

# > Assainissement du régime de charriage Planification stratégique

*Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV



# **> Assainissement du régime de charriage Planification stratégique**

*Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux*

### **Valeur juridique**

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en sa qualité d'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances, favorisant ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur. Les aides à l'exécution de l'OFEV (appelées aussi directives, instructions, recommandations, aides pratiques) paraissent dans la collection L'environnement pratique.

### **Impressum**

#### **Editeur**

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).

#### **Auteurs**

Ueli Schälchli, Flussbau AG SAH, Zurich et Berne

Arthur Kirchofer, WFN, Gümmenen

#### **Accompagnement**

Rémy Estoppey, OFEV

Alessandro Grasso, OFEV

Georg Heim, OFEV

Oliver Hitz, Office des ponts et chaussées, canton de BE

Bernhard Hohl, OFEN

Martin Huber-Gysi, OFEV

Lukas Hunzinger, Flussbau AG

Berenice Iten, OFEV

Manfred Kummer, OFEV

Stephan Lussi, OFEV

Christian Marti, AWEL, canton de ZH

Olivier Overney, OFEV

Sandro Peduzzi, canton du TI

Martin Pfaundler, OFEV

Jean-Claude Raemy, canton de FR

Christian Roulier, Service conseil Zones alluviales

David Schmid, Amt für Natur und Umwelt, canton des GR

Irène Schmidli, OFEV

#### **Référence bibliographique**

Schälchli U., Kirchofer A. 2012: Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1226: 71 p.

#### **Graphisme**

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

#### **Traduction**

David Fuhrmann, Bôle

#### **Photo de couverture**

OFEV/AURA

#### **Téléchargement au format PDF**

[www.bafu.admin.ch/uv-1226-f](http://www.bafu.admin.ch/uv-1226-f)

(il n'existe pas de version imprimée)

Cette publication est également disponible en allemand et en italien.

© OFEV 2012

# > Table des matières

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>		
<b>Avant-propos</b>	<b>7</b>		
<b>Résumé</b>	<b>8</b>		
<b>Introduction</b>	<b>9</b>		
<hr/>			
<b>1 Situation de départ</b>	<b>11</b>		
1.1 Importance du régime de charriage	11		
1.2 Objet, destinataires et structure	12		
1.3 Bases légales	13		
<hr/>			
<b>2 Méthode</b>	<b>15</b>		
2.1 Vue d'ensemble des phases d'assainissement	15		
2.2 Vue d'ensemble des niveaux d'investigation de la phase 1	17		
2.3 Vue d'ensemble des étapes de la phase 1	20		
2.3.1 Appréciation sommaire: étapes 1 à 4	20		
2.3.2 Evaluation approfondie: étapes 5 à 9	20		
2.3.3 Planification des mesures: étapes 10 à 14	21		
2.3.4 Planification adoptée: étapes 14 à 17	21		
2.4 Etude détaillée des cantons (phase 2)	22		
<hr/>			
<b>3 Méthode de planification de la phase 1</b>	<b>24</b>		
3.1 Délimitation des bassins versants et des cours d'eau à évaluer	24		
3.1.1 Délimitation des bassins versants	24		
3.1.2 Délimitation des cours d'eau à évaluer	24		
3.2 Relevé des installations significatives	26		
3.2.1 Centrales hydroélectriques	26		
3.2.2 Dépotoirs à alluvions	26		
3.2.3 Extraction de gravier à titre de protection contre les crues	26		
3.2.4 Extraction de gravier à des fins commerciales	27		
3.2.5 Aménagements de cours d'eau	27		
3.2.6 Autres installations	28		
3.3 Morphologie actuelle et naturelle des cours d'eau	28		
3.3.1 Morphologie: définition	28		
3.3.2 Prescriptions légales	29		
3.3.3 Etats déterminants	29		
3.3.4 Evaluation de la morphologie actuelle et de la morphologie naturelle de cours d'eau	30		
		3.4 Appréciation sommaire des installations, désignation des tronçons subissant des atteintes	31
		3.4.1 Centrales hydroélectriques	32
		3.4.2 Dépotoirs à alluvions	33
		3.4.3 Extraction de gravier	34
		3.4.4 Aménagements	34
		3.5 Estimation de la charge solide	35
		3.6 Estimation du débit solide nécessaire	36
		3.6.1 Principes	36
		3.6.2 Méthode de détermination du débit solide nécessaire	37
		3.7 Quantification de l'influence exercée par les installations sur le régime de charriage	41
		3.8 Profils en long de la charge solide dans un état naturel et dans l'état actuel	42
		3.9 Evaluation du potentiel écologique et du degré de gravité des atteintes	43
		3.10 Faisabilité des mesures d'assainissement	47
		3.10.1 Conditions cadres	47
		3.10.2 Mesures en relation avec des centrales hydroélectriques	49
		3.10.3 Mesures en relation avec des dépotoirs à alluvions	50
		3.10.4 Mesures en relation avec l'extraction de gravier à des fins de protection contre les crues	50
		3.10.5 Mesures en relation avec des sites d'extraction de gravier à des fins commerciales	50
		3.10.6 Mesures portant sur des cours d'eau aménagés	51
		3.10.7 Ajouts de gravier	51
		3.10.8 Profil en long du charriage	52
		3.11 Coordination avec d'autres mesures	53
<hr/>			
		<b>Annexe</b>	<b>55</b>
		A1 Exemples de détermination du débit solide nécessaire	55
		A2 Exigences minimales auxquelles doit satisfaire la planification cantonale	67
<hr/>			
		<b>Bibliographie</b>	<b>68</b>
		<b>Répertoires</b>	<b>69</b>
		<b>Glossaire</b>	<b>71</b>



## > Abstracts

The current module of the implementation guide on “revitalisation of water courses” outlines a procedure for meeting the requirements of water protection legislation in relation to bed load budget. It describes the individual planning steps and primarily addresses the strategic planning which must be developed by the cantons by 2014. Appropriate assessment methods for evaluating the significant disturbance of the bed load budget are described in detail. It also clarifies any remediation obligation on the hydropower plant and other constructions and the extent of the measures.

Keywords:

bed load budget,  
water protection legislation,  
cantonal planning,  
significant disturbance

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» zeigt ein zweckmässiges Vorgehen auf, wie die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung im Bereich Sanierung Geschiebehaushalt erfüllt werden können. Es beschreibt die einzelnen Planungsschritte und behandelt primär die strategische Planung, welche durch die Kantone bis 2014 erarbeitet werden muss. Geeignete Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der wesentlichen Beeinträchtigung des Geschiebehaushaltes sowie zur Abklärung einer allfälligen Sanierungspflicht der verursachenden Anlagen und des Ausmasses der notwendigen Massnahmen werden detailliert erläutert.

Stichwörter:

Geschiebehaushalt,  
Gewässerschutzgesetz,  
Kantonale Planung,  
Wesentliche Beeinträchtigung

Le présent module de l'aide à l'exécution «Renaturation des eaux» présente une méthode efficace pour répondre aux exigences de la législation sur la protection des eaux dans le domaine de l'assainissement du régime de charriage. Il décrit chaque étape de planification et traite avant tout de la planification stratégique qui doit être élaborée par les cantons d'ici à 2014. Des méthodes d'investigation adaptées pour l'évaluation des atteintes graves portées au régime de charriage, de même que pour clarifier un éventuel devoir d'assainir les installations en étant la cause, ainsi que l'ampleur des mesures nécessaires y sont expliquées de manière détaillée.

Mots-clés:

bilan des matériaux charriés,  
loi sur la protection des eaux,  
planification cantonale,  
atteintes graves

Il presente modulo dell'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque» illustra un procedimento adeguato che consente di soddisfare i requisiti posti dalla legislazione sulla protezione delle acque nell'ambito del bilancio in materiale detritico. Descrive le singole fasi di pianificazione, trattando in primo luogo la pianificazione strategica che i Cantoni devono elaborare entro il 2014. Vengono poi presentati in dettaglio metodi di analisi appropriati per la valutazione del pregiudizio sensibile arrecato dalla modifica del bilancio in materiale detritico come pure per la determinazione dell'eventuale obbligo di risanamento degli impianti che lo causano e dell'entità delle misure necessarie.

Parole chiave:

bbilancio del materiale solido di  
fondo, legge sulla protezione  
delle acque,  
pianificazione cantonale,  
pregiudizio sensibile



---

## > Avant-propos

La protection systématique des eaux avec leurs multiples fonctions, parallèlement à l'utilisation durable de cette ressource, constituent les objectifs essentiels de la législation fédérale en la matière. La récente modification de la loi sur la protection des eaux vise à trouver des solutions équilibrées en ce sens qu'elles respectent à la fois les intérêts de la protection et ceux d'une utilisation légitime de nos eaux. Ces changements ont été adoptés en décembre 2009 par le Parlement sous la forme d'un contre-projet à l'initiative populaire Eaux vivantes, laquelle a été dès lors retirée.

Les révisions de la loi sur la protection des eaux et de son ordonnance, entrées en vigueur respectivement le 1<sup>er</sup> janvier et le 1<sup>er</sup> juin 2011, portent essentiellement sur la renaturation des eaux et représentent un jalon supplémentaire pour la protection des eaux en Suisse. Elles ont pour but de valoriser les cours d'eau en tant que milieux naturels afin qu'ils retrouvent un état proche de l'état naturel et qu'ils puissent ainsi contribuer à la conservation et au développement de la biodiversité. Il s'agit de restituer de l'espace aux cours d'eau à l'étroit et d'atténuer les impacts indésirables de l'exploitation de la force hydraulique.

La présente aide à l'exécution Renaturation des eaux doit assister les cantons dans l'application des nouvelles dispositions légales et garantir une exécution du droit fédéral uniformisée et coordonnée à l'échelle de la Suisse. Subdivisée en modules, elle couvre les divers aspects de la renaturation des eaux dans les domaines suivants: revitalisation des cours d'eau et des étendues d'eau, zones alluviales, rétablissement de la migration des poissons et du régime de charriage, assainissement des éclusées et coordination des activités de gestion des eaux. Comme la mise en œuvre de la législation environnementale incombe aux cantons, des représentants de ceux-ci ont participé aux groupes de travail chargés d'élaborer ces documents.

Consacré à la planification stratégique de l'assainissement du régime de charriage, le présent module décrit comment, sur des tronçons de cours d'eau, relever et évaluer les atteintes graves au régime de charriage provoquées par des installations, puis déterminer les obligations en matière d'assainissement des installations causant ces atteintes.

L'OFEV remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de cette publication, en particulier les membres du groupe de travail soucieux d'aboutir à des solutions pratiques.

Gérard Poffet  
Sous-directeur  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Stephan Müller  
Chef de la division Eaux  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

## > Résumé

Le présent module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux décrit une méthode propre à remplir les exigences de la législation sur la protection des eaux en matière d'assainissement du régime de charriage. Selon la loi, le régime de charriage d'un cours d'eau ne doit pas être modifié par des installations au point de porter gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes, au régime des eaux souterraines et à la protection contre les crues. Le terme installations recouvre l'ensemble des constructions et des mesures d'exploitation situées dans la zone d'influence de cours d'eau. Il incombe aux cantons, dans le cadre de leur planification stratégique, de déterminer les atteintes portées à leurs cours d'eau et les installations qui en sont la cause, et de planifier les mesures d'assainissement à mettre en œuvre. L'assainissement du régime de charriage a pour but de redonner aux cours d'eau des structures morphologiques proches d'un état entièrement naturel. Il faut en outre que les mesures prévues satisfassent au critère de la proportionnalité.

Les plans cantonaux d'assainissement du régime de charriage doivent prendre en considération le réseau hydrographique dans son ensemble, et non pas se limiter à certains tronçons de cours d'eau (harmonisation au besoin avec les cantons voisins ou les pays limitrophes).

Le présent module est structuré en 17 étapes successives. Il s'agit, au départ, de répertorier les tronçons de cours d'eau à examiner et les installations portant gravement atteinte au régime de charriage dans ces tronçons. Si les données à disposition sont suffisantes, on peut se contenter de méthodes d'évaluation qualitatives dans le cadre d'une appréciation sommaire (étapes 1 à 4). Une évaluation plus approfondie se base en revanche sur des valeurs quantitatives et la planification stratégique y aura recours en particulier s'il existe des études relatives au régime de charriage (étapes 5 à 9). La nécessité d'utiliser judicieusement des ressources limitées conduira notamment à estimer – selon le critère du potentiel écologique – la proportionnalité des mesures d'assainissement envisagées, à les échelonner selon un ordre de priorités, à déterminer leur faisabilité et à les coordonner au niveau du bassin versant afin de les présenter dans un rapport intermédiaire à remettre à l'OFEV à fin 2013 (étapes 10 à 13). Les étapes 14 à 17 englobent la coordination des interventions prévues avec d'autres mesures destinées à protéger les biotopes naturels, ainsi que la désignation des tronçons de cours d'eau et des installations pour lesquels un éventuel besoin d'assainissement ne pourra être déterminé qu'ultérieurement dans le cadre de l'étude détaillée. Les cantons communiqueront leur planification stratégique à l'OFEV avant la fin de 2014.

Le module indique les méthodes à suivre au cours de ces 17 étapes.

---

## > Introduction

### **Modification de la loi sur la protection des eaux**

Le 11 décembre 2009, les Chambres fédérales ont adopté un projet modifiant la loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20), la loi fédérale du 21 juin 1991 sur l'aménagement des cours d'eau (LACE, RS 721.100), la loi du 26 juin 1998 sur l'énergie (LEne, RS 730.0) et la loi fédérale du 4 octobre 1991 sur le droit foncier rural (LDFR, RS 211.412.11).

Entrées en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2011, ces modifications décidées par le Parlement portent sur la renaturation des eaux. Elles définissent deux orientations principales:

- > encourager les revitalisations (rétablissement, par des travaux de construction, des fonctions naturelles d'eaux superficielles endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre), et garantir un espace réservé aux eaux avec exploitation extensive de cet espace;
- > atténuer les effets négatifs de l'utilisation de la force hydraulique, en réduisant l'impact des éclusées en aval des centrales hydroélectriques, en réactivant le régime de charriage et en procédant aux assainissements au sens de l'art. 10 de la loi fédérale sur la pêche, tel le rétablissement de la migration des poissons.

Les modifications du 11 décembre 2009 de la LEaux ont nécessité notamment des adaptations de l'ordonnance correspondante. L'OEaux révisée est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> juin 2011.

### **Aide à l'exécution Renaturation des eaux**

La présente publication est un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux, dont le but est d'aider les cantons à mettre en œuvre les dispositions légales nouvellement entrées en vigueur. Elle aborde tous les aspects importants de la renaturation des eaux, en particulier la revitalisation des cours d'eau et celle des étendues d'eau, la restauration des zones alluviales, le rétablissement de la libre migration des poissons, l'assainissement des éclusées, la restauration du régime de charriage et la coordination des projets relevant de la gestion des eaux. Cette aide à l'exécution comporte divers modules, consacrés à la planification stratégique, à la mise en œuvre des mesures, au financement, aux modèles de données, aux exigences requises des données en vertu de la loi sur la géoinformation, ainsi qu'un module dépassant le cadre thématique de la renaturation, pour la coordination des projets de gestion des eaux (cf. tableau ci-dessous).

**Fig. 1 > Vue d'ensemble de l'aide à l'exécution «Renaturation des eaux»**

Les modules existants sont disponibles sur le site Internet:  
[www.bafu.admin.ch/execution-renaturation](http://www.bafu.admin.ch/execution-renaturation).

Revitalisation cours d'eau	Revitalisation étendues d'eau	Zones alluviales	Migration piscicole	Eclusées	Régime de charriage
Planification stratégique:					
Mise en œuvre des mesures:					
Financement:					
Modèles de données et données:					
Coordination des projets de gestion des eaux:					

**Module d'aide à l'exécution Assainissement du régime de charriage**

Le module Assainissement du régime de charriage – Planification stratégique décrit la marche à suivre par les cantons pour passer en revue, dans le cadre de leur planification stratégique, les atteintes existantes dues à des altérations du régime de charriage (art. 43a LEaux) afin de déterminer leurs obligations en matière d'assainissement ainsi que les mesures à prendre et le calendrier de leur réalisation.

# 1 > Situation de départ

---

## 1.1 Importance du régime de charriage

Le régime de charriage constitue une caractéristique déterminante d'un cours d'eau. Les matériaux charriés depuis l'amont lors des crues remplacent ceux qui ont été emportés par l'érosion et assurent à intervalles réguliers le renouvellement des bancs de gravier et du substrat.

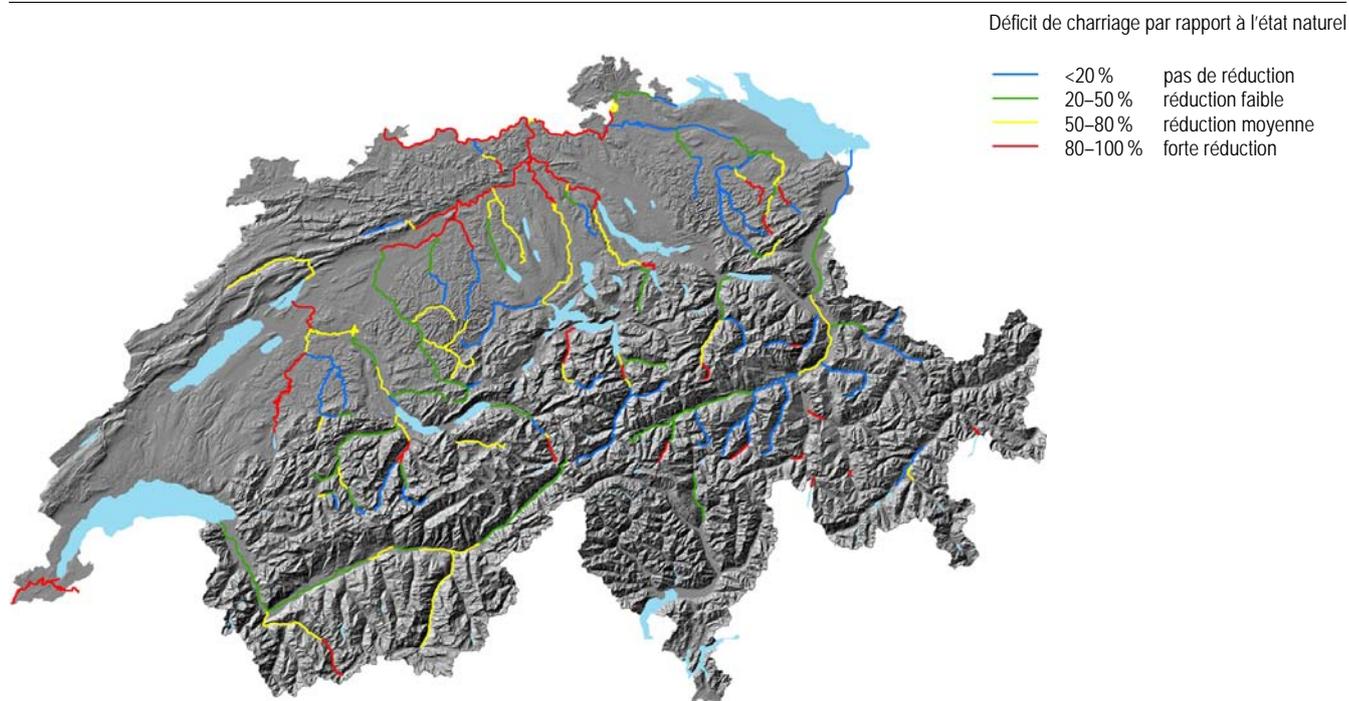
Importance du régime  
de charriage

Faute d'un apport suffisant en solides charriés d'amont en aval, le lit du cours d'eau perd ses amas de gravier meuble et tend à se colmater. Il peut même se creuser davantage en l'absence de mesures appropriées, ce qui en altère de plus en plus les fonctions écosystémiques. Le phénomène du charriage a par exemple pour effet de réguler le fond du cours d'eau, donc le régime des eaux souterraines et, le cas échéant, le bon fonctionnement des zones alluviales. Un enfoncement du lit peut irrémédiablement couper celles-ci des apports dont elles ont besoin.

