

Dynamique du charriage et des habitats

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



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Dynamique du charriage et des habitats

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

Abstracts

This publication expands on the factsheet entitled “Hydraulic engineering and ecology”, which was published in 2012 (FOEN 2012). It summarises the most important practical findings from the research project entitled “Bed load and habitat dynamics” 2013 – 2017. The topics and content were compiled in an interdisciplinary and interactive process within the framework of various sub-projects. Researchers and experts from various areas of the federal administration and associations participated in this process. The factsheets provide readers with information on the current status of research and its application and indicate further literature.

Die vorliegende Publikation ist eine Fortsetzung der Merkblatt-Sammlung «Wasserbau und Ökologie», die im Jahr 2012 erschienen ist (BAFU 2012). Sie fasst die wichtigsten praxisrelevanten Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt «Geschiebe- und Habitatsdynamik» 2013 – 2017 zusammen. Die Themen und Inhalte wurden in einem interdisziplinären und interaktiven Prozess im Rahmen von verschiedenen Teilprojekten erarbeitet. An diesem Prozess beteiligten sich Forschende sowie Fachleute verschiedener Bereiche aus Verwaltung und Interessensverbänden. Die Merkblätter informieren die Leserinnen und Leser über den aktuellen Stand der Forschung sowie deren Anwendung und dienen als Wegweiser zu weiterführender Literatur.

La présente publication fait suite au *Recueil de fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau*, paru en 2012 (OFEV 2012). Elle résume les principaux résultats utiles pour la pratique qui proviennent du projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats», réalisé entre 2013 et 2017. Les sujets traités et les contenus ont fait l'objet d'un processus interdisciplinaire et interactif dans le cadre de divers projets partiels, auxquels ont pris part des scientifiques et des spécialistes de différents domaines issus de l'administration et d'associations professionnelles. Les lecteurs trouveront dans ces fiches les connaissances les plus récentes et des informations sur leur application ainsi que des renvois vers des ouvrages spécialisés.

La presente pubblicazione è una continuazione della raccolta «Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua», edita nel 2012 dall'UFAM. Riassume i risultati di maggior rilievo per la pratica del progetto di ricerca «Dinamica dei sedimenti e degli habitat» 2013 – 2017. I temi e i contenuti sono stati elaborati nell'ambito di un processo interdisciplinare e interattivo nel quadro di diversi progetti parziali. Al processo hanno partecipato anche ricercatori ed esperti di vari settori amministrativi e di associazioni portatrici d'interesse. Le schede informano le lettrici e i lettori sullo stato attuale della ricerca dal punto di vista delle sue applicazioni e sono completate da una bibliografia a carattere orientativo per un eventuale approfondimento.

Keywords:

bed load, sediment, habitat, dynamics, reactivation, wetlands, biodiversity, networking, watercourses, discharges, erosion

Stichwörter:

Geschiebe, Sediment, Habitat, Dynamik, Reaktivierung, Auen, Biodiversität, Vernetzung, Fließgewässer, Schüttungen, Erosion

Mots-clés :

charriage, sédiment, habitat, dynamique, réactivation, zones alluviales, biodiversité, connectivité, cours d'eau, recharge sédimentaire, érosion

Parole chiave:

materiale solido di fondo, sedimenti, habitat, dinamica, riattivazione, golene, biodiversità, connettività, corsi d'acqua, riporti di materiale, erosione

Avant-propos

La dynamique des sédiments et des écoulements détermine la morphologie des cours d'eau ainsi que leur fonctionnement écologique. Elle est pourtant gravement entravée dans nombre de rivières suisses. Ainsi, plusieurs grands cours d'eau du Plateau ne charrient presque plus de sédiments, tandis que d'autres affichent un excédent. Par ses interventions (barrages, endiguements, rectifications), l'homme a profondément perturbé les mouvements des matériaux solides, avec de nombreuses conséquences écologiques à la clé.

Le public connaît mal l'importance des sédiments pour le fonctionnement des cours d'eau, et ne prend souvent conscience de leur existence que lorsque des crues ou des laves torrentielles les font sortir des lits des rivières et qu'ils mettent alors la population, les habitations et les infrastructures en danger. La morphologie des cours d'eau naturels est pourtant étroitement liée à la mobilisation, au transport et au dépôt de galets, de gravier et de sables.

Ces matériaux participent à la formation de nouveaux habitats pour des plantes pionnières et d'autres organismes spécialisés et favorisent la biodiversité dans les cours d'eau et à leurs abords. Une dynamique des sédiments et des écoulements proche de l'état naturel est en général garante de la valeur et du bon fonctionnement écologiques d'une rivière. La réactivation de cette dynamique, et dès lors des fonctions écologiques, est une condition indispensable à la réussite des renaturations et compte parmi les grands objectifs de la loi fédérale sur l'aménagement des cours d'eau et de la loi fédérale révisée sur la protection des eaux.

Le projet de recherche interdisciplinaire «Dynamique du charriage et des habitats» a non seulement analysé l'influence de l'homme sur l'activité sédimentaire des cours d'eau, mais aussi étudié et mis au point des mesures à même de redynamiser cette activité. Ce recueil de fiches reprend ses principaux résultats utiles pour la pratique. En présentant les découvertes scientifiques récentes, il garantit l'application rapide des nouvelles connaissances sur le terrain.

Paul Steffen, sous-directeur
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Dynamique des sédiments et des habitats dans les cours d'eau

La dynamique des sédiments et des écoulements, qui détermine la morphologie des cours d'eau ainsi que leur fonctionnement écologique, est fortement entravée dans nombre de rivières suisses. Sa réactivation est une condition indispensable à la réussite des renaturations et compte parmi les principaux objectifs de la loi fédérale révisée sur la protection des eaux. Le projet de recherche interdisciplinaire « Dynamique du charriage et des habitats » a examiné l'influence de l'homme sur l'activité sédimentaire des cours d'eau, et a également étudié et développé des mesures propres à redynamiser cette activité. Le présent recueil de fiches en présente les principaux résultats utiles pour la pratique.

M. Di Giulio, M. J. Franca, Ch. Scheidegger, A. Schleiss, D. Vetsch, Ch. Weber

La morphologie des cours d'eau naturels est étroitement liée à la dynamique des sédiments, c'est-à-dire à la mobilisation, au transport et au dépôt de galets, de gravier et de sable. Ces matériaux contribuent à la formation de nouveaux habitats pour des plantes pionnières et d'autres organismes spécialisés et favorisent la biodiversité dans les rivières et à leurs abords (fig. 2). Or par ses interventions (barrages, endiguements, rectifications), l'homme a profondément perturbé ces mouvements, avec à la clé de nombreuses conséquences écologiques (fig. 1).

Le public connaît mal l'importance des sédiments pour le fonctionnement des cours d'eau, et ne prend souvent conscience de leur existence que lorsque des crues ou des laves torrentielles les font sortir des lits des rivières et qu'ils viennent alors menacer la population, les habitations et les infrastructures. (Suite à la p. 8)

Programme de recherche « Aménagement et écologie des cours d'eau »

Il y a quinze ans, l'OFEV s'est joint au VAW (ETHZ), au LCH (EPFL), à l'Eawag et au WSL pour lancer le programme de recherche « Aménagement et écologie des cours d'eau ». Ce programme, auquel participent des chercheurs de différentes disciplines ainsi que des spécialistes du terrain, a pour but d'élaborer puis de diffuser sous une forme appropriée les bases scientifiques nécessaires à la résolution des questions soulevées par la pratique. Ses résultats doivent contribuer à la mise en œuvre des lois fédérales sur l'aménagement des cours d'eau et sur la protection des eaux et sont mis à la disposition des praticiens sous la forme de manuels, d'articles spécialisés et de fiches.

Le projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » est le troisième mené dans le cadre du programme, après les projets « Rhône-Thur » et « Gestion intégrale des zones fluviales ». Il s'articule autour

de deux axes : *primo*, la réactivation du charriage et la redynamisation des cours d'eau ; *secundo*, la revitalisation des zones alluviales. Ses priorités, sous-projets et thèmes de recherche sont décrits en détail dans Schleiss et al. (2014) et Scheidegger et al. (2014).

Aides pratiques apportées par le programme de recherche jusqu'à présent :

- Guide du suivi des projets de revitalisation fluviale (Woolsey et al. 2005)
- Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt (Rohde 2005)
- Synthesebericht Schwall/Sunk (Meile et al. 2005)
- Planification concertée des projets d'aménagement de cours d'eau. Manuel pour la participation et la prise de décision dans les projets d'aménagement de cours d'eau (Hostmann et al. 2005)
- Fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau. Résultat du projet de « gestion intégrale des zones fluviales » (OFEV 2012)

Fig. 1

Modèle de réseau hydrographique dont la dynamique sédimentaire a été entravée par des interventions humaines, puis réactivée à l'aide des différentes mesures (tab. 1) traitées dans le présent recueil de fiches.

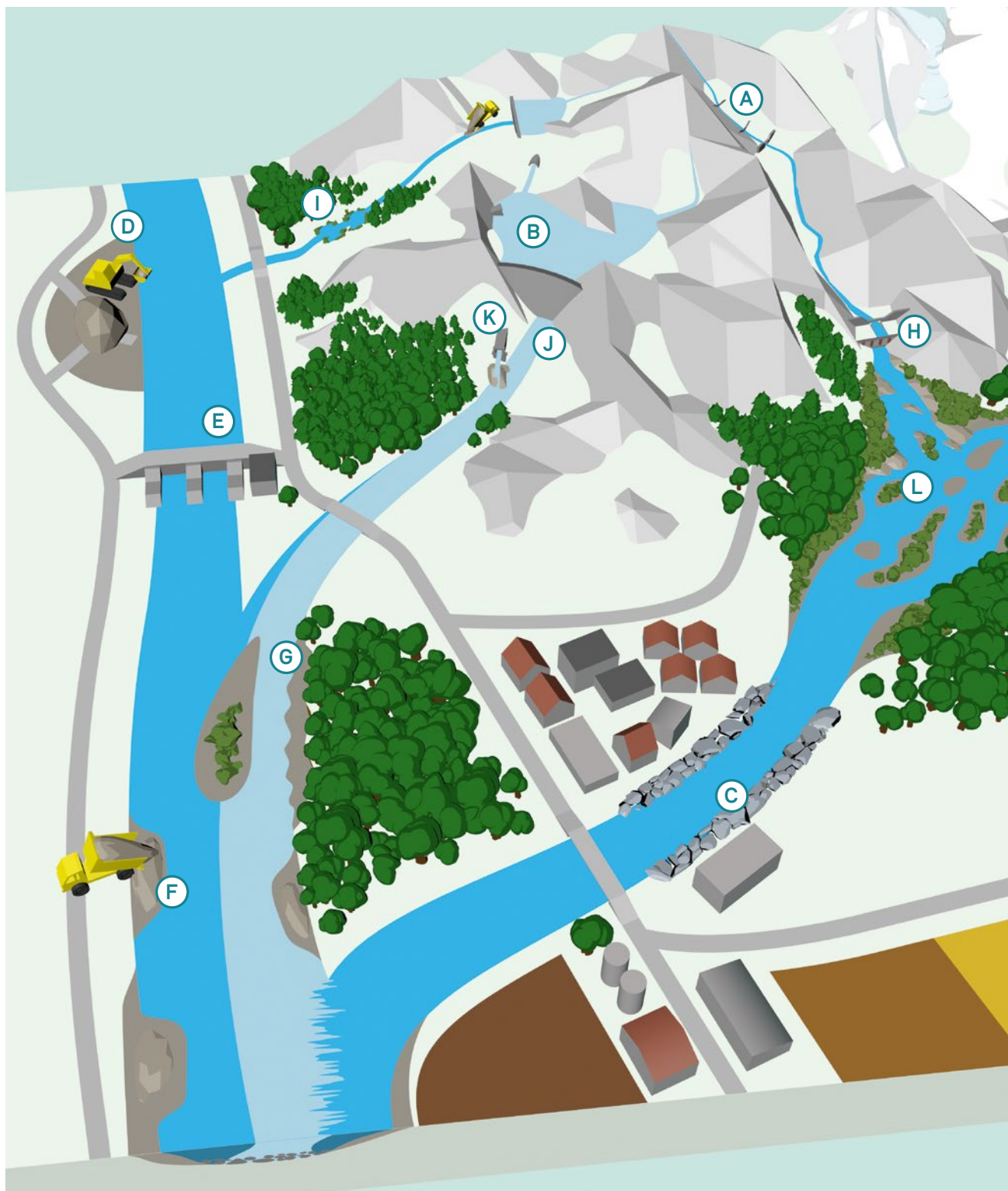


Illustration : Marcel Schneeberger, Manuela Di Giulio

Tab. 1

Explication fig. 1 : causes d'une dynamique sédimentaire entravée, mesures pour la réactiver, exemples de conséquences écologiques et numéros des fiches correspondantes dans le présent recueil.

	Pastille fig. 1	Causes	N° fiche
A	Les barrages de correction torrentielle érigés en partie supérieure du bassin versant pour stabiliser le lit et les berges diminuent l'érosion et donc l'apport de matériaux solides.	Conséquences écologiques (ex.) : à l'aval, un déficit de charriage se crée, qui réduit la diversité des habitats dans le cours d'eau et à ses abords.	4
B	Les lacs de retenue interrompent presque complètement le transport solide : la vitesse d'écoulement diminue, les sédiments se déposent sur le fond du réservoir et y restent.	Conséquences écologiques (ex.) : dans la zone de retenue, les graines végétales coulent avec les sédiments, perdent leur pouvoir germinatif et ne peuvent plus se disperser.	6
C	Les rectifications et ouvrages de stabilisation des berges augmentent la capacité de transport solide et empêchent les apports latéraux normalement permis par l'érosion des rives.	Conséquences écologiques (ex.) : les ouvrages de stabilisation entravent la formation de nouveaux habitats dynamiques et morphologiquement riches.	1, 3
D	Lorsque le débit solide est faible, les extractions de gravier peuvent conduire à un déficit de charriage.	Conséquences écologiques (ex.) : un déficit de charriage peut entraîner une incision du lit et, par suite, faire baisser les niveaux piézométriques et couper les zones alluviales de la dynamique fluviale.	1, 5
E	Les sédiments se déposent dans les réservoirs des centrales au fil de l'eau. Selon le mode de fonctionnement de ces installations, il peut s'ensuivre un déficit sédimentaire à l'aval.	Conséquences écologiques (ex.) : à l'aval des centrales, les cours d'eau manquent des sédiments nécessaires aux frayères des poissons lithophiles (ombre, etc.).	1
	Pastille fig. 1	Mesures	N° fiche
F	Les déversements de gravier constituent des apports de sédiments qui trouvent toute leur utilité dans les cours d'eau de plaine et de montagne lorsqu'un déficit de charriage est constaté à l'aval d'un barrage.	Conséquences écologiques (ex.) : les déversements de matériaux solides permettent d'approvisionner les habitats aquatiques et terrestres.	7
G	Supprimer les ouvrages de stabilisation des berges et les remplacer par des remblais de gravier ou des épis permet de favoriser l'érosion des rives. Celle-ci induite augmente l'apport de sédiments.	Conséquences écologiques (ex.) : l'érosion des berges entraîne la formation d'habitats (parois de nidification pour les martins-pêcheurs et les hirondelles de rivage, etc.).	7
H	Les dépotoirs à alluvions doseurs laissent passer les matériaux solides lors des crues faibles et moyennes et ne les retiennent que lors des crues importantes menaçant les zones habitées et les infrastructures.	Conséquences écologiques (ex.) : à l'aval, le charriage est réactivé, ce qui permet la formation d'une mosaïque d'habitats dynamiques.	4
I	Les expériences faites en laboratoire montrent que la création d'anses latérales favorise le dépôt de sédiments fins.	Conséquences écologiques (ex.) : les dépôts de sédiments fins peuvent accroître la diversité des habitats fluviaux.	3
J	Combiné à des déversements de gravier, le déclenchement régulier de crues artificielles peut réactiver la dynamique sédimentaire aval.	Conséquences écologiques (ex.) : les crues artificielles permettent de débarrasser le lit des sédiments fins qui s'y sont déposés et d'améliorer la reproduction des espèces piscicoles lithophiles (truite, etc.).	3, 6, 7
K	Les galeries de déviation des sédiments détournent les matériaux charriés des réservoirs et empêchent ainsi qu'ils n'y soient piégés.	Conséquences écologiques (ex.) : la réactivation du charriage favorise la dispersion des graines et autres éléments végétaux. À l'aval, le charriage est réactivé, ce qui permet la formation d'une mosaïque d'habitats dynamiques.	6
L	Une dynamique sédimentaire proche de l'état naturel renforce la connectivité des habitats et favorise la biodiversité dans les zones alluviales.	Conséquences écologiques (ex.) : une dynamique sédimentaire proche de l'état naturel permet la formation de bancs de gravier, offrant de nouveaux habitats pour des espèces pionnières.	5

Fig. 2

Dans le Gasterntal (BE), la Kander est marquée par une dynamique des sédiments et des écoulements proche de l'état naturel.



Photo : Vinzenz Maurer

Fig. 3

En août 2005, Grafenort (OW) a été inondé suite au débordement de l'Aa d'Engelberg.



Photo : Forces aériennes suisses

(Suite de la p. 5) On se souvient, par exemple, des fortes précipitations de 2005, qui avaient mobilisé d'énormes quantités de sédiments et provoqué des ruptures de digues, des inondations majeures et des accumulations de matériaux solides dans certaines régions. Comme au niveau de l'Aa d'Engelberg (OW), où les quelque 170 000 m³ de sédiments entraînés du bassin versant amont jusqu'à la plaine de Grafenort avaient causé des dégâts considérables (fig. 3), notamment en emportant une partie de la route cantonale menant à Engelberg et en occasionnant ainsi plus de dix millions de francs de dommages (OFEV 2017).

Les sédiments sont soumis à des processus souvent extrêmement complexes. Il n'est pas rare, par exemple, qu'ils restent plus d'une année sur un talus, en fond de lit ou dans une zone alluviale avant d'être remobilisés et transportés vers l'aval. Plusieurs décennies peuvent donc s'écouler avant qu'ils n'atteignent un lac ou une mer et s'y déposent. Dans les réseaux hydrographiques étendus tels que l'Amazone, les sédiments mettent même jusqu'à 10 000 ans pour parcourir la distance séparant la source de l'océan (Wohl et al. 2015).

Réactiver la dynamique des sédiments

La dynamique des sédiments est fortement entravée dans nombre de cours d'eau suisses (fig. 1, tab. 1). Plusieurs grandes rivières du Plateau ne charrient pratiquement plus de matériaux solides. Ce déficit de charriage – rappelons que ce terme désigne le transport de sédiments grossiers par roulage, saltation ou glissement en fond de lit – est notamment dû aux barrages de correction torrentielle, aux ouvrages de stabilisation des berges érigés pour lutter contre l'érosion et aux dépotoirs à alluvions qui se trouvent dans les torrents et retiennent de grandes quantités de matériaux. Il est aussi dû aux centrales hydrauliques, dont les réservoirs piègent ces matériaux et interrompent ainsi leur transport. Mais il existe également des cours d'eau en excédent sédimentaire (Schälchli et al. 2005), alimentés par exemple en sédiments fins issus de terres agricoles, se déplaçant en suspension dans la colonne d'eau.

La restauration d'une dynamique des sédiments et des écoulements proche de l'état naturel dans les cours d'eau qui sont perturbés, et dont la valeur et le fonctionnement écologiques sont ainsi dégradés, compte parmi les principaux objectifs de la loi fédérale révisée sur la protection des eaux (cf. Révision de la loi fédérale sur la protection des eaux : un mandat politique). Elle peut passer par des mesures d'exploitation (récurrentes), des travaux de

construction (généralement ponctuels), ou les deux à la fois. L'aide à l'exécution «Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique» de l'OFEV (Schälchli et al. 2012) dresse un panorama détaillé des mesures de restauration envisageables selon les installations à l'origine des atteintes. Le projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats» s'est penché sur certaines de ces mesures et sur leurs conséquences pour l'aménagement et l'écologie des cours d'eau (cf. fig. 1, tab. 1 et projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats»).

Révision de la loi fédérale sur la protection des eaux : un mandat politique

L'entrée en vigueur en 2011 de la loi fédérale révisée sur la protection des eaux, qui vise à revaloriser les cours d'eau en tant que milieux proches de l'état naturel et à rétablir leurs fonctions écologiques, a été suivie du lancement d'un programme de renaturation étendu à tout le pays. Ce programme prévoit de revitaliser 4000 km de rives d'ici à 2090, de remédier aux effets néfastes de l'utilisation de la force hydraulique d'ici à 2030 (notamment dans les domaines des éclusées, du charriage et de la migration des poissons) et de définir un espace réservé aux eaux suffisant dans tout le réseau hydrographique d'ici à fin 2018.

Afin de faciliter la mise en œuvre du programme, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a élaboré une aide à l'exécution organisée en modules (OFEV 2017), dont l'objectif est de soutenir les cantons dans l'application des dispositions légales et de permettre une exécution uniforme et coordonnée sur l'ensemble du territoire national.

Projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats »

L'importance de la dynamique des sédiments et des écoulements pour l'écologie et l'aménagement des eaux est au cœur du projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats». Celui-ci étudie la manière dont l'homme influe sur cette dynamique, et s'intéresse aux mesures visant à réactiver la dynamique sédimentaire

dans les cours d'eau perturbés ainsi qu'à leurs conséquences sur la structure et le fonctionnement des biocénoses.

Le présent recueil de fiches fait la synthèse des principaux résultats qui ont été obtenus par le projet et qui peuvent être utiles pour la pratique. Il constitue la suite du «Recueil des fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau», publié en 2012 (OFEV 2012). Comme cette première édition, il a été élaboré dans le cadre d'un processus interdisciplinaire et interactif, auquel ont participé des chercheurs et des praticiens de divers domaines appartenant à l'administration et aux associations intéressées. Les fiches qui le composent sont destinées à informer le lecteur sur l'état actuel de la recherche et à l'aiguiller vers les publications scientifiques complémentaires. Elles privilégient la lisibilité et contiennent donc peu de citations d'ouvrages. Tous les travaux parus jusqu'à présent sont cependant répertoriés sur le site du programme de recherche : www.rivermanagement.ch, rubrique **Produits et publications**. Un glossaire expliquant les termes utilisés est également disponible sur la page du programme de recherche.

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**.

Le recueil comprend les fiches suivantes

1 Dynamique des sédiments dans le réseau hydrographique



La mobilisation, le transport et le dépôt de sédiments subissent de grandes variations temporelles et spatiales, dont la dynamique est définie par des facteurs géomorphologiques, climatologiques, hydrologiques, hydrauliques et écologiques. Les animaux, les végétaux, les champignons et les micro-organismes ont su s'adapter de multiples manières à la dynamique des sédiments, nombre d'espèces en étant même tributaires pour se développer. Ce système est perturbé, tantôt directement tantôt indirectement, par l'homme. La fiche 1 donne un aperçu de la dynamique sédimentaire dans les cours d'eau suisses et décrit les conséquences des interventions anthropiques.

3 Importance et facteurs de la dynamique des sédiments fins



Les sédiments fins et leur dynamique agissent sur la morphologie et les milieux naturels fluviaux. Produits notamment par l'érosion des sols, ces sédiments contribuent à la formation de zones alluviales à bois dur et d'autres habitats dans les rivières et à leurs abords. La fiche 3 décrit les mécanismes qui régissent la dynamique des sédiments fins et explique comment celle-ci est influencée par la structure des berges et d'autres facteurs tels que la géométrie des criques latérales, dont le projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » a étudié l'impact de façon systématique dans le cadre d'expériences en laboratoire.

2 Mesurer la dynamique des sédiments et ses effets



Différentes méthodes servent à mesurer la dynamique des sédiments et ses effets sur l'environnement, les processus écologiques et les organismes vivants. Les scientifiques recourent aussi bien à des systèmes classiques qu'à des technologies récentes comme la télédétection à l'aide de drones, la mesure de la consommation d'oxygène dans les couches de gravier qui garnissent le fond des cours d'eau ou des analyses génétiques. La fiche 2 passe en revue les méthodes utilisées et présente leur application dans le cadre du projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats ».

4 Dépotoirs à alluvions doseurs en contexte torrentiel



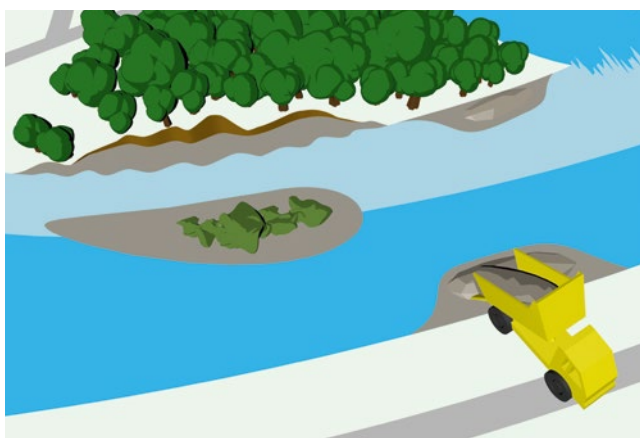
Les dépotoirs à alluvions servent à retenir les matériaux charriés par les torrents afin de protéger les zones urbanisées et les infrastructures contre les dégâts dus aux crues. Ceux de conception classique fonctionnent cependant même pendant des crues de faible intensité, alors qu'il serait possible de laisser passer le débit solide sans causer de dommage. Ils provoquent ainsi des déficits de charriage et des atteintes écologiques en aval. La fiche 4 explique comment les dépotoirs doseurs peuvent améliorer la continuité du transport solide.

5 Dynamique et biodiversité des zones alluviales



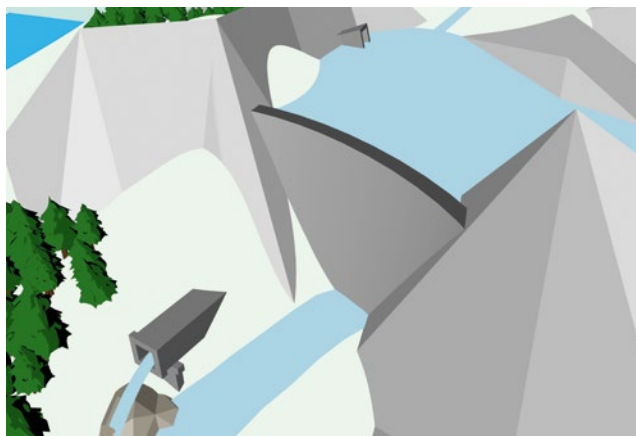
Les zones alluviales sont plus résistantes écologiquement lorsqu'elles comportent de nombreux habitats différents. Leur richesse en habitats et en espèces dépend principalement de l'espace réservé aux eaux, de la dynamique des écoulements et des sédiments et de la connectivité écologique. Des mesures de conservation ciblées sur les espèces typiques des zones alluviales peuvent augmenter la biodiversité. La fiche 5 décrit les principaux facteurs agissant sur la biodiversité des zones alluviales, fournit des exemples concrets et donne un aperçu des recherches en cours.

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 déversements de matériaux et favoriser l'érosion des berges permet d'augmenter la quantité de sédiments disponibles et, notamment, de revaloriser les habitats et limiter l'érosion des lits. La fiche 7 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.

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'écologie et la morphologie 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.

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 : Di Giulio, M. Franca, M. J., Scheidegger, Ch., Schleiss, A., Vetsch, D., Weber, Ch., 2017 : Dynamique des sédiments et des habitats dans les cours d'eau. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne. Introduction.

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

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

© OFEV 2017

1 Dynamique des sédiments dans le réseau hydrographique

La mobilisation, le transport et le dépôt de sédiments subissent de grandes variations temporelles et spatiales, dont la dynamique est définie par des facteurs géomorphologiques, climatiques, hydrologiques, hydrauliques et écologiques. Les animaux, les végétaux, les champignons et les micro-organismes ont su s'adapter de multiples manières à la dynamique des sédiments, nombre d'espèces en étant même tributaires pour se développer. Ce système est perturbé, tantôt directement tantôt indirectement, par l'homme. La présente fiche donne un aperçu de la dynamique sédimentaire dans les cours d'eau suisses et décrit les conséquences des interventions anthropiques.

Ch. Weber, M. Döring, S. Fink, E. Martín Sanz, Ch. Robinson, Ch. Scheidegger, N. Siviglia, C. Trautwein, D. Vetsch, V. Weitbrecht

Les sédiments sont composés de matériaux minéraux solides, comme le sable et le gravier, ainsi que de fragments de matériel biologique, tels des résidus de feuillage. La dynamique des sédiments comprend trois phénomènes : 1) la mobilisation (apport ou production), 2) le transport et 3) le dépôt.

Les sédiments parviennent dans les cours d'eau principalement sous l'effet de l'érosion ainsi que via des glissements de terrain et des coulées de boues, et l'eau les emporte ensuite vers l'aval. En raison de leur mode de transport, on distingue deux types de sédiments. a) Les matériaux au grain fin, comme le sable, le limon et l'argile, qui flottent dans l'eau. Leur diamètre est en général inférieur à 2 mm et les spécialistes les appellent « matières en suspension » ou « sédiments fins » (cf. fiche 3). b) Les matériaux plus grossiers, tels le gravier et les galets, qui roulent ou glissent sur le fond du lit et sont appelés « charge de fond » ou « matériaux charriés ». La dynamique des sédiments est également appelée régime ou bilan sédimentaire ou encore régime des matières solides.

Les trois phénomènes mobilisation, transport et dépôt se déroulent sur une durée très variable, allant de quelques minutes à plusieurs siècles (Wohl et al. 2015). Ils peuvent également intervenir à différents emplacements, tant dans l'ensemble du bassin versant (fig. 1) que dans l'habitat d'une espèce piscicole particulière. Les différentes échelles temporelles et spatiales s'influencent mutuelle-

Fig. 1

La mobilisation, le transport et le dépôt de sédiments interviennent à différents endroits du bassin versant (à gauche). Plaine alluviale dynamique dans le val Roseg (GR; à droite).



ment : les processus à grande échelle ont un impact à petite échelle et inversement.

