

7 Recharge sédimentaire et érosion maîtrisée des berges

L'état écologique de nombreux cours d'eau suisses est dégradé à cause d'un charriage insuffisant. Procéder à des apports de gravier et favoriser l'érosion des berges permet d'améliorer la disponibilité des sédiments et, notamment, de revaloriser les milieux naturels et limiter l'érosion des lits. La présente fiche explique en quoi consistent ces deux mesures à l'aide d'exemples concrets. Elle décrit également leurs effets écologiques et la façon dont elles doivent être planifiées et mises en œuvre.

F. Friedl, E. Battisacco, L. Vonwiller, S. Fink, D. Vetsch, V. Weitbrecht, M. J. Franca, Ch. Scheidegger, R. Boes, A. Schleiss

Les cours d'eau qui ne charrient pas assez de sédiments, par exemple parce que ceux-ci restent piégés en amont par des barrages, sont souvent très dégradés sur le plan écologique. Accroître le volume de matériaux disponibles, notamment en procédant à des apports de gravier ou en favorisant l'érosion des berges, est l'une des mesures permettant de remédier à cette situation (fig. 1). Les dépôts créés artificiellement (fig. 2), le cas échéant la berge, s'érodent lorsque le débit augmente ou qu'une crue survient, ce qui réalimente le tronçon aval en sédiments.

Ceux-ci peuvent se déposer au fond du lit et former des structures morphologiques dynamiques. Les opérations de recharge sédimentaire et l'érosion maîtrisée des berges visent principalement à : (i) atténuer le déficit de charriage ; (ii) valoriser les habitats aquatiques et terrestres des poissons, des macro-invertébrés et des végétaux ; (iii) empêcher une érosion progressive du fond du lit et protéger les fondations des ponts ou des ouvrages de protection des berges (Kondolf et Minear 2004). Les aspects techniques et écologiques de la recharge sédimentaire et de l'érosion maîtrisée des berges sont expliqués ci-après et illustrés par des exemples concrets. Le projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » a porté, d'une part, sur les cours d'eau de montagne (forte pente), au courant généralement puissant, et, d'autre part, sur les rivières de plaine (pente faible), dont l'écoulement tend à être moins important.

Recharge sédimentaire

Planification et mise en œuvre

Types, emplacement et forme des dépôts

Les opérations de recharge sédimentaire peuvent être

Fig. 1

Représentation schématique de la recharge sédimentaire et de l'érosion maîtrisée des berges (à gauche). Déversement de gravier dans la Reuss en aval de Bremgarten (AG ; à droite).



Fig. 2

Dépôt de gravier dans la Töss à Sennhof, Winterthour (ZH). Situation directement après l'approvisionnement (à gauche) et un mois plus tard, après une pointe de crue légèrement inférieure à un événement Q_1 (à droite).



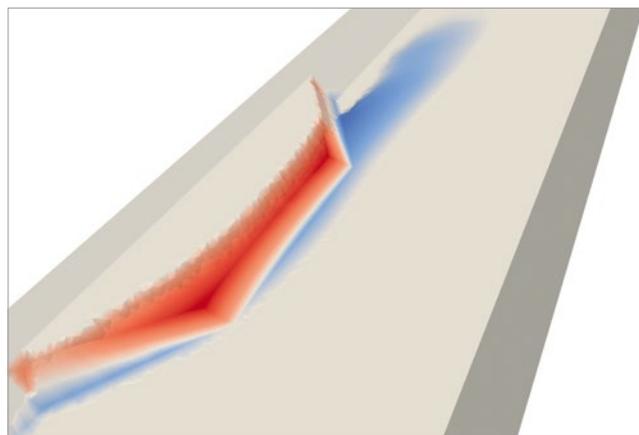
Photos : AWEL

directes ou indirectes. Dans le cas d'un approvisionnement direct, les dépôts sont disposés de manière à créer des structures morphologiques telles que des bancs de sédiments ou des hauts-fonds à des endroits appropriés sur le plan écologique. Ce type d'intervention peut seulement être mis en œuvre s'il existe un accès direct au cours d'eau. L'approvisionnement indirect consiste à déverser le matériel à des emplacements choisis selon des critères logistiques et hydrauliques présentant un courant relativement fort. Lorsque l'écoulement est suffisant, les matériaux déposés sont mobilisés et trans-

portés vers l'aval où, selon les circonstances, ils accentuent les structures morphologiques existantes ou en créent de nouvelles. Les matériaux sont placés dans le cours d'eau en période d'étiage (fig. 1), ou dans le lit majeur lorsque le débit est plus important. L'approvisionnement indirect est souvent privilégié : plus facile à mettre en œuvre que l'approvisionnement direct (notamment parce que l'accès aux cours d'eau n'est pas toujours aisé), il est aussi plus économique et nuit moins aux habitats aquatiques.