Les cours d'eau suisses présentent des situations très contrastées en ce qui concerne leur régime de charriage. Pour certains le charriage est devenu pratiquement inexistant en raison d'interventions anthropiques, d'où un régime très dégradé. D'autres cours d'eau ont un charriage supérieur à la normale, au point que seule l'extraction de gravier empêche un exhaussement indésirable de leur lit.

La figure 2 visualise le degré de gravité des atteintes au régime de charriage des cours d'eau suisses examinés. Il s'avère ainsi que la majorité des grandes rivières dont le bilan de charriage est fortement perturbé se trouvent sur le Plateau; on observe cependant certains tronçons tout aussi altérés dans les Alpes et les Préalpes.

Fig. 2 &gt; Altération du régime de charriage dans les cours d'eau suisses examinés



[7], mise à jour OFEV 2012

## 1.2 Objet, destinataires et structure

L'assainissement du régime de charriage a pour but de rétablir celui-ci, de manière à éviter des atteintes durables aux structures morphologiques ou à la dynamique morphologique des eaux<sup>1</sup>. Les structures et la dynamique à retrouver correspondent à l'état proche de l'état naturel du cours d'eau. Des mesures appropriées doivent également être prévues et réalisées lorsqu'un régime de charriage dégradé par la présence d'installations<sup>2</sup> porte gravement atteinte au régime des eaux souterraines ou à la protection contre les crues.

Objectif de l'assainissement  
du régime de charriage

Cela répond également à l'obligation faite par l'ordonnance sur les zones alluviales de rétablir, pour autant que ce soit judicieux et faisable, la dynamique naturelle du régime des eaux et du charriage (art. 4 et 8 de l'ordonnance sur les zones alluviales RS 451.31).

La planification stratégique des cantons détermine

Objet du module

- > les tronçons de cours d'eau où une modification du régime de charriage porte gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes, à leurs biotopes, au régime des eaux souterraines ou à la protection contre les crues,
- > quelles installations provoquent ces atteintes,
- > quel est le potentiel écologique des tronçons de cours d'eau en question,
- > quelles seront les mesures d'assainissement à prendre.

<sup>1</sup> Cette règle s'applique aux cours d'eau dont le tracé est resté proche de l'état naturel (ni rectification du tracé ni rétrécissement du lit). Sur un cours d'eau corrigé, il faut que le régime de charriage assure des structures morphologiques qui correspondent à la situation avant correction.

<sup>2</sup> Le terme installations désigne ici toute intervention anthropique dans le réseau hydrographique ayant des incidences majeures sur son régime de charriage, qu'il s'agisse d'aménagements ou d'une forme ou d'une autre d'exploitation. En particulier les centrales hydroélectriques, les dépotoirs à alluvions, les aménagements de cours d'eau et les sites d'extraction de gravier peuvent exercer une influence déterminante sur le régime de charriage. Le cas échéant, il convient de tenir compte également des corrections de torrents et des aménagements des pentes.

Les cantons remettent à l'OFEV un premier rapport intermédiaire le 31 décembre 2013 au plus tard, puis leur planification le 31 décembre 2014 au plus tard.

Le présent module s'adresse aux autorités cantonales chargées de la planification de l'assainissement de la force hydraulique et des revitalisations, ainsi qu'aux bureaux d'études et d'ingénieurs spécialisés en la matière.

Destinataires

- > *Chapitre 2* présente la marche à suivre de la planification stratégique (phase 1) sous la forme d'un diagramme de flux, et en esquisse brièvement les étapes; il explicite en outre les modalités de l'étude détaillée (phase 2)
- > *Chapitre 3* expose en détail la raison d'être et la méthode de chaque étape du processus
- > *Annexe A1* présente des exemples de détermination des volumes ou débits de charriage nécessaires
- > *Annexe A2* décrit les exigences minimales à respecter par la planification cantonale
- > *Annexe A3* bibliographie
- > *Annexe A4* donne les définitions d'une série de termes et d'abréviations

Structure du module

### 1.3 Bases légales

L'art. 43a LEaux interdit que des installations modifient le régime de charriage d'un cours d'eau au point de porter gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes, au régime des eaux souterraines et à la protection contre les crues. Il incombe aux détenteurs de ces installations de prendre les mesures nécessaires à cet effet. Des atteintes de ce type se manifestent lorsque des installations modifient durablement les structures morphologiques ou la dynamique morphologique des eaux (art. 42a OEaux). Les installations au sens de l'art. 42a OEaux sont en particulier les centrales hydroélectriques, les sites d'extraction de gravier, les dépotoirs à alluvions et les aménagements [de cours d'eau].

Prévention et suppression d'atteintes graves

Les détenteurs de ces installations sont tenus, en vertu de l'art. 83a LEaux, de prendre des mesures d'assainissement appropriées dans un délai de 20 ans à compter de l'entrée en vigueur de cette loi (donc avant le 31.12.2030). Les cantons planifient les mesures visées à l'art. 83b LEaux et fixent les délais de leur mise en œuvre. Ils remettent leur planification à la Confédération le 31 décembre 2014 au plus tard (rapport intermédiaire au plus tard le 31.12.2013) et lui présentent tous les quatre ans un rapport sur les mesures mises en œuvre. Les mesures à prendre dans le bassin versant du cours d'eau concerné doivent être coordonnées entre elles et avec celles relevant d'autres domaines (art. 43a, al. 3, LEaux, art. 46, al. 1, OEaux). Les critères utilisés pour définir ces mesures sont la gravité des atteintes portées au cours d'eau, le potentiel écologique de celui-ci, la proportionnalité des coûts d'assainissement, la protection contre les crues et les objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables (art. 43a, al. 2, LEaux). Le potentiel écologique d'un cours d'eau subissant des atteintes nuisibles se détermine en fonction de l'importance écologique que devrait revêtir ce cours d'eau (état de référence) lorsque les atteintes d'origine anthropique auront été réparées dans une mesure impliquant des coûts proportionnés (art. 33a OEaux)<sup>3</sup>.

Délais prescrits pour la planification stratégique et la planification des mesures

<sup>3</sup> Selon cette définition, le potentiel écologique désigne un état et non pas la différence entre deux états.

L'art. 42b et l'annexe 4a, ch. 1 et 3, OEaux donnent des précisions concernant la manière de planifier les mesures d'assainissement. Le rapport intermédiaire des cantons doit notamment donner la liste des tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves avec les installations qui en sont la cause, ainsi qu'une liste des installations qui nécessiteront sans doute des mesures d'assainissement. Ce rapport contiendra également une première évaluation de la faisabilité des mesures en question. La planification finalement adoptée indiquera quelles installations requièrent effectivement des mesures. Conformément à l'art. 42c, al. 1, OEaux, les cantons élaboreront pour les installations, à la suite de la planification stratégique, une étude sur le type et l'ampleur des mesures requises. Dans le cas de centrales hydroélectriques, on veillera à ce que les matériaux charriés passent dans la mesure du possible à travers l'installation (art. 42c, al. 2, OEaux).

Contenu de la planification

Des circonstances particulières dans le bassin versant considéré peuvent conduire à reporter les décisions à prendre concernant la nécessité d'assainir certaines installations. Le canton indiquera alors un délai au terme duquel il déterminera si des mesures s'imposent et dans quel délai elles seront réalisées (annexe 4a, ch. 3, let. c, OEaux). Il y a des circonstances particulières au sens de l'annexe 4a, ch. 1, OEaux lorsque plusieurs installations provoquent des atteintes graves dans le même bassin versant et que les parts respectives de ces atteintes ne peuvent pas encore être imputées aux différentes installations.

Circonstances particulières

Pour les planifications qui lui sont soumises dans les délais, la Confédération alloue aux cantons des indemnités dont le montant atteint 35 % des coûts imputables (art. 62c LEaux).

Indemnités pour la planification stratégique

L'art. 42c, al. 2 à 4, OEaux donne des précisions sur la manière de mettre en œuvre les mesures d'assainissement. Il prescrit notamment que l'autorité cantonale consulte l'OFEV avant de prendre une décision concernant des projets d'assainissement touchant des centrales hydroélectriques.

Mise en œuvre des mesures

Dans le cas des aménagements hydroélectriques transfrontaliers, la compétence est réglée de manière spéciale. Pour l'octroi de droits d'eau sur des tronçons de cours d'eau en contact avec les frontières fédérales, c'est la Confédération qui est compétente. La Confédération met également en œuvre la législation fédérale sur la protection des eaux et sur la pêche en lien avec les aménagements hydroélectriques transfrontaliers concédés et ordonne leur assainissement. La planification stratégique dans le domaine de l'assainissement du régime de charriage est effectuée par le canton sur le territoire duquel se trouvent les centrales hydroélectriques, sous contrôle de la Confédération. A ce sujet, les points suivants doivent être pris en considération:

Aménagements hydroélectriques transfrontaliers

- > Lorsque des aménagements hydroélectriques transfrontaliers sont concernés, le cahier des charges pour l'élaboration de la planification stratégique est à remettre à l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) pour prise de position.
- > Le rapport intermédiaire et la planification définitive doivent être remis à l'OFEV. L'OFEN donne son avis dans le cadre de la prise de position de l'OFEV sur ces rapports.
- > Les cantons doivent faire appel à l'OFEN dans le cas où la planification doit être coordonnée avec le pays voisin.

## 2 > Méthode

### 2.1 Vue d'ensemble des phases d'assainissement

Le déroulement de la planification et de la mise en œuvre des mesures d'assainissement du régime de charriage jusqu'à 2030 au plus tard s'articule selon cinq phases (Fig. 3). Lors de chacune de ces phases, une coordination avec les autres modules de l'aide à l'exécution «Renaturation des eaux» doit être recherchée. Des précisions à cet égard figurent dans le module «Coordination des activités de gestion des eaux» (OFEV, en préparation).

La **phase 1** correspond à la planification stratégique des cantons: il s'agit de déterminer les tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves en raison d'un régime de charriage dégradé, de désigner les installations qui provoquent ces atteintes et requièrent ainsi des mesures d'assainissement, puis de donner des précisions sur la faisabilité de ces mesures et sur les délais de leur réalisation ainsi que sur leur coordination au niveau du bassin versant. La phase 1 répond aux exigences de l'art. 42b OEaux en matière de planification stratégique des cantons. Phase 1

La **phase 2** comprend l'étude détaillée des cantons visant à quantifier le régime de charriage et à déterminer l'effet des mesures d'assainissement sur la protection contre les crues et sur le régime des eaux souterraines, puis à fixer les mesures à prendre (art. 42c, al. 1 et 2, OEaux)<sup>4</sup>. Phase 2

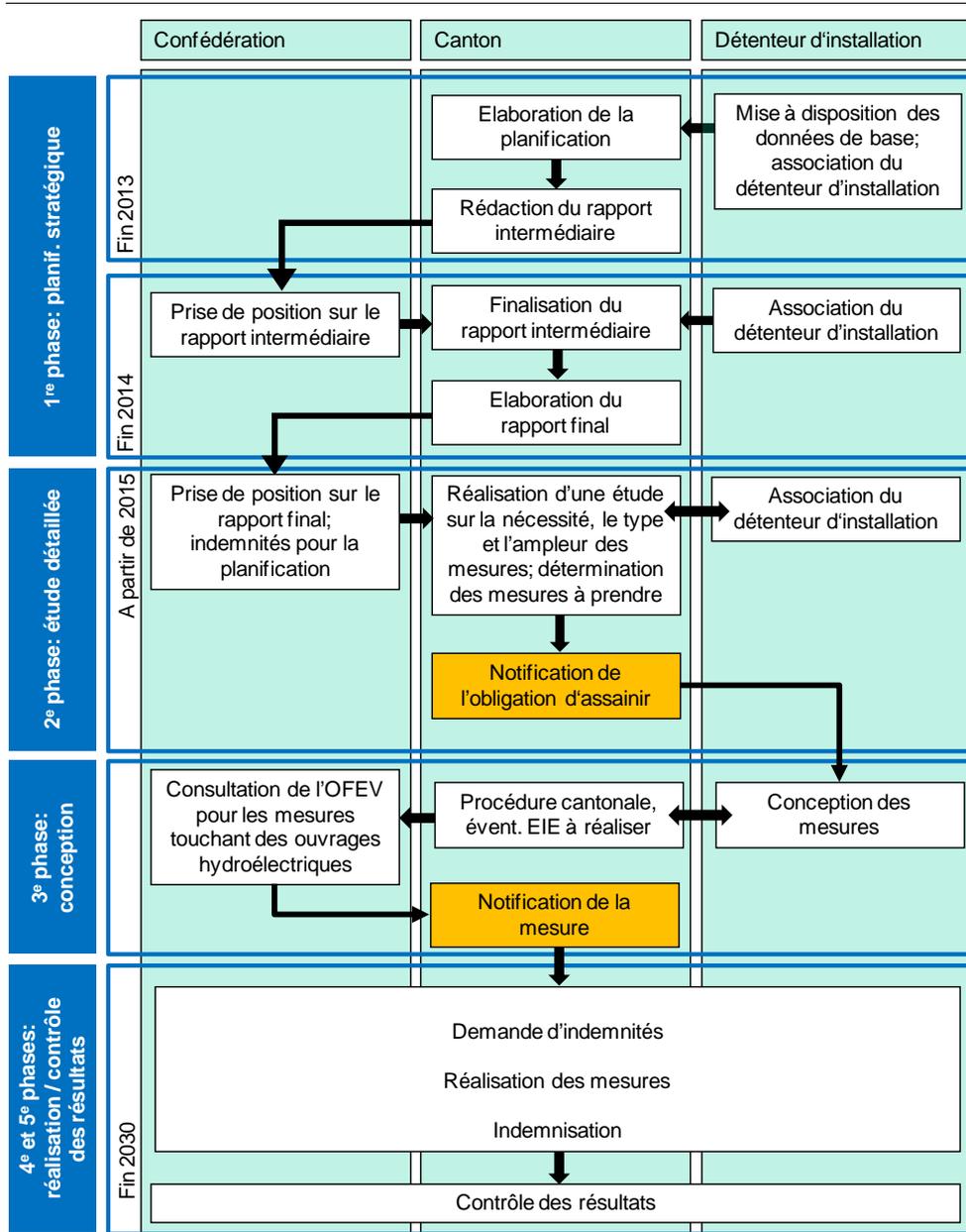
La **phase 3** correspond à la notification et à la conception des mesures à prendre par les détenteurs d'installations, ainsi qu'à l'octroi des autorisations nécessaires. Lorsque des centrales hydroélectriques sont concernées, le canton responsable définit les mesures à réaliser après avoir consulté l'OFEV (art. 42c, al. 3, OEaux). Phase 3

La **phase 4** comprend la demande d'indemnisation, la réalisation des mesures à l'horizon 2030, ainsi que l'indemnisation des mesures prévues. Phase 4

La **phase 5** est consacrée au contrôle des résultats (art. 42c, al. 4, OEaux). Le but de ce contrôle est de garantir le respect des exigences légales et d'éviter des effets indésirables. Il permettra d'adapter les mesures prises au départ. Phase 5

<sup>4</sup> Dans certains cas, il est possible de sauter la phase 2 lorsque le type et l'ampleur des mesures à prendre ont déjà été fixés définitivement dans la phase 1 et que ces mesures ont été coordonnées avec d'autres domaines de gestion des eaux (notamment leurs répercussions sur la protection contre les crues et le régime des eaux souterraines). Exemple: un réseau hydrographique dont le débit de charriage est minime à l'état naturel, où des effets indésirables sur la protection contre les crues sont exclus et pour lequel des interventions sont nécessaires uniquement sur un petit nombre d'installations.

**Fig. 3 > Déroulement de la planification et de la mise en œuvre des mesures d'assainissement du régime de charriage**



## 2.2 Vue d'ensemble des niveaux d'investigation de la phase 1

La phase 1 comprend quatre niveaux d'investigation (appréciation sommaire, évaluation approfondie, préparation des mesures et finalisation) lesquels se subdivisent en plusieurs étapes visualisées dans les figures 4 et 5.

Ces niveaux d'investigation successifs sont brièvement passés en revue ci-après.

L'**appréciation sommaire** consiste en une première évaluation simple visant à déterminer si les installations présentes sur le cours d'eau portent gravement atteinte au régime de charriage au sens de l'art. 43a LEaux. Il convient de prendre en considération les études existantes, pour autant qu'elles soient encore actuelles. Si une évaluation fiable peut être réalisée, on peut passer directement à la planification des mesures en présence d'une atteinte grave ou, en l'absence d'altération manifeste du régime de charriage, on en fait mention dans le rapport intermédiaire.

Appréciation sommaire  
et décision 1

Pour évaluer les répercussions d'une altération d'origine anthropique du régime de charriage sur le régime des eaux souterraines et sur la protection contre les crues, il convient de se baser, au cours de la phase 1, sur des études existantes ou sur l'expérience des autorités cantonales.

Dans le cas de réseaux hydrographiques d'une certaine ampleur comportant un grand nombre d'installations, l'appréciation sommaire ne permet pas toujours de déterminer à coup sûr pour toutes les installations présentes, si celles-ci portent gravement atteinte ou non au régime de charriage. En présence de telles **circonstances particulières**, il est possible de renoncer à l'évaluation approfondie à ce stade de la planification stratégique. Les investigations nécessaires seront toutefois réalisées dans le cadre de l'étude détaillée du régime de charriage (annexe 4a, ch. 3, al. 2, let. c, OEaux; annexe 4a, ch. 1, OEaux). Dans ce cas, le canton indique déjà dans son document de planification stratégique dans quel délai il statuera sur la nécessité de mesures d'assainissement et sur le calendrier de leur réalisation.