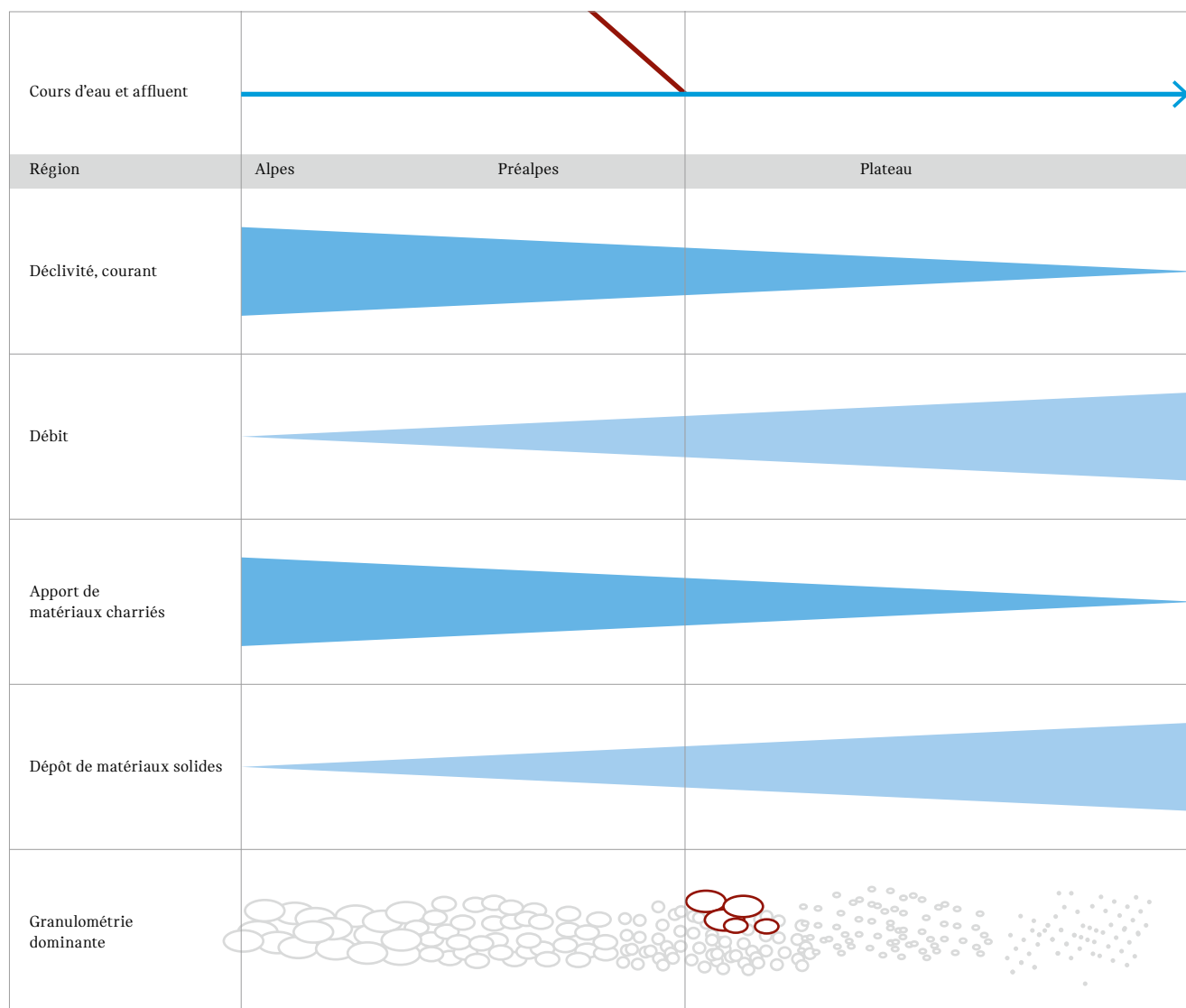
Échelle temporelle

La mobilisation et le transport de sédiments se produisent souvent de manière soudaine, par exemple lorsque le débit dépasse une certaine valeur lors d'une crue. Cette remarque s'applique en particulier à la charge de fond, car ces phénomènes sont plus continus dans le cas des matières en suspension, leur mobilisation et leur

transport étant liés directement au débit (Wohl et al. 2015). Une fois déposés, les sédiments demeurent plus au moins longtemps au fond du lit avant d'être remobilisés. Les matériaux charriés restent souvent à la même place pendant plus de douze mois et forment pendant des années, voire des décennies, des îles dans le chenal principal, sur les terrasses alluviales, les rives ou les flancs des vallées. Les sédiments déposés au fond des lacs ne sont mobilisés que par des événements d'envergure, très rares et dès lors imprévisibles, tels un tremblement de terre, un ouragan ou un tsunami. En 563, c'est probablement un éboulement sur la rive du Léman qui a

Fig. 2

Mobilisation, transport et dépôt de sédiments le long d'un cours fluvial.



Source : Eawag

provoqué l'effondrement du delta du Rhône, emportant 250 millions de mètres cubes de sédiments vers le fond lacustre. Le tsunami ainsi déclenché a provoqué de vastes destructions tout autour du lac.

Échelle spatiale

Sous l'effet de l'abrasion due au transport et à l'altération, la taille des matières charriées dans une rivière diminue sans cesse, de la source jusqu'à l'embouchure. Dans le cours inférieur, la distribution granulométrique sur le fond du lit est en général plus uniforme et la granulométrie moyenne plus petite que dans le cours supérieur. Lorsque le cours inférieur est peu profond, l'eau transporte en majorité des particules plus fines et des matières en suspension. Dans le cours supérieur, ce sont au contraire les matières plus grossières qui dominent, sauf dans les torrents glaciaires, où la concentration de matières en suspension est élevée. Les affluents peuvent perturber ce modèle longitudinal par le déversement de quantités considérables de sédiments de granulométrie variable (Wohl et al. 2015; fig.2). Sur le cours d'une rivière, les tronçons à dépôts et les tronçons d'érosion alternent en fonction de la forme du chenal. Les lacs étant des pièges à sédiments, leurs effluents ne transportent qu'une charge de fond minime. À plus petite échelle, même à l'intérieur d'un tronçon, des habitats qui se distinguent par la granulométrie de leurs sédiments sont accolés, les mouilles garnies de particules fines jouxtant directement des radiers couverts de matériaux plus grossiers.

Facteurs de la dynamique sédimentaire

Mobilisation, transport et dépôt de sédiments dépendent de différents facteurs. Décrits dans les paragraphes ci-après, ils se répartissent en quatre groupes :

- 1) facteurs géomorphologiques (caractéristiques du bassin versant, p. ex.),
- 2) facteurs climatiques et météorologiques (telles de fortes précipitations),
- 3) facteurs hydrologiques et hydrauliques (vitesse d'écoulement, p. ex.),

- 4) facteurs écologiques (présence de plantes aquatiques ou de bois flottant, etc.).

L'importance de chaque facteur varie en fonction du lieu où il agit dans le bassin versant. Le plus souvent, plusieurs facteurs se conjuguent en outre dans un même tronçon, renforçant ou entravant mutuellement leurs effets.

1) Géomorphologie

La composition géologique du bassin versant, c'est-à-dire le type de roche qui le constitue, et son degré de dégradation déterminent la mobilisation des sédiments, leur forme, leur dureté, leur composition chimique et la distribution de la granulométrie. Dans le lit d'un cours d'eau, les roches calcaires résistent moins à l'abrasion et leur taille diminue sur une distance plus courte que celle des roches cristallines. La topographie joue aussi un rôle, en particulier la forme de la vallée et, dès lors, la déclivité du chenal et l'inclinaison des flancs de la vallée. Une déclivité relativement forte accroît le transport de sédiments et peut, dans les cas extrêmes, provoquer des coulées de boue. Des flancs très inclinés favorisent les glissements de terrain et les éboulements, ceux-ci augmentant l'apport de sédiments dans le chenal.

2) Climat et météorologie

En altitude, l'apport de sédiments provient principalement de l'érosion des rives, de glissements de terrain et de coulées de boue. Ces derniers peuvent être provoqués par de fortes précipitations accompagnant les orages, mais aussi par des pluies persistantes qui saturent le sol et réduisent sa capacité de stockage. Par ailleurs, les avalanches déversent aussi des sédiments dans les cours d'eau.

Différents facteurs déterminent l'infiltration et le rapport entre précipitations et débit : outre la saturation du sol, ils comprennent la nature de ce dernier ainsi que sa couverture végétale et ses racines. En cas de pluie, l'eau s'infiltré plus rapidement dans un sol assoupli par des racines, qualité qui atténue les pics de crue et diminue le taux de transport de sédiments.

3) Hydrologie et hydraulique

Le débit, la déclivité et la structure du chenal déterminent la profondeur d'un cours d'eau, la vitesse d'écoulement et les contraintes mécaniques que subit le fond du lit. Ces éléments influent à leur tour sur le charriage des sédiments dans le cours d'eau à différentes échelles spatiales et temporelles. Ce transport peut varier selon la saison, car il dépend des précipitations et du débit, qui affichent des différences régionales et saisonnières.

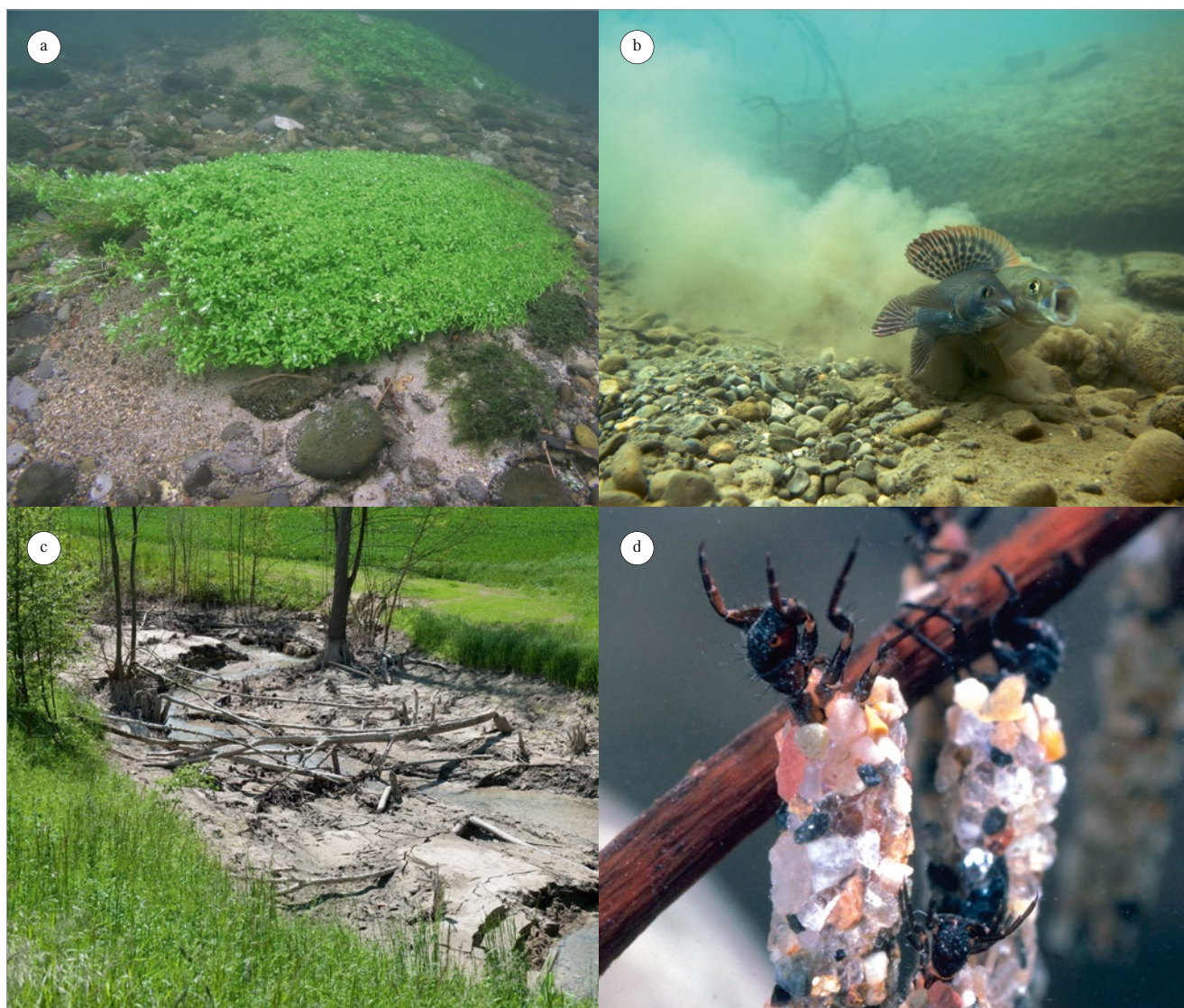
Lorsque le temps est chaud en été, les torrents glaciaires charrient, durant la journée, de fortes charges de sédiments fins provenant de l'abrasion du glacier. Il est en général beaucoup plus difficile de prévoir la dynamique des sédiments que celle des écoulements.

4) Écologie

La végétation présente dans le cours d'eau et alentour exerce une influence sur la dynamique des sédiments.

Fig. 3

Les organismes vivants exercent une influence sur la dynamique des sédiments. a) Des végétaux aquatiques (p. ex. Callitriches sp.) retiennent les sédiments fins. b) Durant le frai, les ombres (Thymallus thymallus) retournent le gravier sur le fond du lit. c) Les barrages de castors engendrent des dépôts de sédiments fins. d) Les larves du trichoptère (Allogamus auricollis) utilisent des particules sédimentaires pour construire leur fourreau.



D'une part, ses racines consolident le sol et réduisent l'érosion des rives et des flancs de vallée. D'autre part, des peuplements denses de plantes aquatiques et l'accumulation de bois flottant peuvent soit créer des dépôts locaux de sédiments (fig. 3a) soit provoquer une érosion de la rive.

Certains organismes vivants participent si activement à la dynamique sédimentaire qu'ils sont appelés «ingénieurs des écosystèmes»: pendant le frai, la truite et l'ombre creusent le fond du lit et remobilisent des sédiments fins (fig. 3b). Les barrages de castors réduisent la vitesse d'écoulement, favorisent les dépôts de sédiments et peuvent même dévier le chenal (fig. 3c). Les larves de certains trichoptères vivent bien à l'abri dans des fourreaux qu'elles construisent en utilisant des particules sédimentaires (fig. 3d), leurs logements modifiant la dynamique d'écoulement à petite échelle. Les algues qui occupent le fond du lit accroissent sa stabilité en agglomérant des particules de sédiments.

Effets de la dynamique sédimentaire

La mobilisation, le transport et le dépôt de sédiments déterminent les caractéristiques de nombreux cours d'eau (Wohl et al. 2015). La dynamique des sédiments exerce en particulier une influence sur :

- A) les **conditions environnementales** des habitats fluviaux (température, vitesse d'écoulement, etc.);
- B) les **processus écologiques** tels le cycle des nutriments ou la photosynthèse (utilisation de la lumière du soleil par les plantes et les algues);
- C) les **organismes vivants** (poissons, larves d'insectes ou végétaux).

Les trois chapitres ci-après explorent plus en détail ces effets de la dynamique sédimentaire. Ce faisant, ils mettent en général l'accent sur les échelles petite à moyenne, qui correspondent à la durée de vie et à l'habitat de la plupart des organismes aquatiques. Il importe toutefois de garder à l'esprit que conditions environnementales, processus écologiques et organismes vivants subissent également l'influence de phénomènes intervenant à large échelle et sur le long terme (cf. chap. Échelle temporelle).

A. Conditions environnementales

La mobilisation, le transport et le dépôt de sédiments créent et détruisent les habitats situés dans et au bord de la rivière (Döring et al. 2012). La littérature spécialisée parle alors d'une mosaïque dynamique d'habitats¹ (*shifting habitat mosaic*). En d'autres termes, si les bancs de gravier ou les mouilles ne restent pas toujours au même endroit dans un cours d'eau proche de l'état naturel, leur superficie totale demeure pratiquement identique à long terme dans un même tronçon.

Habitats fluviaux

À petite échelle, la distribution granulométrique sur le fond du lit inondé varie en fonction de la vitesse d'écoulement ou de la profondeur de l'eau. Dans le cadre du projet de recherche «Dynamique du charriage et des habitats», les scientifiques ont comparé des tronçons canalisés et élargis de la Thur (TG/ZH; Martín Sanz 2017), en étudiant plus spécialement la distribution granulométrique et son évolution dans le temps (fig. 4a et 4b). Dans les tronçons canalisés situés en amont et en aval du tronçon élargi, les sédiments présentaient une granulométrie similaire: grossière et uniforme, qui n'évoluait d'ailleurs guère au fil du temps (fig. 4b). Dans le tronçon élargi, la granulométrie était sensiblement plus variable et dynamique: sédiments plus fins dans certaines portions du tronçon et plus grossiers dans d'autres, changements nettement plus marqués au fil du temps.

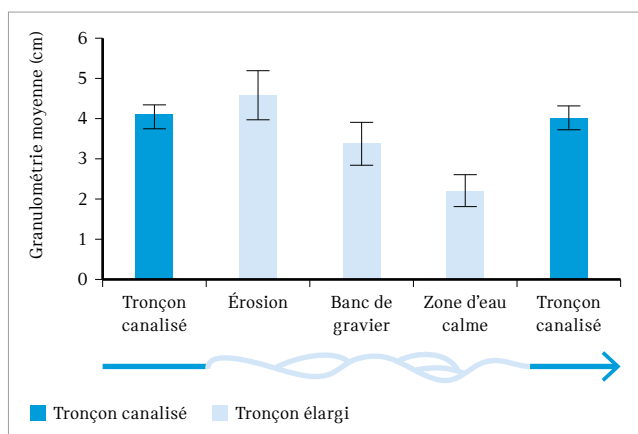
Habitats alimentés par l'eau souterraine

L'eau d'une rivière est en relation constante avec l'eau souterraine et la zone non saturée (cf. fiche 5). Cette connectivité verticale influe sur d'importants paramètres environnementaux tels que la température de l'eau. À proximité d'une résurgence d'eau souterraine, l'eau est en général plus fraîche en été et plus chaude en hiver que dans le reste de la rivière (Jungwirth et al. 2003). La connectivité verticale dépend de la composition et de l'épaisseur du fond du lit ainsi que de la granulométrie. Les dépôts de sédiments fins peuvent recouvrir le fond, boucher ses pores (colmatage) et entraver cette connectivité (cf. fiche 3). Ils seront emportés par le courant lors

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

Fig. 4a

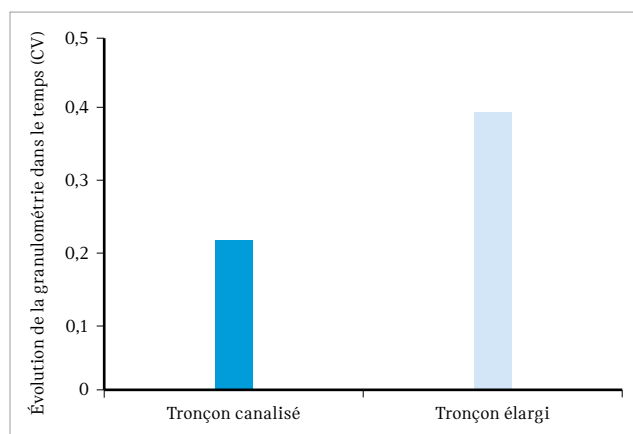
Composition granulométrique des sédiments dans des tronçons canalisés et élargis de la Thur.



Source : Martín Sanz 2017

Fig. 4b

Évolution dans le temps de la composition granulométrique des sédiments dans les tronçons canalisés et élargis de la Thur. Plus le coefficient de variation [CV] est grand, plus la modification est importante.



Source : Martín Sanz 2017

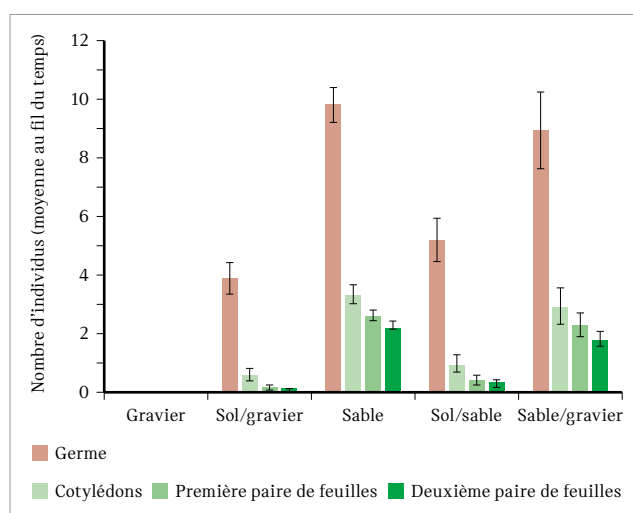
d'une crue suffisamment importante pour induire la mobilisation du fond du lit.

Habitats terrestres

La dynamique des sédiments détermine le type d'habitats qui se forment le long des cours d'eau : les dépôts de sédiments fins dans le lit majeur sont des facteurs clés de la formation de forêts alluviales à bois dur (cf. fiche 5). Le déplacement d'un banc de gravier altère la distribution granulométrique et, dès lors, la perméabilité et la quantité d'eau disponible à sa surface. Ces modifications créent de nouveaux habitats, qui seront colonisés par des plantes pionnières, tels l'épilobe de Fleischer (*Epilobium fleischeri*) ou le tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*). Des expériences menées sous serre, dans des conditions contrôlées, montrent à quel point la germination et la croissance du tamarin d'Allemagne dépendent de la composition des sédiments (fig. 4c ; Benkler et Bregy 2010) : un fond sablonneux favorise la germination ; en l'absence de sable, le taux de germination est faible, voire nul. Si la germination est rapide, l'apparition des feuilles prend nettement plus de temps. À ce stade aussi, des différences existent entre les types de sédiments. En outre, des distinctions séparent les différents peuplements : les graines du bassin versant du Rhône germent par exemple plus rapidement que celles du bassin versant de l'Inn.

Fig. 4c

Germination et croissance du tamarin d'Allemagne sur différents substrats sédimentaires. Les couleurs correspondent à différents stades de développement.



Source : Benkler und Bregy 2010

B. Processus écologiques

Cycle des nutriments

Les matériaux riches en nutriments, tel le feuillage provenant de la rive ou des tronçons en amont, s'accrochent sur le fond du lit et s'accumulent. Ils sont alors transfor-

més par une multitude de micro-organismes, de champignons, d'algues et de larves d'insectes. Ceux-ci constituent à leur tour la nourriture des poissons et d'autres organismes vivants (Jungwirth et al. 2003). Le feuillage retenu sur le fond du lit joue donc un rôle important pour l'ensemble du réseau trophique, en particulier dans les cours d'eau situés en altitude et les zones alluviales.

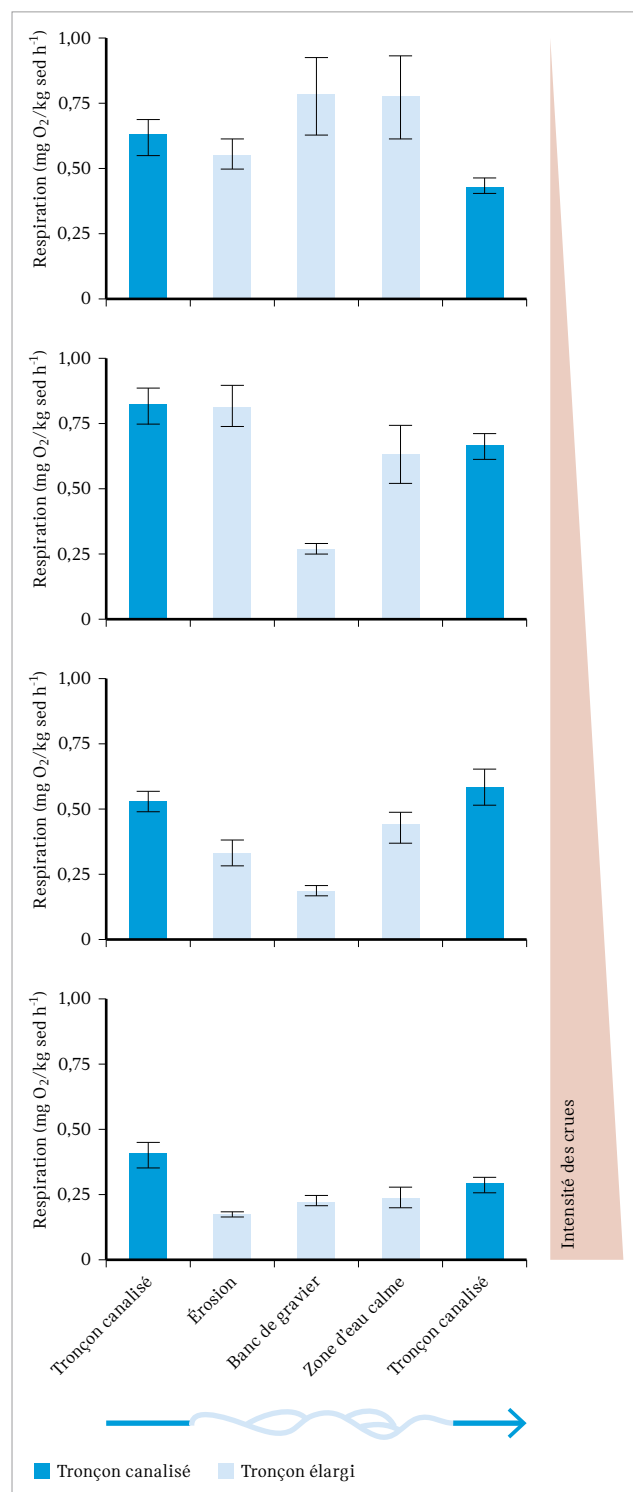
La rétention, l'accumulation et la transformation de matériel végétal dépendent notamment de la distribution granulométrique sur le fond du lit : plus les particules de sédiments sont grossières et plus la vitesse d'écoulement à proximité du fond est faible, plus l'effet de rétention sera grand. La fréquence et la puissance des crues charriant des matériaux solides revêtent aussi de l'importance. Leur diminution peut conduire à une forte accumulation de matériel végétal au fond du lit, dont la dégradation par les divers organismes vivants conduit à une augmentation de la consommation d'oxygène, ou respiration. Un tel processus est à même de modifier les concentrations de nutriments dans l'eau et, donc, le métabolisme de tout l'écosystème.

Le projet « Dynamique du charriage et des habitats » a cherché à déterminer, dans des tronçons canalisés et élargis de la Thur (ZH/TG), à quel point la respiration microbienne dans les sédiments est tributaire de la dynamique de ceux-ci (Martín Sanz 2017). Dans les tronçons canalisés, la dégradation de la matière organique était plus intense (fig. 5). Les valeurs mesurées étaient par ailleurs plus uniformes que dans les tronçons élargis, où l'on a observé de plus grandes variations locales. Lorsque la fréquence et l'intensité des crues augmentaient, la transformation du matériel organique diminuait. Cette corrélation est apparue le plus clairement dans les tronçons élargis, où le fond du lit est plus dynamique (fig. 4b).

Le colmatage peut également avoir un impact sur d'importants processus écologiques intervenant dans le fond du lit. Dans les zones d'infiltration, le milieu consomme plus d'oxygène que dans les résurgences d'eau souterraine, car l'eau de la rivière contient du matériel végétal qui sera également transformé après infiltration. À l'inverse, l'eau souterraine poussée vers la surface est riche en nutriments qui proviennent de la minéralisation de matériel végétal dans la zone non saturée.

Fig. 5

Transformation de matériel organique (respiration) sur le fond du lit, en fonction de la dynamique des crues et du charriage durant la période d'observation. La dynamique a été entièrement évaluée (durée et niveau du débit).



Source : Martín Sanz 2017

Interactions dans le réseau trophique

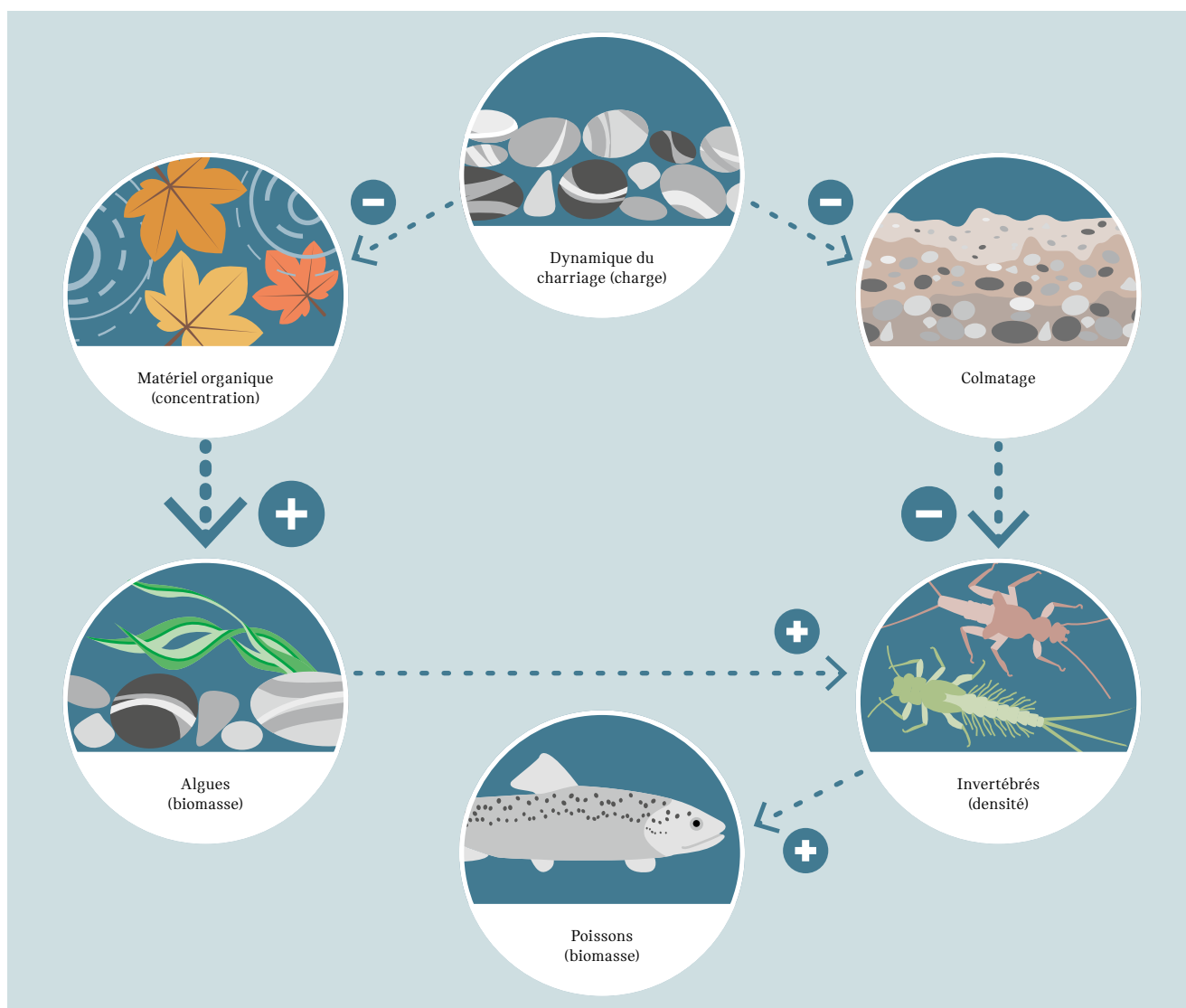
Selon leur taille et leur type, les matières en suspension peuvent réduire l'apport de lumière dans le cours d'eau (turbidité) et entraver la photosynthèse des algues ou des végétaux aquatiques. En recouvrant les algues et les plantes aquatiques, les dépôts de sédiments fins sur le fond du lit peuvent, eux aussi, réduire la photosynthèse de ces végétaux, voire provoquer leur dépérissement (cf. fiche 3).