Fig. 3

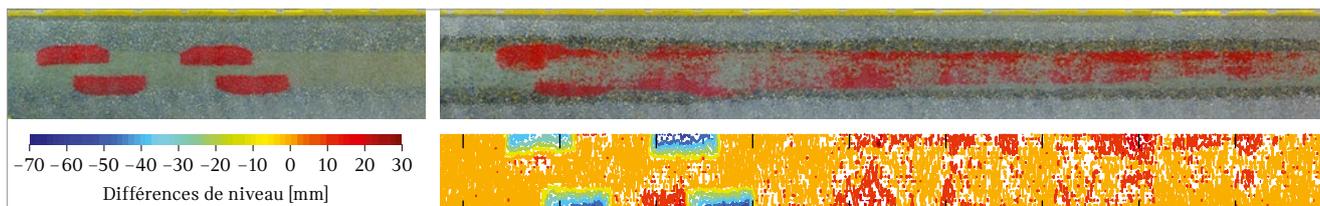
Essais d'érosion des dépôts de gravier dans les modèles physique (à gauche) et numérique (à droite) au même moment. À droite : la propagation des matériaux érodés se voit à la langue sédimentaire qui se forme en aval (en bleu). Le volume érodé (en rouge) du dépôt est aussi visible.



Source : VAW

Fig. 4

Recharge sédimentaire par des dépôts alternés testés en laboratoire. À gauche : disposition initiale. À droite : dépôts après 9 heures d'écoulement constant. L'illustration se compose d'une photo (en haut) et du graphique des différences obtenu à partir du levé laser (en bas). Dans le graphique, les couleurs caractérisent l'érosion (valeurs négatives dans la légende) ou l'accumulation (valeurs positives).



Source : LCH-EPFL

Les matériaux devraient être réintroduits le plus près possible de leur lieu de provenance, afin de limiter les trajets et les émissions dues au transport. Un choix judicieux des sites de recharge permet de réduire au minimum les interventions dans la zone riveraine, comme la construction de routes d'accès, et de réduire les coûts.

Des expériences réalisées en laboratoire dans le cadre du projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » ont montré que la recharge sédimentaire des cours d'eau de montagne dure plus longtemps lorsque plusieurs dépôts sont disposés en parallèle ou en alternance (Battisacco 2016). En outre, les essais sur modèle physique menés pour les rivières de plaine (Friedl et al. 2016) ont révélé qu'un dépôt en forme d'île s'érode nettement plus rapidement qu'un remblai jouxtant la berge, puisqu'il expose deux talus aux attaques du courant.

Fig. 5

Dépôt de gravier dans l'Aar à Aarwangen (BE).



Photo : Flussbau AG

Enfin, il a été démontré que les dépôts occupant moins de 30 % de la largeur du cours d'eau (degré d'aménagement < 30 %) n'occasionnent qu'une faible élévation du niveau d'eau en amont (moins de 20 % de la profondeur de l'écoulement initial). Cette dernière peut être estimée à l'aide de l'équation d'Oak et Smith (1994), qui a été développée pour les épis.

Des simulations numériques permettent de représenter les processus d'érosion observés en laboratoire (fig. 3). D'après Vonwiller et al. (2016), ces modèles doivent contenir trois composantes (approches de modélisation) : (i) le transport solide latéral, qui tient compte de la déviation du transport due à une inclinaison latérale du fond du lit ; (ii) l'effondrement gravitationnel du talus, qui représente l'éboulement du talus lorsque celui-ci dépasse son inclinaison critique ; (iii) une réduction de la contrainte de cisaillement critique du fond du lit, en raison de la pente locale dans la direction du courant.

