionné pendant près de quatorze heures, faisant transiter un débit moyen de  $153\text{ m}^3/\text{s}$  et détournant près de  $20\,000\text{ m}^3$  de sédiments (Müller-Hagmann 2017). Cette déviation a provoqué des phénomènes d'érosion et un affinement du fond du lit en aval de l'ouvrage de restitution. Avant l'embouchure de la rivière dans le Rhin postérieur, elle s'est traduite par des atterrissements et a rendu le substrat plus grossier (Facchini et al. 2015).

### Crues artificielles dans le Spöl

Le Spöl (fig. 4) prend sa source dans le val Ursera, s'écoule à travers deux lacs de retenue (Lago di Livigno

et Lai da Ova Spin) et se jette dans l'Inn à Zernez. Depuis l'inauguration en 1973 du barrage de Punt dal Gall, dans la vallée de Livigno, le tronçon aval ne présente plus aucun écoulement naturel, mais seulement un débit résiduel ( $1,5\text{ m}^3/\text{s}$  la nuit et  $2,5\text{ m}^3/\text{s}$  le jour), qui ne varie guère d'une saison à l'autre.

Un programme de crues artificielles a été lancé en 1999 en vue d'augmenter la variabilité de l'écoulement. Les déversements d'eau sont réajustés chaque année, sur la base des résultats du monitoring de l'année précédente. Le but est d'accumuler des expériences et de mieux cerner l'impact écologique de ce type d'opération. Les crues artificielles servent notamment à déclencher une dynamique sédimentaire et à éroder les cônes de lave torrentielle latéraux afin de favoriser la dynamique des habitats. Tant que le réservoir contient suffisamment d'eau, le programme prévoit la génération de deux à trois débits de pointe par année, ce qui correspond à peu près à la fréquence des crues avant la construction du barrage. Comme le tronçon aval ne souffre d'aucun déficit de charriage grâce aux apports des affluents latéraux, il n'est pas nécessaire d'ajouter des matériaux solides supplémentaires.

D'autres études scientifiques confirment que les crues artificielles modifient les conditions d'habitat, et donc la structure des biocénoses (Mürle et al. 2005). Par exemple, la composition des communautés de macro-invertébrés

est plus naturelle dans les rivières qui présentent une variabilité d'écoulement élevée que dans celles dont le débit varie peu. En outre, des espèces adaptées à un régime d'écoulement variable se sont de nouveau établies, alors que la fréquence des espèces ne résistant pas au courant a diminué. Enfin, les crues influencent l'activité métabolique (respiration) au fond du lit du cours d'eau, puisque des matières organiques sont extraites des sédiments et que la communauté des micro-organismes qui les décomposent est changée.

Par ailleurs, le programme mené sur le Spöl a montré que les crues artificielles permettent d'augmenter la résistance des habitats dans le tronçon aval en cas de catastrophe. Ces résultats ont été confirmés début 2013, lorsqu'une quantité énorme de matières en suspension a été observée dans le Spöl.

### Que retenir

Les déversements contrôlés d'eau et de sédiments opérés par l'exploitation de galeries de déviation ou le déclenchement de crues artificielles permettent d'améliorer le régime sédimentaire dans le tronçon aval, à condition qu'ils respectent certains critères écologiques. Ils contribuent au transfert des sédiments et des matières organiques et favorisent la formation de nouveaux habitats. La mise en œuvre de ces deux mesures doit se conformer au régime d'écoulement initial, en particulier en ce qui concerne les caractéristiques hydrologiques telles que le moment (saison), le débit de pointe, la durée, la fréquence, etc.

Chaque situation requiert un programme de gestion individuel, qui devrait être accompagné d'un suivi permettant de comparer différentes rivières, mais aussi d'accumuler des expériences et des connaissances. La prise en compte du régime sédimentaire dans l'entretien écologique des cours d'eau est relativement récente. Les responsables de la planification et de la réalisation des déversements d'eau et de sédiments devraient donc suivre une procédure ad hoc (gestion adaptative), qui soit documentée en continu pour permettre de nouvelles améliorations.

### Bibliographie

Une liste détaillée des publications en rapport avec la présente fiche figure sur le site du programme : [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch), rubrique **Produits et publications**.

# 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 de recherche sur l'eau du domaine des EPF (Eawag), Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), EPF Lausanne, Laboratoire de recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques (VAW), EPF Zurich, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL)

**Direction du projet :** Anna Belser, coordination du projet, OFEV ; Christoph Scheidegger, WSL ; Christine Weber, Eawag ; David Vetsch, VAW, EPF Zurich ; Mário J. Franca, LCH-EPFL

**Suivi technique :** OFEV : Hugo Aschwanden, Rémy Estoppey, Andreas Knutti, Stephan Lussi, Manuel Nitsche, Olivier Overney, Carlo Scapozza, Diego Tonolla, Hans Peter Willi ; Cantons : Josef Hartmann (GR), Norbert Kräuchi (AG), Christian Marti (ZH), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Ritler (LU), Thomas Stucki (AG) ; Institutions de recherche : Bernhard Wehrli (Eawag), Anton Schleiss (LCH-EPFL), Robert Boes (VAW-ETHZ), Christoph Hegg (WSL) ; Autres : Raimund Hipp (CDPNP), Roger Pfammatter (ASEA), Luca Vetterli (Pro Natura)

**Rédaction :** Manuela Di Giulio, Natur Umwelt Wissen GmbH

**Traduction :** Service linguistique de l'OFEV

**Référence bibliographique :** Facchini, M., Martín Sanz, E., Fink, S., Vetsch, D., Robinson, Ch., Döring, M., Siviglia, A., Scheidegger, Ch., Boes, R., 2017 : Galeries de déviation et crues artificielles. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement, Berne. Fiche 6.

**Conception et illustrations :** Marcel Schneeberger, anamorph.ch

**Commande de la version imprimée et téléchargement au format**

**PDF :** OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3003 Berne

[www.publicationsfederales.admin.ch](http://www.publicationsfederales.admin.ch)

N° d'art. 810.300.136f [www.bafu.admin.ch/uw-1708-f](http://www.bafu.admin.ch/uw-1708-f)

© BAFU 2017