La végétation pionnière offre nourriture et abri aux insectes spécialisés. Le criquet des iscles (*Chorthippus pullus*), par exemple, apprécie surtout les herbacées, telles que *Carex ssp.* et *Calamagrostis ssp.* Une autre espèce de sauterelle, le tétrix grisâtre (*Tetrix tuerki*), est au contraire friande d'algues qui colonisent les berges limoneuses, riches en sédiments fins.

Pour échapper à leurs prédateurs, beaucoup d'insectes terrestres se cachent dans les sédiments. L'omophron bordé (*Omophron limbatum*) se tapit par exemple dans le

Fig. 6

La dynamique du charriage et ses effets directs et indirects sur les organismes aquatiques. L'épaisseur de la flèche représente l'intensité de l'effet ; les signes plus et moins désignent un effet positif ou négatif.



sable pendant la journée et part à la chasse aux insectes durant la nuit (Rust-Dubié et al. 2006).

C. Organismes vivants

Si la dynamique des sédiments peut avoir un impact direct sur les organismes vivants, par éraflure ou écrasement, elle entraîne aussi des effets indirects : lorsqu'une crue charriant des matériaux solides met en mouvement le gravier du lit et emporte les sédiments fins, elle crée des conditions propices au frai d'espèces piscicoles qui ne peuvent se reproduire que sur du gravier meuble et bien irrigué. Pour les organismes fluviaux et alluviaux, l'intensité de l'événement est décisive. Ce qui compte, c'est par exemple la quantité de matières en suspension ou de matériaux charriés déposés au cours de la crue, la durée de celle-ci, la saison à laquelle elle survient ou encore sa récurrence.

Au cours de leur évolution, les organismes qui vivent dans les cours d'eau se sont habitués à la dynamique des sédiments. Beaucoup d'espèces animales et végétales en sont même tributaires, au point que l'absence de cette dynamique entrave leur développement. On distingue en principe des adaptations dans différents domaines, comme la morphologie (forme du corps, p.ex.), la physiologie (métabolisme), le comportement (mouvements, etc.) ou le cycle de vie (période de reproduction, p.ex.). Les organismes vivants ne s'adaptent d'ailleurs pas seulement à la dynamique des sédiments, mais à nombre de différents facteurs environnementaux. De nouvelles études portant sur les poissons et d'autres organismes révèlent que ces adaptations peuvent intervenir assez rapidement, c'est-à-dire en l'espace de quelques générations.

Poissons, algues et larves d'insectes

Les algues ont développé des variétés résistantes au frottement, en augmentant par exemple l'épaisseur de leur membrane cellulaire. Chez les poissons de rivière, des différences dans la forme du corps ont été observées au sein d'une même espèce, selon que les individus peuplaient surtout des mouilles à sédiments fins et à faible vitesse d'écoulement (*pools*) ou des radiers à fond grossier et à courant plus rapide (*riffles*). Le chabot, petit poisson benthique, est capable de s'enfoncer jusqu'à 30 cm dans le fond du lit, où il est ainsi protégé du frot-

tement dû à la charge de fond lors d'une crue modérée. La période de frai des espèces lithophiles est adaptée à la dynamique des sédiments et des écoulements : dans les cours d'eau suisses, par exemple, les truites fraient durant l'étiage de la fin de l'automne. À l'abri dans le gravier, leurs œufs se développent pendant l'hiver, saison où les crues sont rares et la dynamique des sédiments est faible. Une vaste étude sur le terrain réalisée dans le cadre du projet « Dynamique du charriage et des habitats » a examiné la structure du réseau trophique en fonction de l'intensité de la dynamique sédimentaire (fig. 6). Elle a porté sur différents organismes vivants et leurs sources de nourriture : algues couvrant le fond du lit, résidus de feuillage dans le domaine interstitiel, larves d'insectes et poissons. Faisant état d'effets tant directs qu'indirects, les observations ont notamment permis de constater que le nombre et le poids total de toutes les truites augmentaient avec l'accumulation de résidus de feuillage dans le gravier du fond du lit. Un plus grand nombre de petits animaux terrestres (araignées, fourmis, coléoptères et vers) a par ailleurs été découvert dans l'estomac des truites. Avec l'accroissement du colmatage, les peuplements de larves d'insectes se sont révélés moins denses. Par ailleurs, des petits animaux ont été identifiés en plus grand nombre dans le gravier grossier que dans le gravier fin.

Batraciens et reptiles

Tous les habitants des zones alluviales ont élaboré des stratégies pour s'accommoder d'un changement rapide du niveau d'eau ou de dépôts de sédiments. Durant leur cycle de vie, de nombreux reptiles et batraciens sont tributaires de la mosaïque d'habitats d'une zone alluviale proche de l'état naturel. La couleuvre tessellée (*Natrix tessellata*), par exemple, chasse sur les bancs de gravier, mais pond ses œufs dans les dépôts de sédiments fins et les détritiques flottants (Rust-Dubié et al. 2006). Les crapauds verts adultes (*Bufo calamita*) vivent sur les vastes surfaces de gravier des vallées fluviales et pondent leurs œufs dans les zones inondables ou des bras morts peu profonds.

Organismes terrestres

Le tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*) s'enracine profondément dans le banc de gravier pour ne pas être emporté par une crue. Les dépôts sédimentaires de plu-

sieurs centimètres d'épaisseur n'endommagent guère les végétaux alluviaux ligneux, car ceux-ci forment simplement de nouveaux rameaux. Les plantes herbacées, annuelles ou vivaces, disposent de banques de graines, qui survivent dans le gravier. Les œufs des oiseaux qui couvent sur les bancs de gravier nus, tel le chevalier guignette (*Actis hypoleucos*), possèdent un camouflage optimal, puisqu'ils sont tachetés de gris (Rust-Dubié et al. 2006). Le criquet des iscles (*Chorthippus pullus*) a mis au point différentes formes corporelles et stratégies migratoires: des individus à longues ailes apparaissent quand les peuplements se densifient et qu'il importe de coloniser de nouveaux bancs de gravier. Lorsque les habitats disponibles sont suffisamment grands et bien interconnectés, le peuplement est dominé par des criquets à ailes courtes.

Dynamique (des sédiments) et biodiversité

L'hypothèse scientifique de la perturbation moyenne affirme que la biodiversité est maximale en présence d'une dynamique d'intensité moyenne. Si la dynamique est marquée, seules les espèces résistantes subsistent, car elles sont à même de s'accommoder de la situation. Quand elle est au contraire faible, des espèces disparaissent, parce qu'elles sont évincées par des espèces plus concurrentielles. Si l'on considère le réseau d'un cours d'eau dans son ensemble, il est possible d'identifier des sources de sédiments, tels les apports provenant d'affluents, et de déterminer leur influence temporelle et spatiale sur la biodiversité.

Interventions anthropiques dans la dynamique des sédiments

L'homme influence la dynamique sédimentaire depuis des siècles: dès le début du Moyen-Âge, des digues offensives ont été construites pour protéger les berges de l'érosion. Les paragraphes ci-après décrivent plus en détail les deux types d'interventions qu'il est globalement possible de distinguer.

- A) Les interventions directes dans la dynamique sédimentaire, destinées à exploiter les sédiments en tant que ressource ou à prévenir des dangers.
- B) Les interventions indirectes, qui ne visent pas la

dynamique des sédiments, mais l'influencent tout de même.

Les interventions humaines comprennent aussi bien des actions locales à petite échelle, que des mesures d'envergure déployant des effets de grande portée.

A. Interventions directes

L'extraction de gravier est motivée par deux raisons: d'une part, elle sert à obtenir un matériau de construction; d'autre part, elle prévient un exhaussement du lit (protection contre les crues). Le gravier est surtout exploité dans les tronçons élargis ou les deltas, car il tend à s'y déposer. Les cours d'eau régulés sont gérés de manière à charrier des crues d'une certaine intensité, qui préservent dans la mesure du possible l'état du fond du lit. Les dépotoirs à alluvions (cf. fiche 4) et l'extraction de gravier dans les affluents servent aussi à réguler l'apport de gravier pendant les crues.

B. Interventions indirectes

En Suisse, le lit de nombreux cours d'eau a été rectifié et canalisé afin d'éviter le débordement des crues dans les plaines et de réguler le charriage de manière à stabiliser le fond du lit. Les lacs artificiels et les retenues bloquent le transport de sédiments (cf. Dynamique des sédiments et des habitats dans les cours d'eau, fig. 1; fiche 6). Aux fins d'entretien, les sédiments qui s'y déposent doivent être dragués ou éliminés par curage. Dans les régions vouées à une agriculture ou à une sylviculture intensive, la mobilisation de sédiments fins est plus intense, de sorte que leur apport dans le cours d'eau est accru (cf. fiche 3), en particulier si la végétation des rives, utilisée pour son effet tampon, fait défaut. La variété morphologique d'une rivière au lit rectifié est principalement influencée par sa largeur et son régime hydrologique. Avec l'urbanisation et l'étanchéification de grandes surfaces, les eaux pluviales s'écoulent plus rapidement et renforcent les pics de crue. Le cours d'eau est ainsi en mesure de charrier davantage de sédiments. Sous l'effet du changement climatique, les glaciers fondent, le permafrost dégèle et les précipitations tombent plus souvent sous forme de pluie que de neige. À l'avenir, la dynamique sédimentaire est donc appelée à s'intensifier, tant dans les torrents de montagne que dans les rivières du Plateau.

Conséquences des interventions humaines

Qu'elles soient directes ou indirectes, les interventions humaines dans la dynamique des sédiments ont un impact sur leur mobilisation, leur transport et leur dépôt et peuvent engendrer aussi bien un déficit qu'un excès (Wohl et al. 2015 ; cf. fiche 7). Ces conséquences se font sentir dans tout le réseau hydrographique : un déficit dans le cours supérieur peut intensifier l'érosion et provoquer un excès de sédiments en aval. Déficits et excès exercent une influence sur les conditions environnementales, les processus écologiques et les organismes vivants.

Conditions environnementales

En cas de déficit de sédiments, l'eau risque de creuser le chenal, qui s'enfoncera dans le terrain, et de rendre le fond du lit plus grossier (phénomène de « pavage »). Le déficit de sédiments peut également restreindre fortement la morphodynamique, voire la modifier complètement (Bezzola 2004). Cette situation survient en cas de retenue ou d'extraction de trop grandes quantités de gravier ou lorsqu'un ouvrage d'accumulation retient les sédiments, mais laisse passer l'eau. Si le lit de la rivière s'enfonce, le niveau des nappes souterraines voisines s'abaisse. Ce phénomène isole des zones alluviales riches en espèces, tels des bras morts ou des mares, qui ne seront plus approvisionnés en eau souterraine. D'importants prélèvements de gravier ainsi que l'érosion de la berge, due à une vitesse d'écoulement élevée dans les tronçons canalisés, réduisent le nombre de précieux habitats alluviaux terrestres (tels les bancs de gravier). Un excédent de matières en suspension accroît les dépôts le long des rives ou dans les tronçons à écoulement lent.

Processus écologiques et organismes vivants

Des changements dans la dynamique sédimentaire peuvent modifier l'équilibre entre les espèces et les individus et déclencher une réaction en chaîne dans le réseau trophique. Cette réaction peut débuter à la base du réseau, suite à une diminution de la photosynthèse des algues, par exemple, ou à un étage supérieur, notamment par modification de la pression prédatrice des poissons. Dans les deux cas, elle peut aller jusqu'à altérer irrémédiablement l'état de l'écosystème (*state shift*).

Les dépôts excessifs de sédiments fins peuvent entraver la reproduction de poissons lithophiles. Ils peuvent également changer la composition et le fonctionnement des biocénoses. Les plantes des rives souffrent particulièrement de la disparition d'habitats causée par les interventions anthropiques dans la dynamique sédimentaire. Une modification de cette dynamique permet par exemple à des espèces peu exigeantes (les « généralistes ») de coloniser les habitats de spécialistes plus sensibles. Un tel changement n'a en général pas un impact linéaire sur la biodiversité : lorsque certains habitats sont déjà rares, toute disparition supplémentaire aura des conséquences beaucoup plus graves.

Conclusion

La dynamique des écoulements et des sédiments façonne de plusieurs manières les écosystèmes de nos cours d'eau. Les travaux menés depuis des décennies sur l'importance écologique des sédiments ont apporté des connaissances remarquables : l'influence de la composition du fond du lit sur la reproduction d'espèces piscicoles lithophiles, par exemple, ou les conséquences d'un enfouissement des zones alluviales. Les aspects dynamiques – tel l'impact du moment et de l'intensité du transport de sédiments sur les organismes vivants – restent cependant encore mal connus. Les études menées dans ce domaine devraient fournir des résultats essentiels au cours des années à venir, notamment grâce aux progrès constants des méthodes de mesure (télédétection, p.ex. ; cf. fiche 2).

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 : Weber, Ch., Döring, M., Fink, S., Martín Sanz, E., Robinson, Ch., Scheidegger, Ch., Siviglia, A., Trautwein, C., Vetsch, D., Weibrecht, V., 2017 : Dynamique des sédiments dans le réseau hydrographique. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement, Berne. Fiche 1.

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

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

© OFEV 2017

2 Mesurer la dynamique des sédiments et ses effets

Différentes méthodes servent à mesurer la dynamique des sédiments et ses effets sur l'environnement, les processus écologiques et les organismes vivants. Les scientifiques recourent aussi bien à des systèmes classiques qu'à des technologies récentes comme la télédétection à l'aide de drones, la mesure de la consommation d'oxygène dans les couches de gravier qui garnissent le fond des cours d'eau ou des analyses génétiques. La présente fiche passe en revue les méthodes utilisées et présente leur application dans le cadre du projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats ».

M. Döring, M. Facchini, S. Fink, M. J. Franca, E. Martín Sanz, Ch. Robinson, Ch. Scheidegger, N. Siviglia, C. Trautwein, D. Vetsch, Ch. Weber

La mobilisation, le transport et le dépôt de sédiments sont très dynamiques et exercent une influence sur l'environnement, les processus écologiques et les organismes vivants, aussi bien dans les rivières qu'aux alentours (cf. fiche 1). Collecter des données sur la dynamique des sédiments est indispensable pour mieux comprendre et gérer nos cours d'eau. Vu la grande variété des cours

d'eau et de leurs dynamiques, la réalisation des relevés constitue toutefois un véritable défi en termes techniques, de temps et de ressources humaines.

Que ce soit dans le cadre de revitalisations, d'études d'impact sur l'environnement, d'évaluation de risques environnementaux ou de travaux de recherche, une foule de méthodes différentes sont utilisées de par le monde pour mesurer la dynamique des sédiments (fig. 1) et ses effets. La présente fiche propose un aperçu synoptique des méthodes disponibles et indique leur champ d'application ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients. Le tableau 1 (p. 7) présente les méthodes employées pour mesurer la dynamique des sédiments, tandis que les tableaux 2 (p. 10) et 3 (p. 10) fournissent un aperçu des moyens permettant d'en quantifier les effets sur les conditions écologiques et les organismes vivants.

Les tableaux énumèrent d'une part des méthodes classiques, dont certaines ont largement fait leurs preuves et sont utilisées depuis des décennies dans la pratique et la recherche. Ils expliquent par ailleurs les méthodes encore au stade de développement et illustrent leur application dans le cadre du projet de recherche « Dyna-

Fig. 1

Différents paramètres servent à déterminer la dynamique du charriage et ses effets sur les milieux naturels, la faune et la flore (à gauche). Un géophone mesure directement le volume des matériaux charriés dans l'Erlenbach (à droite).



mique du charriage et des habitats ». Certaines méthodes disposent d'indicateurs pour apprécier le caractère naturel de la dynamique sédimentaire. Ces indicateurs sont mentionnés parmi les avantages. Tous les relevés peuvent être comparés à ceux de sites de référence proche de l'état naturel.

Dynamique des sédiments

Méthodes classiques

Les méthodes classiques déterminent la dynamique des sédiments à l'aide de relevés sur le terrain et de la collecte d'échantillons (au moyen d'échantillonnages aléatoires servant p.ex. à mesurer la concentration de matières en suspension) ou en décrivant la répartition granulométrique. L'une de leurs priorités est de quantifier des charges, en particulier celle de matières en suspension, ainsi que le dépôt et le déplacement de sédiments. Les méthodes classiques sont en général fiables et faciles à appliquer. Certaines influent cependant sur le débit et le transport de matières solides ; d'autres exigent un appareillage important. Dans certaines, les résultats dépendent de l'expérience de la personne procédant aux relevés, de sorte qu'il devient difficile de comparer les

données recueillies. D'ordinaire, les méthodes classiques ne permettent pas de répéter fréquemment les relevés et il est souvent nécessaire de les compléter par des analyses en laboratoire. De plus, elles ne comprennent pas la saisie automatique de données. Le maillage du réseau de mesure est par conséquent lâche et, nulle part dans le monde, il n'existe de séries de données continues, sauf pour ce qui est des matières en suspension.

Méthodes en voie d'élaboration

Ces dernières années, la télédétection a connu un véritable essor et gagné en importance dans la mesure et l'appréciation de la dynamique des sédiments. Cette méthode va de l'utilisation d'anciennes photos aériennes à l'emploi d'appareils acoustiques servant à établir des profils transversaux ou longitudinaux en passant par le recours à des drones. La télédétection offre en général une grande résolution temporelle et spatiale pour étudier des modifications hydrologiques et morphologiques. Elle permet notamment de reconstituer la dynamique sédimentaire de jadis, d'apprécier des informations en trois dimensions sur de récents modèles d'érosion et de dépôt ou de suivre l'évolution du bilan sédimentaire. Il est par ailleurs possible de mesurer en temps réel la dynamique des sédiments sur le terrain, en particulier le transport de

Fig. 2

Instruments servant à mesurer la dynamique des sédiments (tab. 1). Détermination de la granulométrie à l'aide du logiciel BASEGRAIN (à gauche). Relevé LiDAR aéroporté au moyen d'un laser vert (à droite), qui permet de mesurer des éléments immergés.

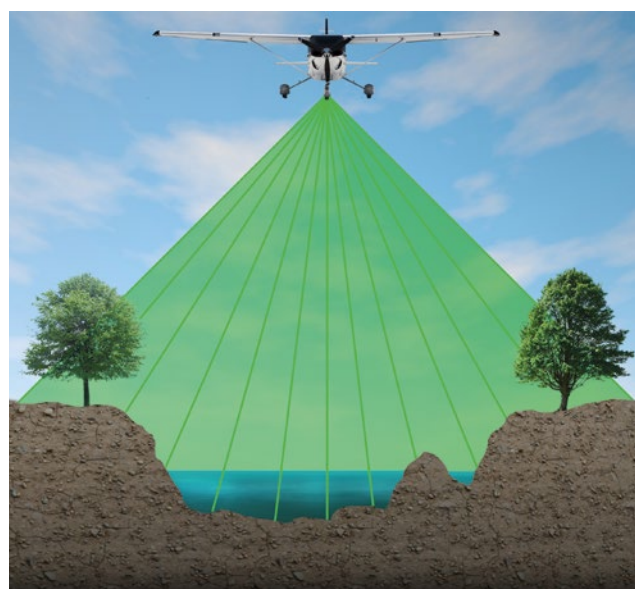
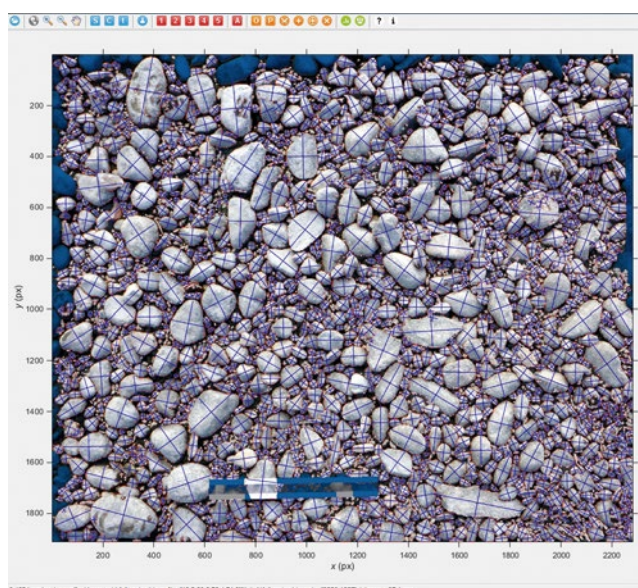
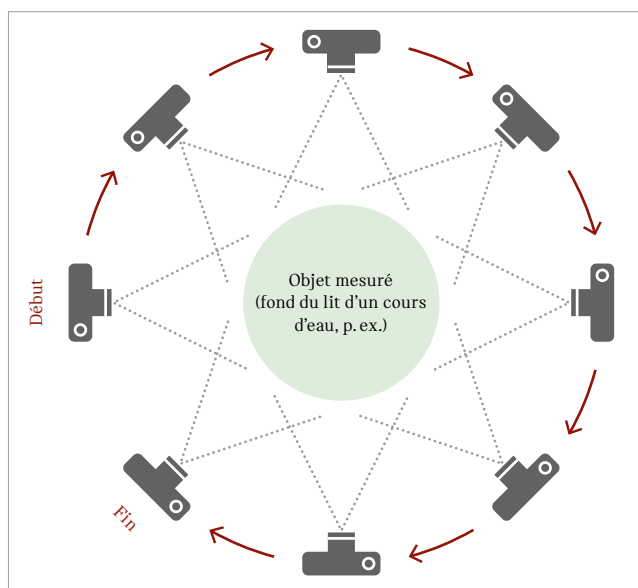


Fig. 3

Principe de la détermination de la structure à partir du mouvement : au lieu de prendre une seule photo aérienne, on enregistre une série de prises de vue qui se superposent. À l'aide de ces clichés, il est possible de construire une image en trois dimensions (un modèle altimétrique numérique, p. ex.).



Basé sur Westoby et al. 2012

matières en suspension. Ces nouvelles solutions présentent en outre l'avantage de pouvoir être utilisées à l'extérieur du milieu aquatique, par exemple lors d'une crue ou dans une réserve naturelle ou d'autres types de terrains. Associer méthodes classiques et récentes permet d'assurer un monitoring¹ efficace au niveau du bassin versant ainsi que de calculer des paramètres dynamiques qui rendent compte des changements dans les processus morphologiques.

Effets sur les conditions environnementales et les processus écologiques

Méthodes classiques

Les méthodes classiques ne servent guère à étudier les processus écologiques. En effet, ce n'est que depuis peu que ceux-ci font l'objet de mesures. Les méthodes clas-

siques jouent cependant un rôle crucial pour comprendre l'influence des apports et des dépôts de sédiments sur les biocénoses, par exemple la manière dont ceux-ci se répercutent sur la quantité d'oxygène disponible dans le lit d'un cours d'eau.

Méthodes en voie d'élaboration

Placés dans le fond du lit, des microcapteurs récemment mis au point parviennent à mesurer des concentrations de nutriments et d'oxygène à l'échelle du microgramme. Ils permettent ainsi d'analyser l'impact de la dynamique des sédiments sur le biofilm et sur le profil du cours d'eau, par exemple en tenant compte des échanges entre eaux de surface et nappe souterraine. Pour mieux comprendre la réaction de l'écosystème à une modification de la dynamique sédimentaire, il est essentiel de disposer de séries temporelles – mesurées pendant des périodes allant d'une journée à plusieurs années – sur les matières en suspension et les processus de dépôt. Le développement des capteurs se poursuit, mais ceux disponibles actuellement sont déjà largement utilisés. Ils interviennent notamment dans les systèmes d'alerte précoce, par exemple en rapport avec une restitution plus dynamique des débits résiduels en aval de barrages.

Effets sur les organismes vivants

Méthodes classiques

Les méthodes classiques décrivent la structure et la dynamique de populations de végétaux, d'animaux ou de champignons, ainsi que la structure et la dynamique de biocénoses d'organismes aquatiques, amphibiens et terrestres. Les services écosystémiques sont déterminés à différents niveaux, allant de l'espèce à la biocénose. Ces méthodes recourent par ailleurs à des paramètres fonctionnels, ou axés sur les processus, par exemple pour des organismes tels que les microbes, dont les taxons sont difficiles à déterminer.

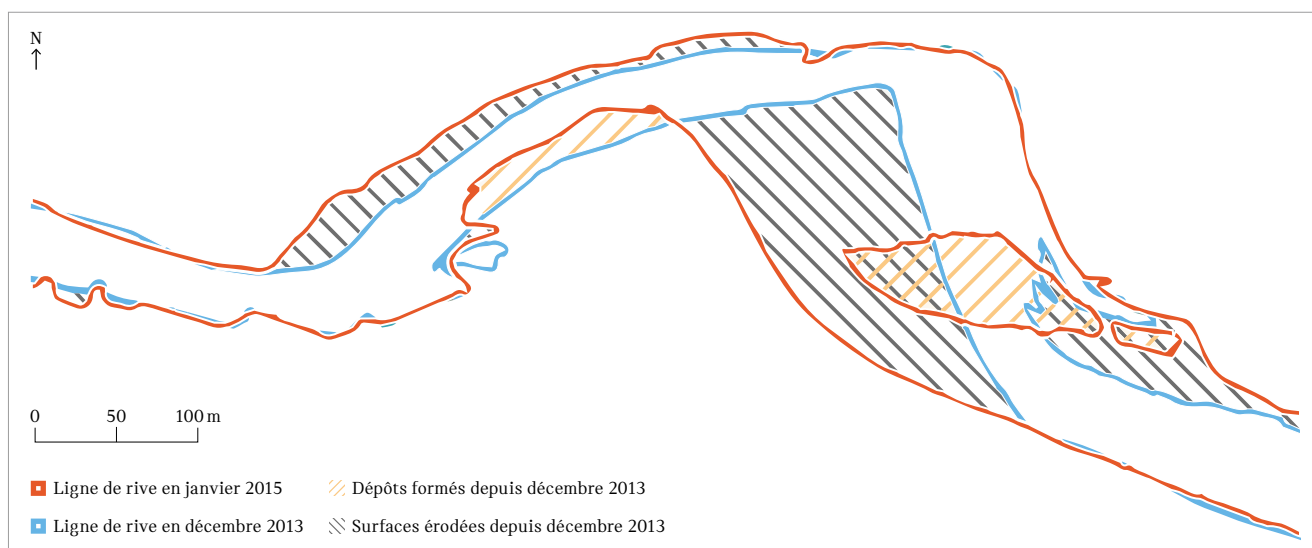
Méthodes en voie d'élaboration

Les drones et autres appareils de télédétection servent à déterminer à petite échelle les changements que les crues entraînent dans la déposition et l'érosion des sédiments (fig. 4). Les effets de la dynamique des sédiments sur celle des populations et des biocénoses peuvent par

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

Fig. 4

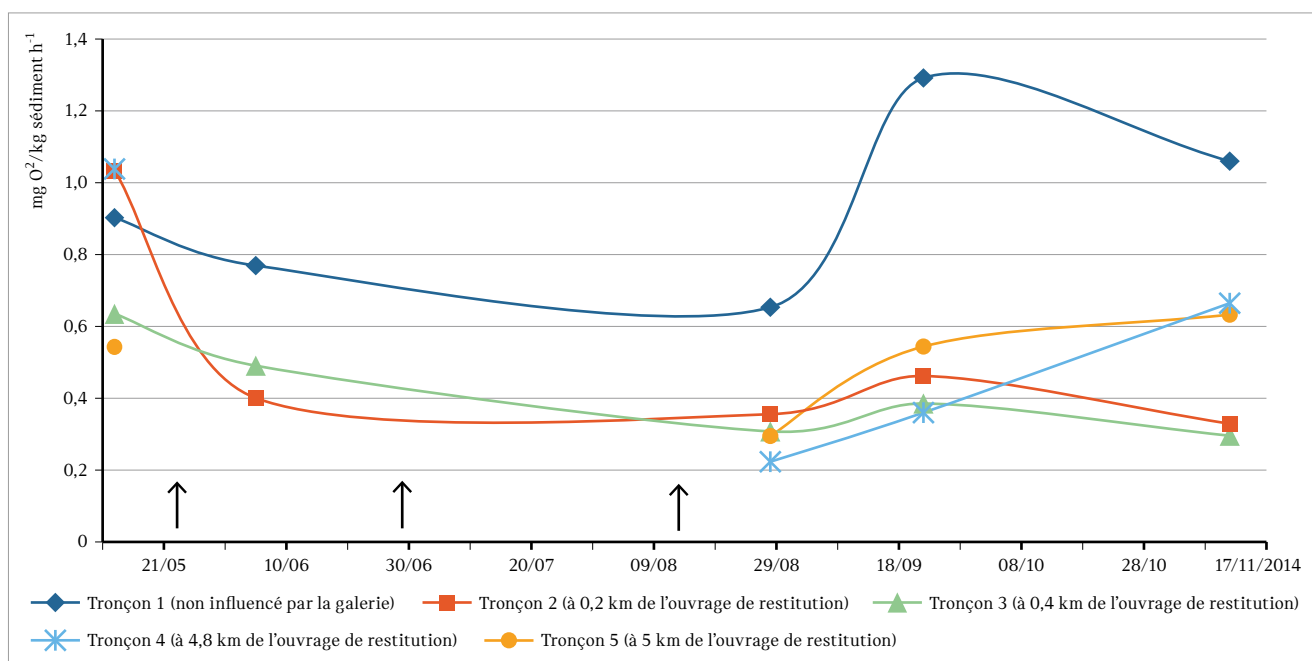
Déplacement, entre décembre 2013 et janvier 2015, des lignes de rive et des bancs de gravier le long de la Thur à la hauteur de Neuforn (ZH). Les données ont été numérisées à l'aide d'un logiciel SIG à partir d'une photo aérienne.