Estimation du taux de transport par charriage et du volume à réintroduire

Le taux de transport par charriage dans un tronçon de cours d'eau peut être estimé pour différents écoulements et hydrogrammes à l'aide de méthodes de calcul simples, d'essais sur modèle réduit physique ou de modèles numériques (BASEMENT, p. ex ; Vetsch et al. 2016), la distribution granulométrique du matériel jouant un rôle prépondérant. Pour fixer le volume de sédiments à réintroduire, les responsables peuvent s'inspirer du transport solide annuel moyen proche de l'état naturel ou d'un charriage permettant des structures morphologiques proches de l'état naturel. Il leur faut aussi respecter les exigences de

la protection contre les crues et assurer un suivi pour minimiser les incertitudes liées aux calculs du taux de transport par charriage, détecter les alluvionnements indésirables et optimiser les apports de gravier.

Origine du matériel

Le matériel peut provenir de dépotoirs à alluvions, de retenues ou de gravières. Il est important que sa distribution granulométrique réponde aux exigences écologiques locales. En principe, il faudrait employer des sédiments typiques de la rivière à recharger, directement prélevés dans celle-ci. Dans les Préalpes et sur le Plateau suisse, il s'agit généralement de gravier mêlé à du sable grossier, les différentes fractions granulométriques devant parfois être criblées ou mélangées. Le matériel contenant une grande part de sédiments fins ou de matières organiques s'avère parfois inapproprié pour des raisons écologiques ; il peut aussi porter atteinte aux captages d'eau potable longeant le cours d'eau en aval.

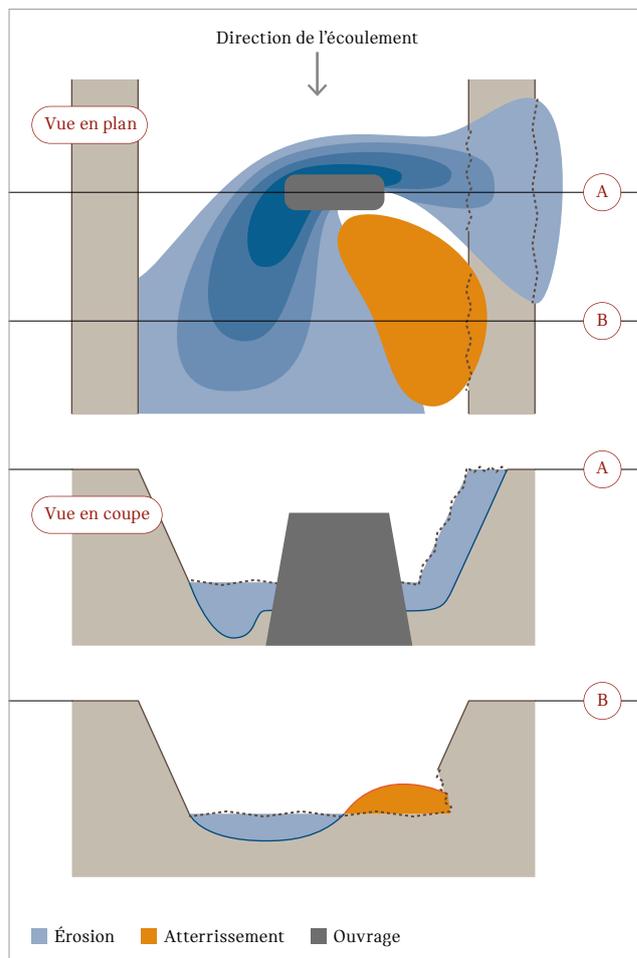
Répercussions territoriales et temporelles

S'appuyant sur leurs essais sur modèle, Friedl et al. (2016) ont montré que la manière dont le processus d'érosion va évoluer dans le temps lors d'une recharge sédimentaire dépend davantage des conditions d'écoulement, de la distribution granulométrique du matériel utilisé, de l'emplacement et du degré d'aménagement du cours d'eau que de la densité, de la hauteur et de la longueur du dépôt.

Les expériences réalisées en laboratoire par Battsacco (2016) dans le cadre du projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » ont démontré que la propagation vers l'aval et la persistance des sédiments déversés dans le chenal sont optimales lorsque l'écoulement initial submerge juste les dépôts. De plus, il est apparu que les dépôts favorisent une dispersion régulière des matériaux vers l'aval quand ils sont disposés en parallèle, alors qu'ils entraînent la formation de bancs quand ils sont alternés (fig. 4). Cela montre que ce type d'opération peut engendrer de nouvelles structures morphologiques et accroître le transfert des sédiments, par exemple lorsqu'il y a déjà des bancs de gravier. Selon la composition du matériel déversé, cela se répercute sur le substrat, notamment par des phénomènes d'affinage, de

Fig. 6

Érosion latérale favorisée par la présence d'un ouvrage non submergé.