Décision 2

On admettra que des circonstances particulières existent par exemple dans les situations suivantes:

### **Exemple 1**

*Du gravier est extrait de plusieurs dépotoirs à alluvions; on ne connaît pas le volume de matériaux prélevés ni celui restant dans le cours d'eau. Il n'est pas possible de déterminer si le volume restant est suffisant ni quelles installations nécessitent des mesures.*

### **Exemple 2**

*Un cours d'eau compte plusieurs centrales hydroélectriques, avec des retenues plus ou moins importantes. Certains tronçons présentent des déficits de charriage; ces déficits ne peuvent cependant être imputés clairement à une ou plusieurs de ces installations.*

Fig. 4 > Phase 1, planification stratégique. Schéma du déroulement, partie 1

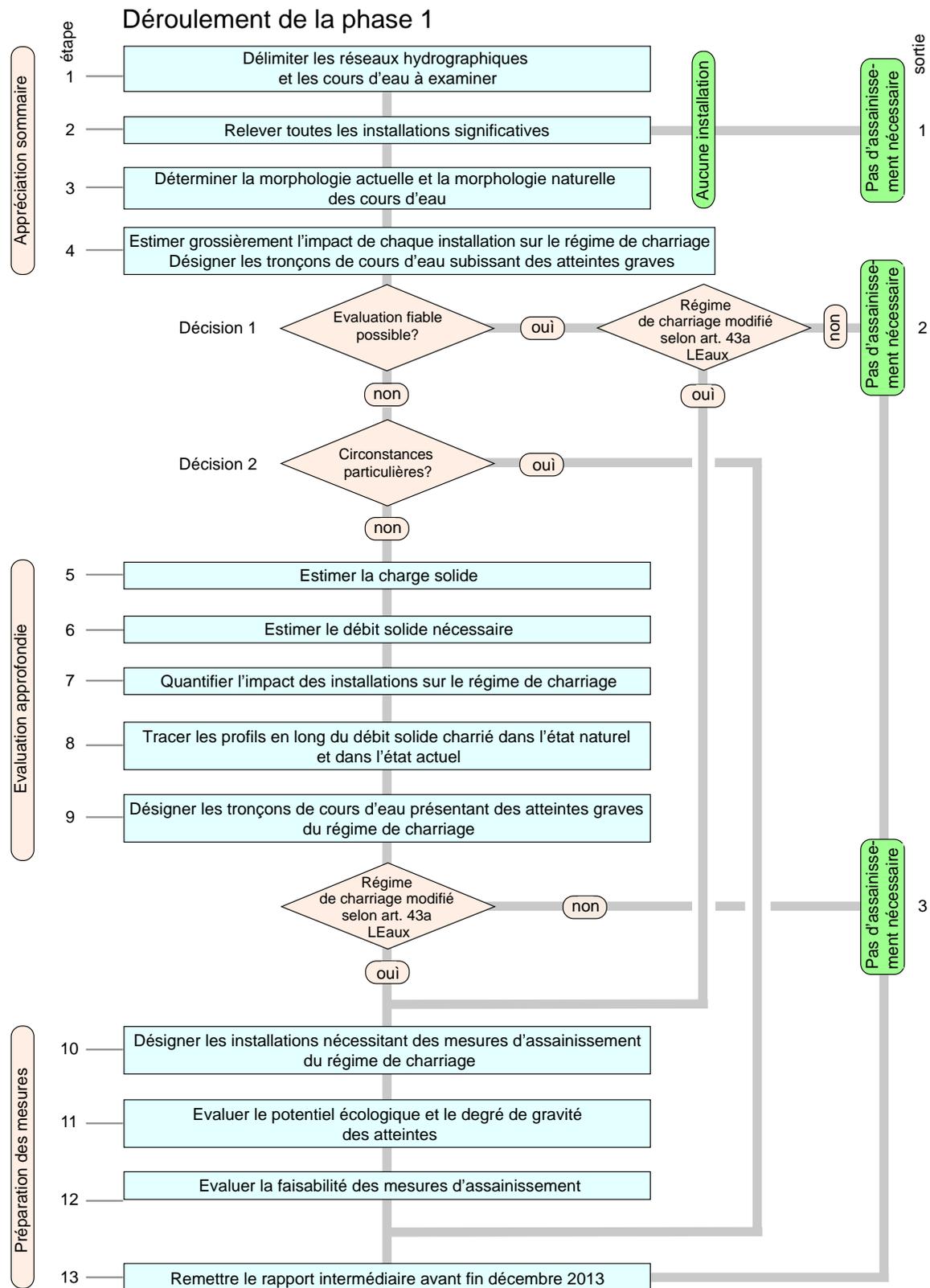
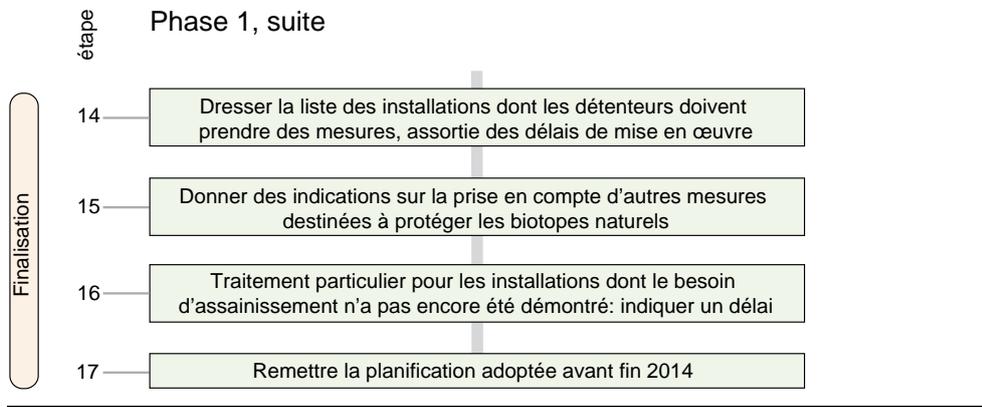


Fig. 5 > Phase 1, planification stratégique. Schéma du déroulement, partie 2



On procède à une évaluation approfondie lorsque l'appréciation sommaire n'aboutit pas à des résultats concluants et en l'absence de circonstances particulières au sens de l'annexe 4a, al. 1, OEaux. L'évaluation approfondie correspond aux premières étapes d'une étude du régime de charriage. On y quantifie la charge solide et l'influence exercée par les installations sur le débit de charriage, et on compare ces valeurs avec le débit de charriage requis du point de vue morphologique. Cette méthode permet en général de déterminer de manière fiable pour chaque installation si celle-ci porte gravement atteinte au régime de charriage du cours d'eau. En cas de circonstances particulières, l'évaluation approfondie est réalisée lors de l'étude détaillée (phase 2).

Evaluation approfondie

La **planification des mesures** consiste à évaluer la faisabilité et la proportionnalité des mesures à prendre pour les installations à assainir, et à indiquer la manière dont ces mesures seront coordonnées dans le bassin versant.

Planification des mesures

La **finalisation** a pour objet d'acquiescer, compte tenu du feed-back de l'OFEV, les données complémentaires requises en vertu de l'annexe 4a, ch. 3, al. 2, OEaux et d'achever la planification adoptée avant la fin de 2014.

Finalisation

Le calendrier de la planification stratégique des mesures d'assainissement est serré et place les autorités devant un défi important. Fixé par la loi, il n'est pas modifiable. Cependant, le processus d'appréciation sommaire (chap. 2.2) et la possibilité de disposer de davantage de temps pour des investigations détaillées en cas de circonstances particulières, permettent de respecter les délais et les prescriptions de la législation sur la protection des eaux relatives au contenu de la planification.

Délais de la  
planification stratégique

Les étapes successives de cette phase 1 (cf. fig. 4 et 5) sont décrites ci-dessous.

## 2.3 Vue d'ensemble des étapes de la phase 1

Les différentes étapes de la phase 1 sont brièvement caractérisées ci-dessous dans le but de donner une vue d'ensemble. Le chapitre 3 présente une description détaillée de ces étapes.

### 2.3.1 Appréciation sommaire: étapes 1 à 4

<b>Etape 1</b> Délimiter les bassins versants et les cours d'eau à évaluer Cf. chap. 3.1	Diviser le territoire cantonal en bassins versants clairement délimités en ce qui concerne les régimes de charriage. Il est possible de subdiviser les bassins versants d'une certaine étendue, toujours avec des interfaces clairement définies. Déterminer les tronçons de cours d'eau à évaluer (cours d'eau cibles). Le cas échéant, traiter simultanément l'étape 2.
<b>Etape 2</b> Relever toutes les installations significatives Cf. chap. 3.2	Pour toutes les installations à examiner, relever les parties de l'ouvrage en lien avec le régime de charriage, ainsi que leur fonctionnement, la pratique d'exploitation, les volumes extraits, la composition et l'utilisation des matériaux dans la mesure où ces données sont nécessaires.
<b>Issue 1</b>	Si le réseau hydrographique considéré ne comporte aucune installation, son régime de charriage ne subit pas d'atteinte et ne nécessite donc pas d'assainissement.
<b>Etape 3</b> Morphologie actuelle et naturelle des cours d'eau Cf. chap. 3.3	Examiner la morphologie actuelle et la morphologie prévisible en cas de régime de charriage non altéré sur des tronçons de cours d'eau possédant une morphologie homogène, ainsi qu'en amont et en aval de toutes les installations à examiner.
<b>Etape 4</b> Estimer l'impact des installations sur le bilan de charriage, désigner les tronçons de cours d'eau altérés Cf. chap. 3.4	Faire une évaluation qualitative des atteintes graves par comparaison entre l'état morphologique actuel et l'état morphologique d'un tronçon sans aucun aménagement, en se basant sur une analyse des étapes 2 et 3; il s'agit d'évaluer l'effet combiné de toutes les installations aussi bien que l'influence exercée par chacune d'entre elles. Dresser la liste des installations qui portent sérieusement atteinte au régime de charriage et désigner les tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves. Indiquer les installations pour lesquelles une appréciation fiable n'est pas possible à ce stade des investigations. Interroger les autorités compétentes concernant les effets d'un régime de charriage modifié sur la protection contre les crues et sur les eaux souterraines.
<b>Décision 1</b>	Dans le cas où il est possible, pour toutes les installations d'un tronçon subissant des atteintes, d'identifier clairement l'effet qu'elles produisent sur son régime de charriage, on peut: <ul style="list-style-type: none"> <li>• soit passer directement à la préparation des mesures à prendre (étape 10),</li> <li>• soit emprunter l'issue 2 (pas d'assainissement nécessaire) en l'absence de modification substantielle du régime de charriage.</li> </ul>
<b>Issue 2</b>	
<b>Décision 2</b>	En cas de circonstances particulières, l'évaluation des installations et la désignation des tronçons subissant des atteintes graves se feront lors de l'étude détaillée; ce qui donnera lieu à une remarque dans le rapport intermédiaire (étape 13). Sinon, ou s'il existe une étude sur le régime de charriage, on procède à l'évaluation approfondie.

### 2.3.2 Evaluation approfondie: étapes 5 à 9

<b>Etape 5</b> Estimer la charge solide Cf. chap. 3.5	Recourir à différentes méthodes pour estimer et vérifier la charge solide dans l'état actuel (avec les installations) et par rapport à l'état naturel dans chacun des sous-bassins versants.
<b>Etape 6</b> Estimer le débit de charriage nécessaire Cf. chap. 3.6	Estimer, sur des tronçons morphologiquement homogènes des cours d'eau cibles, le débit de charriage que comporteraient les structures morphologiques naturelles en l'absence de tout aménagement. La valeur indicative déterminée au chapitre 3.6 donne l'ordre de grandeur du débit solide charrié en l'absence d'atteinte grave au régime de charriage. Elle sert de base pour évaluer l'influence des installations sur le régime de charriage (étape 7) et déterminer les mesures d'assainissement à prendre (étape 12).

<b>Etape 7</b> Quantifier l'effet des installations sur le bilan de charriage Cf. chap. 3.7	Evaluer dans quelle mesure les installations présentes altèrent le régime de charriage du réseau hydrographique (annexe 4a, ch. 3, al. 1, let. c, OEaux). Chiffrer l'influence exercée par chaque installation à examiner et l'effet combiné de toutes les installations.
<b>Etape 8</b> Tracer les profils en long du débit de charriage dans un état non altéré et dans l'état actuel Cf. chap. 3.8	Etablir les profils en long de la charge solide transportée pour un état non altéré et pour l'état actuel, avec toutes les installations existantes. Se baser sur les résultats des étapes 5 et 7, sans tenir compte des phénomènes d'érosion du lit et d'atterrissement.
<b>Etape 9</b> Désigner les tronçons comportant des atteintes graves à leur régime de charriage	Désigner les tronçons subissant des atteintes graves à leur régime de charriage, par comparaison entre débit de charriage actuel (profil en long selon étape 8) et débit nécessaire tel qu'estimé à l'étape 6. Les résultats sont comparés au constat de l'étape 3 et ajustés en conséquence.
<b>Issue 3</b>	Si l'étape 9 permet d'établir que le régime de charriage du réseau hydrographique examiné n'est pas gravement altéré, aucune mesure d'assainissement n'est requise.

### 2.3.3 Planification des mesures: étapes 10 à 13

<b>Etape 10</b> Désigner les installations nécessitant des mesures d'assainissement du régime de charriage	Désigner les installations à assainir en se basant sur l'appréciation sommaire ou sur l'évaluation approfondie.
<b>Etape 11</b> Evaluer le potentiel écologique et le degré de gravité des atteintes Cf. chap. 3.9	Evaluer l'état théorique du cours d'eau après valorisation par des moyens proportionnés (potentiel écologique) et indiquer son potentiel de valorisation (différence entre potentiel écologique et état actuel) Indiquer le <i>degré de gravité des atteintes</i> (différence entre état actuel et état naturel). Degré de gravité des atteintes et potentiel de valorisation à évaluer ici exclusivement par rapport au facteur écologique régime de charriage.
<b>Etape 12</b> Evaluer la faisabilité des mesures envisagées Cf. chap. 3.10	Evaluer la faisabilité des mesures d'assainissement envisagées selon les critères de l'art. 43a LEaux. Désigner les tronçons de cours d'eau dont il ne convient pas d'assainir le régime de charriage, ou dont le débit de charriage nécessaire selon l'étape 6 devra probablement être abaissé en raison de <b>coûts disproportionnés</b> . Coordonner les mesures à prendre à l'échelle du bassin versant.
<b>Etape 13</b> Rédiger le rapport Intermédiaire	Dresser le rapport intermédiaire sur la base des étapes 1 à 12 (appréciation sommaire: seulement étapes 1 à 4 et 10 à 12). Remettre le rapport intermédiaire à l'OFEV avant le 31.12.2013.

### 2.3.4 Planification adoptée: étapes 14 à 17

<b>Etape 14</b> Dresser la liste des installations dont les détenteurs doivent prendre des mesures; délais de mise en œuvre	Dresser la liste définitive des installations dont les détenteurs devront prendre des mesures d'assainissement du régime de charriage, au besoin après remaniement du rapport intermédiaire sur la base des avis émis par l'OFEV. Fixer des délais pour la planification et la réalisation des mesures prévues. Le rapport coût/utilité des mesures à prendre sera d'autant plus favorable que le potentiel écologique et le potentiel de valorisation sont élevés; ce qui conduira à accorder une priorité d'autant plus haute à ces mesures (cf. potentiel écologique et potentiel de valorisation au chap. 3.9).
<b>Etape 15</b> Donner des indications sur la prise en compte d'autres mesures Cf. chap. 3.11	Indiquer quelles autres mesures de protection des biotopes naturels et de protection contre les crues doivent être prises pour que l'assainissement du régime de charriage déploie tout son effet, et quelles synergies il en résulte avec les mesures d'autres planifications. L'étude détaillée des effets produits par les mesures prévues sur la protection contre les crues et sur le régime des eaux souterraines, ainsi que la planification des mesures de protection éventuellement nécessaires, ont lieu lors de la phase 2.

<b>Etape 16</b> Dérégulation pour les installations dont l'éventuel besoin d'assainissement n'a pas encore été déterminé: indiquer un délai	Dans le cas où la nécessité de mesures d'assainissement ne peut encore être déterminée en raison de circonstances particulières, indiquer un délai au terme duquel le canton déterminera si de telles mesures s'imposent et, le cas échéant, lesquelles et dans quel délai elles devront être planifiées et réalisées.
<b>Etape 17</b> Rédiger la planification adoptée	Dresser le rapport final sur la base des étapes 14 à 16. Remettre le rapport final à l'OFEV avant le 31.12.2014.

## 2.4 Etude détaillée des cantons (phase 2)

L'étude détaillée porte sur les questions auxquelles il n'a pas encore été possible d'apporter des réponses concluantes dans le cadre de la planification stratégique. Les cantons y définissent en particulier le type et l'ampleur des mesures d'assainissement requises. Il s'agit notamment de prendre en compte l'effet de ces mesures en termes de durée. Dans le cadre de cette étude, on examinera de façon encore plus approfondie que lors de la planification stratégique l'impact d'une modification anthropique du régime de charriage sur la protection contre les crues et sur le régime des eaux souterraines, ainsi que les effets attendus des mesures d'assainissement prévues.

Si seule l'appréciation sommaire a été faite lors de la phase 1, il convient de reprendre les étapes 5 à 9 (évaluation approfondie). Une étude du bilan de charriage sera alors réalisée en cas de nécessité.

L'étude du bilan de charriage comprend l'élaboration d'un modèle morphologique basé sur les données suivantes: relevés du lit, analyses granulométriques, hydrogrammes, installations présentes et autres paramètres. Ce modèle doit autant que possible être calibré et assorti d'une analyse des scénarios à prendre en considération; il sert ainsi à calculer

Etude du bilan de charriage

1. l'état actuel,
2. l'état proche de l'état naturel (en l'absence d'installations significatives),
3. l'état assaini (une fois les mesures réalisées).

Cette étude du bilan de charriage recourt à des calculs modélisés, lesquels permettent de:

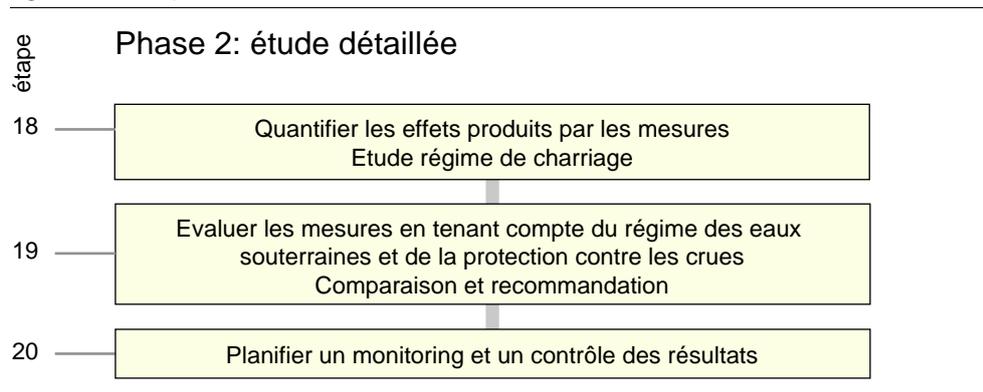
- > déterminer les changements subis par le lit dans différentes situations, en fonction des apports solides et compte tenu des installations présentes,
- > vérifier la valeur obtenue lors de la phase 1 quant au volume solide mobilisable, et ajuster au besoin cette valeur,
- > quantifier l'impact des installations sur le régime de charriage,
- > déterminer les zones érodées et les zones d'atterrissement,
- > déterminer des mesures et en optimiser l'effet spatiotemporel sur le régime de charriage, et
- > examiner l'effet de ces mesures sur la protection contre les crues et sur le régime des eaux souterraines, paramètres qu'il s'agit de sauvegarder le cas échéant par des mesures d'accompagnement à définir.

Parallèlement à l'étude du régime de charriage, les étapes correspondantes de la phase 1 sont revues et complétées.

Il est possible de renoncer à une étude sur le régime de charriage si les mesures adoptées pour toutes les installations à assainir garantissent un débit solide suffisant et l'absence d'effets indésirables sur la protection contre les crues et sur d'autres formes d'utilisation.

Le déroulement de la phase 2 est visualisé par la figure 6.