Source : Eawag

Fig. 5

Évolution de la consommation d'oxygène dans les sédiments de cinq tronçons du cours inférieur de l'Albula (GR). Les tronçons 2 à 5 se trouvent entre 0,2 et 5 km en aval de l'emplacement où débouche la galerie de dérivation des sédiments du barrage de Solis. Le tronçon 1 se situe entre le barrage et l'ouvrage de restitution. Durant la période considérée, la galerie a été mise en service trois fois lors de crues. Les dates de ces crues sont indiquées par des flèches.



Source : Eawag

ailleurs faire l'objet de modélisations (fig. 6). La génétique des populations permet de tirer des conclusions sur des processus importants qui se sont déroulés par le passé (effets fondateurs, étranglements, etc.) ainsi que de quantifier les flux génétiques à l'échelle d'un paysage fluvial. Après avoir déterminé les fonctions écosystémiques, il est en outre possible d'établir des liens entre les services écosystémiques et le régime de charriage.

Conclusion

La mesure et l'appréciation de la dynamique des sédi-

ments constituent une tâche complexe. Les méthodes disponibles, qu'elles soient classiques ou en voie d'élaboration, permettent d'établir des estimations et parfois aussi des prévisions à une échelle allant du milieu naturel à l'ensemble d'un bassin versant. Il est néanmoins rare de pouvoir distinguer les effets des différents facteurs (régime hydrologique, climat, exploitation du sol) sur le régime de charriage. De même, il reste difficile d'apprécier avec précision les effets du régime de charriage sur la structure et la fonction des écosystèmes. Ces informations sont pourtant nécessaires pour tenir compte de la dynamique des sédiments dans une gestion efficace des cours d'eau. Il convient de remarquer, à ce propos,

Fig. 6

Probabilité modélisée de la présence d'inocybes des renards (*Inocybe vulpinella*). Ce champignon préfère les sols plats et sablonneux proches de cours d'eau. La modélisation de niches écologiques permet de prévoir la présence actuelle et future d'une espèce donnée.

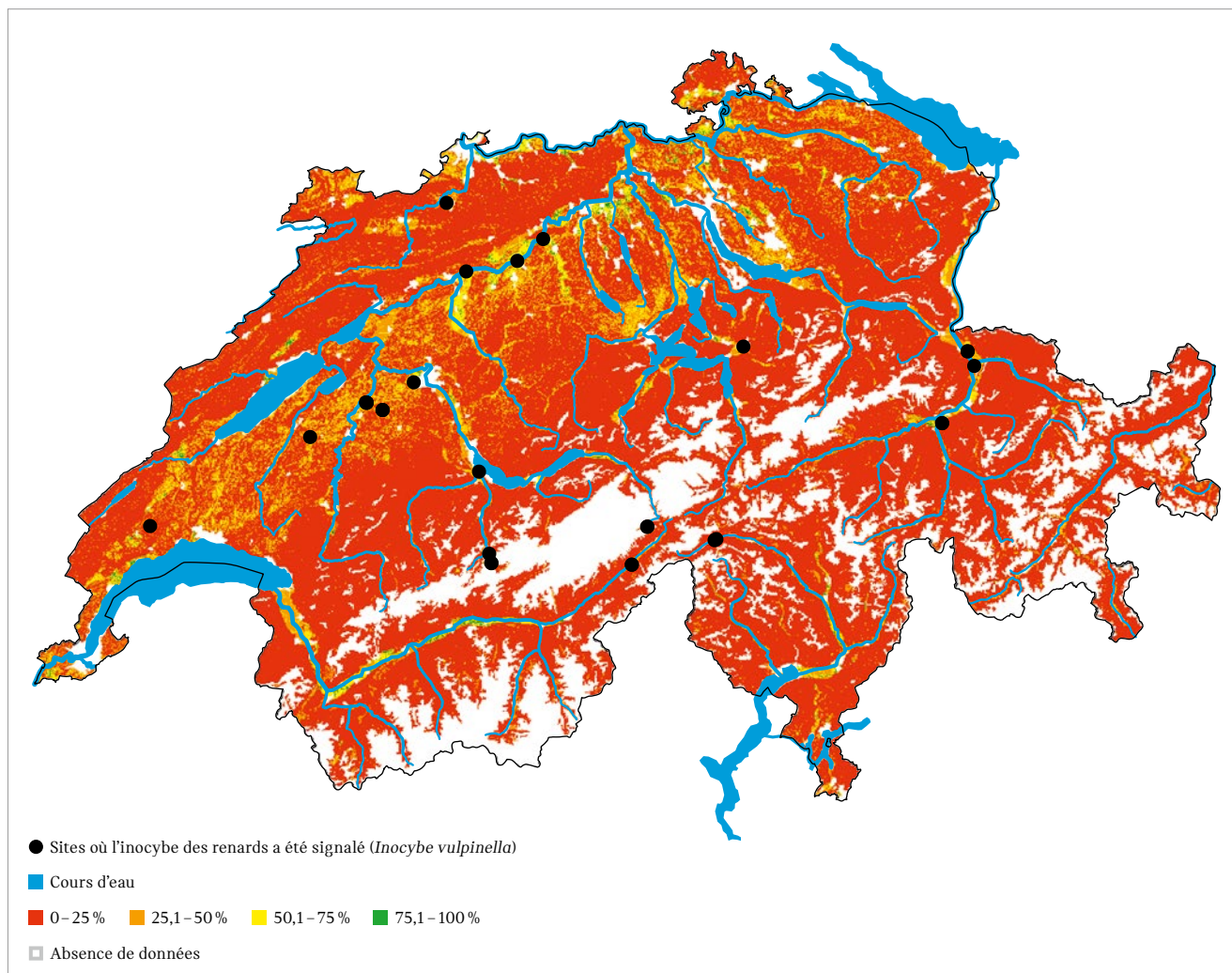
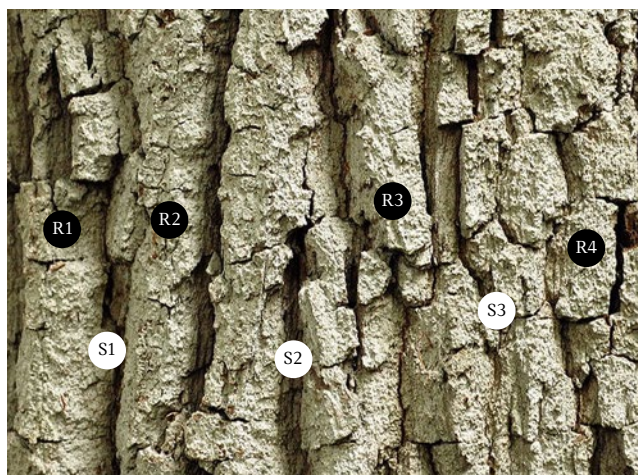


Fig. 7a

Prélèvement (R1 – R4, S1 – S3) du lichen *Bactrospora dryina* sur un chêne en vue d'une analyse génétique de populations. Cette espèce de lichen colonise les chênes de plus de 100 ans dans les forêts alluviales.



Source : Nadyeina et al. 2017

que de nouvelles méthodes se développent rapidement et qu'elles peuvent en particulier être associées aux méthodes classiques. Mentionnons par exemple la combinaison de relevés écologiques du sol avec des méthodes utilisant la télédétection ou avec le logiciel de modélisation BASEMENT (Vetsch et al. 2016). Cette combinaison recèle un potentiel considérable, car elle devrait contribuer à apprécier de manière intégrée des écosystèmes à des échelles différentes, dont la taille va d'un milieu naturel exigu à la totalité d'un bassin versant.

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**.

Fig. 7b

Génotypes (couleurs) du lichen *Bactrospora dryina* prélevé sur trois chênes dans trois sites différents (Marthalen, Sins, Spitz). L'analyse génétique de populations révèle une variété plus ou moins grande d'un arbre à l'autre et un flux génétique minime entre les trois sites. Ces données soulignent que les forêts alluviales en bois dur considérées ici ne sont pas interconnectées.

Marthalen																				
Haut	G	G	C	G	C	C	C	G	G	G	C	G	G	S	C	G	C	T	C	C
Milieu	C	C	C	U	C	C	C	C	V	I	C	C	W	X	Y	C	C	C	C	G
Bas	C	C	L	C	I	C	Z	C	C	C	C	C	AA	C	C	C	C	I	C	C
	R1	R1	S1	S1	R2	R2	S2	S2	R3	R3	S3	S3	R4	R4	S4	S4	R5	R5	S5	S5
Sins																				
Haut	D	B	B	B	B	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Milieu	B	B	B	B	B	D	D	D	B	B	B	D	B	B	B	B	D	D	D	D
Bas	B	B	B	B	B	B	D	B	B	B	B	B	B	B	B	B	D	B	D	D
	R1	R1	S1	S1	R2	R2	S2	S2	R3	R3	S3	S3	R4	R4	S4	S4	R5	R5	S5	S5
Spitz																				
Haut	A	A	A	A	A	A	A	A	A	N	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Milieu	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bas	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	R1	R1	S1	S1	R2	R2	S2	S2	R3	R3	S3	S3	R4	R4	S4	S4	R5	R5	S5	S5
Génotype	A	B	C	D	G	I	L	N	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA			
Fréquence	66	44	43	26	10	4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Source : Nadyeina et al. 2017

Tab. 1

Méthodes utilisées pour déterminer la dynamique des sédiments. Les méthodes en voie d'élaboration sont présentées sur fond bleu. (BV = bassin versant)

Paramètre	Méthode/appareil	Champ d'application	Avantages (+) Inconvénients (–)	Échelle		Ouvrage spécialisé
				temporelle	spatiale	
Matières en suspension						
Concentration (parfois aussi taille et/ou forme)	Capteurs optiques (lumière ou laser)	Mesure de la concentration des matières en suspension en fonction de la turbidité	+ Précision + Enreg. de la durée + Autonomie + Estimation du transport sur la base de la vitesse (deux capteurs) – Alimentation électrique – Pas de collecte des sédiments – Étalonnage	Relevé instantané – monitoring	Mesure ponctuelle	1)
	Procédé acoustique (utilisant l'effet Doppler, c.-à-d. l'écho d'ondes sonores)	Divers champs d'application (observation, recherches, etc.)	+ Précision + Possibilité d'établir un profil + Calcul de la vitesse – Encore en développement – Étalonnage spécifique	Relevé instantané – monitoring	Mesure ponctuelle, profils et transects	2)
	Quorer	Prélèvement standardisé sur le terrain, puis analyse en laboratoire	+ Conception robuste et simple + Collecte de sédiments – Perturbation du débit, en particulier à la surface du fond du lit – Variations en fonction de la personne qui effectue le prélèvement	Échantillon composite	Mesure ponctuelle	3)
	Échantillonneurs à pompe	Prélèvement standardisé sur le terrain, puis analyse en laboratoire	+ Conception robuste + Collecte de sédiments + Possibilité d'établir un profil – Risque d'obstruction – Mise en place complexe	En continu ou par impulsion (y c. séries temporelles)	Mesure ponctuelle et profils	1)
	Estimation subjective de la visibilité	Évaluation approximative de la turbidité, p. ex. par appréciation de l'aspect extérieur	+ Méthode standard + Application simple – Subjectivité	Relevé instantané	Liée à l'échantillonnage	4) 5)
	Échantillons aléatoires	Relevé standardisé sur le terrain, puis analyse en laboratoire	+ Conception robuste et simple + Collecte de sédiments + Large application éprouvée – Perturbation du débit, en particulier à la surface du lit du cours d'eau et dans les zones peu profondes – Variations en fonction de la personne qui effectue le prélèvement	Relevé instantané	Mesure ponctuelle et profils	1)
Matériaux charriés						
Masse ou volume par unité de temps	Pièges à sédiment	Échantillonnage de matériaux charriés	+ Relativement peu coûteuse + Mesure durant la crue – Cours d'eau peu profond – Plusieurs pièges sont nécessaires	Prélèvement unique	Mésohabitat – tronçon	6)
	Géophones (mesure des vibrations)	Quantification des matériaux charriés	+ Autonomie – Mise en place complexe – Exigences quant au site – Difficultés d'étalonnage	Prélèvements répétés en continu	Mésohabitat – tronçon	7) Fig. 1

Paramètre	Méthode/appareil	Champ d'application	Avantages (+) Inconvénients (-)	Échelle		Ouvrage spécialisé
				temporelle	spatiale	
	Structure à partir du mouvement (calcul d'une surface en 3D à partir de photos numériques)	Caractérisation de la topographie et observation des modifications morphologiques	+ Peu coûteuse + Prises de vue possibles dans les zones peu accessibles - Complexité du traitement des données - Utilisation restreinte sur les surfaces immergées/couvertes de végétation - Requiert le savoir-faire d'un expert	Sur des années (prélèvements répétés)	Mésohabitat – tronçon	8) Fig. 3
Mobilisation/comportement de la matière particulaire	Scour chains	Détermination de la différence nette entre érosion et déposition	+ Relevé possible pendant une crue - Perturbation du fond du lit pendant la mise en place - Coût et travail (terrain) - Disponibilité - Différence nette (≠ variation dans le temps)	Monitoring d'événements	Mésohabitat – tronçon	9)
	Marquage de galets	Ampleur de la mobilisation des sédiments	+ Peu coûteuse - Demande beaucoup de temps - Cours d'eau peu profond - Disponibilité	Observation d'événements	Mésohabitat – BV	10)
	Marquage PIT de galets	Ampleur de la mobilisation des sédiments	+ Monitoring de particules isolées + Relativement peu coûteuse - Cours d'eau peu profond - Complexité (préparation, sur le terrain)	Observation d'événements	Mésohabitat – BV	11)

Composition du substrat						
Répartition granulométrique	Pebble count, p. ex. le long d'un transect	Caractérisation du milieu naturel, données fondamentales (modélisation hydraulique, p. ex.)	+ Traitement rapide des données + Peu coûteuse + Prélèvement sur des surfaces immergées - Sous-estimation des particules petites - Variation en fonction de la personne qui procède au prélèvement et selon l'échantillon - Couche superficielle seulement	Années	Mésohabitat – tronçon	12)
	Échantillonnage en ligne	Caractérisation du milieu naturel, données fondamentales (calcul de la charge de matériaux charriés, p. ex.)	+ Traitement rapide des données + Peu coûteuse + Prélèvement sur des surfaces immergées + Variations faibles selon l'échantillon et en fonction de la personne assurant le prélèvement - Demande du temps sur le terrain - Couche superficielle seulement	Années	Mésohabitat – tronçon	13)
	Granulométrie moyenne et hétérogénéité	Caractérisation du milieu naturel	+ Relevés simples et rapides + Paramètres présentant une pertinence écologique - Couche superficielle seulement	Années	Mésohabitat – tronçon	14)

Paramètre	Méthode/appareil	Champ d'application	Avantages (+) Inconvénients (-)	Échelle		Ouvrage spécialisé
				temporelle	spatiale	
Accumulation de sédiments dans les pores du fond du lit (colmatage)	Basegrain / analyse de photos	Caractérisation de la répartition granulométrique	+ Prélèvement rapide + Peu coûteuse + Variations faibles selon l'échantillon et en fonction de la personne assurant le prélèvement + Extrapolation possible à la zone située sous la couche superficielle - Le traitement des données exige du temps - Erreurs dues aux ombres portées - Précision réduite sous l'eau	Années	Mésohabitat – tronçon	15) Fig. 2a
	Panier d'accumulation à sédiments	Mesure de l'apport de sédiments fins dans le fond du lit	+ Relativement peu coûteuse + Relevés possibles pendant une crue - Cours d'eau peu profond - Plusieurs paniers sont nécessaires	Échantillon composite	Mesure ponctuelle	16)
	Évaluation visuelle du colmatage en 5 étapes	Appropriée pour les frayères, les zones d'interaction avec les eaux souterraines	+ Relevé simple et rapide + Pertinence écologique - Données catégorielles - Zones non immergées seulement - Subjectivité	Années	Mésohabitat	17)

Forme du lit

Sinuosité Nombre de bras Bancs et îlots Déplacement des habitats	Téledétection (drone, avion, satellite)	Modification de l'écosystème	+ Appréciation fréquente et efficace au niveau du paysage - Équipement nécessaire - Requiert le savoir-faire d'un expert - Application limitée dans l'eau	Journées – décennies	Mésohabitat – BV	18) 19) Fig. 4
---	---	------------------------------	--	----------------------	------------------	-------------------

Géométrie du lit

Dimension du lit	Relevés de profils en travers	Caractérisation du milieu naturel, données fondamentales (calcul du débit solide, p.ex.)	- Exige beaucoup de temps	Années	Mésohabitat – BV	1)
	Relevé de la surface en trois dimensions par LiDAR (Light detection and ranging)	Caractérisation et modification de l'écosystème (mobilisation, p.ex.)	+ Données 3D précises - Méthode coûteuse - Équipement nécessaire - Requiert le savoir-faire d'un expert	Années	Mésohabitat – BV	8) Fig. 2b
	Profileur de courant à effet Doppler (ADCP)	Champ d'application varié (monitorage, recherche, etc.)	+ Données 3D précises - Équipement - Requiert le savoir-faire d'un expert	Journée – décennies	Tronçon	20)
	Modèles mathématiques (Basement, p.ex.)	Large application : prévention des dangers, flux environnementaux, revitalisation, etc.	+ Champ d'application varié + Permet d'établir des prévisions + Visualisation - Exige beaucoup de temps - Grande quantité de données	Journées – décennies	Tronçon – BV	21)

Tab. 2

Méthodes utilisées pour déterminer les effets de la dynamique des sédiments sur les conditions environnementales et les processus écologiques. Les méthodes en voie d'élaboration sont présentées sur fond bleu. (BV = bassin versant)

Paramètre	Méthode/ appareil	Champ d'application	Avantages (+) Inconvénients (–)	Échelle		Ouvrage spécialisé
				temporelle	spatiale	
Rétention de matériel organique	Dispersion de feuillage artificiel (papier)	Jusqu'ici, surtout des projets de recherche	+ Simulation d'un processus naturel (expérience sur le terrain) + Appréciation standardisée – Cours d'eau peu profond – Exige beaucoup de travail	Heures	Tronçon	22) Fiche d'info 25
Respiration microbienne (flux de CO ₂)	Mesure de la respiration microbienne du sol	Jusqu'ici, surtout des projets de recherche	+ Rapide et peu coûteuse + Liée à un site et à un moment précis + Identifie les changements rapides – Perturbation de l'hyporhéos pendant l'échantillonnage	Heures – journées	Mésohabitat	23) Fig. 5

Tab. 3

Méthodes utilisées pour déterminer les effets de la dynamique des sédiments sur les organismes vivant dans les cours d'eau. Les méthodes en voie d'élaboration sont présentées sur fond bleu. (BV = bassin versant)

Paramètre	Méthode/ appareil	Champ d'application	Avantages (+) Inconvénients (–)	Échelle		Ouvrage spécialisé
				temporelle	spatiale	
Stades de succession						
Composition des com- munautés végétales et des classes d'âge	Recensement	Caractérisation de la mosaïque d'habitats dans les zones alluviales	+ Peut être associée à d'autres méthodes (photos aériennes, Li-DAR, données sur la répartition) + Espèces indicatrices de certains types d'habitats – Exige beaucoup de temps – Requiert le savoir-faire d'un expert	Saison – années	Région – pays (en Suisse, le plus souvent 10 à 100 m²)	39) 24) 25)
	Télédétection (drone, avion)	Caractérisation de la mosaïque d'habitats dans les zones alluviales	+ Grande résolution – Obligation de convertir les données – Requiert le savoir-faire d'un expert – Le cas échéant, il faut disposer de données pédologiques	Saison – années	Région – pays	26)
	Propagation et flux génétique	Caractérisation de la connectivité des milieux naturels	+ Espèces et populations + Précision + Fournit les motifs de la diversité passée et actuelle – Difficile à interpréter (différents effets présentent le même modèle génétique) – Requiert le savoir-faire d'un expert – Méthode coûteuse	Passé – situation actuelle	Région – pays	27) Fig. 7a, 7b

Paramètre	Méthode/ appareil	Champ d'application	Avantages (+) Inconvénients (-)	Échelle		Ouvrage spécialisé
				temporelle	spatiale	
	Modélisation d'habitats pouvant être propices pour la végétation alluviale	Estimation du potentiel de revitalisation	+ Estimation de la répartition passée, actuelle et future – Requiert le savoir-faire d'un expert – Requiert des données environnementales	Passé – prévisions	Région – pays	28) Fig. 6
Connectivité verticale/colmatage						
Reproduction d'espèces piscicoles frayant sur gravier	Comptage de frayères, de larves, de géniteurs	Adéquation des frayères, succès de la reproduction, après des déversements de gravier p. ex.	+ Simple et rapide + Indice du succès de la reproduction sur plusieurs années – Accessibilité des sites	Saison – année	Tronçon – BV	29) 30)
	Mise en place expérimentale d'œufs de poisson (dans des boîtes de Vibert, p. ex.)	Adéquation des frayères, succès de la reproduction en cas d'apport de sédiments fins	+ Application aisée + Modifiée afin de quantifier l'apport de sédiments fins – Nombre d'œufs limité	Saison – année	Mésohabitat – tronçon	31) 32) 33) 34)
Abrasion						
Résistance (force de résistance)	Introduction de mousses artificielles (bandes velcro)	Détermination de l'intensité de l'abrasion	+ Peu coûteuse	Saison – année	Mésohabitat – tronçon, comparaison de rivières	35)
	Introduction de plantes riveraines artificielles (bâtonnets de bois)	Détermination de la dynamique du charriage à proximité des rives	+ Peu coûteuse + Quantification de l'érosion	Saison – année	Mésohabitat – tronçon, comparaison de rivières	35)
	Présence de groupes d'espèces résistant à l'abrasion (algues, p. ex.)	Caractérisation de la dynamique du charriage	+ Utilise des guildes écologiques (comparaisons facilitées) – Requiert le savoir-faire d'un expert	Saison – année	Mésohabitat – BV	36)
	Dendrochronologie (analyse des cernes annuels)	Reconstruction de la dynamique antérieure du charriage	– Requiert le savoir-faire d'un expert	Passé	Tronçon	37)
Résilience	Présence de périphyton (concentration de chlorophylle a)	Intensité de la perturbation, moment spécifique après épisode de crue à fort charriage	+ Simple et peu coûteuse + Largement utilisée + Indicateur fonctionnel – Requiert le savoir-faire d'un expert pour la détermination	Saison – année	Mésohabitat – tronçon	35)
	Variété et intensité des processus microbiens	Jusqu'ici, surtout des projets de recherche	+ Relevés aisés + Indicateur fonctionnel + Diminution des coûts – Requiert le savoir-faire d'un expert	Journées – année	Mésohabitat – tronçon	38)

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 : Döring, M., Facchini, M., Fink, S., Franca, M. J., Martín Sanz, E., Robinson, Ch., Scheidegger, Ch., Siviglia, A., Trautwein, C., Vetsch, D., Weber, Ch., 2017 : Mesurer la dynamique des sédiments et ses effets. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement, Berne. Fiche 2.

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

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

© OFEV 2017

3 Importance et facteurs de la dynamique des sédiments fins

Les sédiments fins et leur dynamique agissent sur la morphologie et les habitats des cours d'eau. Produits notamment par l'érosion des sols, ces sédiments contribuent à la formation de zones alluviales à bois dur et d'autres milieux naturels dans les rivières et à leurs abords. La présente fiche décrit les mécanismes qui régissent la dynamique des sédiments fins et explique comment celle-ci est influencée par la structure des berges et d'autres facteurs tels que la géométrie des criques latérales, dont le projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » a étudié l'impact de façon systématique dans le cadre d'expériences en laboratoire.

C. Juez, M. J. Franca, S. Fink, Ch. Scheidegger, A. Siviglia, S. Stähly, C. Trautwein, Ch. Weber, A. Schleiss

Les sédiments fins sont des particules dont la granulométrie ne dépasse pas 2 mm, soit les fractions faites de limon, d'argile et de sable. Dans les cours d'eau, ils se trouvent le plus souvent dans la couche inférieure du fond du lit ou en suspension dans le courant. S'ils sont parfois présents dans la couche supérieure du fond du lit,

c'est surtout lorsque celui-ci est colmaté. Il faut des turbulences suffisamment puissantes, comme celles des rivières alpines ou préalpines, pour mobiliser et transporter les sédiments fins. Dans la colonne d'eau, la concentration des matières en suspensions augmente avec la profondeur : les valeurs sont les plus élevées à proximité du fond du lit, où ces matières interagissent avec les particules charriées au fond du lit. Les particules sédimentaires les plus fines (diamètre inférieur à 0,1 mm) sont sans cesse en suspension et appelées charge de ruissellement (*wash load*).

Mobilisation, transport et dépôt

Voici les trois principales provenances des sédiments fins (cf. fiche 1) :

- érosion et altération de roches et de sols ;
- abrasion de matériaux charriés plus grossiers (dans les rivières, par les glaciers, etc.) et collision de tels matériaux proche du fond du lit durant les crues ;
- glissements de terrain et coulées de boues.

Fig. 1

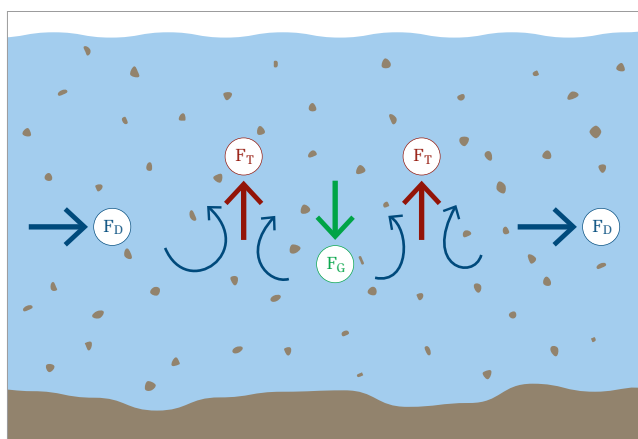
Schéma des criques latérales étudiées dans le cadre d'expériences en laboratoire (à gauche). Élargissement local de la Kander dans l'Augand (BE), avec îlots de gravier et dépôts de sédiments fins (à droite). L'eau de la Kander charrie naturellement une forte concentration de sédiments fins.



Fig. 2

Schéma des forces qui agissent sur les matières en suspension.

Engendrée par une turbulence, la poussée verticale (ou portance) F_T maintient les sédiments fins en suspension et dépend de la vitesse d'écoulement. La force du courant F_D transporte les sédiments vers l'aval. La force de gravité F_G s'oppose à la force de turbulence et dépend du poids de chaque particule.



Source : LCH-EPFL

Les sédiments fins sont toujours en mouvement dans les rivières des Alpes et des Préalpes. Dans les zones à courant plus faible ainsi que dans les cours d'eau à écoulement lent ou dans les plans d'eau, ils descendent vers le fond et s'y déposent (fig. 1). Si les sédiments fins ne participent guère aux atterrissements dans les rivières canalisées, ils constituent au contraire la grande partie de l'apport sédimentaire dans les lacs et les bassins de retenue. Le Rhône transporte par exemple des sédiments fins d'origine glaciaire jusque dans le lac Léman, où ils se

Tab. 1

Grands lacs suisses où se déposent des quantités considérables de sédiments fins, apportés par les principaux affluents.

Lac	Principaux affluents
Lac de Brienz	Aar, Lütschine
Lac de Constance	Rhin
Lac Léman	Rhône
Lac Majeur	Ticino
Lac de Thoune	Kander
Lac des Quatre-Cantons	Reuss, Muota
Lac de Walenstadt	Linth

Source : LCH-EPFL

déposent dans la zone du delta. De là, un courant de turbidité, similaire à une avalanche sous-lacustre, les emporte parfois vers des portions plus profondes du lac. Dans les cours d'eau à l'état naturel, les crues rejettent les matières en suspension vers les glacis (lit majeur) et les plaines alluviales, où elles se déposent et s'accumulent. Dans les zones alluviales à bois tendre et à bois dur, les sédiments fins sont souvent appelés « argile alluviale » et contribuent à l'apport de nutriments. Ce processus est toutefois entravé par des interventions humaines (cf. chap. Interventions humaines dans la dynamique des sédiments fins).

La figure 2 illustre des processus physiques, telles la poussée d'Archimède, les forces de portance et les turbulences, qui exercent une influence sur la mise en suspension, le transport et le dépôt de sédiments fins. La force de portance découle notamment de la turbulence autour d'une particule sédimentaire. La force de gravité entraîne les sédiments vers le fond et la vitesse de déposition dépend surtout de la masse, mais aussi de la forme de chaque particule (plate ou arrondie, p.ex.). La force de turbulence détermine la quantité de sédiments fins maintenus en suspension. Lorsque leur concentration s'accroît et dépasse une certaine limite, les particules commencent à descendre vers le fond. Si la force de turbulence diminue abruptement, dans des tronçons élargis par exemple, ou dans d'autres tronçons à écoulement moins rapide, la force de gravité domine, de sorte que les sédiments fins se déposent et s'accumulent sur le fond du lit.

Sédiments fins dans les cours d'eau suisses

Les rivières alpines transportent davantage de matières en suspension que les cours d'eau de basse altitude. Lorsque l'une d'elles se jette dans un lac, celui-ci joue le rôle de bassin de décantation. Certains lacs suisses absorbent la charge sédimentaire totale de leurs affluents (tab. 1) et les deltas de ces derniers s'agrandissent dès lors sans cesse, à l'image du delta du Rhin dans le lac de Constance. Le changement climatique accroît en général l'apport de matériaux solides : l'accélération de la fonte des glaciers met au jour de grandes quantités de sédiments fins dans les moraines. Aisément érodés par la pluie et le vent, ces sédiments finissent dans les cours d'eau.