Source : VAW

décolmatage ou colmatage et de mobilisation de la couche de pavage.

Les opérations de recharge sédimentaire des chenaux à forte pente (> 1 %) doivent avoir lieu lorsque les conditions d'écoulement permettent d'éviter une mobilisation de la couche de pavage et d'assurer un transport sur le fond du lit du matériel déversé. Le respect de ces conditions est indispensable pour garantir la protection contre les crues, en particulier lorsque les opérations de recharge sédimentaire sont combinées avec des crues artificielles en aval de barrages (cf. fiche 6).

Exemples

Depuis quelques années, de plus en plus d'opérations de recharge sédimentaire sont conduites en Suisse. Des approvisionnements indirects ont notamment été réalisés sur deux sites le long de l'Aar (BE) en aval du lac de Biemme. Le matériel déversé pendant la période d'étiage a donné forme à un long banc de gravier et à des îles latérales à proximité de la rive. Comme prévu par les calculs, ces dépôts ont été complètement submergés dès la première crue, et le matériel a pu s'éroder et se disperser. En 2005, 12 000 m³ de matériaux ont été déposés à Deitingen (SO), en aval de la centrale au fil de l'eau de Flumenthal. Le matériel avait été extrait du dépotoir à alluvions se trouvant au niveau de l'embouchure de l'Emme, un affluent latéral situé en amont. Deux autres déversements ont été réalisés à Aarwangen (BE) en 2005 (11 000 m³) et en 2010 (10 000 m³), en aval de la centrale hydroélectrique de Bannwil (fig. 5). Le matériel provenait de la gravière de « Risi », et les sédiments fins avaient été tamisés pour limiter la turbidité de l'eau. Le diamètre maximal des granulats était de 60 mm à Deitingen et de 50 mm à Aarwangen. Le dépôt de Deitingen s'est érodé plus lentement que celui d'Aarwangen à cause de la faible pente du lit et de la taille des granulats.

Des opérations de recharge sédimentaire ont également été menées dans le Haut Rhin en 2004 : la première, un approvisionnement indirect à Zurzach (AG), a pris la forme d'un banc de gravier de 1000 m³, alors que la seconde, un approvisionnement direct au niveau de l'île de Rietheim, a enrichi le volume des frayères potentielles d'espèces piscicoles lithophiles d'environ 100 m³. Les modifications du dépôt et la propagation du matériel par des débits relativement élevés ont été documentés dans le cadre d'un suivi (Abegg et al. 2013).

À Berne, une grande partie des sédiments charriés par l'Aar reste bloquée au Schwellenmätteli. Ce matériel est dragué régulièrement et réintroduit dans la rivière à deux endroits en aval du barrage d'Engelhalde.

La Reuss tend à s'atterrir en amont de la centrale au fil de l'eau de Bremgarten-Zufikon, alors qu'elle souffre d'un déficit de charriage en aval. Dans le cadre de l'entretien de la rivière et de la protection contre les crues, des sédiments sont prélevés en amont de la centrale, en général

Fig. 7

Érosion des berges de la Töss (ZH) favorisée par une île artificielle, en 2013.



Photo : VAW

tous les deux ans, pour être reversés en aval (Hackl 2013). Le matériel est prélevé en hiver sur des bancs de gravier, transporté par camion et déversé à un endroit approprié en aval de Bremgarten (fig. 1). Même en période d'étiage, le courant est suffisamment fort pour éroder partiellement les dépôts et répartir le matériel sur le fond du lit dans les alentours. La Limmat et la Töss (fig. 2), dans le canton de Zurich, sont d'autres exemples de rivières réalimentées en sédiments.

Érosion maîtrisée des berges

Planification et mise en œuvre

Les berges d'un tronçon de cours d'eau corrigé et non revitalisé sont habituellement protégées par des ouvrages destinés à les stabiliser, en particulier en cas de crue. Là où le lit de la rivière peut s'élargir naturellement sans compromettre la protection contre les crues, on peut laisser libre cours à l'érosion des berges, voire la favoriser. La limite jusqu'à laquelle le déplacement de la rive est toléré est fixée par une ligne d'intervention¹. Il convient aussi de vérifier s'il est nécessaire de construire une arrière-digue, par exemple de type « dormante ». Dif-

¹ La définition de nombreux termes tels que « ligne d'intervention » sont définis dans le glossaire du site www.rivermanagement.ch, rubrique Produits et publications.

férentes mesures permettant de stimuler l'érosion des berges sont présentées ci-après.