**Fig. 6 > Phase 2, étude détaillée**



**Tab. 1 > Schéma du déroulement de l'étude détaillée (phase 2)**

<p><b>Étape 18</b> Faire l'étude détaillée du bilan de charriage</p>	<p>Examiner au besoin le régime de charriage du réseau hydrographique pour être à même de déterminer le type et l'ampleur des mesures d'assainissement nécessaires. Réaliser à cet effet l'évaluation approfondie de la phase 1, ou bien une étude du bilan de charriage. Le traitement de cette étape dépend du réseau hydrographique et des installations nécessitant des mesures d'assainissement.</p>
<p><b>Étape 19</b> Evaluer les mesures compte tenu du régime des eaux souterraines et de la protection contre les crues; comparaison et détermination</p>	<p>Evaluer diverses variantes de mesures d'assainissement du régime de charriage, les comparer et déterminer celle(s) à adopter. Tenir compte également de l'évolution prévisible jusqu'au moment où un nouvel équilibre dynamique sera atteint. Reprendre les mesures éventuellement proposées lors de la phase 1; les adapter et les optimiser le cas échéant.</p> <p>Indiquer les répercussions des mesures adoptées sur le régime des eaux souterraines et la protection contre les crues. Faire au besoin des calculs modélisés des paramètres hydrauliques et mécaniques (en complément des scénarios examinés dans l'étude du bilan de charriage). Si les mesures prévues portent gravement atteinte à la protection contre les crues ou au régime des eaux souterraines, déterminer s'il est possible de neutraliser un tel impact par des moyens impliquant une dépense proportionnée. Dans le cas contraire, prévoir une adaptation en conséquence du débit solide charrié et des mesures que cela nécessite.</p> <p>Indiquer les effets produits par ces mesures sur d'autres formes d'utilisation et en tenir compte (p. ex. surfaces agricoles, embarcadères, stabilité des berges).</p>
<p><b>Étape 20</b> Planifier un monitoring et un contrôle des résultats</p>	<p>Elaborer un programme de surveillance (monitoring) à l'aide d'indicateurs morphologiques et biologiques, afin de contrôler les résultats obtenus par les mesures réalisées et d'optimiser celles-ci au besoin. Ce programme implique un relevé de l'état initial, avant réalisation des mesures prévues.</p> <p>Le contrôle des résultats consiste à examiner les changements qui se manifestent dans :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les structures et la dynamique morphologiques (compte tenu des zones alluviales),</li> <li>• la reproduction des poissons frayant sur gravier et d'autres espèces appartenant à la faune aquatique,</li> <li>• les transformations du lit ainsi que les répercussions sur la protection contre les crues et sur le régime des eaux souterraines.</li> </ul>

## 3 > Méthode de planification de la phase 1

### 3.1 Délimitation des bassins versants et des cours d'eau à évaluer

#### 3.1.1 Délimitation des bassins versants

La première étape consiste à délimiter les bassins versants et les réseaux hydrographiques que ceux-ci comportent. Il s'agit d'examiner des bassins versants indépendants quant à leur régime de charriage, en délimitant de préférence des entités d'une certaine étendue.

*Exemples: Rhin antérieur jusqu'à Reichenau, Rhône jusqu'à Viège, Reuss jusqu'à l'Urnersee et depuis le lac des Quatre-Cantons, Engelberger Aa, Sihl et Limmat jusqu'à l'Aar*

Si l'on subdivise un réseau hydrographique, son étude devra commencer par la partie amont. Il faut ensuite pouvoir chiffrer l'apport solide à la limite avec la partie suivante en aval. On veillera en outre à ce que les mesures prises pour la partie amont du bassin versant aient également l'effet voulu sur la partie aval.

*Exemples: Ticino jusqu'à Biasca, Brenno, Moesa, Ticino Biasca – lac Majeur.*

Les lacs constituent des interruptions naturelles du régime de charriage dans les réseaux hydrographiques; leurs effluents ne charrient donc pas de matières solides.

Les étendues pratiquement sans déclivité, telles les marais et les plaines inondées, ne charrient souvent pas de sédiments.

Il faut prendre en considération le régime de charriage des cours d'eau de pays voisins qui débouchent dans des eaux limitrophes ou situées en Suisse.

#### 3.1.2 Délimitation des cours d'eau à évaluer

Au début de la planification, il s'agit de déterminer les tronçons de cours d'eau à évaluer (= cours d'eau cibles), à savoir ceux qui subissent l'influence d'installations agissant sur le phénomène du charriage et qui revêtent une grande importance écologique à l'état naturel. Pour évaluer l'importance écologique, on peut s'appuyer sur des critères morphologiques, climatiques, topographiques et biologiques, sur la granulométrie<sup>5</sup> ainsi que sur les zones inventoriées (p. ex. zones alluviales).

Cours d'eau cibles

<sup>5</sup> Ne sont pris en considération que les lits de cours d'eau charriant à l'état naturel du gravier ou des fractions granulométriques supérieures.

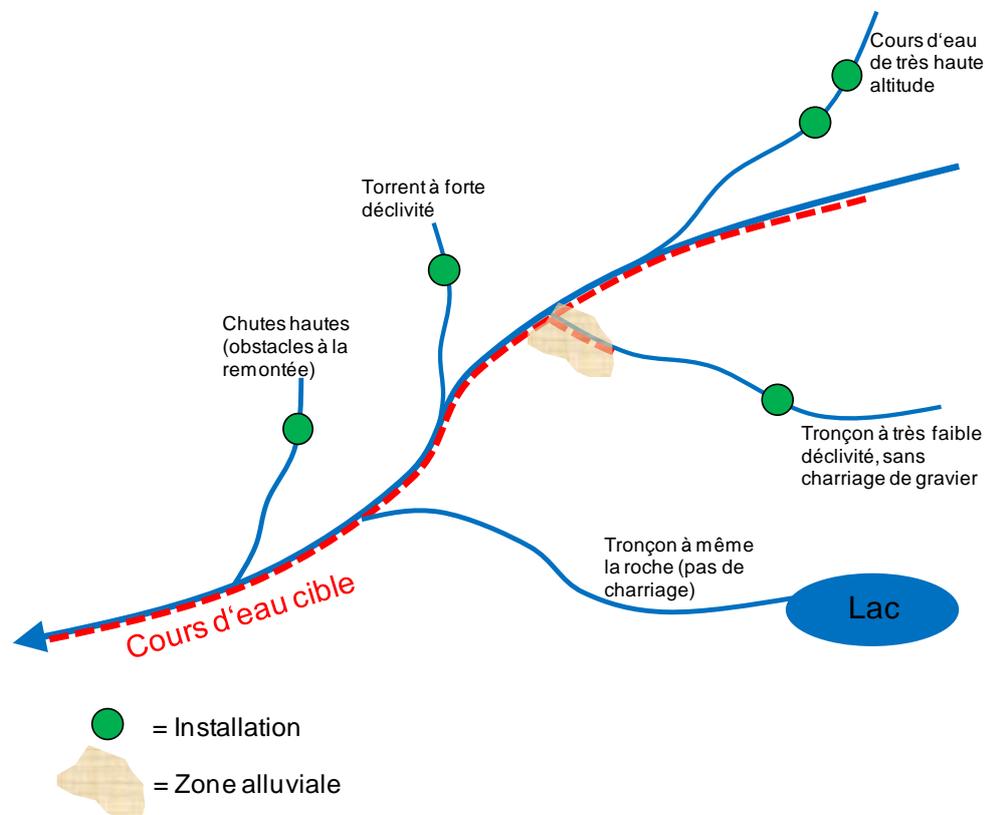
**Exemple**

Un tronçon de cours d'eau comporte un dépotoir à alluvions qui influence le régime de charriage du tronçon situé en aval. Ce dernier présente les caractéristiques d'un torrent à forte déclivité longitudinale et jalonné de gradins, dont le lit se trouve par endroits à même la roche. De telles conditions topographiques impliquent une faible importance écologique, même à l'état naturel. Ce tronçon de cours d'eau ne sera donc pas défini comme cours d'eau cible. Il s'agira cependant de tenir compte de l'influence du dépotoir à alluvions sur les tronçons situés plus en aval.

Les tronçons de cours d'eau n'ayant pas été définis comme cours d'eau cibles peuvent toutefois exercer une influence considérable sur les cours d'eau cibles en tant que pourvoyeurs de matériaux charriés, et doivent donc être pris en considération à ce titre.

**Fig. 7 > Délimitation des cours d'eau cibles (marqués en rouge) sur la base d'indicateurs relatifs à l'importance écologique à l'état naturel**

Les autres cours d'eau ne font pas l'objet d'une évaluation, mais leur pertinence en tant que pourvoyeurs de matériaux charriés doit être considérée.



## 3.2 Relevé des installations significatives

Le relevé de toutes les installations significatives, donc susceptibles d'avoir un impact sur le régime de charriage, s'effectue à l'étape 2. Ces installations doivent être répertoriées et figurer dans le rapport intermédiaire et le rapport final des planifications cantonales<sup>6</sup>. De par leur position, leur disposition, leur finalité et leur exploitation, les installations non significatives peuvent être considérées – sans investigations complémentaires – comme exemptes d'impact nuisible sur le régime de charriage. Il convient cependant de répertorier les centrales hydroélectriques quels que soient leurs effets sur le régime de charriage.

### 3.2.1 Centrales hydroélectriques

#### 1. Centrales au fil de l'eau et centrales avec dérivation

Ces installations peuvent avoir des incidences très variables sur le régime de charriage, allant d'une retenue totale et durable jusqu'au transport sans entrave à travers l'installation.

#### 2. Ouvrages de retenue avant le milieu récepteur (réservoir journalier, hebdomadaire ou annuel)

Il est fréquent que ces installations retiennent l'entier des matériaux charriés. Pour certaines d'entre elles on procède sporadiquement à des curages.

#### 3. Ouvrages de retenue formant des réservoirs annuels dans de petits bassins versants

Leurs répercussions doivent être examinées de cas en cas. On constate souvent que ces installations ne comportent ni débit de dotation vers l'aval, ni crues charriant des sédiments. L'aval du barrage marque le début d'un nouveau bassin versant hydrologique et sédimentologique.

### 3.2.2 Dépotoirs à alluvions

Les dépotoirs à alluvions (DA) sont essentiellement un moyen de protection contre les crues, destiné à freiner le transport de matériaux vers l'aval afin de prévenir des atterrissements et des exhaussements indésirables du lit. Ces dépotoirs retiennent tout ou partie des matériaux venant de l'amont.

### 3.2.3 Extraction de gravier à titre de protection contre les crues

L'extraction de gravier dans les cours d'eau consiste souvent à enlever des bancs de gravier dans le but d'abaisser le niveau de l'eau lors d'événements de crue.

<sup>6</sup> L'élaboration du cadastre des ouvrages de protection de l'OFEV donne lieu à un inventaire très complet de ces ouvrages. Certaines installations figurent ainsi à la fois dans le modèle de données «cadastre des ouvrages de protection» et dans le modèle de données «assainissement de l'utilisation de la force hydraulique». Pour éviter du travail inutile, il est donc recommandé d'effectuer les relevés sur le terrain pour les deux modèles de données (régime de charriage et ouvrages de protection).

### 3.2.4 Extraction de gravier à des fins commerciales

L'exploitation de gravier, de sable et d'autres matériaux est réglementée par l'art. 44 LEaux. Selon cette disposition, une telle exploitation n'est pas autorisée dans un cours d'eau si le débit solide charrié ne compense pas les prélèvements. Une exploitation autorisée doit prendre en considération le régime de charriage du système hydrographique dans sa globalité. Il convient éventuellement d'adapter les volumes prélevés ou d'interrompre l'exploitation.

Il est fréquent que les riverains de petits ruisseaux y prennent sans autorisation du gravier, notamment pour stabiliser des chemins. Cela peut porter sérieusement atteinte à un cours d'eau dont le débit de charriage est déjà modeste à l'état naturel. Il convient d'interdire ces prélèvements.

### 3.2.5 Aménagements de cours d'eau

Le terme d'**aménagements de cours d'eau** se rapporte ici à tous les travaux de correction effectués sur des cours d'eau. Il convient cependant d'évaluer séparément les corrections de torrents (voir plus loin). Les aménagements de cours d'eau servent à assurer la protection contre les crues et, autrefois, avaient également pour fonction de permettre l'extension des cultures. Les cours d'eau ont ainsi souvent été fortement canalisés, leur lit stabilisé, et l'apport de sédiments par érosion des rives et du lit s'en est trouvé réduit ou empêché.

Les aménagements de cours d'eau ont en général fait disparaître les structures naturelles et ont bloqué leur développement et leur dynamique, altérant ainsi le régime de charriage. Cependant, cet appauvrissement structurel peut s'expliquer davantage par une capacité de transport accrue au niveau du tronçon corrigé que par une modification du *débit* de charriage. L'art. 43a LEaux vise non pas à rétablir de manière générale les structures de cours d'eau ayant subi des altérations morphologiques (qui correspond à l'objectif de l'art. 38a LEaux, prescrivant aux cantons de revitaliser les eaux endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre), mais à garantir un *débit* de charriage suffisant. Il s'agit donc de prendre les mesures nécessaires pour que les cours d'eau présentant un tracé et une largeur du lit naturels puissent développer des structures morphologiques comparables à celles présentes dans l'état naturel.

Il faut certes examiner si les aménagements d'un cours d'eau portent atteinte au régime de charriage. Mais si ce dernier ne s'en trouve pas altéré de façon substantielle, le tronçon de cours d'eau touché ne doit pas être considéré comme gravement atteint ou comme nécessitant un assainissement, et dans le cadre de l'assainissement du régime de charriage aucune mesure n'est alors exigée. L'évaluation écologique et la planification de mesures de rétablissement des structures morphologiques et des fonctions naturelles des tronçons en question ont lieu dans le cadre de la planification des revitalisations et de la planification des projets de protection contre les crues. Les mesures prévues dans ces domaines doivent toutefois être coordonnées entre elles (cf. chap. 3.11).

Certains aménagements de cours d'eau peuvent cependant porter atteinte au régime de charriage d'un cours d'eau au sens de l'art. 43a LEaux et donc être évalués pour déterminer s'ils provoquent des érosions du lit et représentent ainsi une source artificielle de matériaux

Définition

Relevé des aménagements  
«normaux» de cours d'eau  
(corrections de torrents exclues)

charriés, ou s'ils diminuent manifestement l'apport de solides charriés dans le cours d'eau. Cela arrive par exemple lorsque des ouvrages de protection des rives freinent le processus d'érosion naturelle d'une épaisse terrasse de graviers ou de la roche (p. ex. poudingue), ce qui empêche l'apport de matériaux solides dans le cours d'eau.

Les **corrections de torrents** comprennent des ouvrages transversaux, des aménagements des rives et des pentes en vue de stabiliser le lit, les berges et les flancs de vallée dans les bassins versants à très forte déclivité. Ces aménagements permettent de restreindre une mobilisation souvent excessive des matériaux charriés. Les ouvrages transversaux construits sur les torrents ont pour effet, dans un premier temps – soit avant leur comblement par les matériaux venant de l'amont – d'interrompre l'apport de matériaux charriés. Le débit de charriage reprend par la suite, mais n'atteindra pratiquement jamais le même niveau qu'observé à l'état naturel. Les corrections de torrents peuvent porter atteinte au régime de charriage d'un cours d'eau et nécessiter ainsi des mesures en vertu de l'art. 43a LEaux.

Corrections de torrents

Si la charge solide d'un torrent revêt un caractère déterminant pour le régime de charriage d'un réseau hydrographique, il convient d'examiner l'influence exercée par les aménagements de ce torrent. Une atteinte grave est plausible dans les Préalpes par exemple, où quelques rares torrents situés en tête de bassin versant ont un effet décisif sur le régime de charriage de l'ensemble du réseau hydrographique. Dans ces circonstances (et en l'absence de danger), il convient d'envisager un démontage partiel des ouvrages mis en cause. *Exemples: affluents de Wigger, Töss, Sihl, Emme, Gürbe*

### 3.2.6 Autres installations

Outre les installations évoquées sous les points 3.2.1 à 3.2.5, d'autres ouvrages peuvent avoir une influence sur le régime de charriage – par exemple bassins de retenue d'eau potable, bassins de rétention des crues et réservoirs d'eau destinée à l'irrigation ou à l'enneigement artificiel.

## 3.3 Morphologie actuelle et naturelle des cours d'eau

L'étape 3 est consacrée à l'étude de la morphologie *actuelle* et *naturelle* du cours d'eau considéré.

### 3.3.1 Morphologie: définition

Par *morphologie* on entend ici l'ensemble des formes que peut prendre un cours d'eau. Elle est caractérisée par la forme du lit, ses structures et son substrat. La dynamique morphologique décrit son évolution au cours du temps.

On fait la distinction entre les types de cours d'eau suivants:

- > cours d'eau ramifié,
- > cours d'eau avec divagations et îlots,

Formes

- > cours d'eau avec bancs de gravier alternés,
- > cours d'eau avec méandres,
- > cours d'eau rectilignes.

Le lit d'un cours d'eau peut présenter, sous l'influence du régime de charriage, les structures suivantes:

Structures

- > rigoles,
- > gués,
- > radiers,
- > mouilles,
- > eaux de faible profondeur,
- > bancs de gravier (provenant du lit ou charriés depuis l'amont),
- > bancs de sable,
- > lit uniforme (absence de structures au niveau du lit).

Le substrat du lit se caractérise par

Substrat

- > sa composition et ses variations longitudinales et latérales,
- > sa couche superficielle (phénomènes de consolidation naturelle et de colmatage).

### 3.3.2 Prescriptions légales

Il a été précisé au point 3.2.5 que les tronçons de cours d'eau disposant de suffisamment d'espace et peu aménagés doivent présenter des structures et une dynamique morphologique proches de celles qui règnent à l'état naturel. Une modification du charriage provoquée par des installations peut se manifester de diverses manières – détérioration de la forme du lit, manque de structures, substrat devenu plus grossier et colmaté.

Critères morphologiques

Outre l'apport de matériaux charriés, une dynamique morphologique normale requiert des crues suffisantes pour mobiliser les matériaux et assez d'espace pour répartir ceux-ci.

### 3.3.3 Etats déterminants

Les cours d'eau canalisés présentent très souvent un lit uniforme et déstructuré sur de longues distances. Sur des tronçons aussi artificiels, il est impossible d'évaluer visuellement l'influence que peut avoir une altération, même marquée, du régime de charriage.

C'est pourquoi il convient d'effectuer l'évaluation morphologique de tronçons disposant d'assez d'espace réservé aux eaux et peu aménagés, dans leur état actuel et dans l'état théorique d'un débit de charriage intact. Pour évaluer l'état naturel aux endroits où il a disparu, on recourt à des tronçons comparables, à des cartes historiques et à des méthodes empiriques.

### 3.3.4 Evaluation de la morphologie actuelle et de la morphologie naturelle de cours d'eau

Sur un tronçon de cours d'eau donné, on relève et évalue les quatre indicateurs suivants:

- > forme du lit<sup>7</sup>,
- > structures, notamment sédiments et bancs de gravier meuble,
- > substrat (composition, consolidation naturelle, colmatage),
- > dynamique morphologique (fréquence des déplacements de matériaux charriés, érosion et alluvionnement des rives, tendance à l'enfoncement, à l'exhaussement ou à l'équilibre dynamique, évolution morphologique de zones alluviales).

Les principaux indicateurs sont la présence et l'ampleur des dépôts et des bancs d'alluvions, ainsi que la composition et l'emplacement de ces matériaux charriés. Il convient donc de donner une importance prépondérante à ces indicateurs.