Rôle écologique des sédiments fins

La matière organique, c'est-à-dire de la matière contenant du carbone, est une source essentielle d'énergie pour les organismes vivants et dès lors la base des réseaux trophiques, aussi bien dans les milieux aquatiques que terrestres. La matière organique présente dans les cours d'eau peut être produite sur place : les algues, les végétaux aquatiques et les cyanobactéries utilisent le rayonnement solaire lors de la photosynthèse, c'est-à-dire pour fabriquer de la matière organique. Cette matière organique peut aussi provenir d'autres sources : apport de résidus de feuillage, par exemple, emportés sur la berge ou transportés depuis les tronçons situés en amont.

De grande importance écologique, le cycle du carbone est également lié à la dynamique des sédiments fins. Le carbone est en effet transporté avec ces sédiments : dilué dans l'eau, adsorbé sur des surfaces minérales ou sous forme de matériel organique (résidus de feuillage, etc.). Son stockage et sa transformation ultérieure sur le fond des cours d'eau et dans les zones alluviales dépendent notamment de la granulométrie des sédiments qui se déposent sur place (cf. chap. Interventions humaines dans la dynamique des sédiments fins).

Étant donné que des nutriments peuvent aussi s'accrocher aux sédiments fins, ceux-ci constituent une source de nourriture importante pour les algues aquatiques et

les plantes alluviales et favorisent la croissance végétale. L'érosion de sédiments dans les zones alluviales contribue également à l'alimentation, dans la mesure où la matière organique emportée peut servir de nourriture aux organismes aquatiques (Colditz 1994).

La granulométrie des sédiments exerce une influence sur les types de zones alluviales (cf. fiche 5) : l'accumulation prépondérante de gravier et de particules grossières le long de la rive favorise la formation de zones alluviales à bois tendre, tandis que les dépôts constitués en majorité de sédiments fins conduisent plutôt à la création de zones alluviales à bois dur. Outre la granulométrie, la fréquence des inondations détermine la présence de ces deux types de ripisylves (Colditz 1994 ; Ellenberg 2010).

Grâce aux sédiments fins et aux nutriments transportés avec eux, les graines des espèces ligneuses typiques des zones alluviales – le saule, l'aulne et le peuplier (Delarze et al. 2015) – peuvent germer après une crue. Le même phénomène vaut également pour diverses espèces cibles¹ dans le domaine de la protection de la nature et des espèces. Nombre de ces dernières profitent en effet des dépôts de sédiments fins, car ceux-ci forment de nouveaux habitats riches en nutriments (fig. 3). Dans le cas de certaines espèces, tel le tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*), l'apport de sédiments organiques fins entrave au contraire la germination.

Si l'on considère le réseau trophique dans son ensemble, la dynamique des sédiments fins a un impact direct et indirect sur les organismes aquatiques (cf. fiche 1). Nombre d'entre eux se sont d'ailleurs adaptés à cette dynamique en ajustant leur morphologie, leur physiologie, leur comportement ou leur cycle de vie.

Interventions humaines dans la dynamique des sédiments fins

Les interventions humaines peuvent perturber l'équilibre naturel entre apport et transport de sédiments fins. Voici leurs deux principales conséquences :

Fig. 3

Les dépôts de sédiments fins dans la Kander (BE) offrent un habitat aux plantes pionnières.



Photo : Vinzenz Maurer

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

- 1) Un apport accru de sédiments fins risque de colmater le fond du lit. Or, un colmatage entrave les échanges entre eaux de surface et eaux souterraines ainsi que le transport d'oxygène vers les espaces interstitiels du fond du lit.
- 2) De faibles vitesses d'écoulement favorisent le dépôt de sédiments fins et peuvent ainsi réduire la protection contre les crues.

Vu sa topographie favorable, la Suisse exploite largement la force hydraulique. Par ailleurs, la forte densité de population, les mesures de protection contre les crues et la correction de rivières et de ruisseaux, destinée à gagner des terres cultivables, ont privé les cours d'eau d'une morphologie d'aspect naturel (cf. fiche 1). Ces diverses activités humaines exercent une influence directe ou indirecte sur la dynamique des sédiments fins. Les principales interventions humaines dans cette dynamique sont décrites ci-après.

Constructions

Situés dans les cours d'eau ou sur leurs rives, les chantiers peuvent libérer des sédiments fins. Ceux-ci sont emportés vers l'eau par le vent ou la pluie ou mobilisés et transportés par les turbulences provoquées dans le cours d'eau.

Correction de rivières

Par le passé, le tracé de rivières a été rectifié pour assurer la protection contre les crues ainsi que pour gagner des surfaces cultivables. Ces corrections ont diminué la variabilité naturelle de la largeur du chenal, uniformisant les vitesses d'écoulement et la profondeur de l'eau. Ces travaux ont dès lors fait disparaître des milieux naturels à l'abri du courant, voire à eaux stagnantes, ainsi que des zones alluviales. De plus, les matières en suspension ne peuvent plus guère se déposer dans les rivières corrigées. Les cours d'eau rectifiés dotés d'un profil transversal en forme de double trapèze font exception, car des sédiments fins peuvent se déposer dans le lit majeur (glacis) en cas de crue.

Ouvrages d'accumulation

En Suisse, une grande partie de l'électricité est fournie par des centrales hydroélectriques, les lacs de barrage garantissant la flexibilité de la production. Les ouvrages

Fig. 4

Après le curage du lac de Räterichsboden, l'Aar charrie une charge fortement accrue de sédiments fins dans le Haslital (BE).

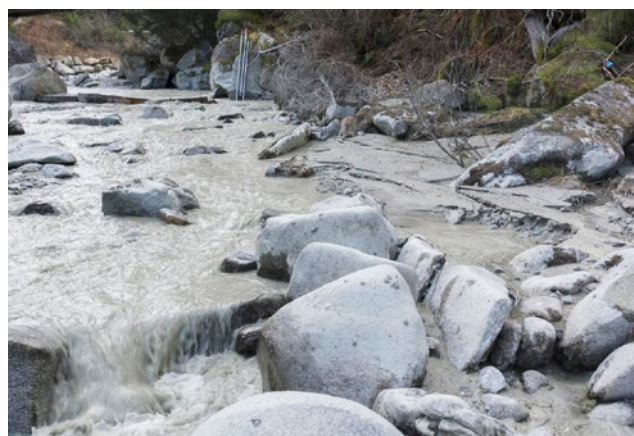


Photo : Markus Zeh

de retenue forment de grands réservoirs (lacs artificiels) qui peuvent piéger la quasi-totalité des sédiments et provoquer un déficit en aval. Un réservoir engendre le même effet qu'un dépotoir à alluvions et s'atterrit avec le temps (cf. fiche 6). Pour remédier à ce phénomène et préserver le volume de stockage, les bassins font l'objet de curages. Lorsque les sédiments fins alors évacués sont trop peu dilués, ils atteignent des concentrations élevées en aval (fig. 4) et peuvent se déposer dans les zones à faible vitesse d'écoulement.

Modification de la couverture du sol

Une modification de la couverture du sol, due à l'exploitation agricole, à des incendies de forêt ou à la sylviculture par exemple, peut accroître l'érosion. Celle-ci libère des sédiments fins et modifie leur dynamique. Les régions vouées aux grandes cultures, surtout en basse altitude, sont pour beaucoup dans l'apport de sédiments fins dans les ruisseaux et les rivières.

Conséquences sur la morphologie des cours d'eau

Un apport accru et prolongé de sédiments fins dans des rivières au lit couvert de gravier et présentant une pente de 0,1 à 1 % augmente tout d'abord la mobilité du gravier et dès lors le volume de matériaux charriés. Si cet apport se maintient, les espaces interstitiels du fond du lit finiront, avec le temps, par se remplir de sédiments. Dans le pire des cas, le lit sera peu à peu colmaté. Dans ce cas,

la rugosité diminue, le fond du lit devient lisse et statique, de sorte que la vitesse d'écoulement augmente à sa proximité. Une telle situation peut accroître la vitesse de propagation de crues moyennes et fortes, voire provoquer des déplacements massifs de sédiments (vague sédimentaire).

L'accroissement de l'apport et du dépôt de sédiments fins engendré par des activités humaines peut réduire la profondeur de l'eau et structurer de manière particulière le fond du lit (apparition de dunes, p. ex.). Ce phénomène augmente la macro-rugosité du lit et la vitesse d'écoulement, qui influencent pour leur part la morphologie du cours d'eau.

Lorsqu'il emporte de fortes concentrations de sédiments fins, le curage des bassins de retenue peut provoquer des dépôts et des atterrissements considérables en aval. Ces atterrissements surviennent en priorité dans les zones où la vitesse d'écoulement est faible et dans les zones à l'abri du courant, par exemple en aval de gros rochers près des rives.

Un déficit en sédiments fins peut par ailleurs favoriser l'érosion ou déstabiliser les berges.

Conséquences écologiques

D'un côté, le manque de sédiments fins entraîne plusieurs conséquences écologiques, car ces sédiments exercent notamment une influence sur le bilan des nutriments dans les zones alluviales et d'autres milieux naturels dans les cours d'eau et sur leurs berges et contribuent à la formation de forêts alluviales à bois dur et d'autres milieux naturels (cf. chap. Rôle écologique des sédiments fins).

D'un autre côté, de fortes concentrations de matières en suspension réduisent l'incidence du rayonnement solaire dans le cours d'eau (turbidité). Ces concentrations de sédiments peuvent ralentir la photosynthèse ou la cantonner aux zones peu profondes. De nouvelles études réalisées à l'aide d'isotopes stables ont révélé qu'un tel phénomène est à même de modifier toute la chaîne alimentaire : en cas de turbidité élevée, les larves d'insectes devront se nourrir davantage de nutriments terrestres apportés par le courant. Des concentrations accrues de

matières en suspension peuvent également abraser les algues (effet de sablage), rendre difficile la quête de proies pour les poissons chassant à vue ou déplacer les territoires des poissons.

Les sédiments fins déposés sur et dans un lit formé de gravier poreux peuvent boucher (colmater) les espaces interstitiels et diminuer, voire entraver totalement, les échanges entre eaux fluviales et souterraines. Cette conséquence peut réduire la variabilité des températures dans un tronçon, renforcer les fluctuations de la température au cours de la journée (faute d'effet tampon) ou accroître la température moyenne de l'eau en été. Or l'accroissement des températures peut stresser des organismes d'eau froide, telles les truites, ainsi que modifier leur comportement et entraver leur développement.

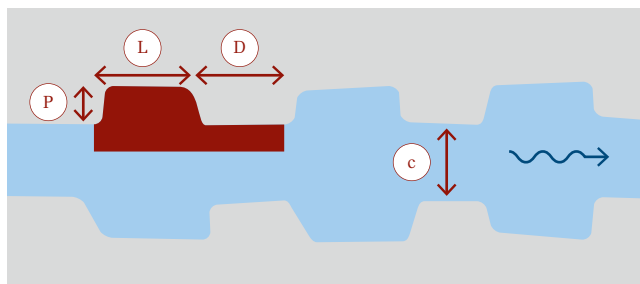
Les effets négatifs du colmatage les plus étudiés jusqu'ici sont ceux subis par les espèces piscicoles qui fraient sur le gravier, comme la truite, l'ombre et le saumon. Lorsque le fond du lit est colmaté, l'apport d'oxygène vers les œufs déposés dans les espaces interstitiels est insuffisant et les résidus de leur métabolisme s'évacuent mal. Le problème peut aller jusqu'à provoquer le dépérissement des œufs. Le colmatage a également un effet néfaste sur les larves d'insectes, qu'il prive de précieux micro-habitats en bouchant les espaces interstitiels du fond du lit. L'impact subi varie toutefois selon l'espèce : les espèces sensibles sont affaiblies, tandis que les espèces tolérantes prospèrent. Les dépôts de sédiments peuvent par ailleurs recouvrir les algues et ralentir ainsi la photosynthèse, voire provoquer la mort des végétaux.

Durant le colmatage, du matériel organique s'accumule par ailleurs dans les espaces interstitiels du fond du lit. Et cette accumulation peut être renforcée par un apport accru de matériel organique dû à une forte érosion du sol. En conséquence, la disponibilité de nutriments s'accroît dans les espaces interstitiels, de même que les taux de dégradation biologique, cette dernière étant toutefois restreinte par l'apport limité d'oxygène dans les sédiments colmatés.

Les sédiments fins peuvent enfin transporter des substances nocives, tels des métaux lourds, vers les zones

Fig. 5

Spécifications de la géométrie des criques latérales étudiées en laboratoire : L = longueur de la crique, P = profondeur latérale de la crique, D = distance entre les criques, c = largeur du chenal.



Source : LCH-EPFL

alluviales, où ces polluants s'accumulent ensuite (Hostache et al. 2014).

Mesures permettant d'agir sur la dynamique des sédiments fins

Différentes mesures permettent d'influer sur la dynamique des sédiments fins dans les cours d'eau. Ce chapitre en présente quelques-unes.

Purges des retenues durant les crues

Lors des purges des retenues, de grandes quantités de sédiments fins déposés au fond du bassin sont mobilisés et l'eau les évacue vers l'aval (fig. 4). Les purges peuvent transporter des sédiments fins vers les zones alluviales, où ils se déposent et favorisent la formation de ripisylves à bois tendre et à bois dur. Lors de ces opérations, il importe de maintenir la concentration de matières en

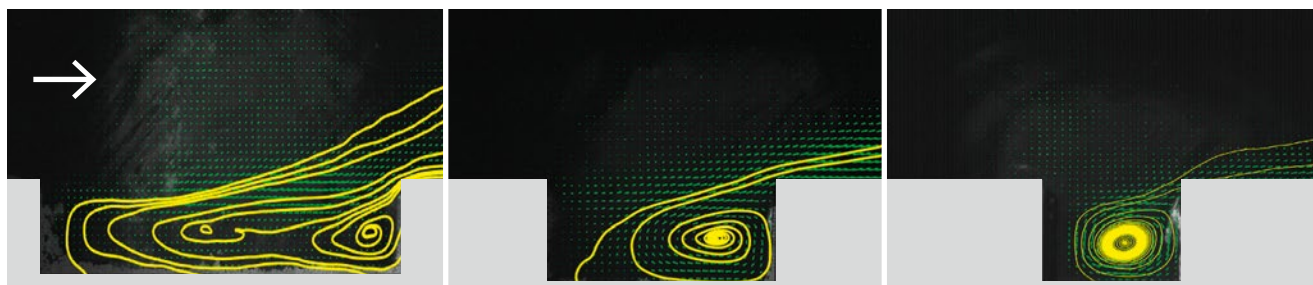
suspension au-dessous des valeurs critiques pour les biocénoses aquatiques locales. Il ne faut pas non plus relâcher des sédiments pollués. Les purges des retenues doivent dès lors être préparées et exécutées avec soin. Dans l'idéal, ils devraient avoir lieu durant la période de crues naturelles, faute de quoi l'ouverture des vidanges de fond risque de provoquer une crue artificielle dans le tronçon à débit résiduel (cf. fiche 6). Afin de prévenir un colmatage du fond du lit, la purge devrait prendre fin lorsque le débit naturel commence à diminuer à la fin de la crue et être suivi par un lâcher d'eau propre. Associés à des recharges sédimentaires en aval du barrage, les purges des retenues peuvent réactiver le régime de charriage et améliorer ainsi la morphologie d'un cours d'eau (Battisacco et al. 2016 ; Juez et al. 2016).

Élargissements locaux et criques latérales

Des élargissements locaux ou des berges irrégulières, marquées de criques latérales par exemple, peuvent accroître la valeur écologique d'un cours d'eau dans la mesure où ils augmentent la variété de l'écoulement et des habitats (fig. 1). Les élargissements portent sur des tronçons relativement étendus, dont la longueur équivaut à plusieurs fois la largeur du cours d'eau. Les criques latérales sont au contraire plus courtes, leur longueur représentant une à trois fois la largeur du chenal. Ces mesures ralentissent toutes deux ponctuellement la vitesse d'écoulement et favorisent ainsi le dépôt de sédiments fins, soit dans les tronçons élargis soit dans les criques latérales. Si la Suisse manque encore d'expérience dans l'alignement régulier de criques latérales (séries d'épis exceptées), de nombreux cours d'eau ont été localement élargis. Dans les cas où l'espace dispo-

Fig. 6

Mode d'écoulement dans des criques latérales (vue de dessus). De gauche à droite : rapports des côtés (RC) = 0,2, 0,4 et 0,8. Le rapport d'expansion est constant : 0,8. Les flèches vertes correspondent à la taille des vecteurs de vitesse et les lignes jaunes aux lignes de flux.



Source : LCH-EPFL

Tab. 2

Débites et géométries de criques latérales étudiés dans le cadre d'expériences en laboratoire.

Paramètre	Unité	Domaine étudié
Rapport des côtés $RC = P/L$	[-]	0,2 – 0,8
Rapport d'expansion $RE = P/D$	[-]	0,4 – 1,2
Profondeur relative de l'eau h/c	[-]	0,06 – 0,12
Concentration de sédiments fins	[g/l]	0,5 – 1,5

Source : LCH-EPFL

nible ne suffit pas pour élargir le lit, même sur une distance limitée, les criques latérales offrent une solution de rechange. Elles peuvent de plus servir de refuge aux poissons dans les rivières soumises aux effets d'une exploitation par éclusées (Ribi et al. 2015).

La succession de plusieurs criques latérales (fig. 5) donne à la rive un caractère macro-rugueux, qui favorise le dépôt de sédiments fins. La géométrie de ces criques détermine la vitesse à laquelle les sédiments se déposent et à laquelle ils sont remobilisés lors d'une crue. Dans le cadre du projet de recherche « Dynamique du charriage et des habitats » des criques de géométries différentes ont été étudiées en laboratoire. Afin d'inclure une variété de cours d'eau aussi large que possible, l'expérience a de plus porté sur trois débits différents. Le chapitre ci-dessous présente les résultats de cette expérience en laboratoire.

Criques latérales – expériences en laboratoire

But

Des expériences réalisées sur un chenal de laboratoire ont servi à étudier l'impact de criques latérales sur le transport et le dépôt de sédiments fins. Elles ont surtout permis d'analyser l'influence de la géométrie de ces criques sur le dépôt des sédiments. À partir des résultats, il est possible de connaître l'influence de rives dotées de macro-rugosités sur le transport de sédiments fins. Si l'objectif est de retenir ces sédiments, il est possible de choisir la géométrie des criques de manière à ce qu'un maximum de sédiments se déposent. Cette rétention sera toutefois limitée dans le temps si les criques subissent un curage en cas de crue importante.

Géométries et débits étudiés

Pour les besoins de l'expérience en laboratoire, la géométrie des criques latérales a été caractérisée par trois grandeurs (fig. 5) : longueur (L), profondeur (P) et distance entre les criques (D). À partir de ces grandeurs, il est possible de calculer le rapport des côtés ($RC = P/L$) ainsi que le rapport d'expansion ($RE = P/D$). Les rapports d'expansion et des côtés étudiés dans le cadre de l'expérience sont spécifiés dans le tableau 2.

Outre des géométries différentes, l'expérience en laboratoire a utilisé des débits différents (faible, moyen et élevé). La profondeur relative de l'eau a été définie à l'aide du rapport entre la profondeur de l'eau h et la largeur du chenal c ($h/c = 0,06, 0,09$ et $0,12$). La concentration de sédiments fins a été choisie de telle sorte qu'aucun dépôt ne survenait dans le chenal dépourvu de criques.

L'écoulement rotatif à large échelle augmente ou diminue dans les criques latérales en fonction de la géométrie des criques et du débit dans le chenal. Des turbulences de grande taille, semblable à des tourbillons, maintiennent les sédiments fins en suspension avec plus ou moins de force.

Résultats

Les expériences en laboratoire débouchent sur les observations suivantes (fig. 6).

- Des rapports d'expansion élevés ($RE > 0,8$) engendrent, en général et indépendamment du débit, une rétention accrue de sédiments fins.
- Des rapports élevés entre les côtés ($RC > 0,6$) conduisent à une rétention accrue de sédiments fins lorsque les débits sont faibles. À l'inverse, des débits plus élevés ($h/c > 0,07$ p.ex.) accroissent les turbulences et réduisent la quantité des sédiments retenus. Autrement dit, les sédiments fins qui se sont déposés en période d'étiage sont remobilisés en période de crue.
- Des rapports d'expansion élevés ($RE > 0,8$) associés à des rapports élevés entre les côtés ($RC > 0,6$) favorisent le dépôt de sédiments fins dans les criques latérales.
- De rapports faibles entre les côtés ($RC < 0,3$) en-

gendrent des dépôts dans les angles des criques latérales. Il n'y a pas de dépôts de sédiments fins dans les autres parties des criques ou alors uniquement de sable grossier et de gravier.

- Des rapports élevés entre les côtés ($RC > 0,6$) favorisent le dépôt de sédiments au centre des criques latérales. Il n'y a pas de dépôts de sédiments fins dans les autres parties des criques.

Conclusions

À partir des résultats de l'expérience, il est possible de tirer trois enseignements pour l'application pratique.

- Dans les cours d'eau où la profondeur relative de l'eau est faible ($h/c < 0,07$), des criques latérales peuvent, moyennant des rapports d'expansion et des côtés faibles ou moyens, favoriser les dépôts locaux de sédiments fins. Il importe surtout que ces criques comportent aussi bien des zones à écoulement rapide que des zones à écoulement lent. Puisque de telles conditions garantissent le dépôt de sédiments de granulométries différentes, elles augmentent aussi la variété des habitats.
- Dans les cours d'eau où la profondeur relative de l'eau est grande ($h/c > 0,10$), des criques latérales présentant des rapports d'expansion et des côtés élevés ($RC > 0,6$ et $RE > 0,8$) créent des turbulences suffisantes. Ces conditions évitent un atterrissement rapide des criques ou assurent leur curage lors des crues.
- Un rapport d'expansion élevé ($RE > 0,6$) entraîne en général un atterrissement rapide des criques latérales si la profondeur relative de l'eau est moyenne. Les sédiments formant ces dépôts seront toutefois remobilisés en cas de crue ($h/c > 0,10$).

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 : Juez, C. Franca, M.J., Fink, S., Scheidegger, Ch., Siviglia, A., Stähly, S., Trautwein, C., Weber, Ch., Schleiss, A., 2017 : Importance et facteurs de la dynamique des sédiments fins. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement, Berne. Fiche 3.

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

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

© OFEV 2017

01.17 1500 86039243

4 Dépotoirs à alluvions doseurs en contexte torrentiel

Les dépotoirs à alluvions servent à retenir les matériaux charriés par les torrents afin de protéger les zones urbanisées et les infrastructures contre les dégâts dus aux crues. Ceux de conception classique fonctionnent cependant même pendant des crues de faible intensité, alors qu'il serait possible de laisser passer le débit solide sans causer de dommage. Ils provoquent ainsi des déficits de charriage et des atteintes écologiques en aval. La présente fiche explique comment les dépotoirs doseurs peuvent améliorer la continuité du transport solide.

S. Schwindt, M. J. Franca, S. Fink, Ch. Scheidegger, A. Schleiss

S'écoulant sur une forte pente, les torrents possèdent une grande capacité de transport solide et leurs bassins versants se distinguent par une disponibilité élevée de sédiments. En cas de crue, ils peuvent charrier des quantités considérables de matériaux et modifier la morphologie du cours en aval. Or, la structure morphologique du chenal et le transport sédimentaire exercent une influence sur l'apparition et l'évolution des habitats aquatiques ainsi que sur leur flore et leur faune (cf. fiche 1). Destinés à protéger les zones habitées et les infra-

structures, les dépotoirs à alluvions retiennent le plus souvent toute la charge solide et interrompent dès lors le charriage. Ils entravent également la connectivité longitudinale des milieux naturels au fil des cours d'eau (cf. fiche 5). Un dépotoir à alluvions comprend un ouvrage de rétention, doté d'un orifice d'écoulement, et un bassin de rétention (fig. 2).

Dans le bassin versant d'un torrent (cf. fiche « Dynamique des sédiments et des habitats dans les cours d'eau » : fig. 1, tab. 1 ; vue détaillée : fig. 1), divers ouvrages de protection agissent sur le transit sédimentaire. Des barrages ou seuils de correction torrentielle, aménagés dans la partie supérieure du bassin versant ainsi que dans les fréquentes gorges, servent à réduire l'érosion du fond du lit et à stabiliser les berges. Dans la partie inférieure du bassin versant, le dépôt des matériaux transportés par le torrent forme un cône de déjection, sur lequel se trouvent souvent des zones urbanisées et des infrastructures.

Sur le cône de déjection, où la pente est plus faible, le cours d'eau est en général entièrement canalisé et son lit solidifié, afin d'accroître la capacité de charriage. En cas de crue extrême, il arrive néanmoins que les matériaux

Fig. 1

Schéma d'un dépotoir à alluvions servant à protéger une galerie (à gauche). Dépotoir à alluvions sur un affluent de la Reuss près de Gurntellen (UR; à droite).



Photo : Sebastian Schwindt

transportés forment des amas dangereux, en particulier dans les goulots ainsi qu'aux ponts, leur accumulation pouvant provoquer des dégâts considérables dans les zones urbanisées. Preuve en sont les événements qui se sont produits en 2000 dans les communes de Brig (VS) et de Naters (VS; OFEG 2002). À titre préventif, des dépotoirs à alluvions sont dès lors construits en amont d'infrastructures et de zones urbanisées.

Ouvrages de correction torrentielle

Charriés par un cours d'eau, les sédiments et le bois flottant n'ont pas le même comportement, de sorte que les ouvrages de protection diffèrent eux aussi. Les dépotoirs à alluvions classiques sont conçus pour retenir les matériaux transportés par une crue lorsque le débit solide ne représente qu'un pourcentage minime du débit total (débit fluvial et débit sédimentaire). Les événements où le débit solide dépasse 20 % du débit total sont appelés laves torrentielles. Dans ce cas, des brise-laves comptent parmi les ouvrages offrant une protection. Des dépotoirs à alluvions peuvent aussi être dimensionnés de manière à retenir les sédiments transportés par une lave torrentielle. À cet effet, il importe d'adapter en conséquence l'ouvrage de rétention, en particulier son orifice.

Les dépotoirs à alluvions de conception classique possèdent un bassin de rétention en amont, comme l'illustre la figure 2 (dépotoir près de Riddes; VS). L'ouvrage de rétention est doté d'un ou de plusieurs orifices. En cas de crue, ceux-ci s'obturent spontanément, de manière soit hydraulique soit mécanique, de sorte que le bassin de rétention se remplit. La fermeture est hydraulique lorsque le débit du torrent dépasse la capacité d'écoulement des orifices. Ceux-ci se ferment de manière mécanique lorsque le torrent transporte des matériaux solides et/ou du bois flottant, dont la forme caractéristique conduit à obstruer l'orifice d'écoulement (Piton et Recking 2016a). D'autres aménagements (telle une protection contre l'affouillement au pied de l'ouvrage de rétention) sont nécessaires pour garantir la stabilité d'un dépotoir, de même qu'il faut prévoir une voie d'accès afin d'assurer son entretien. En ce qui concerne la description des processus fondamentaux d'un torrent et la structure des dépotoirs à alluvions et des barrages de correction torrentielle, nous renvoyons à la littérature spécialisée (cf. p. ex. Bergmeister et al. 2009).

Les dépotoirs à alluvions classiques sont souvent dotés d'orifices sous-dimensionnés. Trop petits ou trop bas, ils engendrent une rétention des matériaux charriés même en cas de crue modeste et favorisent leur accumulation rapide dans le bassin de rétention. Des orifices trop étroits entravent de plus la migration de nombreuses espèces piscicoles. Étant donné que des sédiments sont retenus en permanence en amont, le débit qui passe l'ouvrage s'accélère. La vitesse d'écoulement étant accrue, les poissons aux capacités de nage plutôt faibles ne parviennent plus à traverser l'ouvrage pour remonter le cours d'eau, surtout si le fond du lit est lisse. Des orifices d'écoulement trop grands augmentent au contraire le risque d'une vidange spontanée du dépotoir en phase de crue.

Si les orifices du dépotoir ne sont pas conçus et dimensionnés avec soin, le bassin de rétention risque, lors d'une crue correspondant à celle ayant servi de référence pour son dimensionnement (crue de dimensionnement)¹, d'être en partie encombré par les sédiments qui s'y sont déposés précédemment, alors que le débit était plus faible. Dans de tels cas, le bassin de rétention doit faire l'objet de vidanges régulières et coûteuses. De plus, il provoque un déficit de matériaux charriés en aval et des mesures s'imposent pour stabiliser le fond du lit et les berges. Un manque d'apport sédimentaire en provenance des torrents porte atteinte à l'ensemble du réseau hydrographique et aux milieux naturels qui en dépendent (cf. fiche 1). La figure 3 montre un dépotoir à alluvions sur la Tinière, près de Villeneuve (VD), dont la grille, aux barreaux trop rapprochés, retient en tout temps les matériaux charriés.

Dépotoirs à alluvions doseurs

Les dépotoirs à alluvions qui interrompent le transport solide même en cas de crues relativement faibles ($< HQ_{10}$), aptes à former des bancs de gravier dans le lit, peuvent détériorer l'état écologique du cours d'eau en aval. Pour maintenir le transit de sédiments et préserver la connectivité écologique (cf. fiche 5), les dépotoirs à alluvions ne

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

Fig. 2

Dépotoir à alluvions sur la Fare, près de Riddes (VS), avec son volume et son ouvrage de rétention ainsi que l'ouverture d'écoulement.