Démantèlement des ouvrages de protection

Le démantèlement des ouvrages de protection (enrochements, p. ex.) favorise l'érosion des berges par le courant sans qu'il soit nécessaire d'intervenir davantage. Il s'agit de la variante la plus économique, qui fait appel à la seule la dynamique naturelle du cours d'eau. En fonction de l'écoulement, mais aussi de la force avec laquelle le courant attaque la berge, et donc des conditions hydrologiques, géométriques et hydrauliques locales, le processus d'érosion latérale peut continuer plusieurs années.

Autres mesures de déstabilisation des berges

La végétation contribue à stabiliser les berges et peut donc en empêcher l'érosion, ou du moins ralentir le processus. En outre, lorsque le débit est trop faible pour les emporter, les fractions grossières des sédiments des berges s'accumulent au pied du talus et protègent la rive contre la progression de l'érosion (Requena 2008). Parmi les nombreuses mesures permettant d'empêcher cette accumulation et de favoriser l'érosion, il est possible de déstabiliser les berges en déracinant les plantes qui y poussent et en procédant à des excavations mécaniques locales.

Érosion latérale par des ouvrages

Les épis, les îlots artificiels ou d'autres types d'ouvrages construits dans le cours d'eau peuvent dévier le courant et favoriser l'érosion latérale. Ces constructions réduisent la section d'écoulement, ce qui crée une courbe de remous vers l'amont et augmente ainsi les vitesses d'écoulement et les contraintes contre les berges. Les aménagements en dur qui résistent à l'érosion ou s'érodent progressivement, comme les dépôts de sédiments en forme d'îlots, sont les plus appropriés.

Répercussions territoriales et temporelles

Les essais menés en laboratoire dans le cadre du projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » ont montré que l'ampleur de l'érosion latérale dépend de l'emplacement des ouvrages (Friedl et al. 2016). Un ouvrage édifié à proximité de la berge à éroder, par exemple un îlot avec un canal latéral, entraîne ainsi une

érosion rapide dans le sens de la largeur, mais qui reste locale. En revanche, un ouvrage éloigné, par exemple un épi jouxtant la rive opposée, conduit à une érosion plus lente, moins marquée, mais sur un tronçon plus long. En fonction de l'écoulement, le matériel érodé se dépose près du point d'attaque ou est emporté plus loin. Dans le pire des cas, il peut s'accumuler directement après le point d'attaque, ce qui protège la berge en aval et bloque le processus d'érosion (fig. 6).

À moins que le cours d'eau dans lequel ils sont construits ne soit très large, les ouvrages destinés à dévier l'écoulement ont toujours un effet sur les deux berges. Il faut ainsi s'attendre à un affouillement directement au niveau de l'ouvrage, avec pour conséquence un abaissement du fond du lit en amont. C'est pourquoi une bonne protection contre l'affouillement est à prévoir sur la rive opposée ainsi qu'au niveau même de l'ouvrage.

Vu l'influence de la végétation et de l'érodibilité des berges, ces ouvrages ne déploient leurs effets écologiques et morphologiques qu'après un certain temps; parfois, ils restent même inefficaces.

Exemple

En 2001, la protection des berges de la Töss (Mittlere Aue) a été partiellement démantelée en amont de Winterthur (ZH) et la rivière a été divisée en blocs par une île artificielle. Comme l'érosion des berges est restée négligeable malgré les trois crues (deux événements bis-annuels, un événement quinquennal) survenues au cours des dix ans suivants, les talus ont été défrichés et les souches arrachées en 2009. En 2011, trois nouvelles crues (période de retour allant jusqu'à 1,5 an) ont finalement provoqué une érosion latérale de 3 m. Au lieu d'être emportées par le courant, les fractions grossières du matériel érodé se sont accumulées directement près de la rive et ont formé un pavage, ce qui a empêché les crues mineures de faire progresser l'érosion. En 2013, une crue décennale a érodé les berges sur 8 m de largeur (fig. 7). Cet exemple montre bien que souvent il ne suffit pas de démanteler les ouvrages de stabilisation des berges pour obtenir l'érosion souhaitée, mais qu'il faut aussi tenir compte de la végétation riveraine et de la composition du matériel en place.