Les investigations peuvent comporter les opérations suivantes:

1. Déterminer les tronçons à examiner sur la carte nationale 1:25 000, en tenant compte des installations existantes, des cartes historiques et, le cas échéant, des autres sources d'informations disponibles. Sélectionner de préférence des tronçons aussi proches que possible de l'état naturel, situés en amont et en aval d'installations.
2. Parcourir ces tronçons en faisant le relevé des quatre indicateurs.
3. Comparer ces quatre indicateurs en amont et en aval de l'installation, et examiner dans quelle mesure ils changent en raison de celle-ci. Il s'agit d'évaluer à la fois l'impact de l'installation considérée (cf. chap. 3.4) et celui des installations éventuellement situées en amont.
4. Comparer les données obtenues avec les paramètres d'une morphologie naturelle et déterminer si le débit de charriage à l'état actuel témoigne d'une atteinte grave aux structures morphologiques et à la dynamique du cours d'eau.

L'évaluation est plus facile à faire si le cours d'eau n'est pas trop confiné dans l'espace qu'il occupe en amont et en aval d'une installation; on peut alors déterminer avec une certaine fiabilité l'influence exercée par cette installation sur le régime de charriage. En cas de lit canalisé en amont et en aval de l'installation, seul l'indicateur *substrat* peut faire l'objet d'une appréciation sommaire. Si l'on observe la présence de sédiments meubles en amont et l'absence de ceux-ci en aval pour des conditions hydrauliques comparables, cela témoigne d'une atteinte grave au régime de charriage. Il convient toutefois d'évaluer de cas en cas la fiabilité du diagnostic.

On peut aussi rencontrer des situations dans lesquelles ces indicateurs ne permettront pas de déterminer si le régime de charriage subit des atteintes graves, par exemple si

- > le cours d'eau est canalisé en amont et en aval de l'installation, avec un fond consolidé,
- > le cours d'eau est proche de l'état naturel en amont de l'installation, tandis qu'en aval il est entièrement canalisé avec un fond consolidé ou stabilisé par des seuils.

<sup>7</sup> Par exemple selon Habib Ahmari et al. 2011.

---

Dans ces cas, une éventuelle atteinte au régime de charriage (lors de l'appréciation sommaire) passe nécessairement par un examen de l'installation elle-même. Si ce n'est pas possible, on inspectera l'installation durant l'évaluation approfondie ou, en présence de circonstances particulières, lors de l'étude détaillée (phase 2).

#### 3.4 **Appréciation sommaire des installations, désignation des tronçons subissant des atteintes**

L'étape 4 consiste à évaluer dans la mesure du possible les effets de toutes les installations à examiner sur le régime de charriage, et à désigner les tronçons qui en subissent des atteintes.

On évalue s'il y a atteinte grave à l'écosystème d'un cours d'eau en s'appuyant sur les critères de la morphologie et du substrat<sup>8</sup>. En plus d'évaluer l'effet produit par les installations, on prend en considération les résultats de l'étape 3 pour déterminer les tronçons de cours d'eau subissant des atteintes. On peut aussi tenir compte des données disponibles quant à la reproduction des poissons frayant sur gravier, en admettant que le régime de charriage n'a pas été gravement altéré si les poissons se reproduisent bien.

En ce qui concerne les installations, il convient de déterminer

1. si elles provoquent en aval une diminution du débit de charriage et (dans l'affirmative),
2. si ce débit de charriage réduit porte préjudice aux structures et à la morphologie dynamiques du cours d'eau.

Il s'agit d'apprécier l'impact d'une installation en tant que telle aussi bien que cet effet combiné à celui des installations situées plus en amont. Cette atteinte au régime de charriage doit en outre être examinée dans sa dimension temporelle (p. ex. effet passager, ou préjudice allant en s'aggravant ou en s'atténuant).

Les critères à prendre en compte pour juger de l'impact d'une installation sont décrits ci-après.

---

<sup>8</sup> Une attention particulière sera vouée aux zones alluviales, lesquelles peuvent nécessiter des apports solides particulièrement importants pour assurer une dynamique suffisante sur toute l'étendue du réseau fluvial. Le module Zones alluviales (en préparation) donne des précisions sur la quantification des besoins à cet égard.

### 3.4.1 Centrales hydroélectriques

L'appréciation sommaire permet de recueillir les données suivantes sur le régime de charriage:

Construction	Évaluer si l'installation permet aux matériaux charriés de passer à travers (hauteur de l'ouvrage, organes de régulation).
Exploitation	Examiner les incidences de l'exploitation sur le régime de charriage (p. ex. ouverture des organes de régulation, abaissement du niveau d'eau amont en situation de crue, rinçages, extraction de gravier au niveau des queues de retenue, galeries de dérivation des sédiments charriés).
Morphologie (selon chap. 3.3)	Comparer la morphologie en amont et en aval de l'ouvrage pour déceler et quantifier sommairement un éventuel déficit de charriage causé par l'installation.
Évolution historique	Pour évaluer si les matériaux charriés passent à travers une retenue, on peut également trouver des repères dans l'évolution historique des ouvrages considérés. C'est ainsi qu'avant la construction d'un dépotoir à l'embouchure de l'Emme, les sédiments charriés par ce cours d'eau traversaient tous les barrages jusqu'à Döttingen (début du lac artificiel de Klingnau). Cela signifie que toutes les installations déjà construites à ce moment-là laissent passer les matériaux charriés.

Ces investigations permettent souvent de répondre clairement à la question de savoir si une installation retient entièrement les apports solides ou si elle les laisse passer. Les matériaux charriés peuvent également traverser l'installation de manière sporadique, lors des grandes crues. Si seule une partie de l'apport se retrouve en aval, il faut également évaluer l'évolution future du charriage à travers l'installation.

Un ouvrage de retenue annuel situé sur un petit bassin versant marque normalement le début, en aval, d'un nouveau bassin versant sédimentologique en raison de sa faible déclivité naturelle. On peut renoncer ici à un assainissement du régime de charriage si cela n'affecte aucun cours d'eau cible ou si le milieu récepteur ne comporte pas un déficit de charriage imputable à l'installation. En cas d'excédent de matériaux charriés en aval, on peut éventuellement prévoir des crues artificielles (cf. chap. 3.10.2).

Il n'est pas toujours facile d'évaluer une installation lorsque, par exemple:

- > l'apport solide du cours d'eau vers la centrale hydroélectrique à évaluer est inexistant en raison des installations situées plus en amont,
- > la centrale considérée se situe dans une série d'ouvrages analogues sans tronçons s'écoulant librement entre ceux-ci,
- > la présence de sédiments et de bancs de gravier est difficile à évaluer du fait que le lit est constamment recouvert d'eau.

Les installations dont on ne peut dire, sur la base des investigations ci-dessus, si et dans quelle mesure elles laissent passer les sédiments charriés doivent être examinées plus en détail lors de l'évaluation approfondie (étape 7) ou dans la phase 2.

### 3.4.2 Dépotoirs à alluvions

L'appréciation sommaire portera sur les aspects suivants:

Forme du dépotoir et effet de l'installation	<p>Si le dépotoir a la forme d'une cuvette fermée par un seuil, tous les matériaux arrivant de l'amont sont retenus jusqu'à un certain degré de remplissage (p. ex. dépotoir à l'embouchure de l'Emme). Il est fréquent que des matières en suspension s'y déposent également.</p> <p>Si le dépotoir a la forme d'un élargissement à déclivité réduite, une partie des apports solides transite en général vers l'aval. Cette proportion augmente lorsque des matériaux se sont accumulés dans le dépotoir. Il ne s'y dépose guère de matières en suspension.</p>
Exploitation	<p>La fréquence des curages et le degré de remplissage de ceux-ci donnent une idée du débit solide traversant l'obstacle du dépotoir. Si celui-ci n'est curé qu'occasionnellement une fois rempli, cela signifie qu'une partie des matériaux charriés est passée tout droit. Un charriage intermittent transite ainsi vers l'aval. Par contre, lors de curages fréquents, tous les matériaux sont la plupart du temps retenus.</p>
Granulométrie	<p>La composition granulométrique des matériaux déposés donne une idée de l'importance que revêtent ces matières pour le réseau hydrographique. Les paramètres à retenir sont notamment la distribution granulométrique et la lithologie (dureté, solidité).</p> <p>On s'intéressera aux graviers et aux cailloux de composition solide présentant une bonne répartition granulométrique; les sédiments fins et les matières organiques ne sont pas des critères utiles pour l'assainissement du régime de charriage.</p> <p>Les dépotoirs qui retiennent essentiellement des sédiments fins et des matières organiques ne causent ainsi aucune modification grave du régime de charriage en aval.</p>
Quantités évacuées	<p>Relever rétrospectivement, sur le plus grand nombre d'années possible, les volumes prélevés:</p> <p>La moyenne des quantités extraites donne une idée (compte tenu des autres critères) de la charge solide et, éventuellement, du volume solide transitant vers l'aval.</p> <p>Si le dépotoir est régulièrement curé avant un transit possible de matériaux, les volumes évacués fournissent une valeur fiable pour l'ensemble des apports en provenance du bassin versant considéré.</p> <p>Sinon, les volumes évacués représentent une valeur seuil des apports solides. La part du volume charrié transitant vers l'aval doit être estimée.</p>
Morphologie (selon chap. 3.3)	<p>Le relevé et l'analyse morphologiques en amont et en aval du dépotoir à alluvions permettent, le cas échéant, de déceler et de quantifier approximativement les déficits de charriage provoqués par l'installation.</p>
Capacité de charriage en aval	<p>Il convient d'évaluer dans quelle mesure le charriage peut se poursuivre en aval du dépotoir.</p> <p>Si les caractéristiques naturelles du cours d'eau en aval du dépotoir excluent le transport de sédiments, il n'y aura aucune mesure à prendre.</p> <p>Si une partie des apports solides peut transiter vers l'aval, on envisagera des mesures à prendre pour que les matériaux charriés puissent passer l'obstacle du dépotoir.</p> <p>Si l'entier des apports solides peut transiter vers l'aval, on envisagera la suppression du dépotoir (contrôler s'il y aurait un déficit de protection contre les crues).</p>

Ces investigations permettent normalement de déterminer avec une précision suffisante quelles quantités de sédiments charriés sont retirées du cours d'eau, et quelle proportion de ceux-ci reste dans le cours d'eau.

### 3.4.3 Extraction de gravier

Les paramètres à examiner quant à l'extraction directe de gravier d'un cours d'eau sont les suivants:

But de l'extraction	Le but de l'opération indique s'il y a lieu d'envisager un déficit de protection contre les crues.
Mode d'extraction	Des bancs de gravier et des îlots sont souvent enlevés à des fins de protection contre les crues, et les matériaux extraits évacués (remis à une entreprise de gravier ou mis en décharge). Le charriage vers l'aval devient faible après extraction et reprend de l'ampleur quand les bancs se reforment. Si l'extraction directe de gravier creuse le lit du cours d'eau en cuvette sur une certaine distance, cela interrompt entièrement le transport de sédiments vers l'aval jusqu'à ce que la cuvette soit remplie. L'extraction directe de gravier peut se faire au moyen d'une pelle mécanique tirée à travers le lit. Si l'on ne creuse pas de cuvette profonde, il est probable que seule une partie des apports solides sera extraite.
Intervalles entre prélèvements	Si l'on extrait régulièrement de grandes quantités de gravier, cela représentera une part plutôt importante des apports solides. Si l'on extrait sporadiquement des quantités modestes de gravier, cela représentera une part plutôt faible des apports solides.
Volumes extraits	Relever rétrospectivement les volumes évacués pour le plus grand nombre d'années possible, ou estimer des valeurs moyennes.
Composition des matériaux extraits	La composition des matériaux dépend du but et du mode d'extraction. Il s'agit le plus souvent de gravier, lequel provient soit du lit, soit de sédiments charriés. Lors de la suppression d'îlots il peut aussi y avoir du bois et des sédiments fins, dont on tiendra compte dans l'estimation des volumes extraits.

Pour évaluer l'influence de l'extraction de gravier sur le régime de charriage, on compare la morphologie amont et aval compte tenu des données disponibles sur ces prélèvements.

L'extraction directe de gravier d'un cours d'eau ne fait en général que prélever une partie des sédiments apportés jusque là. Il est donc souvent très difficile de savoir si ces prélèvements (éventuellement combinés à d'autres interventions en amont et en aval) portent gravement atteinte au régime de charriage. Si l'on ne parvient pas à une conclusion fiable, il convient de passer à l'évaluation approfondie ou de faire une étude détaillée lors de la phase 2.

### 3.4.4 Aménagements

Examiner si les ouvrages de correction de torrents et de stabilisation des pentes ont eu pour effet de réduire les apports solides au point de constituer une atteinte au régime de charriage relevant de l'art. 43a LEaux. Pour ce faire, il s'agit d'estimer sommairement l'impact des aménagements existants sur le charriage dans toute la partie supérieure du bassin versant. Il peut y avoir altération substantielle du régime de charriage si la majorité des bassins versants partiels concernés sont fortement aménagés. Les corrections de torrents sont souvent combinées à la réalisation de dépotoirs à alluvions. Il peut alors suffire de restituer au cours d'eau tout ou partie des matériaux retenus dans le dépotoir. Le volume à remobiliser sera déterminé dans la phase 2.

Corrections de torrents

---

Le volume solide mobilisable par divagation d'un cours d'eau peut revêtir de l'importance pour son régime de charriage lorsque l'apport de gravier, par érosion d'une terrasse de graviers ou d'un flanc de vallée, dépasse largement de ce côté les volumes déposés contre l'autre rive. Examiner si le fait d'empêcher la divagation du cours d'eau porte atteinte à son bilan de charriage. Faire une estimation de la moyenne des apports et comparer ce chiffre au débit de charriage provenant de l'amont.

Autres aménagements

Les corrections effectuées sur des cours d'eau dont le lit n'a pas été stabilisé peuvent entraîner l'érosion du fond et des berges, qui constitueront alors une source non naturelle de matériaux charriés. Il convient d'évaluer l'ampleur de cette érosion par rapport au débit de charriage total du bassin versant considéré, afin de déterminer si la correction en question a valeur d'installation ayant une incidence sur le régime de charriage.

### 3.5 Estimation de la charge solide

L'étape 5 est consacrée à une estimation de la charge solide dans tous les sous-bassins versants.

Ce que l'on sait de la charge solide dans le bassin versant d'un réseau hydrographique permet d'estimer le débit solide et de déterminer, sous forme de données chiffrées, si des installations portent gravement atteinte au régime de charriage.

Il s'agit de déterminer la charge solide pour l'ensemble du bassin versant considéré, les zones présentant une faible déclivité pouvant être négligées ou sommairement prises en compte.

Cette estimation peut recourir aux moyens suivants:

1 Relevés sur le terrain	Cartographier les sources de matériaux charriés et estimer les apports moyens (sur la base du volume mobilisable ou de débits solides moyens). Sources de matériaux charriés: p. ex. roche en désagrégation, anciens éboulis, terrasses de graviers, bancs de gravier, exhaussements et affouillements potentiels du lit, dépôt de sédiments derrière des barrages, érosion des pentes et des berges, apports de glissements de terrain. Tenir compte des paramètres morphologiques et topographiques. Vérifier la charge solide sur le terrain et estimer d'éventuelles soustractions (p. ex. sur des cônes d'alluvions).
2 Calcul du débit de charriage sur des tronçons-clés	Calculer le volume solide transporté sur des tronçons-clés. On constate sur le terrain que ces tronçons déterminants se situent souvent dans une zone à faible pente où débouchent des affluents, ou en amont de seuils. Leur lit devrait être entièrement couvert de sédiments. Pour ce calcul, il faut faire le relevé de la géométrie du lit et un échantillonnage linéaire du volume charrié, puis en déduire une courbe des débits classés représentative du site considéré et choisir une formule appropriée pour le transport solide charrié.
3 Dépotoirs à alluvions et sites d'extraction de gravier	Analyser les volumes prélevés par extraction de gravier ou retirés du charriage par des dépotoirs. La part ainsi soustraite à la charge solide du cours d'eau sera estimée d'après la structure de l'installation, l'expérience de son exploitant et la morphologie du tronçon aval. Le mieux est que cette analyse puisse s'appuyer sur des installations où l'entier des apports charriés a été retiré; cela permet d'étalonner la charge solide du sous-bassin versant considéré.
4 Cours d'eau de référence	Déterminer la charge solide spécifique d'un sous-bassin versant par comparaison avec d'autres bassins versants pour lesquels la valeur spécifique de ce paramètre est connue et avérée <sup>9</sup> . Aspects à prendre en considération: géologie, géomorphologie, topographie, aménagements, végétation, etc.

Il convient de recourir si possible à ces quatre méthodes afin de bien étayer cette estimation.

L'estimation de la charge sédimentaire annuelle moyenne requiert des examens approfondis. Par ailleurs, il n'existe pas de marche à suivre systématique pour les quatre méthodes évoquées ci-dessus. L'OFEV a ainsi donné mandat de développer une méthode appropriée, ce qui permettra de déterminer à moindres frais l'ordre de grandeur de cette charge annuelle moyenne. Ce mode opératoire est disponible sur le site Internet de l'OFEV.

Estimation méthodique du débit de charriage annuel moyen

### 3.6 Estimation du débit solide nécessaire

#### 3.6.1 Principes

A l'étape 6, il s'agit d'estimer le débit solide nécessaire dans des tronçons de cours d'eau homogènes quant à leur morphologie. La méthode proposée fournit une valeur indicative concernant le débit solide charrié requis pour éviter des atteintes graves à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes (bon état sur l'échelle d'évaluation à cinq niveaux, cf. fig. 13 au chap. 3.9).

On part du principe que si le débit solide charrié nécessaire est disponible, la formation de structures morphologiques comparables à celles présentes dans un état proche de l'état naturel est possible. Les prérequis sont une largeur du lit naturelle et un tracé naturel.

<sup>9</sup> Cf. également la banque de données SOLID de l'OFEV.

---

### 3.6.2 Méthode de détermination du débit solide nécessaire

Le débit de charriage nécessaire d'un point de vue écologique doit remplir les deux conditions suivantes:

1. Un tronçon de cours d'eau (non corseté) doit pouvoir développer une morphologie analogue à celle de l'état naturel. Son lit doit ainsi pouvoir prendre une forme semblable à celle qu'il aurait naturellement, avec des bancs qui se constituent également de façon similaire à ce qu'ils feraient naturellement.
2. La couche superficielle des bancs de graviers doit se renouveler régulièrement lors des hautes eaux (dynamique morphologique), empêchant ainsi les bancs de se colmater et garantissant la présence d'un substrat meuble.

On peut admettre que les exigences (1) et (2) sont remplies si la couche supérieure des bancs de gravier se renouvelle annuellement sur une épaisseur d'environ 30 cm. Dans ces conditions, une couche de gravier meuble et suffisamment profonde est en permanence à disposition des biocénoses aquatiques.

Cette couche de 30 cm est suffisante pour le creusement des frayères et dépasse normalement la profondeur du colmatage interne.