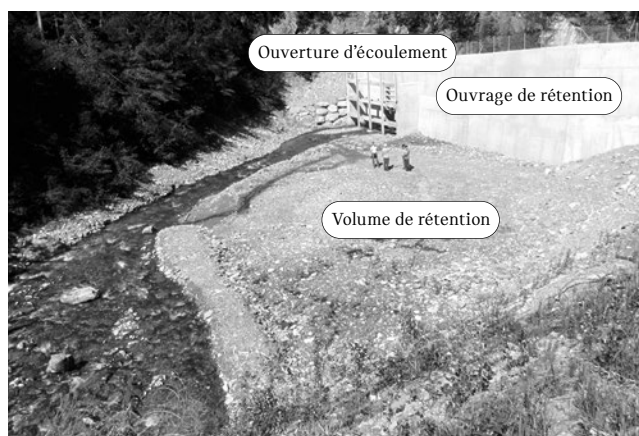


Photo : Sebastian Schwindt

devraient pas, du point de vue de la morphologie fluviale, retenir le débit solide tant que le débit total d'un torrent peut s'écouler en aval sans provoquer de dégâts.

Des crues modestes jouent en effet un rôle vital pour la faune et la flore pionnières dont les espèces colonisent les bancs de gravier. Le tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*) a ainsi besoin de crues de l'ordre de HQ_7 à HQ_{10} pour s'imposer face à des espèces concurrentes et

Fig. 3

Dépotoir à alluvions dont la grille retient, pour des raisons mécaniques, une quantité excessive de matériaux charriés (sur la Tinière près de Villeneuve, VD).



Photo : Sebastian Schwindt

s'implanter durablement dans le gravier. De nombreuses espèces végétales sont adaptées à de petites crues : elles sont par exemple dotées de racines leur permettant de s'ancrer dans le sous-sol (tel le tamarin d'Allemagne) ou alors elles possèdent des troncs et des branches très souples qui leur évitent des dégâts graves durant le déplacement des matériaux solides (à l'image des variétés de saules).

La rétention des sédiments dans les dépotoirs à alluvions lors de faibles crues n'est pas non plus souhaitable du point de vue écologique, car elle englobe aussi les sédiments fins et les nutriments que ceux-ci transportent (cf. fiche 3). Les dépotoirs ne devraient dès lors entrer en action qu'en cas de crues importantes, c'est-à-dire celles qui menacent les zones urbanisées et les infrastructures en aval. Compte tenu du volume de rétention, l'orifice d'écoulement devrait être dimensionné de manière à ne s'obturer que lorsque le chenal en aval n'a plus la capacité requise pour assurer le transit du débit solide. Dans les explications ci-après le débit à partir duquel le dépotoir devrait s'activer est appelé « débit maximal de transit ».

Conception et emplacement des dépotoirs à alluvions

Les volumes de rétention en forme de poire sont les mieux à même de retenir les matériaux charriés. Le rapport

Fig. 4

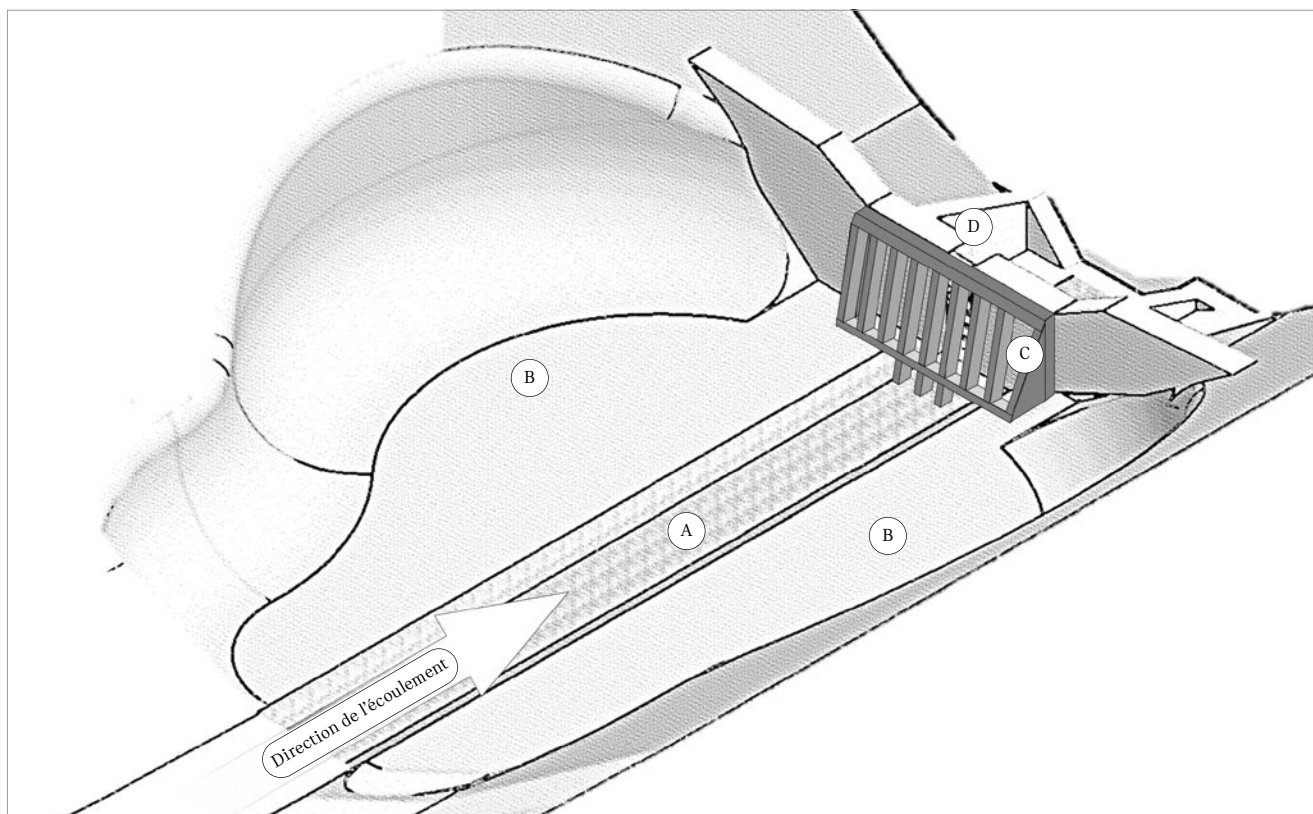
Apport sédimentaire ponctuel dû à une lave torrentielle. Les matériaux déversés comprennent du gravier nettement plus fin que les blocs qui forment le fond du cours d'eau (ruisseau des Vaunaises, près de Caux, VD).



Photo : Sebastian Schwindt

Fig. 5

Dépotoir à alluvions doté d'un canal-guide (A), d'un volume de rétention (B) et d'un ouvrage de rétention à double orifice, qui assure une rétention des matériaux charriés contrôlée de manière mécanique (C) et hydraulique (D).



Source : Illustration nach Zollinger 1983

entre la longueur et la largeur maximale de ces volumes devrait être de 1,5 : 1 (Zollinger 1983).

Les barrages de correction torrentielle modifient la déclivité et réduisent ainsi le transport solide. Celui-ci peut également être perturbé par de gros rochers isolés, déposés sur le lit par un éboulement (appelés « blocs résiduels »). L'estimation du transport sédimentaire est donc le plus souvent entachée de grandes incertitudes, alors qu'il est crucial de connaître sa valeur pour concevoir et dimensionner un dépotoir à alluvions. Apprécier la granulométrie du débit solide en considérant le matériel qui constitue le fond du lit revient à sous-estimer souvent la capacité de charriage en cas de crue. Une crue peut en effet remobiliser de volumineux dépôts de sédiments accumulés dans le bassin versant. Une lave torrentielle latérale peut également emporter ce genre de dépôts vers le cours d'eau. Ils sont alors transportés sur un fond

de lit naturellement pavé et appelés charge en matériaux de fond (*travelling bedload*; fig. 4).

Il est dès lors recommandé de calculer le transport sédimentaire en phase de crue sur la base de la granulométrie des matériaux de fond la plus fine, afin de préserver des taux de transport solide plus élevés. Pour déterminer cette granulométrie, il est possible d'analyser les matériaux déposés près des rives ou dans le bassin de rétention d'ouvrages existants (Piton 2016).

Comme Piton et Recking (2016b) l'ont démontré, des paliers formés par la succession de plusieurs ouvrages de rétention fermés (barrages de correction torrentielle) ralentissent et réduisent les pics de débit solide.

Plusieurs études (Armanini et Larcher 2001 ; Armanini et al. 2006) se sont penchées sur le dimensionnement de

l'orifice des dépotoirs à alluvions, en tenant compte par exemple de la hauteur des dépôts sédimentaires devant des ouvrages à orifices verticaux étroits. Voici les principaux aspects pratiques à prendre en considération :

- les moyens et l'importance de contrôler les conditions d'écoulement dans le bassin de rétention en amont de l'ouvrage lui-même,
- la capacité hydraulique de l'orifice d'écoulement,
- la diminution de la capacité de transport solide en cas d'obstruction de l'orifice d'écoulement,
- la prévention d'une vidange spontanée des dépotoirs à alluvions.

L'essentiel consiste à retenir les matériaux charriés en toute sécurité à partir du moment où le débit maximal de transit est atteint, grâce à la combinaison d'une fermeture hydraulique et mécanique des orifices d'écoulement. Une fermeture purement mécanique ou hydraulique des orifices comporte des risques, car ces deux principes présentent de grandes incertitudes quant au moment où survient l'obturation. L'association de ces deux principes, qu'il est plus aisé de contrôler en fonction de la charge sédimentaire, a été appliquée avec succès sur la Drance près de Martigny (Schwindt et al. 2016).

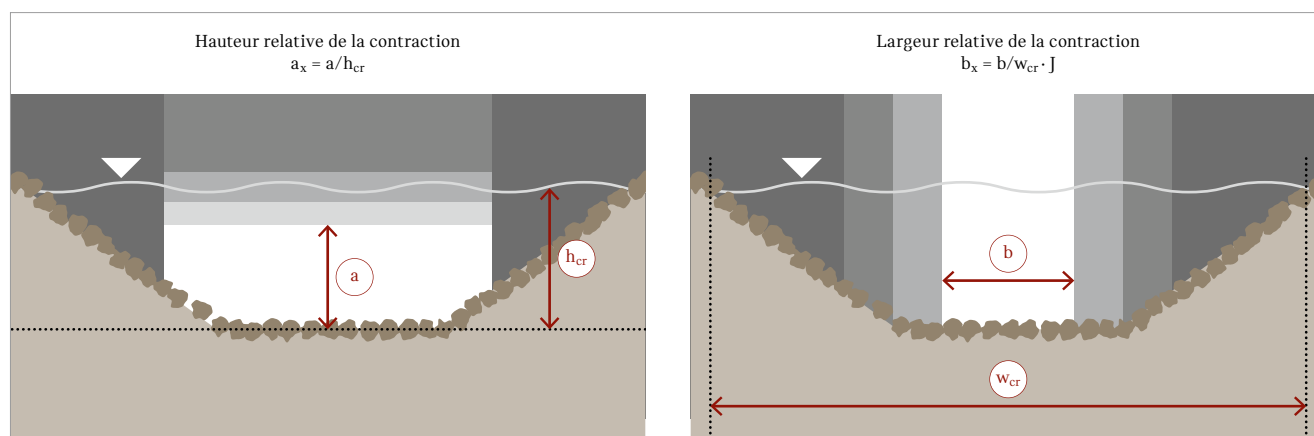
La fermeture mécanique de l'orifice du dépotoir, déclenchée avant tout par des sédiments grossiers et du bois

flottant, dépend essentiellement de la largeur ou de la hauteur relative de l'orifice, celle-ci ne devant pas mesurer plus de 1,5 fois le diamètre de l'objet de référence (Piton et Recking 2016a). La taille de cet objet est définie soit par le diamètre caractéristique d_{90} des matériaux de fond ou par le diamètre du bois flottant. Ces données étant largement liées à chaque événement, leur détermination pose toutefois problème. Le diamètre d_{90} des matériaux charriés dépend par exemple des dépôts sédimentaires érodés. De même, la quantité de bois flottant varie énormément d'une fois à l'autre. En principe, cette quantité reste minime lors de crues modestes ($< HQ_{10}$), de sorte qu'une fermeture mécanique de l'orifice de sortie reste improbable jusqu'à ce que le débit atteigne la valeur de transit maximal. Il est néanmoins recommandé de prendre des mesures supplémentaires pour retenir le bois flottant dans la partie supérieure du bassin de rétention.

De nombreuses études confirment que l'obturation mécanique de l'orifice d'écoulement intervient à coup sûr lorsque la hauteur de l'orifice est inférieure ou égale à $1,5 \cdot d_{90}$. Analysées au cours d'une étude expérimentale, les conséquences d'une fermeture hydraulique sur le transport sédimentaire sont présentées dans le chapitre ci-après.

Fig. 6

Orifices d'écoulement étudiés au cours d'expériences pratiques : avec contractions verticales (à gauche) et latérales (à droite). Les schémas présentent les grandeurs suivantes : hauteur de l'orifice (a), profondeur d'écoulement (h_{cr}), largeur de l'orifice (b), largeur moyenne du débit critique (w_{cr}). Pour calculer la largeur relative de contraction (b_x), il importe de connaître la pente longitudinale du canal-guide (J).



Conception améliorée des dépotoirs à alluvions

Les orifices d'écoulement des ouvrages de rétention devraient être conçus de manière à ne s'obturer, de manière ni hydraulique, ni mécanique, jusqu'à ce que le débit atteigne la valeur maximale de transit. À cet effet, il importe de maîtriser les conditions d'écoulement dans le bassin de rétention, maîtrise qui peut être obtenue par la réalisation d'un canal-guide aux surfaces rugueuses à travers l'espace de déposition. Un canal plein à ras bord devrait correspondre au débit maximal de transit. La figure 5 montre un dépotoir à alluvions de conception classique complété par l'aménagement d'un tel canal.

Une analyse de quelque 60 torrents des Alpes suisses a montré qu'il est possible de reproduire leur section transversale au moyen d'un canal-guide de section trapézoïdale, doté de berges dont l'inclinaison se situe entre 20° et 35°. La rugosité du canal est donnée par la granulométrie qui détermine la couche de couverture (typiquement la valeur d_{90} du lit en amont). Pour stabiliser le canal, il convient de le garnir de blocs grossiers, dont la taille devrait correspondre environ à la granulométrie maximale que le débit de pointe de la crue de dimensionnement parvient encore à mobiliser. À proximité de l'ouvrage de rétention, ces blocs devraient être noyés dans du béton maigre au fond du canal, pour qu'il soit possible d'évacuer les sédiments retenus après des crues importantes sans endommager le canal-guide. Comme le dépotoir se remplit de plus en plus lorsque le débit est supérieur au débit maximal de transit, la capacité de transport du canal diminue.

Fermeture hydraulique

L'influence des dimensions des orifices d'écoulement sur le débit et le transport sédimentaire a été étudiée de manière systématique à l'aide de modélisations (Schwindt et al. 2017). Ces travaux ont testé des orifices formés par la contraction latérale et verticale (rétrécissement) du canal-guide. Une contraction verticale du canal (fig. 6a) engendre une rétention et un écoulement en charge dans l'orifice. Des contractions latérales (fig. 6b) limitent le débit en partant des rives et entraînent un écoulement libre critique dans l'orifice. L'effet de rétention produit un changement d'écoulement en amont de l'ouvrage : l'écoulement torrentiel se mue en écoulement fluvial. L'orifice

de l'ouvrage constitue ainsi une section de contrôle (écoulement libre à profondeur critique).

Pour que les résultats des études puissent s'appliquer de manière générale, la hauteur et la largeur de l'orifice ont été standardisées sur la base de la hauteur et de la largeur du débit critique (en l'absence d'ouvrage ; fig. 7). La hauteur relative de la contraction (a_x) est définie par les quotients de la hauteur de l'orifice (a) par la profondeur d'écoulement du débit critique (h_{cr}) dans le canal. La largeur relative de la contraction (b_x), déterminée par la déclivité du radier, correspond aux quotients de la largeur de l'orifice (b) par la largeur moyenne du débit critique (w_{cr}), multiplié par la pente longitudinale du canal-guide (J). Les essais basés sur les modélisations montrent que cette pente ne doit être prise en compte que dans le cas de contractions latérales (Schwindt 2017).

La capacité hydraulique (Q_c), en m^3/s , d'orifices d'écoulement de section rectangulaire avec contraction verticale peut être calculée à l'aide de l'équation (1) ci-dessous (Bergmeister et al. 2009). Dans ce calcul, μ est un coefficient d'écoulement, g la pesanteur ($9,81 m/s^2$) et H_0 la hauteur de charge immédiatement en amont de l'orifice. En cas de rétention faible, il est possible de poser que la valeur du coefficient d'écoulement μ se situe entre 0,65 et 0,75. Si l'orifice est de forme trapézoïdale, il convient d'utiliser la largeur moyenne du trapèze (Schwindt 2017, Schwindt et al. 2017).

$$Q_c = \mu b \frac{2}{3} \sqrt{2g} [H_0^{3/2} - (H_0 - a)^{3/2}] \quad (1)$$

L'un des principaux paramètres est la capacité de transport solide, qui correspond au transport maximal de matériaux qui n'engendre pas de dépôts dans le canal-guide.

Des contractions verticales ou latérales servent à réduire la capacité de transport solide (Q_s). Cette réduction a été déterminée par comparaison des capacités de transport mesurées dans le canal-guide, sans et avec contraction. La capacité de transport du canal sans contraction correspond environ au volume calculé à l'aide de la formule du VAW (Smart et Jaeggi 1983). Lors de débits élevés, cette valeur peut toutefois être dépassée en raison de la présence du canal-guide.

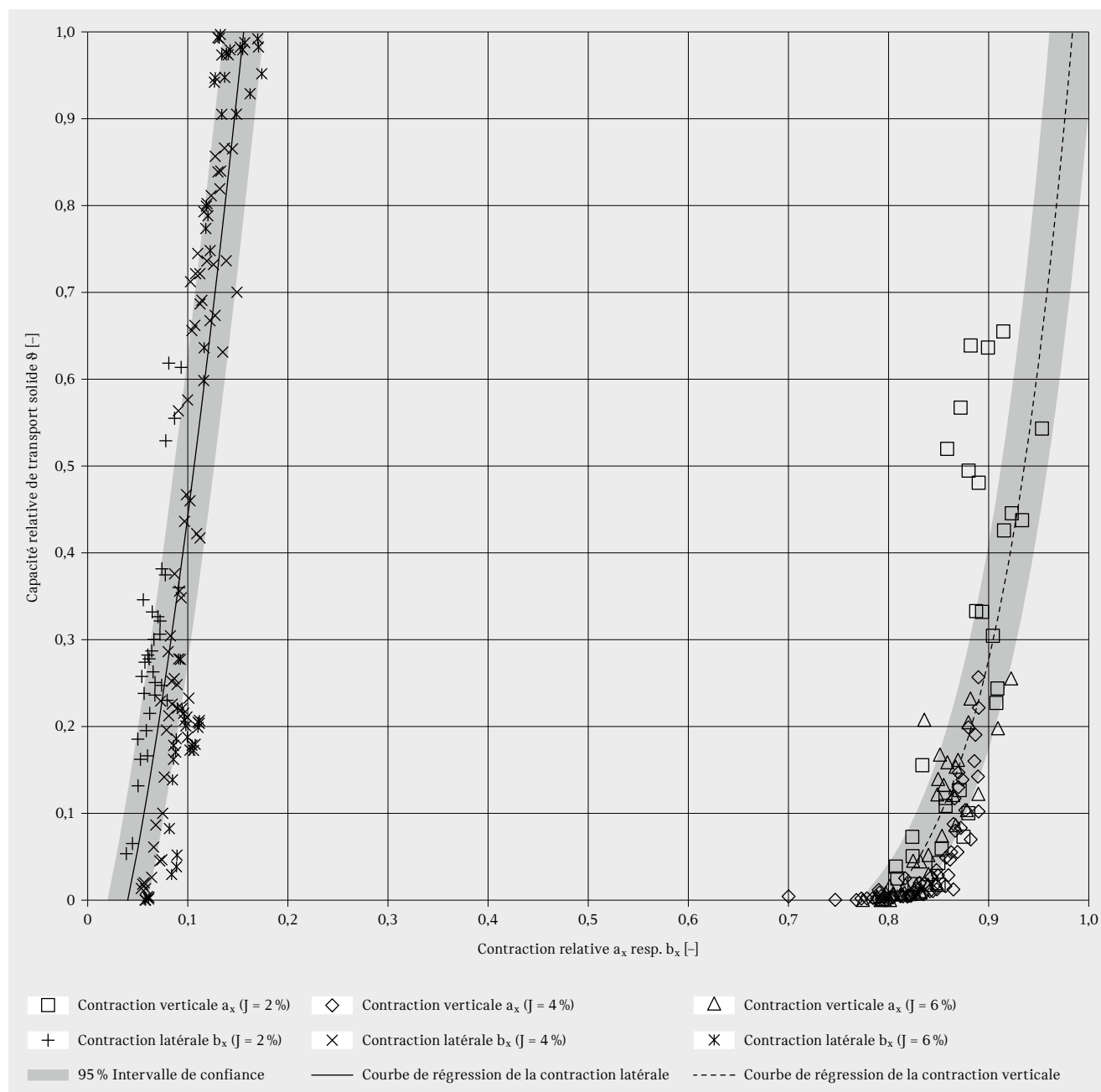
La diminution de la capacité de transport engendrée par la contraction du canal peut être décrite à l'aide de la capacité de transport en phase de débit normal. La capacité relative de transport (ϑ ; 2) qui en résulte correspond à la diminution, exprimée en pourcentage, de la capacité de transport du canal-guide, cette diminution

étant fonction des contractions verticales ou horizontales:

$$\vartheta = \frac{Q_{b, \text{contraction}}}{Q_{b, \text{canal-guide}} \text{ (Smart et Jaeggi 1983)}} \quad (2)$$

Fig. 7

Capacité relative de transport solide (ϑ) = $Q_{b, \text{contraction}} / Q_{b, \text{canal-guide}}$ en fonction de la hauteur ou de la largeur relative de la contraction (a_x ou b_x) avec des courbes de régression qualitatives et un intervalle de confiance de 68 %.



Lorsque $\vartheta = 1$, la contraction du canal ne réduit pas la capacité de transport solide. Plus le canal se contracte, plus la capacité de transport diminue et ϑ tend vers zéro. La figure 7 illustre cette corrélation pour des canaux présentant diverses pentes longitudinales (2 %, 3,5 % et 5,5 %) et en fonction de la hauteur relative de la contraction (α_x) ou de la largeur relative de la contraction déterminée par la déclivité (b_x ; pour les définitions géométriques, cf. fig. 6).

La figure 7 montre qu'une contraction verticale exerce une influence sur le transport solide lorsque la hauteur relative de la contraction (α_x) atteint ou dépasse environ 0,98. La capacité de transport réagit fortement à un rétrécissement vertical supplémentaire et équivaut presque à zéro lorsque α_x avoisine 0,75. Pour pouvoir adapter la hauteur de l'orifice, élément sensible, après la construction de l'ouvrage, il est recommandé de prévoir un système mobile, utilisant des poutres par exemple (sans réa-

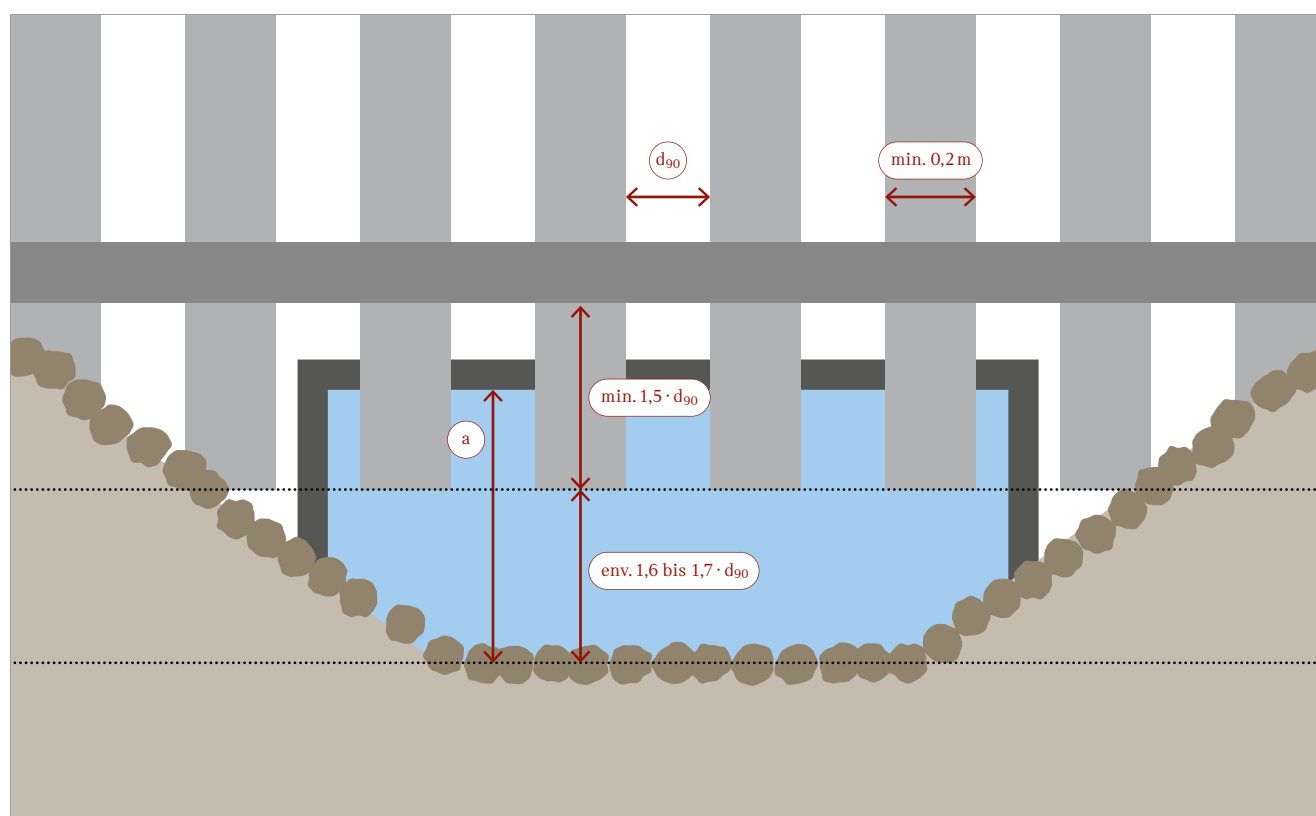
liser pour autant un barrage mobile). Contrairement aux barrages mobiles, la structure ne doit être adaptée qu'en cas de débits faibles et non pas en phase de crue.

Des contractions latérales réduisent la capacité de transport solide lorsque la largeur relative de la contraction (b_x) atteint ou dépasse 0,18 environ. Le transport solide cesse au-delà d'une largeur relative de la contraction de 0,03 environ. Cette valeur équivaut à 30 % du débit maximal de transit dans le canal-guide. Par principe, l'orifice ne devrait pas provoquer une contraction latérale du canal-guide, puisque la capacité de transport de celui-ci selon figure 7 diminue très fortement déjà pour des petites contractions.

La profondeur maximale de rétention, déterminée par la hauteur de l'ouvrage, constitue un critère important pour dimensionner l'orifice d'écoulement. On admet en principe que des ouvrages de rétention relativement élevés

Fig. 8

Section transversale et dimension de la grille garantissant une obturation mécanique. L'orifice d'écoulement assurant la fermeture hydraulique est représenté à l'arrière-plan.



accroissent le volume de rétention aussi bien que la fiabilité de la rétention hydraulique des matières charriées.

Le calcul de la hauteur de rétention d'orifices multiples dans un ouvrage de rétention s'avère complexe et n'a guère été étudié. Il n'est dès lors pas recommandé de prévoir plusieurs orifices.

Fonctionnement d'un dépotoir à alluvions « intelligent »

Le dépotoir à alluvions schématisé dans la figure 5 illustre l'application pratique de deux systèmes de rétention combinés. Cette combinaison comprend une grille à barreaux, qui assure la rétention mécanique, et un orifice d'écoulement non entravé, qui assure la rétention hydraulique. L'écart entre les barreaux verticaux de la grille devrait correspondre au diamètre d_{90} des matériaux charriés. Les barreaux devraient descendre à l'intérieur du canal de manière à ne pas entraver, ou alors de manière minimale seulement, le transport solide aussi longtemps que le débit reste inférieur au débit maximal de transit (fig. 8). La grille offre une pente de 2:1 pour que le bois flottant puisse passer par-dessus l'ouvrage lorsque le niveau de l'eau monte. La hauteur libre sous la grille devrait correspondre à 1,6 à 1,7 fois le diamètre d_{90} , pour que le bas du système soit immergé avant que le débit atteigne la valeur maximale de transit et soit à même de retenir les matières grossières.

Selon la figure 7 la hauteur ou la largeur de l'orifice d'écoulement devrait être dimensionnée de manière à ce que le transport solide, une fois le débit maximal de transit atteint, ne dépasse pas 0,5 ($\vartheta \leq 0,5$). Avec la retenue ainsi créée, les matériaux charriés s'accumulent juste devant la grille en cas de dépassement du débit maximal de transit. Lorsque le débit augmente encore, les sédiments grossiers « butent » contre les barreaux qui plongent dans le canal. Ils s'y accumulent et assurent l'obturation mécanique de la grille. Une telle obturation prévient une vidange spontanée du dépotoir à alluvions, car ces dépôts ne se détachent pas même lors de variations de débit ou en phase de décrue. Pour que ce système fonctionne de manière efficace, quelques barreaux de la grille doivent plonger suffisamment bas (verticalement min. $1,5 \cdot d_{90}$) dans le canal-guide.

Des essais sur une modélisation physique ont montré que l'absence de grille grossière, en amont de l'orifice d'écoulement, favorise le risque de vidange spontanée.

Construction, entretien et gestion de dépotoirs à alluvions

Dans le cas d'un torrent, il est idéal d'aménager un dépotoir à alluvions sur le cours amont, après un aplatissement de la pente longitudinale, non loin des objets à protéger. Le volume de rétention devrait être prévu de manière aussi généreuse que possible, pour que les sédiments puissent s'y déposer de manière naturelle durant une crue et en cas d'inondation de toute la surface. Un tel dimensionnement permet souvent de réduire la taille requise de l'ouvrage de rétention de même que la fréquence des travaux d'entretien.