Effets écologiques

Recharge sédimentaire

Si les approvisionnements en gravier contribuent à alimenter les milieux naturels aquatiques et terrestres en nouveaux sédiments, ils peuvent aussi leur apporter des substances indésirables telles que des polluants, des matières organiques décomposées ou des graines d'espèces végétales envahissantes. Compte tenu de cet inconvénient, l'origine et la qualité du matériel utilisé sont d'une grande importance. Les espèces envahissantes introduites sous forme de graines risquent d'évincer les peuplements locaux d'espèces pionnières, alors qu'une concentration accrue d'éléments nutritifs peut nuire aux espèces végétales préférant les sols pauvres.

Les prélèvements et les déversements de sédiments doivent être effectués au bon moment pour perturber le moins possible les organismes terrestres et aquatiques. Le nouvel habitat visé par un approvisionnement direct devrait être disponible soit au printemps, juste avant la phase de germination principale, soit après la floraison, lorsque les graines se disséminent. Le choix de la date doit en outre tenir compte des périodes de frai des espèces piscicoles indigènes.

Il convient en particulier de limiter l'apport de sédiments fins pour préserver la qualité des milieux naturels aquatiques existants. Les dépôts de sédiments fins peuvent notamment entraver l'alimentation en eau et en oxygène des frayères des espèces piscicoles lithophiles et anéantir les œufs (cf. fiche 3).

Vu que les différentes espèces cibles des habitats riverains n'ont pas toutes les mêmes exigences en ce qui concerne la granulométrie, la quantité et l'hétérogénéité des sédiments (cf. fiches 1 et 5) et que la teneur en humidité dépend de la composition des sédiments, le matériel à déverser devrait être sélectionné en fonction des espèces que l'on souhaite favoriser. Il faut aussi viser une grande diversité de stations, surtout lorsqu'on procède à des opérations d'alimentation directe, car dans les zones alluviales, les stations sèches sur sédiments grossiers perméables et les stations humides sur sédiments argileux se côtoient souvent.

Érosion maîtrisée des berges

L'érosion maîtrisée des berges permet la formation de nouveaux habitats tels que des zones à courant réduit pour les jeunes poissons ou des parois de nidification pour les martins-pêcheurs et les hirondelles de rivage tout en provoquant localement une dégradation temporaire des habitats riverains. La flore et la faune aquatiques se sont toutefois adaptées à ce type de perturbations et certaines espèces en ont même besoin. Par contre, l'érosion des habitats dont les organismes préfèrent une forte rémanence est à éviter (cf. fiche 5; Scheidegger et al. 2012).

Que retenir

Les opérations de recharge sédimentaire atténuent les déficits de charriage dans les cours d'eau en permettant un apport contrôlé de matériaux. Les principaux éléments à prendre en considération sont l'accès au cours d'eau ainsi que l'origine et la composition du matériel. Pour ne pas porter atteinte aux poissons ni à d'autres organismes, il faut aussi choisir le moment opportun.

Une autre mesure de dynamisation du charriage consiste à favoriser l'érosion des berges en détruisant tout d'abord les ouvrages de protection et la végétation riveraine. L'alimentation en sédiments se fait ensuite par érosion du matériel en place. La définition de lignes d'intervention et la construction d'ouvrages de protection dormants (digues secondaires) permettent d'éviter une progression excessive de l'érosion. Le tronçon dans lequel l'érosion des berges sera favorisée doit être choisi de sorte que les habitats existants demeurent intacts et connectés.

Ces deux mesures contribuent à la formation de structures naturelles et à la diversité dynamique des habitats dans les cours d'eau. L'objectif est de favoriser les milieux naturels aquatiques et terrestres par la restauration de la dynamique sédimentaire et à rétablir le bon fonctionnement des cours d'eau.

Bibliographie

Une liste détaillée des publications en rapport avec la présente fiche figure sur le site du programme : 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 : Friedl, F., Battisacco, E., Vonwiller, L., Fink, S., Vetsch, D., Weitbrecht, V., Franca, M. J., Scheidegger, Ch., Boes, R., Schleiss, A., 2017 : Recharge sédimentaire et érosion maîtrisée des berges. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement, Berne. Fiche 7.

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.publicationsfederale.admin.ch
N° d'art. 810.300.136f www.bafu.admin.ch/uw-1708-f

© OFEV 2017

01.17 1500 86039243