## Méthode

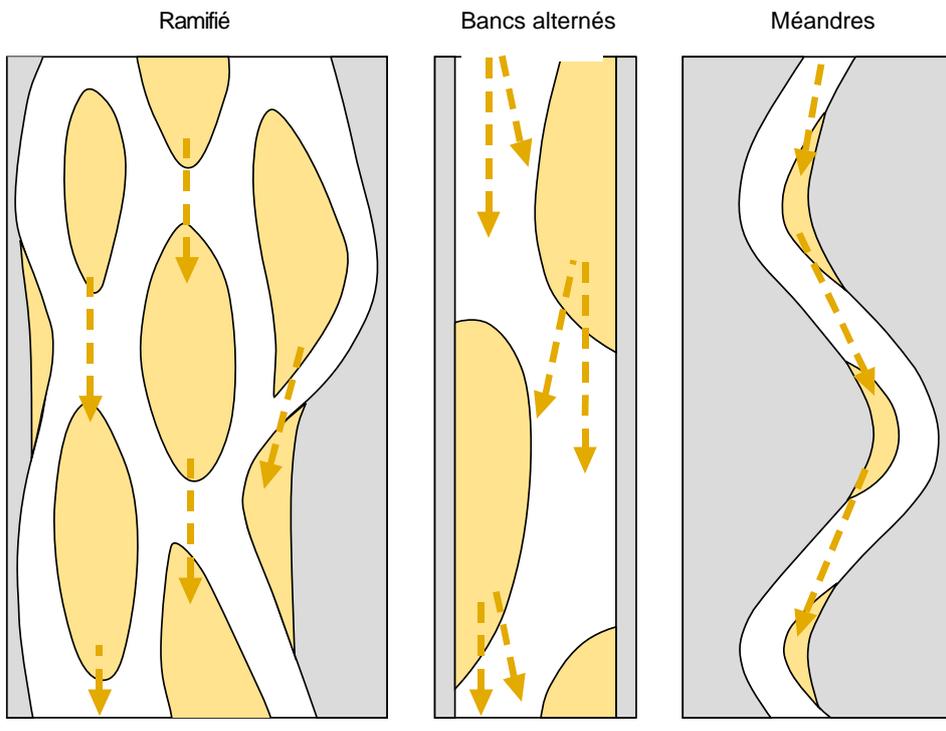
La marche à suivre exposée ci-dessous permet de déterminer le débit solide nécessaire (cf. annexe A1). Si le débit de charriage constaté est nettement inférieur à cette valeur indicative, il faut partir du principe qu'une atteinte grave au sens de l'art. 43a LEaux existe.

Détermination du débit solide nécessaire

1. Cartographier tous les bancs de gravier d'un tronçon proche de l'état naturel, en tenant compte de leurs parties immergées (tronçon aussi long que possible, comportant au moins 10 bancs). Pour ce faire, on peut recourir à des cartes (les cartes historiques sont notamment adéquates), à des vues aériennes, à l'interprétation du comportement de l'écoulement et/ou à des visites sur le terrain. Il s'agit ensuite de diviser la superficie totale des bancs par le nombre de bancs répertoriés (superficie moyenne des bancs de gravier). Les bancs de très petite taille sont laissés de côté ou inclus dans des bancs voisins plus grands.
2. Déterminer le volume de gravier à renouveler annuellement, en prenant la superficie moyenne des bancs multipliée par une épaisseur de 30 cm.
3. Multiplier finalement le volume de gravier moyen ainsi obtenu par des facteurs de correction basés sur les critères suivants:

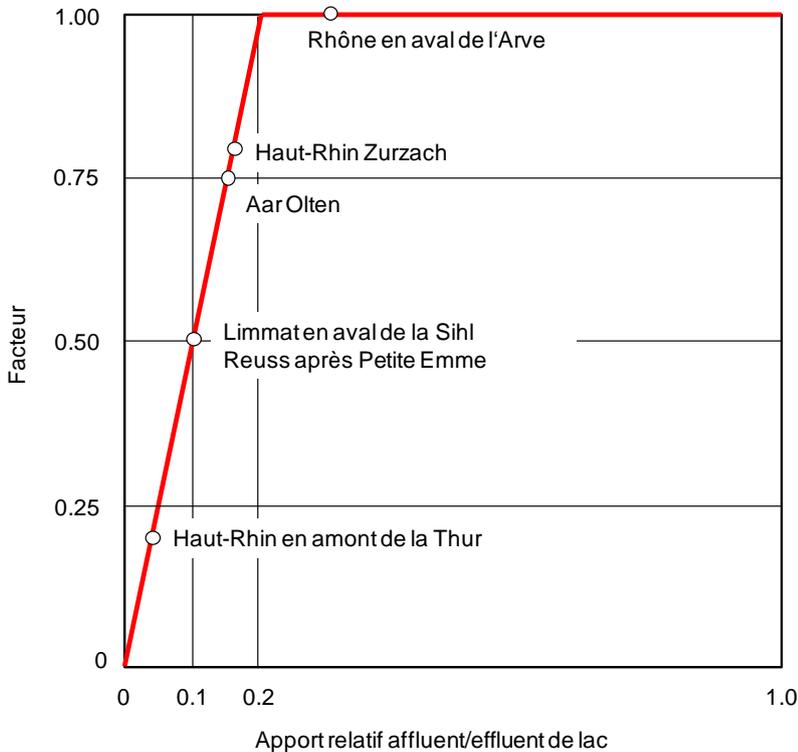
Configuration du lit (fig. 8)	<p>Ce critère tient compte de la question de savoir si un banc se forme à partir de matériaux mobilisés sur le banc amont, ou s'il nécessite des apports solides supplémentaires:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tronçon avec méandres (bancs le long des berges convexes uniquement, donc alternés avec de grands intervalles entre eux; le renouvellement se fait pour l'essentiel par mobilisation de matériaux du banc situé en amont): facteur 1 à 1,5</li> <li>• tronçon en bancs alternés (proches les uns des autres; charriage entre les bancs ainsi que par migration de ceux-ci; jusqu'à 50 % des matériaux charriés transitent à côté des bancs): facteur 1,5 à 2,0</li> <li>• tronçon ramifié (bancs en partie côte à côte, selon la largeur du lit; on admet qu'un banc se forme à partir de matériaux provenant d'un banc amont; le facteur adopté correspond au nombre de chenaux, à savoir facteur 2 pour 2 chenaux, facteur 3 pour 3 chenaux): facteur <math>\geq 2</math></li> </ul> <p>Cette multiplication par un facteur accroît le débit solide nécessaire.</p>
-------------------------------	--

**Fig. 8 > Représentation schématique du charriage et du renouvellement des bancs dans des cours d'eau comportant des ramifications, des bancs alternés et des méandres**



Capacité de transport:	<p>Ce critère prend en considération le fait que, sur un tronçon à pente relativement forte, la majeure partie des matériaux charriés est en mouvement durant les périodes de hautes eaux et ne sont donc pas disponibles pour former des bancs. Pour ce faire, on évalue</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• qualitativement le profil en long du cours d'eau et sa capacité de transport en période de hautes eaux, sur des tronçons caractérisés par des pentes différentes;</li> <li>• la morphologie des tronçons présentant différentes pentes.</li> </ul> <p>Attribuer le facteur 1 aux tronçons à pente relativement faible, où les matériaux sont charriés lentement de banc à banc.</p> <p>Attribuer le facteur 2 aux tronçons à pente relativement raide, où la majeure partie des matériaux (≥ 50 %) passent sans se déposer.</p> <p>Entre ces deux cas de figure on interpole. Les tronçons courts à forte déclivité ne sont pas pris en compte.</p> <p>Exemple: la Limmat entre Wettingen et Untersiggenthal (facteur 1,5) est nettement plus en pente qu'entre Zurich et Dietikon (facteur 1). Le tronçon court et très raide de Baden aurait le facteur 2.</p>
Turbidité	<p>Ce critère tient compte du fait que, dans un tronçon à faible turbidité, le développement d'un colmatage interne important prend davantage de temps, et qu'aucun colmatage interne ne peut se développer à la sortie d'un lac (dans ces tronçons de cours d'eau les matériaux charriés ne sont pas transportés).</p> <p>Le facteur est &lt; 1 lorsqu'au moins 80 % du débit provient d'un lac. On peut l'estimer selon les critères illustrés à la fig. 9.</p>

Fig. 9 &gt; Graphique pour l'évaluation du facteur de correction turbidité en aval de lacs



Il est recommandé d'appliquer cette méthode à plusieurs tronçons de cours d'eau et d'estimer la qualité des résultats obtenus (p. ex. en fonction de la qualité des données de base utilisées). On peut ensuite juger de la répartition des débits solides ainsi calculés sur le profil en long, et tracer par interpolation une courbe du débit solide nécessaire (compte tenu de l'abrasion et des apports des affluents) (cf. fig. 10).

Champ d'application

Le débit de charriage à considérer comme nécessaire pour les affluents se réfère à celui des cours d'eau cibles, en ce sens qu'il doit atteindre un niveau suffisant pour contribuer au débit solide nécessaire dans ces derniers.

S'il faut également estimer le débit solide nécessaire dans certains affluents, cela se fera de préférence en délimitant des secteurs de tronçons naturels occupés par des bancs (sans interprétation de cartes).

Cette méthode ne peut pas être utilisée pour des tronçons dépourvus de bancs à l'état naturel.

La limite supérieure du débit solide nécessaire correspond au débit solide charrié d'un cours d'eau à l'état naturel: si la méthode décrite ici fournit un débit solide supérieur au débit de charriage constaté en l'absence d'influence anthropique, cette valeur devra donc être corrigée à la baisse. Cela peut être le cas pour des cours d'eau naturellement caractérisés par un faible débit de charriage.

Cette méthode s'applique non seulement aux cours d'eau ayant un fond du lit de constitution autre que les matériaux charriés, mais aussi à ceux dont le lit et les matériaux charriés sont de même nature. Dans un cours d'eau du second type, des installations ou des extractions de gravier provoquant un déficit de charriage entraînent l'incision du lit; ce qui altère souvent la morphologie générale du cours d'eau (incision du lit et tendance à aboutir à un chenal unique). En termes d'aménagement des cours d'eau, il s'agit de viser un débit de charriage qui garantisse l'atteinte d'un état d'équilibre dynamique. Cela n'est pas possible dans un cours d'eau canalisé dont la capacité de transport dépasse les apports solides à l'état naturel (sans intervention sur le régime de charriage).

Pour répondre aux spécificités des zones alluviales, la valeur du débit solide nécessaire peut éventuellement être supérieure à celle déterminée à l'étape 6; ce sera notamment le cas si la valeur obtenue est insuffisante pour «stabiliser» le fond au niveau requis pour une zone alluviale. Cette question doit être étudiée et justifiée par des calculs hydrauliques et mécaniques à réaliser lors de la phase 2.

### 3.7 Quantification de l'influence exercée par les installations sur le régime de charriage

L'étape 7 consiste à chiffrer l'effet des installations sur le régime de charriage. Il s'agit de quantifier l'influence exercée par chaque installation à examiner ainsi que l'effet combiné de toutes les installations. En plus de l'appréciation faite à l'étape 4 (cf. chap. 3.4), on peut procéder aux investigations suivantes:

Si l'on n'est pas au clair sur le passage des matériaux charriés à travers une retenue, il est possible de déterminer, en s'appuyant sur les courbes de remous, quels débits apportent une contrainte d'entraînement suffisante pour assurer ce transit. On calcule pour différents débits la contrainte d'entraînement ( $\theta$ ), en tenant compte de la granulométrie moyenne des matériaux charriés ( $d_m$ ); les résultats obtenus sont représentés sur un profil en long. L'examen portera de préférence sur le talweg (ligne de fond) et le lit moyen. Des matériaux solides seront mis en mouvement lorsque  $\theta > 0,05$ . Les débits déterminants se situeront dans une plage  $>Q_9^{10}$ . Ces calculs indiquent si les débits de crue habituels suffisent à assurer le transit solide, mais ne fournissent pas d'informations sur la charge solide traversant la retenue.

Quantifier l'influence exercée par des centrales hydroélectriques

La part du volume solide qui passe éventuellement cet obstacle peut être déduite à partir des estimations des ressources en matériaux charriés du bassin versant (étape 5).

Quantifier l'influence exercée par des dépotoirs à alluvions

Il est généralement possible de quantifier de manière fiable l'impact de ces installations en examinant les données relatives à la charge solide (étape 5), aux apports solides vers l'installation et au débit solide nécessaire.

Quantifier l'influence exercée par les sites d'extraction de gravier

Si le débit solide nécessaire est clairement plus élevé que le débit solide charrié dans l'état actuel, on peut partir du principe qu'il existe une atteinte grave (état moyen, médiocre ou mauvais, cf. fig. 13).

<sup>10</sup> Débit atteint ou dépassé durant 9 jours par an.

### 3.8 Profils en long de la charge solide dans un état naturel et dans l'état actuel

L'étape 8 comprend l'établissement des profils longitudinaux du débit solide dans un état non altéré et dans l'état actuel.

Ces profils se basent sur les apports charriés des sous-bassins versants, l'abrasion ainsi que l'influence des installations et de l'extraction de gravier. Les phénomènes d'érosion ou d'alluvionnement du lit ne sont pas pris en considération, mais ces facteurs peuvent être estimés en examinant les profils en travers de plusieurs années<sup>11</sup>.

Le débit solide diminue en direction de l'aval, en raison de l'abrasion. Si la lithologie du bassin versant considéré varie fortement, il convient d'adapter le coefficient d'abrasion en conséquence.

Abrasion

#### **Exemple: profil en long du débit de charriage Alp, Sihl et Limmat**

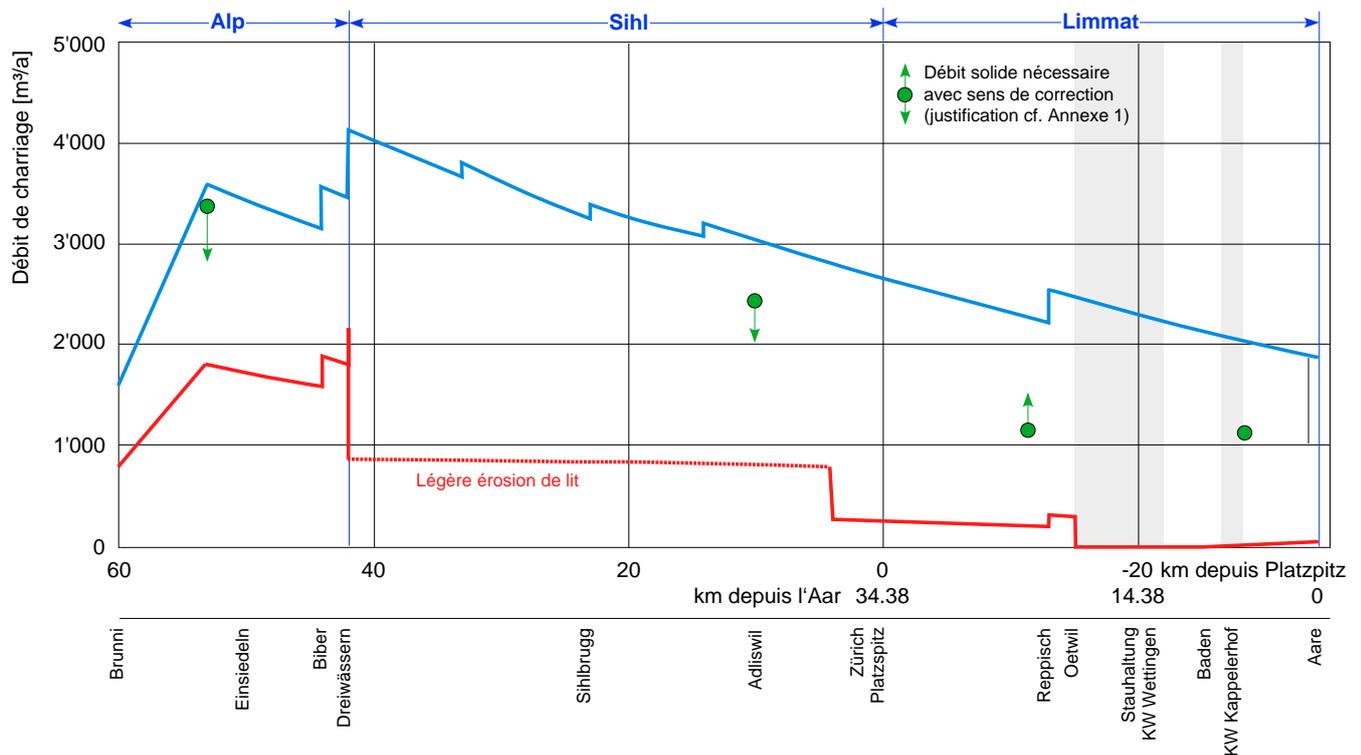
La figure 10 présente le profil en long du volume solide charrié par l'Alp, la Sihl et la Limmat dans les deux états. L'état non altéré (trait bleu) se caractérise par une certaine continuité, avec de brusques augmentations de la charge solide au niveau des affluents pris en compte, et une diminution vers l'aval due à l'abrasion. La présence de dépotoirs à alluvions réduit dans l'état actuel (ligne rouge) les apports solides dans le cours d'eau cible. La grande quantité de gravier extrait au niveau de Dreiwässern entraîne de l'érosion dans le Sihltal lors des fortes crues<sup>12</sup>. Les matériaux extraits à Zurich réduisent le volume charrié à quelques centaines de mètres cubes; et ce volume tombe à zéro à la retenue de la centrale de Wettingen.

La figure 10 visualise également le débit solide nécessaire (points verts) pour certains tronçons de ces cours d'eau (cf. chap. 3.6).

<sup>11</sup> Un bilan des volumes déposés et emportés permet de diagnostiquer l'influence sur le profil longitudinal du débit solide.

<sup>12</sup> L'érosion du lit peut être mise en évidence par des calculs de stabilité, par des observations sur le terrain ou par des calculs modélisés.

**Fig. 10** > Profils en long du débit solide charrié par l'Alp, la Sihl et la Limmat dans l'état non altéré (en bleu) et dans l'état actuel (en rouge), ainsi que le débit solide nécessaire dans certains tronçons de ces cours d'eau selon l'étape 6 (points verts)



### 3.9 Evaluation du potentiel écologique et du degré de gravité des atteintes

L'OEaux prescrit, à l'annexe 4a, ch. 3, al. 1, let. b, d'évaluer le potentiel écologique des tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves en tant que donnée de base pour déterminer la proportionnalité et l'urgence des mesures d'assainissement à prévoir. Elle demande également que l'on évalue le degré de gravité des atteintes en question.

Le **potentiel écologique** d'un cours qui n'est pas à l'état naturel correspond à l'importance écologique que ces eaux revêtraient dans un état de référence théorique après réparation des atteintes nuisibles causées par des interventions anthropiques, dans la mesure où le permettent des moyens proportionnés.

Potentiel écologique

Le potentiel écologique peut être estimé sommairement (importance écologique élevée ou faible) selon le module d'aide à l'exécution Revitalisation des cours d'eau (pp. 28–29). La proportionnalité des mesures envisagées peut quant à elle, dans le cadre de la planification stratégique, faire l'objet d'une appréciation exclusivement qualitative, sur la base des valeurs empiriques des autorités cantonales. Les cours d'eau à faible potentiel écologique ne sont pas à assainir, ou du moins pas prioritairement.