Pour commencer, il importe de soumettre le bassin versant du torrent et l'emplacement du réservoir à une analyse géologique et hydrologique. Il est essentiel de connaître la géologie locale pour les fondations et l'ancrage de l'ouvrage de rétention ainsi que pour la protection contre l'affouillement. Les données hydrologiques fournissent les informations requises sur les débits de crue, le transport de sédiments et la présence de bois flottant. La rétention de ce dernier devrait d'ailleurs être assurée séparément, soit en amont du dépotoir soit dans le volume de rétention. Les aménagements correspondants sont décrits dans la littérature spécialisée (notamment Lange et Bezzola 2006 ou Bergmeister et al. 2009). Dans le dépotoir de la figure 5, la rétention du bois flottant peut par exemple être assurée par une grille en V placée à l'entrée du bassin de rétention. Des pare-écume placés à proximité de l'orifice d'écoulement constituent une autre solution, qui permet de retenir à la fois les sédiments et le bois flottant. Des dépotoirs équipés de la sorte ont été aménagés en Autriche et en Suisse, et les pare-écume ont déjà fait leurs preuves lors de crues importantes (Lange et Bezzola 2006).

La conception du dépotoir à alluvions, en particulier celle du volume de rétention, devrait être adaptée au débit de dimensionnement durant lequel les matériaux charriés doivent être retenus. En Suisse, selon les objets à proté-

ger, le débit de dimensionnement se situe le plus souvent entre une crue cinquantennale et une crue centennale (HQ_{50} à HQ_{100}). Le dimensionnement hydraulique doit prendre en considération la maîtrise de l'énergie d'écoulement en aval, au moyen d'un système de protection contre l'affouillement.

L'aménagement d'un canal-guide dans le bassin de rétention de dépotoirs existants permet d'améliorer le transit solide. Les modélisations ont montré que le canal doit être dimensionné sur la base du débit maximal de transit de l'orifice d'écoulement pour que le passage des matériaux charriés soit maintenu jusqu'au moment où ce débit est atteint. La concentration du débit dans le canal évite tout dépôt de sédiments jusqu'à ce que le débit maximal de transit soit atteint.

Les ouvrages de rétention existants constitués uniquement soit d'une grille soit d'un orifice assurant le contrôle hydraulique devraient être adaptés comme suit : un ouvrage de rétention aménagé en aval devrait compléter une grille existante, tandis qu'une grille placée en amont devrait compléter un ouvrage de rétention.

Il convient si possible de privilégier des mesures de génie biologique et des matériaux de construction disponibles sur place. Les éléments de béton en contact avec les matériaux charriés devraient être garnis de blocs résistants à l'érosion.

Les critères déterminant la stabilité des ouvrages, les propriétés mécaniques des matériaux et les fondations sont décrits en détail dans les ouvrages spécialisés. Soulignons qu'il importe surtout d'éviter que les portions latérales de l'ouvrage de rétention soient submergées (Bergmeister et al. 2009).

Une voie d'accès au volume de rétention et son raccordement au réseau routier sont indispensables pour assurer les travaux d'entretien et de déblaiement. La fréquence de ces travaux dépend du degré de remplissage du volume de rétention, des besoins spécifiques en matière de sécurité et de la catégorie de l'ouvrage. Dans le meilleur des cas, les matériaux retenus sont surtout du gravier, qui peut être utilisé dans le secteur du bâtiment (fabrication de béton). Une telle utilisation n'est toute-

fois possible que si le cours aval ne souffre pas d'un déficit de gravier. Auquel cas, il importe de restituer les matériaux retenus au cours d'eau à un emplacement approprié (cf. fiche 7). Au pire, l'entretien du dépotoir engendre des coûts considérables, par exemple lorsque les dépôts solides contiennent du matériel organique (troncs, branchages, etc.) et des sédiments fins et qu'ils doivent dès lors être évacués et mis en décharge. Lors des travaux de déblaiement, il faut veiller à ne pas endommager le canal-guide. Il est utile à cet effet de prévoir un marquage et de fixer les blocs qui garnissent le canal.

Le torrent sera à même d'évacuer spontanément et sans risque les petits dépôts demeurés dans le canal. Il est par ailleurs possible de favoriser la vidange spontanée du canal-guide en procédant aux travaux de déblaiement lorsque le débit est supérieur au débit annuel moyen, par exemple en phase de décrue (cf. fiche 3).

De petits dépôts de bois flotté et les végétaux ont une grande valeur écologique, par exemple en offrant un abri aux larves d'insectes. Il convient cependant de débayer les amas de bois mort si leur présence entrave le bon fonctionnement du dépotoir à alluvions.

En matière d'entretien, une distinction est faite entre ouvrages standards et ouvrages clés. Les auteurs ne décrivent toutefois ces notions que de manière peu précise. Les ouvrages standards seraient ceux dont la défaillance technique aurait une influence faible à moyenne sur des zones habitées, et il suffirait de les vérifier tous les cinq ans. Les ouvrages clés devraient faire l'objet d'un contrôle annuel étant donné que leur défaillance entraînent des conséquences pour les zones habitées. Dans les deux cas, une inspection est indiquée en fonction des besoins. Les contrôles devraient être confiés à des spécialistes interdisciplinaires (Bergmeister et al. 2009).

Conclusion

Les dépotoirs à alluvions dont le volume de rétention comprend un canal-guide de section trapézoïdale et à la surface rugueuse (fig. 5) laissent passer les matériaux

charriés jusqu'à ce qu'un débit maximal de transit soit atteint. L'orifice d'écoulement situé dans l'ouvrage de rétention devrait correspondre à la géométrie du canal-guide et ne devrait pas influencer du tout, ou alors seulement de manière minime, le transport solide, aussi longtemps que le débit reste inférieur ou égal au débit maximal de transit. Associer un ouvrage doté d'un orifice d'écoulement et une grille placée en amont réduit le risque de vidange spontanée d'un dépotoir à alluvions.

Seules des contractions verticales de l'orifice d'écoulement parviennent à garantir une rétention sédimentaire efficace grâce au contrôle hydraulique au-delà du débit maximal de transit. L'ouvrage de rétention ne devrait toutefois pas être submergé. Des contractions latérales peuvent être envisagées à titre de mesures de construction, par exemple pour donner une forme rectangulaire à l'orifice de l'ouvrage. L'écoulement réagissant de manière sensible à des contractions verticales, elles devraient être conçues de manière aussi flexible que possible. Pour qu'un futur ouvrage retienne les matériaux charriés avec une sécurité optimale, sa conception devrait comprendre des essais sur modèle hydraulique.

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 : Schwindt, S., Franca, M. J., Fink, S., Scheidegger, Ch., Schleiss, A., 2017 : Dépotoirs à alluvions doseurs en contexte torrentiel. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement, Berne. Fiche 4.

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

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

© OFEV 2017

5 Dynamique et biodiversité des zones alluviales

Les zones alluviales sont plus résistantes écologiquement lorsqu'elles comportent de nombreux habitats différents. Leur richesse en habitats et en espèces dépend principalement de l'espace réservé aux eaux, de la dynamique des écoulements et des sédiments et de la connectivité écologique. Des mesures de conservation ciblées sur les espèces typiques des zones alluviales peuvent augmenter la biodiversité. La fiche 5 décrit les principaux facteurs agissant sur la biodiversité des zones alluviales, fournit des exemples concrets et donne un aperçu des recherches en cours.

S. Fink, M. Döring, M. J. Franca, E. Martín Sanz, O. Nadyeina, Ch. Robinson, A. Schleiss, Ch. Scheidegger

Soumises régulièrement à des crues d'ampleur diverse suivies de périodes d'étiage, les zones alluviales présentent une mosaïque dynamique d'habitats¹ (cf. fiche 1). Des microhabitats s'y forment en raison de la variété des sédiments, des températures et des courants (fig. 1).

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

Fig. 1

Représentation schématique d'une zone alluviale (à gauche). La zone alluviale de Rhäzüns (GR) en février 2015 (à droite). Les surfaces et bancs de gravier colonisés par une végétation pionnière et les aulnaies alluviales forment, avec les tronçons de la rivière soumis à des courants et débits différents, une mosaïque dynamique d'habitats.



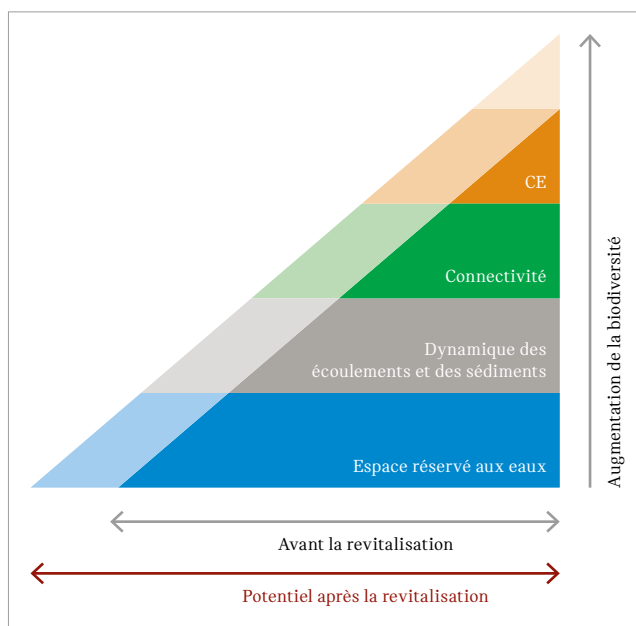
Chacun d'eux (aulnaies alluviales et frênaies humides, mares, bancs de gravier, p. ex.) ne cesse de se déplacer, et la disposition de certains peut même changer radicalement après des événements extrêmes tels que les crues centennales (cf. chap. Mobilisation massive de sédiments). Un paysage alluvial naturel est par conséquent une association dynamique d'habitats, qui est très résistante (résiliente) sur le plan écologique et qui présente une grande diversité de structures. Les espèces alluviales caractéristiques et prioritaires sont adaptées à la dynamique des écoulements et des sédiments (cf. fiche 1). La présence d'espèces et la diversité des processus écologiques donnent la mesure de la riche biodiversité des zones alluviales naturelles (cf. fiche 2).

La richesse des zones alluviales en habitats et en espèces dépend largement de l'espace réservé aux eaux, c'est-à-dire de la superficie dont dispose le cours d'eau. Une dynamique des écoulements et des sédiments accrue, des habitats interconnectés ainsi que des mesures spécifiques de conservation peuvent favoriser la biodiversité dans le périmètre des sites alluviaux. Ces facteurs écologiques sont liés à la taille de l'espace



Fig. 2

Pyramide des facteurs écologiques agissant sur la biodiversité des zones alluviales. Les flèches montrent la marge de manœuvre des divers facteurs et leurs effets après une revitalisation. CE: mesures spécifiques de conservation des espèces.



Source : WSL

réservé aux eaux et s'influencent mutuellement. La figure 2 montre de manière schématique comment ils contribuent à accroître la biodiversité dans les zones alluviales (cf. Naiman et al. 2005). Chaque facteur écologique impliqué est présenté dans les chapitres qui suivent.

Espace réservé aux eaux

Depuis 1900, la surface des paysages alluviaux n'a cessé de diminuer en Suisse (Lachat et al. 2010). Des mesures de protection et des projets de revitalisation sont réalisés pour obtenir un maximum de biodiversité dans des habitats de surface réduite – un but ambitieux. La taille minimale d'un type d'habitat est déterminée par l'espace écologique nécessaire (cf. tab.2 in Scheidegger et al. 2012). En donnant plus de place aux cours d'eau, les projets de revitalisation permettent aussi de renforcer les services écosystémiques des zones alluviales, notamment la protection contre les crues, la rétention des nutriments ainsi que les fonctions de filtre et de puits de

carbone. Par exemple, le chenal de la Thur a été élargi à Niederneunforn (TG) et des épis en pierre ont été mis en place au lieu de digues. La variabilité de la vitesse d'écoulement a augmenté et la protection contre les crues s'est nettement améliorée. En même temps, de nouveaux habitats de grande valeur écologique, comme des îlots de gravier, se sont formés.

Des cartes et photographies aériennes historiques montrent où des zones alluviales se sont établies naturellement, quel espace le cours d'eau occupait autrefois et quels habitats étaient présents (fig. 3). Dans les systèmes alluviaux naturels, les habitats se déplacent constamment et constituent ainsi une mosaïque dynamique. Leurs parts relatives ne varient cependant guère sur de longues périodes («shifting habitat mosaic», cf. Stanford et al. 2005). Par contre, les surfaces et les proportions des habitats situés dans des paysages alluviaux perturbés par les activités humaines peuvent nettement changer. C'est surtout le cas pour les habitats alluviaux typiques, tributaires de la dynamique hydromorphologique, tels que les îles ou les bancs de gravier occupés par une végétation pionnière (Döring et al. 2013).

L'exemple de la zone alluviale de Sandey (BE) illustre comment la construction d'un barrage en 1950 et l'édification de digues de protection contre les crues ont modifié la dynamique des écoulements et des sédiments de la rivière (Urbachwasser) ainsi que les habitats alluviaux (fig. 4). Ces ouvrages ont tellement réduit l'espace réservé aux eaux qu'aujourd'hui il ne s'écoule plus que 70 % du débit naturel mesuré en 1940 dans la zone alluviale. Cela s'est aussi répercuté sur la proportion des habitats : en 2007, la fréquence des habitats typiques des zones alluviales et des habitats qui dépendent de la dynamique hydromorphologique était jusqu'à 78 % plus faible qu'en 1940, alors que la part des herbages avait augmenté d'environ 28 %.

Dynamique des écoulements et des sédiments

La dynamique des écoulements et des sédiments agit sur la mosaïque dynamique d'habitats et la diversité structurale des milieux aquatiques, amphibiens et terrestres des zones alluviales. Son ampleur varie considérablement et

dépend de l'amplitude des crues. On distingue trois types de crues : 1) les faibles crues saisonnières, qui surviennent chaque année en n'occasionnant qu'une faible mobilisation des sédiments ; 2) les crues modérées, qui se traduisent par des mobilisations importantes de sédiments tous les 10 à 50 ans ; 3) les fortes crues, qui induisent des mobilisations massives de sédiments tous les 100 ans ou plus. Ces trois types d'événements se répercutent sur des habitats différents en fonction de l'altitude, car tous les habitats alluviaux ne se rencontrent pas à tous les étages altitudinaux. Les bancs de gravier, quant à eux, se forment à chaque étage et sont touchés par tous les types de crues. Absentes de l'étage alpin, les saulaies blanches sont surtout submergées par des crues

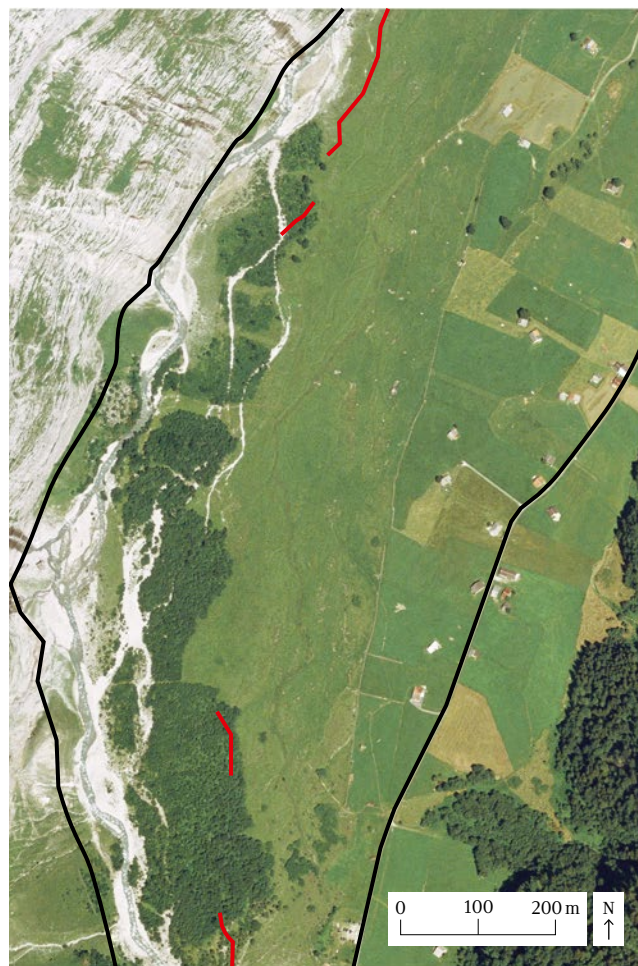
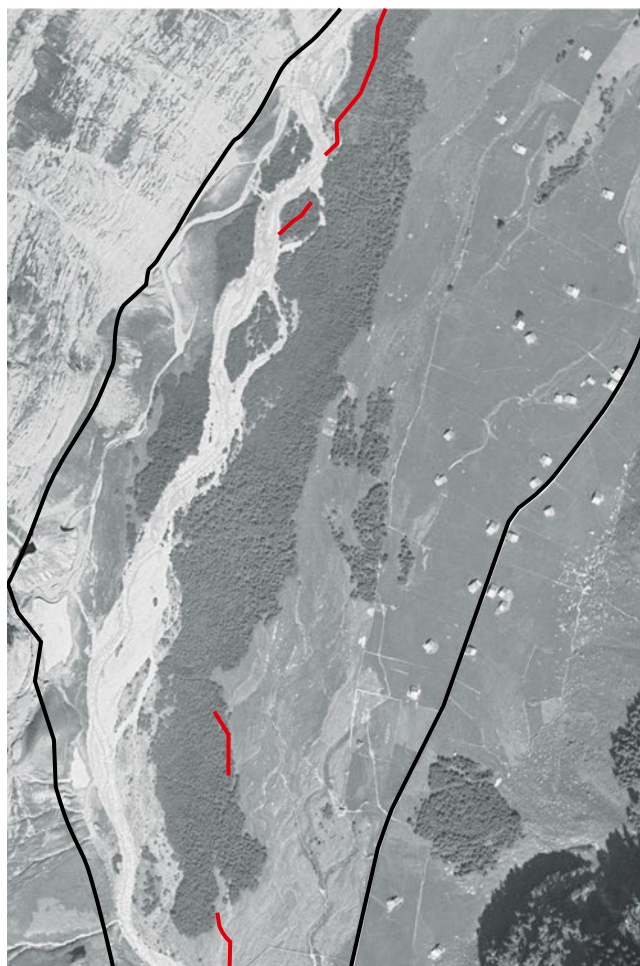
présentant des périodes de retour relativement importantes, alors que les frênaies humides, qui se cantonnent aux étages montagnard et collinéen, sont seulement inondées par des événements moins fréquents que les crues saisonnières ou annuelles. Les conséquences pour le milieu naturel dépendent de l'ampleur, de la fréquence et de la durée de la mobilisation des sédiments, ainsi que du moment auquel celle-ci a lieu dans l'année.

Mobilisations de sédiments faibles à moyennes

Les mobilisations de sédiments induites par les crues saisonnières et annuelles influencent surtout les compartiments aquatiques, amphibies et terrestres (riverains) des zones alluviales. Les crues d'intensité faible à

Fig. 3

Comparaison de deux photographies aériennes représentant la zone alluviale de Sandey en 1940 (à gauche) et en 2007 (à droite). La construction d'un barrage en amont et de digues de protection contre les crues (en rouge) a sensiblement refaçonné la zone alluviale. Les lignes noires délimitent le périmètre de la zone.

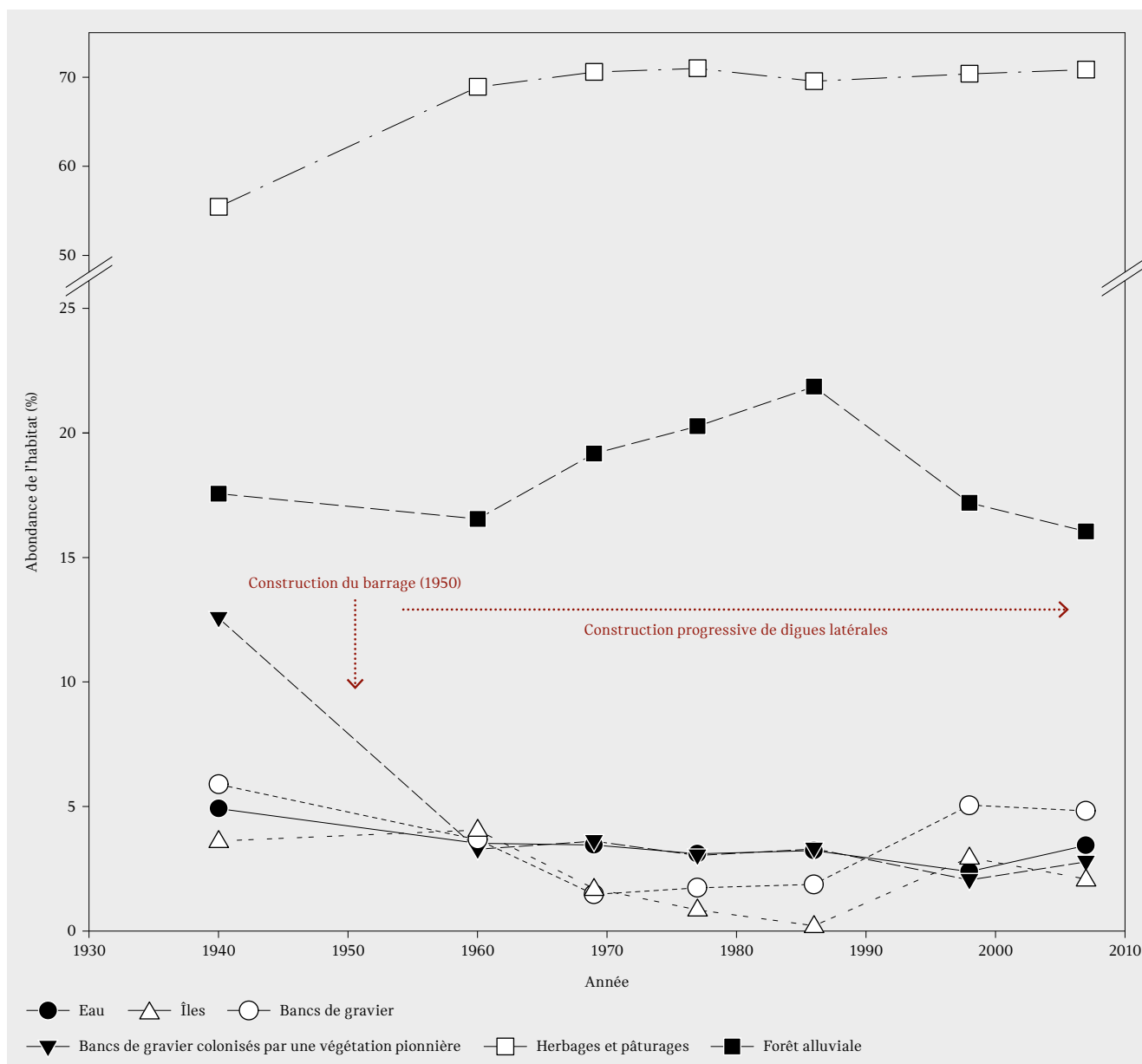


moyenne déplacent principalement les fractions fines et de faibles quantités de sédiments dans le chenal et à ses abords. Ces transferts de faible envergure sont importants tant pour le maintien de la mosaïque dynamique d'habitats que pour l'adaptation des cycles vitaux des espèces alluviales, puisque, par exemple, les sédiments fins et des proportions élevées d'humus entravent la capacité germinative du tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*), qui peuple les bancs de gravier. Les zones

alluviales inondées régulièrement sont aussi moins menacées par le colmatage (cf. fiche 3). Les remblayages successifs offrent de nouveaux habitats aux espèces spécialisées telles que *Blethisa multipunctata* (cf. Rust-Dubié et al. 2006). Lorsque la dynamique sédimentaire est insuffisante, les espèces sensibles aux perturbations (généralistes) l'emportent sur celles qui sont plus résistantes (spécialistes). Ainsi, dans les zones alluviales alpines, l'abondance du tamarin d'Allemagne, une espèce

Fig. 4

Évolution de la fréquence relative (abondance) des principaux habitats de la zone alluviale de Sandey entre 1940 et 2007.



Source : Döring et al. 2013

spécialisée, diminue, alors que celle des amphipodes du genre *Gammarus* augmente. À plus basse altitude aussi, les espèces exotiques envahissantes comme le solidage du Canada (*Solidago canadensis*), le solidage géant (*Solidago gigantea*) ou le poisson rouge (*Carassius auratus auratus*; OFEFP 2002) colonisent les habitats moins dynamiques dès que le déplacement des sédiments devient insuffisant.

Mobilisations massives de sédiments

Les crues qui surviennent tous les cent ans, voire plus rarement, et les mobilisations de sédiments massives qu'elles occasionnent sont souvent jugulées par des digues à cause des risques de dommages. L'effet dévastateur des grands volumes d'eau et de matériaux solides charriés peut être atténué si le cours d'eau dispose d'un espace suffisant pour assurer la rétention des crues. Par exemple, les bras latéraux ou les bras morts contribuent à décharger le chenal principal en recueillant une partie des sédiments et de l'eau. Les mobilisations massives de sédiments dans le périmètre d'une zone alluviale peuvent remodeler les habitats, surtout ceux se trouvant dans le cours moyen d'un cours d'eau, et en créer de nouveaux si elles ont assez de place pour se déployer. Ce type d'événement provoque en outre la redistribution de toutes les fractions granulométriques, et donc la création d'une mosaïque dynamique d'habitats.

Influence des mesures de revitalisation sur la dynamique

À la suite de l'élargissement de la Thur à Niederneuenforn (TG), de nouveaux habitats alluviaux se sont formés. Exposés à une dynamique permanente en raison des variations de l'écoulement, ceux-ci présentent une plus grande diversité que dans les tronçons canalisés. Des chercheurs ont comparé cet élargissement avec les tronçons canalisés situés en amont et en aval (Martín Sanz 2017). Ils ont constaté que la variabilité spatiale et temporelle de la respiration sédimentaire (c.-à-d. la transformation de la matière organique dans le fond du lit; cf. fiche 1) était plus forte dans l'élargissement du fait de la dynamique accrue des écoulements et des sédiments, et qu'il en était de même pour la densité des algues et des macro-invertébrés. La comparaison a aussi révélé que la respiration sédimentaire et le nombre d'espèces de macro-invertébrés sont largement tributaires de la dynamique des écoulements et de la morpho-

logie du cours d'eau. La croissance des algues et la densité des macro-invertébrés, en revanche, dépendent davantage de la dynamique des écoulements que de la morphologie du cours d'eau (Martín Sanz 2017).

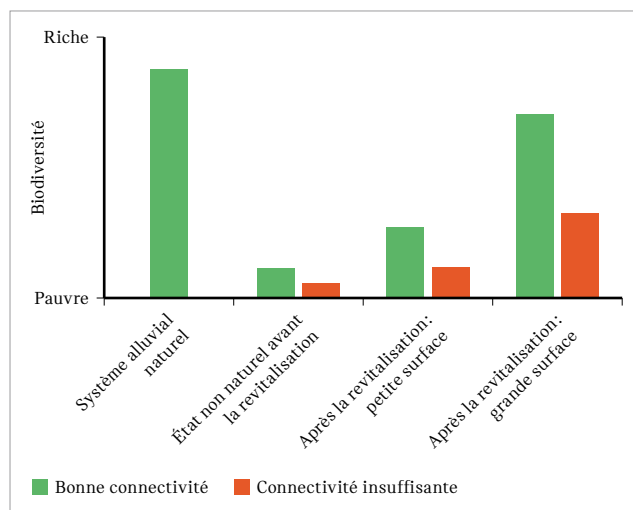
Connectivité écologique

La connectivité des habitats maintient le flux génétique entre les populations des espèces caractéristiques et prioritaires. Ainsi, la probabilité de survie des espèces formant une métapopulation augmente, indépendamment de la taille ou de la fréquence de leurs habitats. Quand ces derniers sont bien interconnectés, les zones alluviales ont une meilleure résilience, même après des remobilisations de sédiments extrêmes. Dans les projets de revitalisation, la biodiversité augmente d'autant plus que la connectivité biologique est favorable, et ce également sur les petites surfaces (fig. 5).

Il est important que la connectivité se déploie sur les trois axes à la fois – vertical, latéral et longitudinal (Stevenson et Sabater 2011). Ces trois types de connectivité sont expliqués brièvement ci-après.

Fig. 5

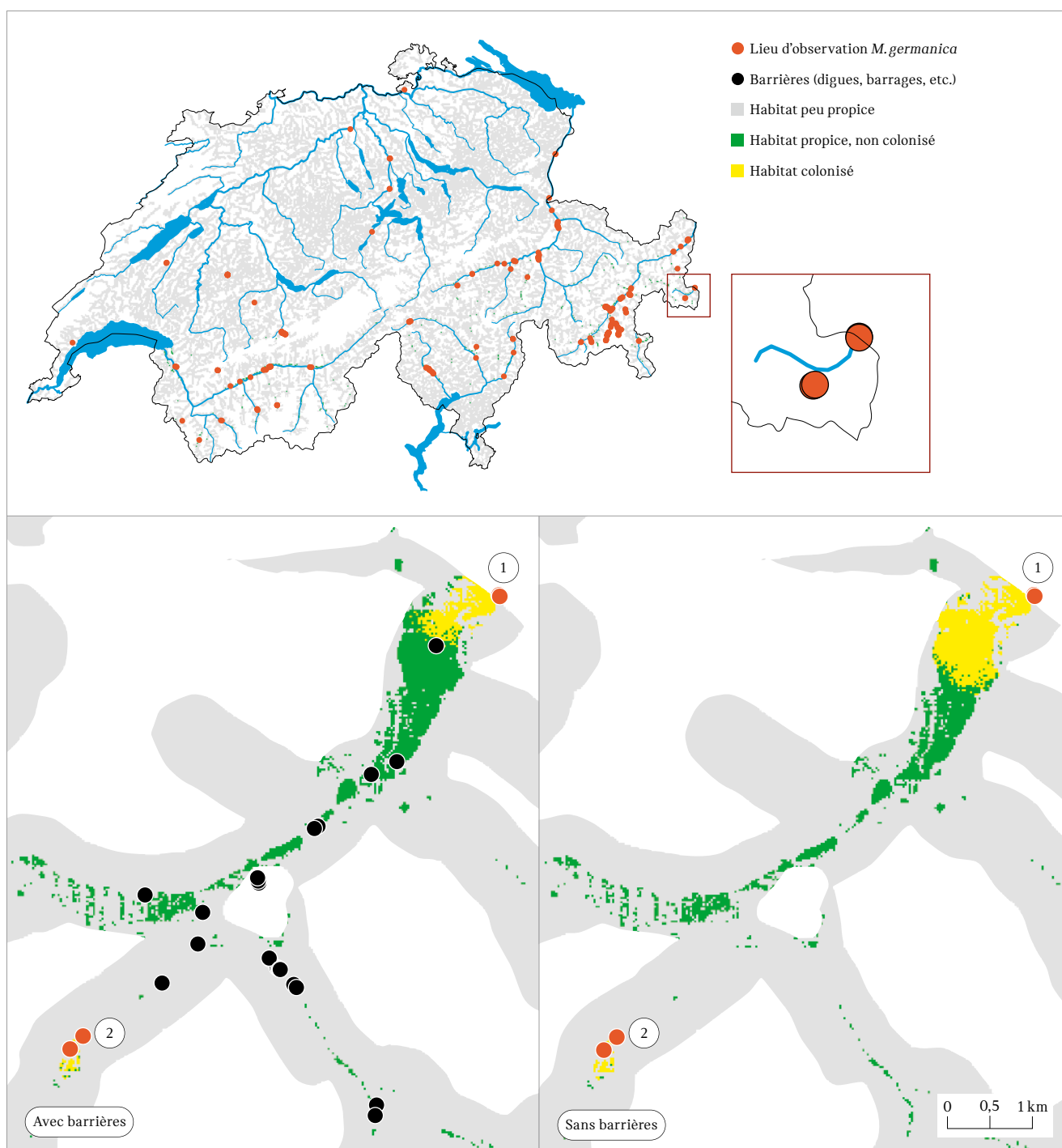
Représentation schématique de l'évolution de la biodiversité en fonction de la connectivité biologique. Une bonne connectivité biologique est le facteur clé d'une forte augmentation de la biodiversité après la mise en œuvre de mesures de revitalisation, même sur une petite surface.