L'effet à attendre de mesures d'assainissement peut être déterminé au moyen du **potentiel de valorisation**. La proportionnalité des mesures est ensuite évaluée en relation avec les coûts engendrés. L'OFEV est en train d'élaborer un outil dans ce sens. La détermination du potentiel de valorisation sert, dans le cadre de la planification stratégique, à dresser un ordre de priorité des mesures à prévoir. Il s'agit de comparer l'importance écologique du cours d'eau dans son état actuel avec celle qu'il revêtirait dans l'état que l'on pourrait raisonnablement atteindre (potentiel écologique). Le potentiel de valorisation est défini en fonction de différents facteurs influençant l'état d'un cours d'eau, en particulier

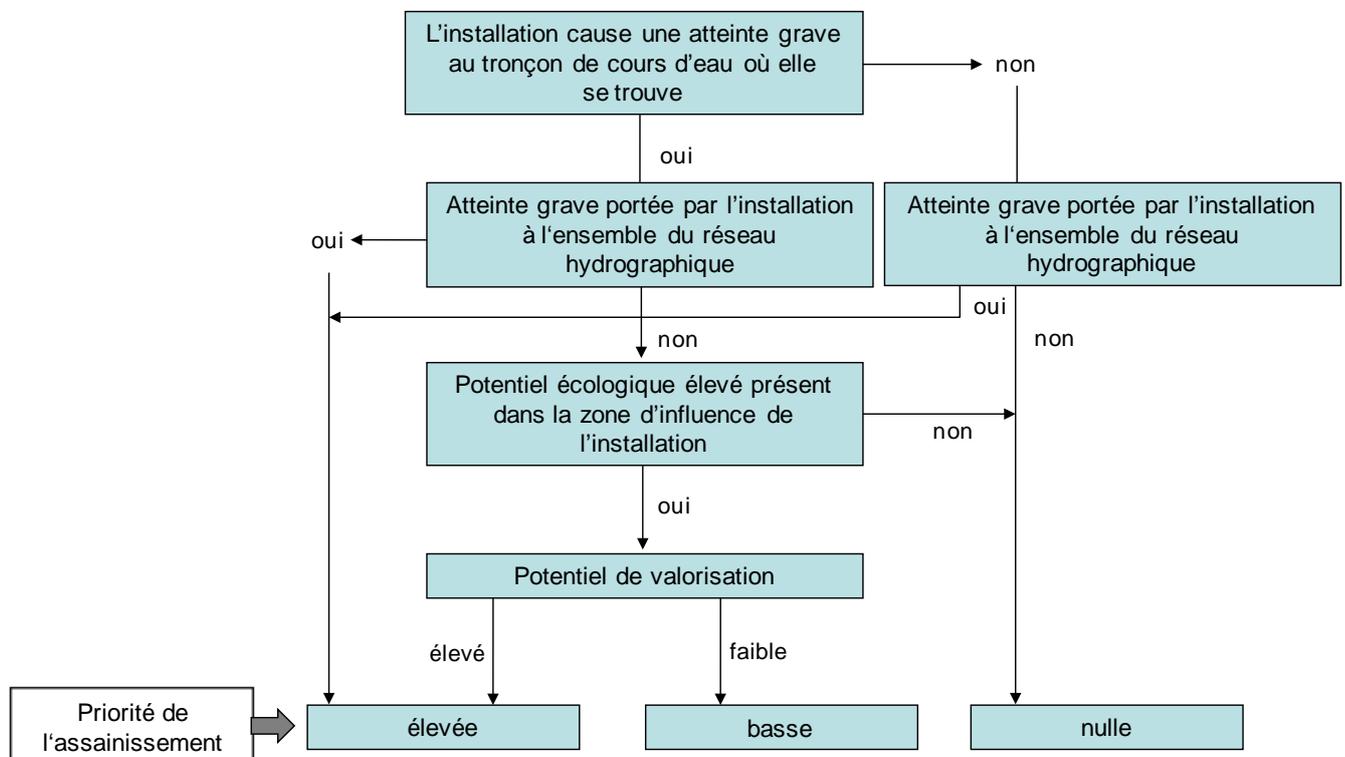
Potentiel de valorisation

- > l'écomorphologie,
- > le débit (débit naturel, débit résiduel, éclusées),
- > le régime de charriage,
- > la connectivité (longitudinale, latérale et verticale, aquatique et terrestre),
- > la qualité de l'eau.

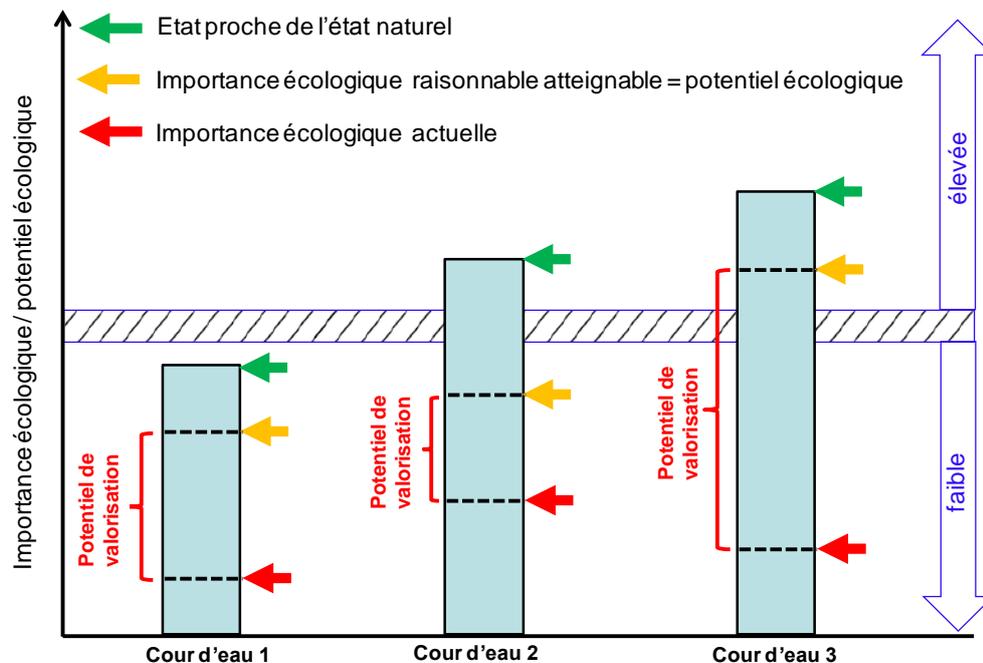
La figure 11 montre la manière de déterminer la priorité d'assainissement d'un tronçon de cours d'eau, ou d'une installation.

**Fig. 11** > Graphique de flux servant à établir l'ordre de priorité des cours d'eau à assainir

Le potentiel de valorisation est évalué non seulement de manière sommaire (pour tous les facteurs écologiques) mais aussi séparément (pour le régime de charriage).



**Fig. 12** > Figuration schématique du potentiel écologique et du potentiel de valorisation dans le cas de cours d'eau non naturels



*Cours d'eau 1:*

Importance écologique faible à l'état proche de l'état naturel. Des mesures d'assainissement proportionnées ne conféreront pas au tronçon de cours d'eau considéré une importance écologique élevée (faible potentiel écologique). Ce tronçon a été exclu d'une évaluation plus poussée dès le stade de l'appréciation sommaire, lors de la définition des cours d'eau cibles (étape 1).

*Cours d'eau 2:*

Importance écologique élevée à l'état proche de l'état naturel. Le tronçon considéré a été défini comme cours d'eau cible lors de l'étape 1. Cependant, des mesures d'assainissement proportionnées ne lui conféreront pas une importance écologique élevée (faible potentiel écologique). Des mesures d'assainissement ne sont pas appropriées ou du moins pas prioritaires.

*Cours d'eau 3:*

Importance écologique élevée à l'état naturel. Le tronçon considéré a été défini comme cours d'eau cible lors de l'étape 1. Des mesures d'assainissement proportionnées lui conféreront une importance écologique élevée (potentiel écologique élevé).

Le degré de gravité des atteintes peut être représenté de la même manière que le potentiel de valorisation. Il décrit la différence absolue (sur une échelle à 5 degrés<sup>13</sup>) entre débit solide annuel dans l'état actuel et débit solide annuel dans un état proche de l'état naturel.

Degré de gravité des atteintes

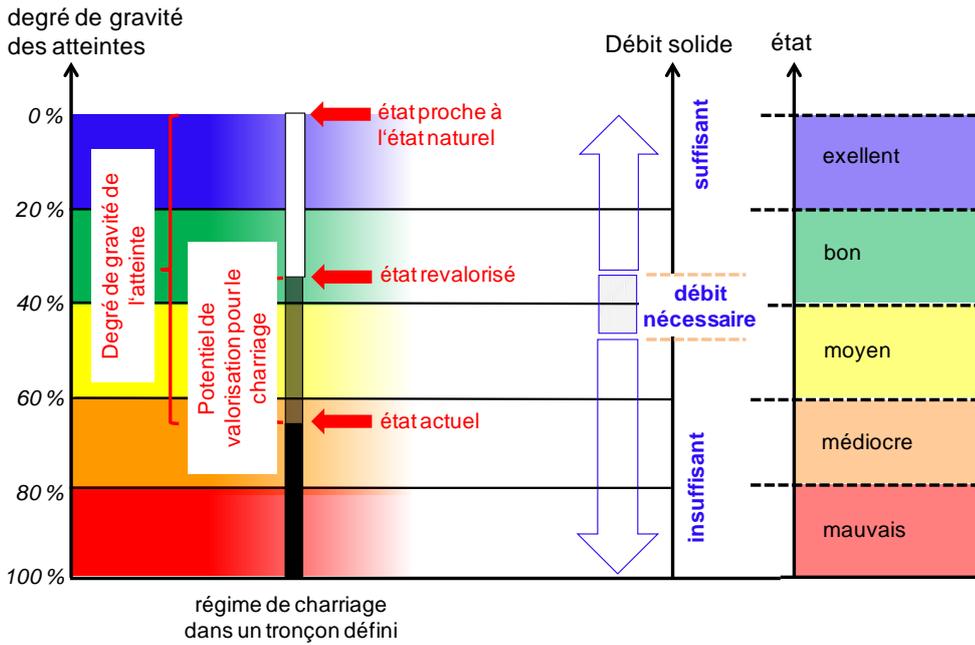
Pour évaluer en quoi un cours d'eau profitera de mesures d'assainissement de son régime de charriage, il s'agit de considérer le potentiel de valorisation pour ce facteur. L'évaluation peut s'effectuer sur une échelle à cinq degrés, ce qui permet d'indiquer de combien de degrés le régime de charriage peut être amélioré (2 degrés dans l'exemple du réseau hydrographique Alp – Sihl – Limmat, fig. Fig. 14):

Potentiel de valorisation pour le facteur d'influence concernant le charriage

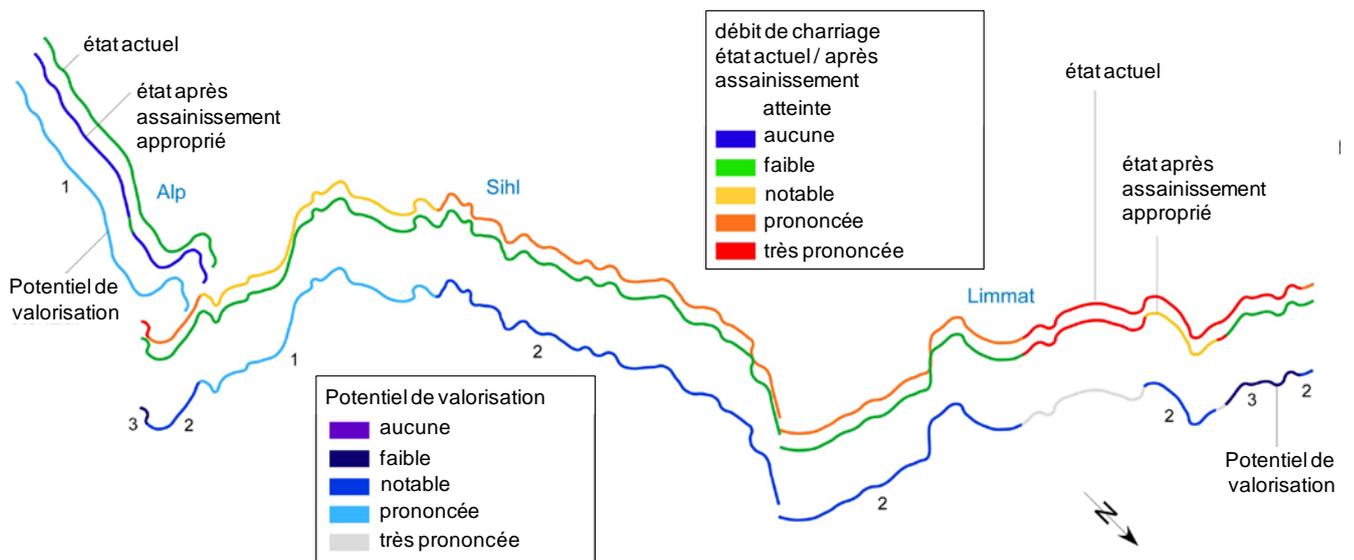
<sup>13</sup> Degré «médiocre» dans la fig. 13

**Fig. 13 > Degré de gravité des atteintes portées au régime de charriage dans l'état actuel et mise en évidence du potentiel de valorisation concernant le charriage**

L'objectif est d'atteindre un bon état (couleur verte) correspondant au débit de charriage nécessaire selon l'étape 6 (chap. 3.6). Le potentiel de valorisation concernant le régime de charriage est ici de deux degrés.



**Fig. 14 > Evaluation du régime de charriage de l'Alp, de la Sihl et de la Limmat dans l'état actuel et dans l'état que l'on peut raisonnablement atteindre (par des mesures d'assainissement), ainsi que du potentiel de valorisation (résultant de la différence entre ces deux états)**



---

---

### **Exemple du réseau hydrographique Alp – Sihl – Limmat**

La figure 14 représente l'estimation du régime de charriage dans la situation actuelle et dans l'état que l'on pourrait raisonnablement atteindre, ainsi que le potentiel de valorisation concernant le charriage résultant de la différence entre ces deux états. On constate qu'il est possible d'atteindre en majeure partie un état bon à excellent (signalé en vert et en bleu) avec les mesures prévues. Le potentiel de valorisation concernant le charriage atteint 1 à 3 degrés.

---

## **3.10 Faisabilité des mesures d'assainissement**

L'étape 12 a pour objet d'examiner la faisabilité des mesures d'assainissement envisagées et d'harmoniser les mesures à prendre dans le bassin versant. C'est également à ce stade que l'on réfléchit à la proportionnalité de ces interventions.

### **3.10.1 Conditions cadres**

Les tronçons de cours d'eau comportant des atteintes graves doivent être assainis.

Ces mesures doivent tenir compte des aspects suivants:

- a) degré de gravité des atteintes au cours d'eau,
- b) potentiel écologique,
- c) proportionnalité des coûts,
- d) intérêts de la protection contre les crues,
- e) objectifs de la politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables.

Commentaires:

> *relatif à a)*

En règle générale, les mesures d'assainissement du régime de charriage revêtent d'autant plus d'importance dans le cas d'un régime fortement altéré.

> *relatif à b)*

Les mesures d'assainissement du régime de charriage bénéficieront d'un haut degré de priorité dans le cas d'un potentiel écologique élevé, c'est-à-dire si le cours d'eau cible à l'état valorisé revêt une grande importance écologique et si le régime de charriage est le critère déterminant de cette revalorisation

> *relatif à c)*

Les dépenses à consentir pour réaliser les mesures prévues doivent être raisonnables. Ce critère de la proportionnalité se réfère d'une part aux coûts occasionnés par les mesures d'assainissement, d'autre part au potentiel de valorisation et à l'effet attendu de ces mesures.

Un module à part, intitulé *Financement de l'assainissement de l'utilisation de la force hydraulique* (OFEV, en cours d'élaboration), présentera les critères d'évaluation de la proportionnalité des mesures ainsi que la question des modes de financement.

**Exemple 1: Assainissement du régime de charriage d'un grand barrage en rivière ou d'un ouvrage d'accumulation.** *Le régime de charriage peut être assaini en abaissant le niveau de retenue lors des débits de crue. Mais le potentiel de valorisation est ici très faible en raison d'un colmatage rapide des matériaux charriés déposés dans la retenue (dépôt de sédiments fins). Un assainissement ne serait donc en l'occurrence pas proportionné<sup>14</sup>.*

**Exemple 2: Assainissement d'un tronçon court<sup>15</sup>, par exemple entre deux importants barrages en rivière arrêtant les matériaux charriés.** *Il serait sans doute possible d'assainir le charriage dans ce tronçon, mais comme seule une courte distance profiterait de l'effet obtenu et que le gravier transporté risquerait de causer une élévation du lit non souhaitable au niveau de la queue de retenue en aval, une telle mesure ne serait pas proportionnée. On s'emploiera à nuancer la mesure envisagée, en acceptant que le résultat obtenu n'atteigne pas le niveau «nécessaire» déterminé à l'étape 6 (donc en renonçant à atteindre un «bon état»).*

> *relatif à d)*

La protection contre les crues exige que l'on tienne compte de cette problématique lorsqu'il s'agit d'évaluer les impacts de phénomènes d'érosion ou d'atterrissement: L'assainissement du régime de charriage d'un cours d'eau dont le lit s'enfoncé peut atténuer ou arrêter cette tendance à l'érosion.

Si des mesures d'assainissement rétablissent le charriage d'un cours d'eau, il peut en résulter des zones d'atterrissement dangereuses dans les situations de hautes eaux. Il faut par conséquent contrôler systématiquement les mesures d'assainissement envisagées quant à leurs répercussions possibles sur la protection contre les crues. Si celle-ci s'en trouve compromise, on redimensionnera l'assainissement en question ou bien on prendra les mesures nécessaires pour neutraliser le déficit de protection contre les crues.

Dans le cas de centrales hydroélectriques comportant un barrage en rivière qui bloque le passage des matériaux charriés, tous les apports solides du tronçon amont se déposent dans la queue de la retenue. Cela peut poser à moyen ou long terme des problèmes de protection contre les crues, auquel cas il faut enlever le gravier accumulé – qui pourra ensuite être remis dans une zone où il manque.

La phase 1 comporte autant que possible une estimation qualitative des répercussions que peuvent avoir les mesures d'assainissement sur la protection contre les crues.

Lors des études de charriage de la phase 2, on examine en détail l'impact structurel des interventions prévues et les mesures d'accompagnement éventuellement nécessaires.

> *relatif à e)*

Les mesures d'assainissement ne doivent pas empêcher ou restreindre dans des proportions excessives l'exploitation d'énergies renouvelables.

<sup>14</sup> Abaisser le niveau de retenue dans le but d'assainir le bilan de charriage du tronçon aval peut toutefois s'avérer réalisable sans déroger au critère de la proportionnalité.

<sup>15</sup> Un tronçon de cours d'eau peut être considéré comme court dans le cas où sa longueur est inférieure à vingt fois sa largeur.

Comme le régime de charriage d'un cours d'eau forme un système cohérent, les mesures à prendre doivent être coordonnées à l'échelle du bassin versant. Des interventions seront souvent nécessaires dans la partie supérieure d'un bassin versant pour assainir le régime de charriage des grands cours d'eau situés en aval. Il faut donc veiller à ce que les mesures d'assainissement prises au niveau des installations du bassin supérieur assurent des apports solides suffisants plus en aval.

Coordination de mesures  
dans le réseau hydrographique

Il convient, à ce stade, de passer également en revue les mesures relatives à la protection contre les crues et au régime des eaux souterraines que pourrait entraîner l'assainissement du régime de charriage, compte tenu des questions de faisabilité et de coordination que cela implique.

Les points ci-après passent en revue diverses mesures d'assainissement possibles (liste non exhaustive).

Mesures d'assainissement  
possibles

### 3.10.2 Mesures en relation avec des centrales hydroélectriques

Le tableau ci-dessous répertorie des mesures d'assainissement envisageables en relation avec des centrales hydroélectriques. Il s'agit de prendre en compte le fait que, lors de l'évaluation de ces mesures, ce type d'installations doit autant que possible laisser transiter les matériaux charriés.