Source : WSL

Fig. 6

En haut : observations du tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*) en Suisse (source : Info Flora). En bas : modélisation de la probabilité d'apparition du tamarin d'Allemagne le long de la rivière Rom à Münster (GR). À partir des endroits où l'espèce a été découverte, sa propagation (en jaune) dans les habitats propices (en vert) est simulée pour les cinquante prochaines années. À partir du site 1, l'espèce peut se propager librement sans barrière (à droite), plus lentement en présence de barrières. Le modèle montre en outre que la propagation à partir du site 2 n'est pas interrompue par des barrières, mais par un habitat non propice (en gris).



Source : WSL

Connectivité verticale

La connectivité verticale entre le lit de la rivière et le fond du lit (cf. fiche 1) influence l'écosystème et la biodiversité dans une vaste partie de la zone alluviale, notamment par le cycle des nutriments, le régime des températures et la croissance des algues. Elle dépend avant tout de la perméabilité des sédiments. Dans les projets de revitalisation, la connectivité verticale peut notamment être favorisée par un élargissement du cours d'eau ou par la mise en place de macrorugosités le long des berges, tels que des blocs de pierre ou des épis. Ces mesures permettent de ralentir l'apport de sédiments fins et d'empêcher le colmatage du fond du lit (cf. fiche 3).

Connectivité latérale

La connectivité latérale entre le cours d'eau et la zone riveraine est importante, car elle favorise le dépôt des sédiments fins et des nutriments dans les zones alluviales ainsi que la propagation des graines et des organismes (Stevenson et Sabater 2011). Lorsque les zones alluviales sont inondées, des organismes aquatiques comme les chironomides ou les coléoptères échouent sur les bancs de gravier. Ils y survivent à l'état de larve mobile – tant que l'humidité est suffisante – ou à différents stades de repos (cocons, kystes, œufs d'hiver, p. ex.). Si la connectivité latérale est bonne, ces organismes contribueront à la recolonisation du cours d'eau la prochaine fois que les bancs seront submergés (après de grandes perturbations, p. ex.). Mais si elle est fortement entravée, comme c'est le cas dans les tronçons à débit résiduel, le nombre d'individus peuplant les bancs de gravier chute (Martín Sanz 2017). Une bonne connectivité latérale permet en outre aux espèces aquatiques et amphibiennes de trouver refuge dans des habitats protégés en cas de crues et de grandes mobilisations de sédiments. Des mesures de revitalisation peuvent consister à favoriser l'érosion latérale (cf. fiche 7), revaloriser des bras morts ou creuser des mares.

Connectivité longitudinale

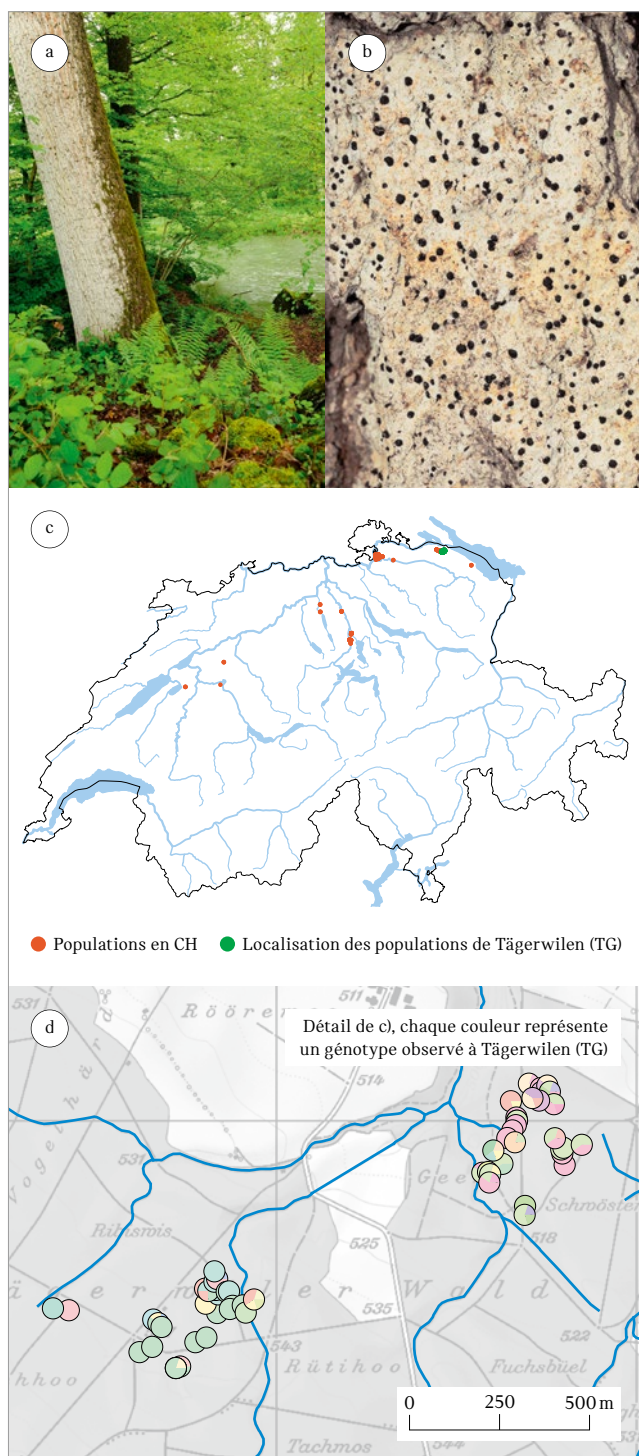
La connectivité longitudinale entre les systèmes alluviaux se trouvant dans différents tronçons le long du chenal principal augmente la résilience des zones alluviales après une perturbation, et ce sur de longues distances. Elle garantit aussi le lien entre les populations vivant dans le cours supérieur et celles présentes plus en aval.

Les possibilités de propagation des plantes et animaux caractéristiques des milieux alluviaux jouent un rôle déterminant pour la colonisation des secteurs revitalisés et dépendent généralement de la connectivité longitudinale. Cette dernière contribue en effet au transport des graines, à la dispersion végétative des plantes et à la migration des organismes aquatiques (Naiman et al. 2005). On peut l'assurer en améliorant le passage des sédiments ou en assainissant le régime de charriage (cf. fiches 3 et 6). Des études récentes montrent que les opérations de recharge sédimentaire lui sont également bénéfiques sur une longue distance en aval (cf. fiche 7). La connectivité longitudinale profite en outre de l'apport de sédiments par les affluents. Par contre, les obstacles verticaux tels que les dépotoirs à alluvions ou les barrages de correction torrentielle entravent généralement la connectivité longitudinale et la continuité sédimentaire, à moins qu'ils ne soient conçus et exploités de manière à laisser passer les matériaux (cf. fiche 4). Il existe plusieurs moyens pour surmonter ces barrières et améliorer la dynamique sédimentaire, dont les crues artificielles et les galeries de déviation des sédiments (cf. fiche 6).

La connectivité longitudinale des habitats est l'un des principaux facteurs dont dépend la survie à long terme des populations d'organismes tributaires des zones alluviales, comme l'illustre l'exemple du tamarin d'Allemagne (*Myricaria germanica*). Des modèles basés sur des paramètres topographiques, géologiques et climatiques indiquent les régions susceptibles d'être colonisées par cette espèce menacée dans une grande partie de la Suisse et même éteinte dans le Jura (InfoFlora 2016). Compte tenu des distances de propagation et des barrières existantes, des simulations montrent où l'arbrisseau pourrait s'établir à l'avenir, malgré la présence d'obstacles (fig. 6, Fink et al. 2017). Ainsi, il est possible de prévoir, dans le cadre de mesures de revitalisation, les sites propices où il est judicieux de définir le tamarin d'Allemagne comme espèce cible. En outre, les zones alluviales d'importance nationale ainsi que les sites du réseau Émeraude en aval ou en amont des populations actuelles de l'espèce cible peuvent être intégrés dans la planification.

Fig. 7

Bactrospora dryina est une espèce prioritaire au niveau national présente dans les frênaies humides. a) Un chêne, habitat de ce type de lichen dans une frênaie humide inondée régulièrement. b) Les lichens *Bactrospora dryina* et c) leurs populations en Suisse. d) Composition du pool génétique de *Bactrospora dryina* à Tägerwilen (TG).



Source : Nadyeina et al. 2017

Mesures spécifiques de conservation des espèces

Les besoins des espèces caractéristiques des milieux alluviaux et des espèces menacées doivent être pris en considération lorsque des mesures d'assainissement du charriage ou de revitalisation conduisent à augmenter la dynamique des écoulements et des sédiments. Les espèces à privilégier (espèces cibles) ainsi que leurs exigences en matière de sédiments (composition et dynamique) et d'écoulement varient selon le type de milieu et l'étage altitudinal (tab. 1).

La frênaie humide, habitat riche en espèces qui s'est raréfié, constitue un hotspot pour plusieurs espèces prioritaires. *Bactrospora dryina*, par exemple, est un lichen qui pousse sur les vieux chênes, souvent plus que centenaires. Comme il est très rare que cette espèce se propage sur de longues distances, la colonisation de nouveaux habitats est fortement ralentie. Les populations de *Bactrospora dryina* présentent une diversité génétique élevée, tant au sein d'une station que sur chacun des arbres colonisés (fig. 7, Nadyeina et al. 2017). La conservation des frênaies humides existantes ainsi que leur mise en réseau avec des habitats revitalisés peut favoriser la propagation de ce lichen, qui bénéficiera également de la présence de chênes et de structures forestières aérées.

Que retenir

La richesse des zones alluviales en espèces et en habitats dépend de l'espace réservé aux eaux. Une dynamique des écoulements et des sédiments proche de l'état naturel est un facteur important qui améliore la diversité des habitats. Les espèces rares et menacées vivant dans les zones alluviales doivent faire l'objet de mesures de conservation spécifiques. Le choix des espèces à privilégier dépend du type de milieu et de l'étage altitudinal, qui déterminent à leur tour les exigences en matière de sédiments (composition et dynamique) et d'écoulement. Les crues saisonnières et annuelles, et les mobilisations de sédiments qui les accompagnent, contribuent à la conservation de la flore et de la faune caractéristiques

des milieux alluviaux et agissent sur les habitats aquatiques, amphibiens et terrestres. Les transferts de sédiments plus importants, induits par des crues survenant tous les 20 à 1000 ans, créent de nouveaux habitats et favorisent la propagation des espèces prioritaires sur de longues distances. La connectivité a un impact positif sur la résilience des zones alluviales, même après de grandes perturbations, et est capitale pour la survie des espèces (cibles) caractéristiques des milieux alluviaux.

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**.

Tab. 1

Exemples d'espèces à privilégier (espèces cibles) lors des mesures de revitalisation et leurs exigences relatives à la composition des sédiments. Toutes les espèces figurent dans la Liste des espèces prioritaires au niveau national (OFEV 2011) et sont présentées dans Delarze et al. (2015) en tant qu'espèces caractéristiques des habitats alluviaux. * Priorité: responsabilité de la Suisse pour la conservation de l'espèce : 4: très grande responsabilité, 3: grande responsabilité, 2: responsabilité moyenne, 1: responsabilité faible (OFEV 2011).

	Nom français	Nom scientifique	Prio.*	Habitat	Exigences relatives à la composition des sédiments
				Unités selon Delarze et Gonseth (2015), avec n°	
Étage alpin (> 1700 m)					
	Espèces de <i>Stereocaulon</i> , p. ex. Lichen corail cendré des graviers	<i>Stereocaulon</i> ssp., p. ex. <i>S. glareosum</i>	2	Alluvions glaciaires Alluvions avec végétation pionnière herbacée <i>Epilobion fleischeri</i> (3.2.1.1)	Sédiments graveleux le long des cours d'eau de montagne (lichen terricole)
	Coprin de Favre	<i>Coprinus martinii</i>	1	Alluvions sableuses des cours d'eau alpins Groupement pionnier des bords de torrents alpins <i>Caricion bicolori-atrofuscae</i> (2.2.5)	Sols riches en humus et en tourbe
Étage montagnard (< 1700 m)					
	Montie des fontaines	<i>Montia fontana</i>	3	Abords des sources acides Végétation des sources acides <i>Cardamino-Montion</i> (1.3.3)	Sols humides avec mélange de sédiments (gravier grossier, galets, sable)
	Cranson des Pyrénées	<i>Cochlearia pyrenaica</i>	3	Abords des sources alcalines Végétation des sources alcalines <i>Cratoneurion</i> (1.3.2)	Sols humides avec mélange de sédiments (gravier grossier, galets, sable)
		<i>Amanita friabilis</i>	2	Berges des cours supérieurs et moyens des rivières Aulnaie alluviale <i>Alnion incanae</i> (6.1.3)	Sols alluviaux graveleux à argileux
	Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	1	Bancs de gravier et ourlets alluviaux des rivières Saulaie buissonnante alluviale <i>Salicion elaeagni</i> (5.3.6)	Bancs de sable à végétation clairsemée comme sites de nidification
		<i>Omophron limbatum</i>	3	Bancs de gravier et ourlets alluviaux des torrents et des rivières, dépendant fortement de la dynamique hydrologique Alluvions avec végétation pionnière herbacée <i>Epilobion fleischeri</i> (3.2.1.1)	Creuse des trous dans le sable des bancs de gravier et s'y cache la journée

	Nom français	Nom scientifique	Prio.*	Habitat	Exigences relatives à la composition des sédiments
				Unités selon Delarze et Gonseth (2015), avec n°	
Étage collinéen (<900 m)					
	Callitriche en crochet	<i>Callitriche hamulata</i>	4	Cours moyens ou inférieurs, rivières larges et profondes Zone de la brème et du barbeau (épipotamon) <i>Ranunculon fluitantis</i> (1.2.1) Zone de l'ombre (hyporhithron) <i>Fontinalidion antipyreticae</i> (1.2.2)	S'accroche dans la rivière et a besoin de sédiments fins
	Nénuphar nain	<i>Nuphar pumila</i>	1	Bras morts, près des barres de méandre de cours d'eau au courant lent	Fond avec vase tourbeuse, le niveau de l'eau devant être assez stable
				Eau avec végétation flottante fixée <i>Nymphaeion</i> (1.1.4)	
	Rumex géant	<i>Rumex hydrolapathum</i>	3	Le long de la ligne de rivage, ou de la zone d'atterrissement ; dans les secteurs submergés régulièrement Roselière terrestre <i>Phalaridion</i> (2.1.2.2)	Sols graveleux, sableux
	Nivéole d'été	<i>Leucojum aestivum</i>	2	Berges le long des cours moyens et inférieurs des rivières Saulaie blanche <i>Salicion albae</i> 6.1.2	Bancs et berges de sable fin inondés jusqu'à trois mois par an
	Potamoet à feuilles aiguës	<i>Potamogeton acutifolius</i>	2	Bras morts Eau avec végétation immergée vasculaire <i>Potamion</i> (1.1.2)	Sensible aux pollutions des eaux et à un apport élevé de sédiments fins
	Fougère autruche	<i>Matteuccia struthiopteris</i>	4	Zones riveraines inondées périodiquement (pas toute l'année) Frênaie humide <i>Fraxinion</i> 6.1.4	Sols avec sédiments fins
	Cucubale à baies	<i>Cucubalus baccifer</i>	4	Le long des cours d'eau aux endroits où les bosquets riverains ont été emportés ; en marge des forêts alluviales soumises à une dynamique fluviale et à des perturbations mécaniques occasionnelles Ourlet hygrophile de plaine <i>Convolvulon</i> (5.1.3)	Sols alluviaux limoneux
	Cresson amphibie	<i>Rorippa amphibia</i>	4	S'exonde périodiquement (en cas de niveau d'eau estival moyen) ; zones riveraines Roselière terrestre <i>Phalaridion</i> (2.1.2.2)	Fond du cours d'eau riche en nutriments et sédiments fins
	Korrigan étalé	<i>Physcomitrium patens</i>	4	Berges exondées en été Végétation de petites annuelles éphémères <i>Nanocyperion</i> (2.5.1)	Sols limoneux boueux
	Espèces de <i>Stereocaulon</i> , p. ex. Lichen corail cendré des ruisseaux glaciaires	<i>Stereocaulon</i> ssp. p. ex. <i>Stereocaulon rivulorum</i>	4	Alluvions fluviales en plaine Alluvions avec végétation pionnière herbacée <i>Epilobion fleischeri</i> (3.2.1.1)	Bancs de sédiments graveleux/graviers le long des cours d'eau

	Nom français	Nom scientifique	Prio.*	Habitat	Exigences relatives à la composition des sédiments
				Unités selon Delarze et Gonseth (2015), avec n°	
	Gomphus similaire	<i>Gomphus simillimus</i>	2	Cours moyens ou inférieurs, rivières larges et profondes Zone de la brème et du barbeau (épipotamon) <i>Ranunculion fluitantis</i> (1.2.1)	Espèce ayant besoin de sédiments fins pour se protéger et se nourrir, menacée par l'eutrophisation
	Cordulie à deux taches	<i>Epithea bimaculata</i>	1	Eaux stagnantes et zones riveraines Roselière lacustre <i>Phragmition</i> (2.1.2.1)	Deux à trois ans de développement larvaire, alterne entre sédiments fins et végétation immergée
	Chabot	<i>Cottus gobio</i>	4	Ruisseaux à truite et grandes rivières, vit en profondeur Zone inférieure de la truite (métarhithron) <i>Scapanion undulatae</i> (1.2.3)	Habitat menacé par le colmatage et les obstacles à la migration (ouvrages transversaux)

Icônes (selon Delarze et Gonseth 2015)

Plantes vasculaires		Odonates	
Mousses		Coléoptères	
Lichens		Poissons	
Champignons		Oiseaux	

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 : Fink, S., Döring, M., Franca, M. J., Martín Sanz, E., Nadyeina, O., Robinson, Ch., Schleiss, A., Scheidegger, Ch., 2017 : Dynamique et biodiversité des zones alluviales. In : Dynamique du charriage et des habitats. Office fédéral de l'environnement, Berne. Fiche 5.

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

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

© OFEV 2017

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.

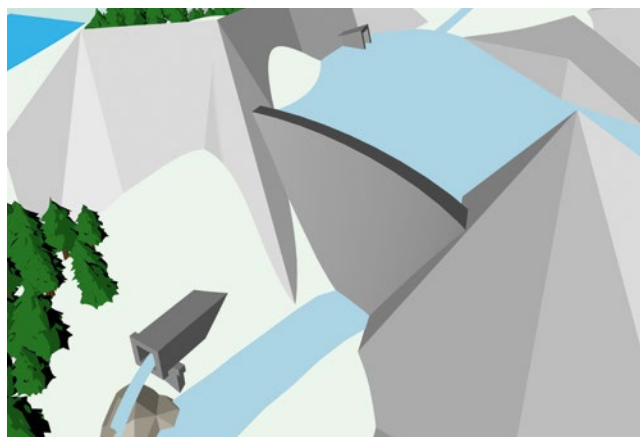


Photo: Michelle Müller-Hagmann, VAW

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

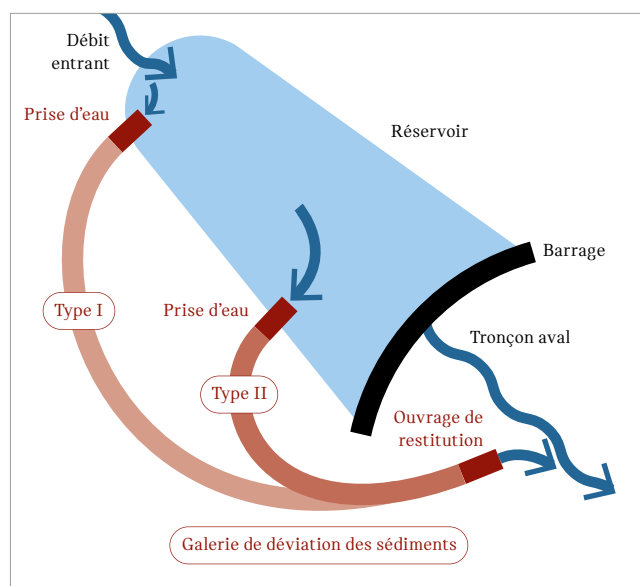
Les galeries de déviation des sédiments sont construites pour limiter le comblement des réservoirs et pour maintenir, le cas échéant rétablir, la continuité des cours d'eau, notamment pour le transport solide. En Suisse, dix barrages retenant les eaux de lacs relativement courts sont équipés de galeries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

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 libre¹ 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.

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

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

1 La définition de nombreux termes tels qu'«écoulement libre» sont définis dans le glossaire du site 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

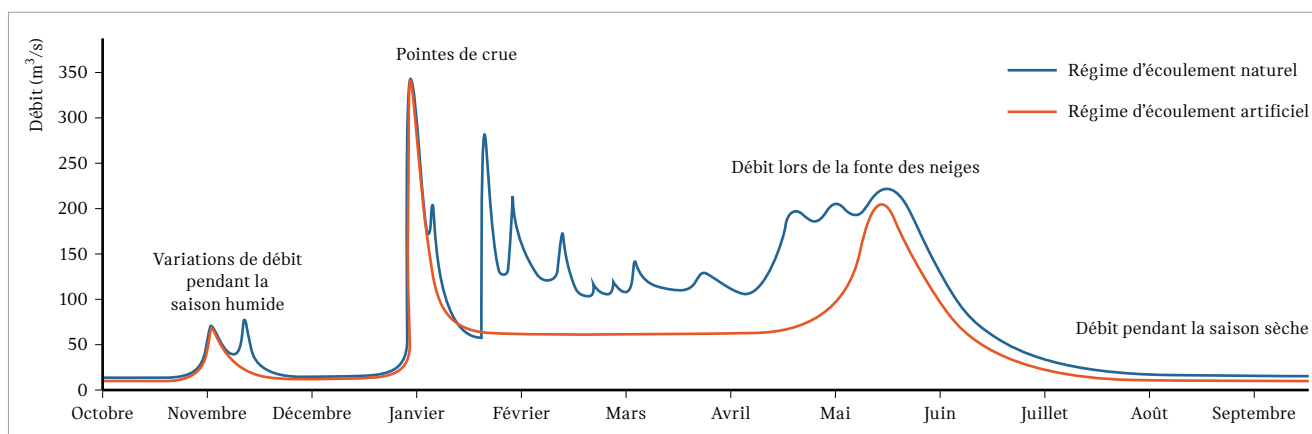
Tab. 1

*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'Ambra	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.

Crues artificielles

Des crues 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 crues de petite à moyenne ampleur ne suffisent pas pour faire démarrer l'évacuateur de crues, 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 crues 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 crues 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 crues.

Mise en œuvre

L'ampleur, la fréquence et la durée des crues artificielles doivent être modelées 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, 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

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

© BAFU 2017

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).

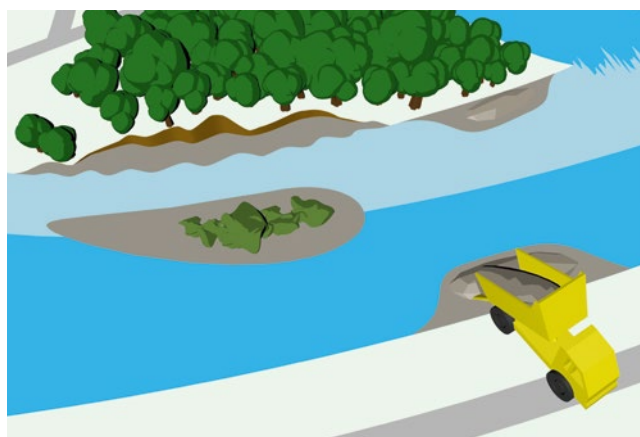


Fig. 2

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).



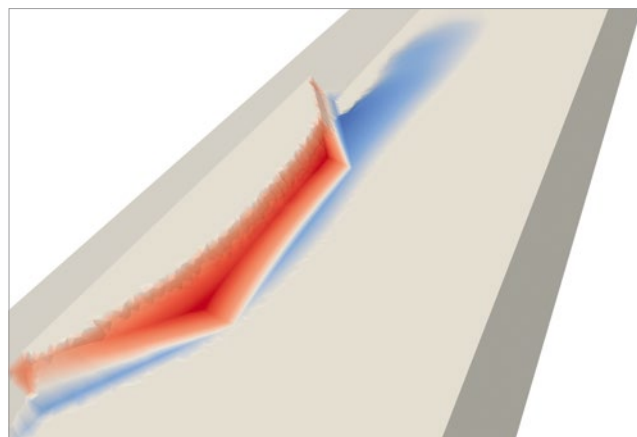
Photos : AWEL

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

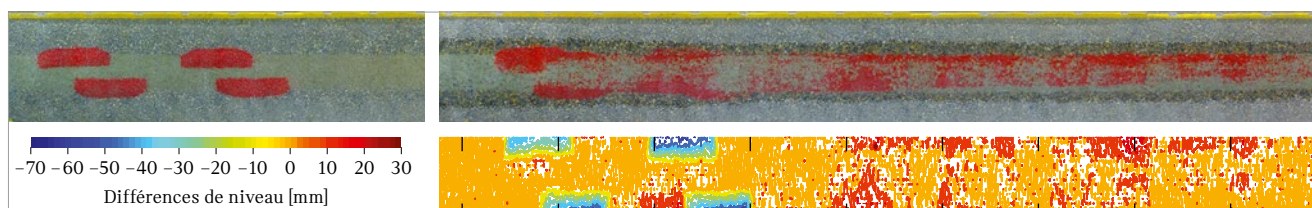
Essais d'érosion des dépôts de gravier dans les modèles physique (à gauche) et numérique (à droite) au même moment. À droite : la propagation des matériaux érodés se voit à la langue sédimentaire qui se forme en aval (en bleu). Le volume érodé (en rouge) du dépôt est aussi visible.



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.

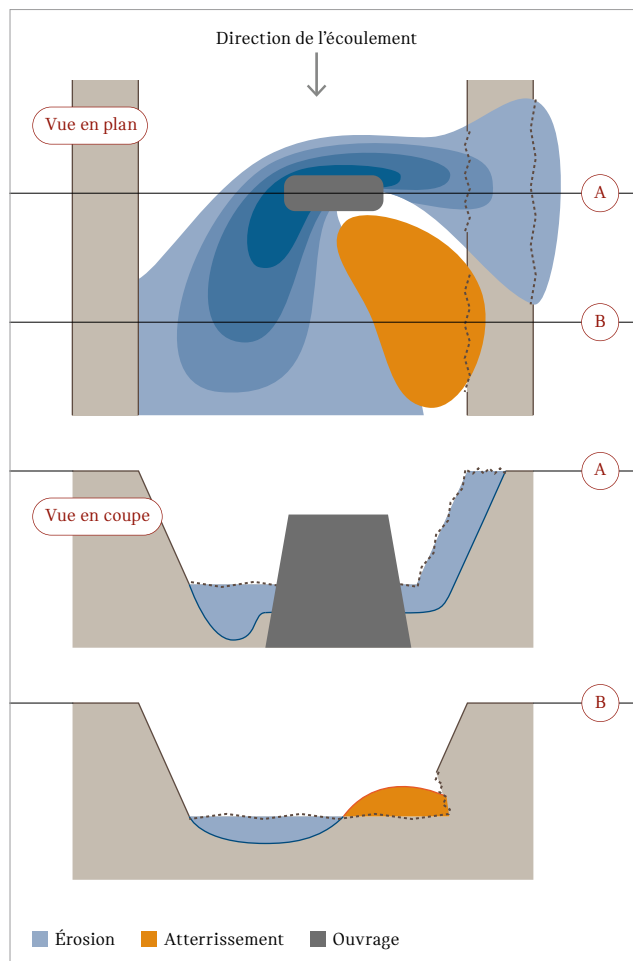
Répercussions territoriales et temporelles

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

© OFEV 2017

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).

Photo de couverture : La Singine, à Zumholz (FR). Photo : Markus Zeh

Référence bibliographique : OFEV (éd.) 2017 : Dynamique du charriage et des habitats. Recueil de fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau. Office fédéral de l'environnement, Berne, 84 p.

Commande de la version imprimée et téléchargement au format PDF :

OFCL, Vente des publications fédérales, CH-3003 Berne

www.publicationsfederales.admin.ch

N° d'art. 810.300.136f

www.bafu.admin.ch/uw-1708-f

Impression neutre en carbone et faible en COV sur papier recyclé

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

© OFEV 2017

01.17 1500 86039243