#### Centrales au fil de l'eau et avec dérivation

Mesures constructives	Transformer le barrage de manière à laisser passer les matériaux charriés en situation de crue
	Construire un ouvrage de dérivation pour les sédiments charriés (galerie, chenal)
Mesures d'exploitation	Abaisser le niveau d'eau en amont jusqu'à ce que les solides charriés passent la retenue et le barrage lors des débits de crue; éviter les courants de turbidité qui sont écologiquement nuisibles
	Permettre l'atterrissement de la retenue ou combler activement celle-ci, jusqu'à ce que les matériaux solides passent le barrage
	Ajouter du gravier dans le tronçon en aval de la retenue
	Provoquer des crues artificielles afin de réactiver le transport solide par charriage sur des tronçons de dérivation

#### Grands barrages (stockage annuel, hebdomadaire ou journalier)

Mesures constructives	Construire un ouvrage de dérivation pour les sédiments charriés (galerie, chenal)
	Mesures constructives sur les vannes de fond
Mesures d'exploitation	Effectuer des vidanges et purges régulières selon des directives à définir et compte tenu de l'écologie du cours d'eau
	Enlever du gravier au niveau des queues de retenue; restituer ces matériaux dans le tronçon situé en aval de l'ouvrage
	Provoquer des crues artificielles à partir des retenues afin de réactiver le charriage dans le tronçon aval

### 3.10.3 Mesures en relation avec des dépotoirs à alluvions

Le tableau ci-dessous répertorie les mesures constructives et d'exploitation visant à assainir le régime de charriage en relation avec des dépotoirs à alluvions.

Dépotoirs à alluvions	
Mesures constructives	Transformer le dépotoir de telle sorte qu'une partie des matériaux charriés puisse transiter vers l'aval
	Démanteler le dépotoir (sous réserve de conflit avec la protection contre les crues)
Mesures d'exploitation	Réduire l'exploitation du dépotoir (le laisser déborder par phases, puis le vider à nouveau) ou cesser entièrement l'extraction (sous réserve de conflit avec la protection contre les crues)
	Extraire du gravier du dépotoir et le restituer en aval sur un site approprié

### 3.10.4 Mesures en relation avec l'extraction de gravier à des fins de protection contre les crues

En ce qui concerne les sites d'extraction de gravier à but de protection contre les inondations, il convient d'examiner si ces prélèvements ont effectivement pour effet une baisse substantielle du niveau de l'eau dans les situations de crue.

Si ces extractions ne servent qu'à une protection locale (p. ex. rive localement trop basse ou protection insuffisante au niveau d'un pont), on envisagera des mesures d'aménagement qui conduiront à cesser d'extraire du gravier. Des mesures d'exploitation peuvent être utiles jusqu'au moment où les mesures de protection contre les crues auront été réalisées.

Si ces prélèvements ont pour but et pour effet de prévenir des atterrissements sur une longue distance, c'est que le charriage est normal sur le tronçon en question. Si l'on constate un déficit de charriage sur un tronçon situé plus en aval (sans possibilité de prendre des mesures sur d'éventuels affluents), il y a lieu d'envisager des mesures d'exploitation (extraction et restitution de gravier).

Extractions de gravier à titre de protection contre les crues	
Mesures constructives	Planifier et réaliser des mesures de protection contre les crues dans les tronçons de cours d'eau où il faut s'attendre à des dangers en cas d'extractions réduites; puis arrêter les extractions
	Accroître la déclivité en enlevant des seuils
Mesures d'exploitation	Enlever la végétation persistante des bancs de gravier (avec les racines) pour faire cesser l'atterrissement et favoriser la mobilisation des sédiments en situation de crue
	Déplacer les matériaux charriés de manière à en faciliter le transport
	Extraire et restituer du gravier sur les sites appropriés

### 3.10.5 Mesures en relation avec des sites d'extraction de gravier à des fins commerciales

Les sites d'extraction commerciale de gravier peuvent donner lieu aux mesures constructives ou d'exploitation suivantes:

---



---

**Sites d'extraction de gravier à des fins commerciales**

Mesures constructives	Transformer ou démonter les installations d'extraction
Mesures d'exploitation	Réduire ou arrêter l'extraction de gravier

---

**3.10.6 Mesures portant sur des cours d'eau aménagés**

Les cours d'eau aménagés peuvent donner lieu aux mesures constructives ou d'exploitation suivantes:

---

**Aménagements de cours d'eau «normaux» (sans torrents ou déviations historiques)**

Mesures constructives	Aménagements de cours d'eau «normaux» (sans torrents ou déviations historiques)
Mesures d'exploitation	Démanteler l'endiguement des rives et laisser agir l'érosion Démanteler les ouvrages transversaux

---

**Torrents aménagés**

Mesures constructives	Démanteler partiellement et/ou progressivement les aménagements
Mesures d'exploitation	Extraire et restituer du gravier sur des sites appropriés

---

**Déviations historiques de rivières dans des lacs**

Mesures constructives	Aucune
Mesures d'exploitation	Déterminer de cas en cas si des ajouts limités de gravier à l'exutoire d'un lac seraient favorables à l'écologie des eaux. Comme les émissaires de lacs ne présentent aucune turbidité même avec leur débit de crue, il convient d'envisager l'ajout de gravier criblé. Exemple: canal de la Linth en aval du Walensee

---

**3.10.7 Ajouts de gravier**

Si une installation bloquant le charriage naturel ne peut être assainie par des mesures rétablissant le transit solide, ou si les mesures envisageables sont disproportionnées, des ajouts de gravier constituent souvent le seul moyen d'assainir le régime de charriage en aval de cette installation.

Mesures à prendre dans les cours d'eau longs et vidés de leurs alluvions:

Le régime de charriage d'un long cours d'eau se caractérise par une certaine inertie. Si diverses interventions au cours du temps y ont réduit peu à peu les apports solides, la disparition des matériaux déposés s'est probablement étalée sur de nombreuses années ou des décennies. L'assainissement du charriage ramène des sédiments dans le cours d'eau; et l'on peut s'attendre à un rétablissement rapide ou très lent, selon la localisation et l'ampleur des mesures prévues. Il peut donc s'avérer très utile, d'un point de vue écologique, d'ajouter dans la phase initiale du gravier réparti sur divers sites du cours d'eau. Ces ajouts de gravier pourront être retirés une fois le nouvel équilibre atteint.

La planification d'une telle mesure doit prendre en considération les aspects suivants:

Aspect	Possibilités et critères
Provenance du gravier	Le gravier peut provenir de dépotoirs à alluvions, d'un cours d'eau (p. ex. queue de retenue d'un barrage en rivière) ou d'une gravière.
Composition du matériau	La granulométrie et la lithologie doivent être conformes à celles des matériaux solides charriés naturellement. Le choix du matériau peut obéir à des critères d'écologie des eaux.
Renouvellement du gravier	Renouveler régulièrement les apports de gravier selon les crues ou les successions d'années humides et sèches.

### 3.10.8 Profil en long du charriage

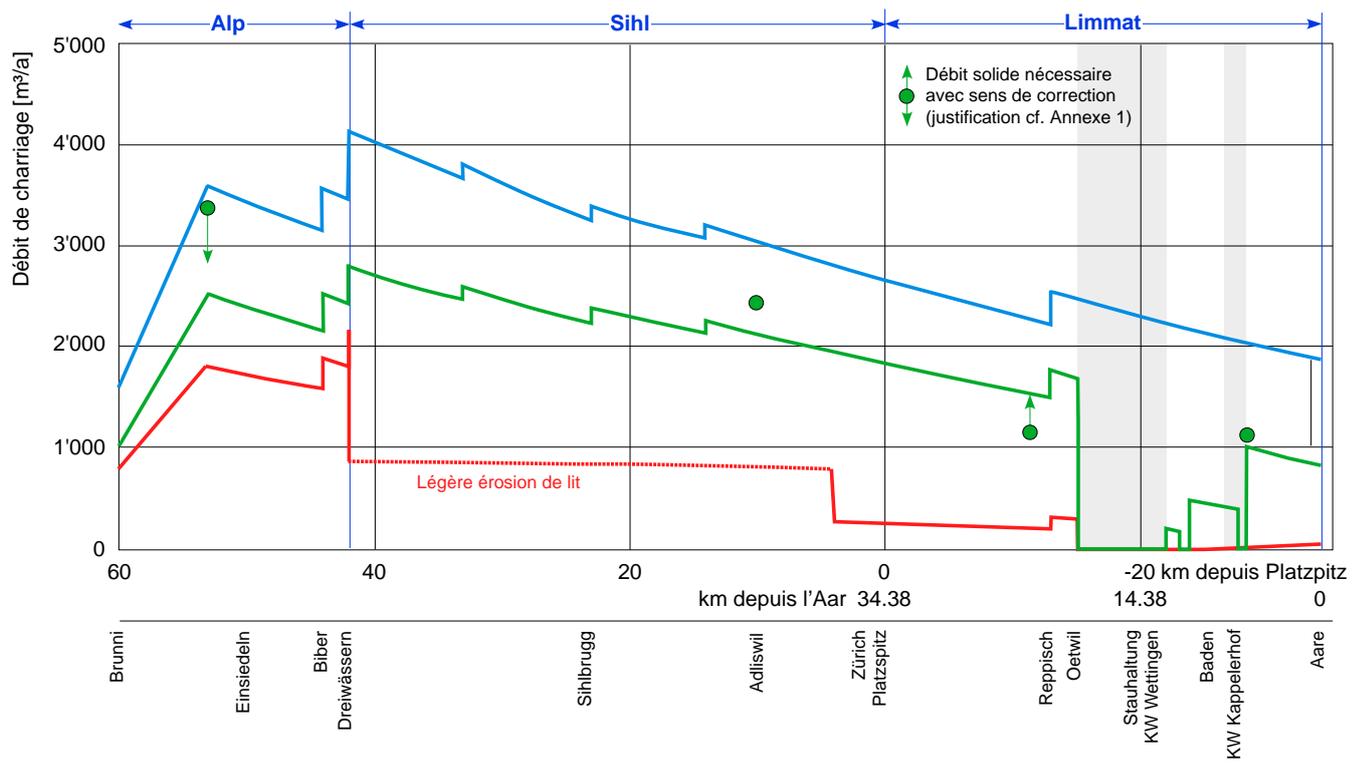
Si l'évaluation approfondie a été réalisée, on peut vérifier l'effet des mesures envisagées sur le profil en long du charriage par comparaison avec le débit solide nécessaire tel qu'il a été estimé à l'étape 6. Cela permettra de déterminer quels tronçons pourront être remis en bon état; et pour lesquels des questions de proportionnalité conduiront à ne pas intervenir.

#### *Exemple Sihl – Limmat (fig. 15)*

*Les 19 mesures dont le bureau d'études mandaté recommande la réalisation sur le réseau hydrographique Sihl-Limmat doivent globalement faire retrouver à ces cours d'eau le débit solide nécessaire (avec des charges solides en partie supérieures et en partie inférieures). Pour des raisons de proportionnalité, il est prévu d'améliorer le charriage sans atteindre un bon état entre les retenues des centrales de Wettingen et de Kappelerhof. Le régime de charriage de ces retenues ne sera pas assaini (aucun potentiel de valorisation).*

**Fig. 15** > Profils en long du volume solide charrié par l'Alp, la Sihl et la Limmat à l'état non altéré (en bleu) et dans l'état actuel (en rouge), ainsi qu'après réalisation des mesures d'assainissement (en vert)

Les points verts signalent le débit solide nécessaire dans certains tronçons selon l'estimation faite à l'étape 6 (points verts).



### 3.11 Coordination avec d'autres mesures

Conformément à l'annexe 4a, ch. 3, al. 2, let. b, OEaux, la coordination avec d'autres mesures (revitalisation, assainissement du débit résiduel, des éclusées et de la migration du poisson) doit être réalisée au plus tard lors des dernières étapes de la planification stratégique. Mais il peut s'avérer judicieux d'aborder cette problématique dès l'élaboration du rapport intermédiaire.

Les synergies avec des mesures de revitalisation revêtent ici une importance particulière. En effet, les mesures envisagées pour assainir le régime de charriage d'un cours d'eau fortement altéré ne donneront les résultats escomptés que si l'on revitalise certains tronçons tout au moins de ce cours d'eau. Il en va de même pour des revitalisations qui ne mettront fin aux atteintes graves à l'habitat aquatique que si le débit solide est suffisant (s'il n'est pas gravement altéré).

L'effet combiné des mesures de revitalisation (espace réservé aux eaux, aménagements) d'une part, d'assainissement du régime de charriage d'autre part, peut être visualisé et évalué sur la figure 16 ci-dessous. La position occupée par un tronçon de cours d'eau résulte de son état actuel par rapport aux critères écomorphologie et régime de charriage<sup>16</sup>.

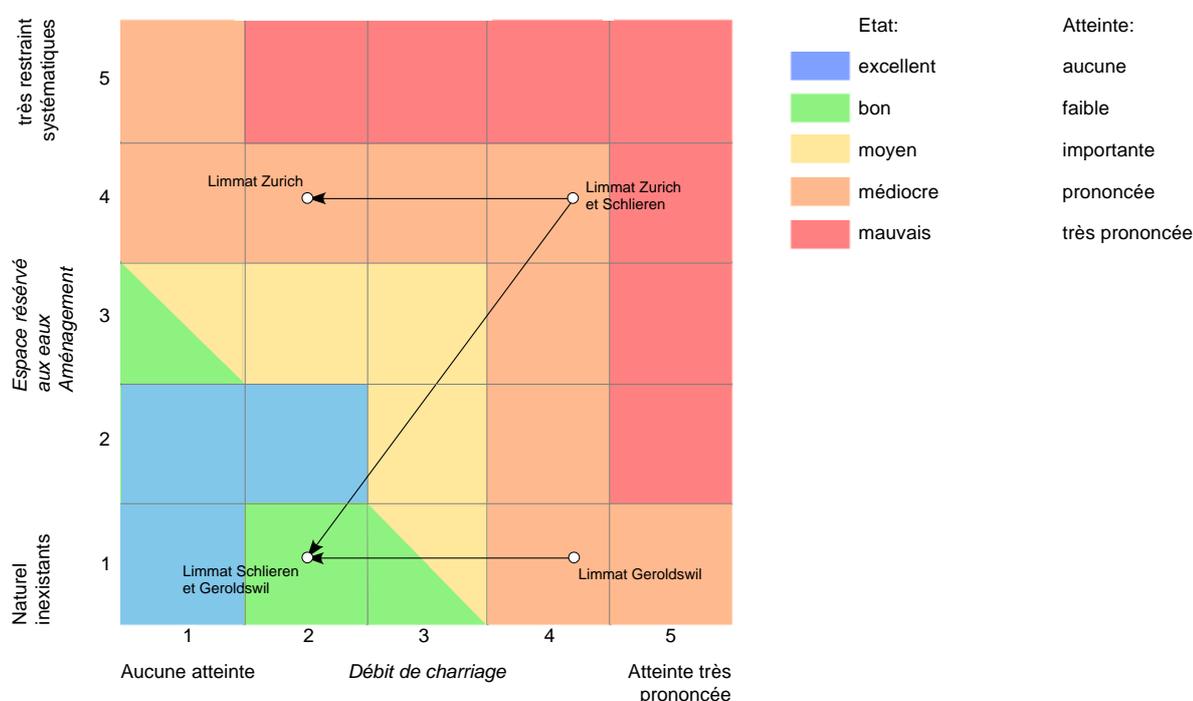
<sup>16</sup> C'est son écomorphologie combinée à son régime de charriage qui détermine la morphologie d'un cours d'eau.

Les mesures de revitalisation déplacent cette position verticalement, et les mesures d'assainissement du régime de charriage la déplacent horizontalement. **La revalorisation du cours d'eau a pour but d'obtenir que l'effet combiné des mesures de revitalisation et des mesures d'assainissement du régime de charriage aboutisse à un état bon ou excellent (signalé en vert ou en bleu).**

La coordination avec d'autres mesures d'assainissement (débit résiduel, éclusées, migration du poisson) peut être réalisée de manière analogue.

**Fig. 16 > Graphique d'évaluation combinée de l'écomorphologie (espace réservé aux eaux, aménagements) et du régime de charriage**

Dans les carrés subdivisés en diagonale, on décide de cas en cas si c'est la classe d'état supérieure ou inférieure qui se justifie.



**Exemple (fig. 16)**

Il est possible de faire passer l'état de la Limmat à Schlieren de mauvais à bon en élargissant le cours d'eau (revitalisation) et en prenant les mesures prévues pour assainir son régime de charriage.

Réalisées à Zurich, en l'absence de toute possibilité de revitalisation, les mêmes mesures d'assainissement du charriage n'améliorent l'état de la Limmat que d'une classe.

La Limmat étant déjà revitalisée à Geroldswil, il suffit d'assainir son régime de charriage pour que son état redevienne bon<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Sans tenir compte du débit résiduel à assainir.

## > Annexe

### A1 Exemples de détermination du débit solide nécessaire

La méthode décrite au chap. 3.6 pour la détermination du débit solide nécessaire a été déjà appliquée par les autorités cantonales compétentes aux tronçons de cours d'eau répertoriés ci-dessous, qui peuvent ainsi servir d'exemples.

Les figures 17 à 26 visualisent les bancs de sédiments reportés sur la carte, avec la liste de leurs superficies planimétrées. Le tableau 2 indique la superficie moyenne des bancs de sédiments, le volume à renouveler pour ceux-ci, les facteurs de correction et le débit solide nécessaire.

- Alp:** Amont et aval de l'embouchure du Butzitobelbach  
Base: carte Siegfried  
Le débit solide est plutôt surestimé du fait qu'à l'époque où cette carte de référence était réalisée la plupart des torrents appartenant au bassin versant de l'Alp n'avaient pas encore été aménagés.
- Sihl:** Vers Adliswil  
Base: carte Wild du canton de Zurich (env. 1845).  
Les débits de crue ont diminué depuis la création du lac de Sihl, de sorte qu'il suffit actuellement d'apports solides plutôt moins importants pour former des bancs de gravier comparables.
- Limmat:** Tronçon Schlieren – Dietikon  
Base: carte Wild du canton de Zurich (env. 1845)  
Le débit solide est plutôt sous-estimé du fait qu'à l'époque où cette carte de référence était réalisée la formation de bancs de gravier était déjà limitée par des aménagements du cours d'eau.
- Limmat:** Tronçon Baden – Turgi (méandres)  
Base: carte nationale 1:25 000  
Sa morphologie (berges convexes, largeur du lit) conduit à déterminer les bancs de gravier par des visites sur le terrain et en examinant les profils en travers.
- Aar:** Tronçon Olten – Gösigen (trois états différents)  
Etat 1 (basé sur carte Siegfried): état non altéré  
Etat 2 (basé sur cn 1:25 000): avec centrale d'Olten-Gösigen, créant une situation de débit résiduel.  
Etat 3 (basé sur les plans d'un projet de renaturation et de protection contre les crues): l'Aar sera élargie et complétée par un bras secondaire.  
Cet exemple montre que la méthode préconisée permet de répondre utilement à diverses conditions ambiantes.

Rhin Alpin: Tronçon de Mastrils

Base: vue aérienne de l'an 2000

La seule zone proche de l'état naturel ne comporte que 8 bancs.

Haut-Rhin: Tronçon Rekingen – Rietheim

Base: plans topographiques du Haut-Rhin

Les bancs figurant sur la carte correspondent aux structures situées à moins de 2,3 m de profondeur pour un débit moyen de mars (condition requises pour un site de reproduction de l'ombre).

**Tab. 2 > Détermination du débit solide nécessaire sur les tronçons de cours d'eau**

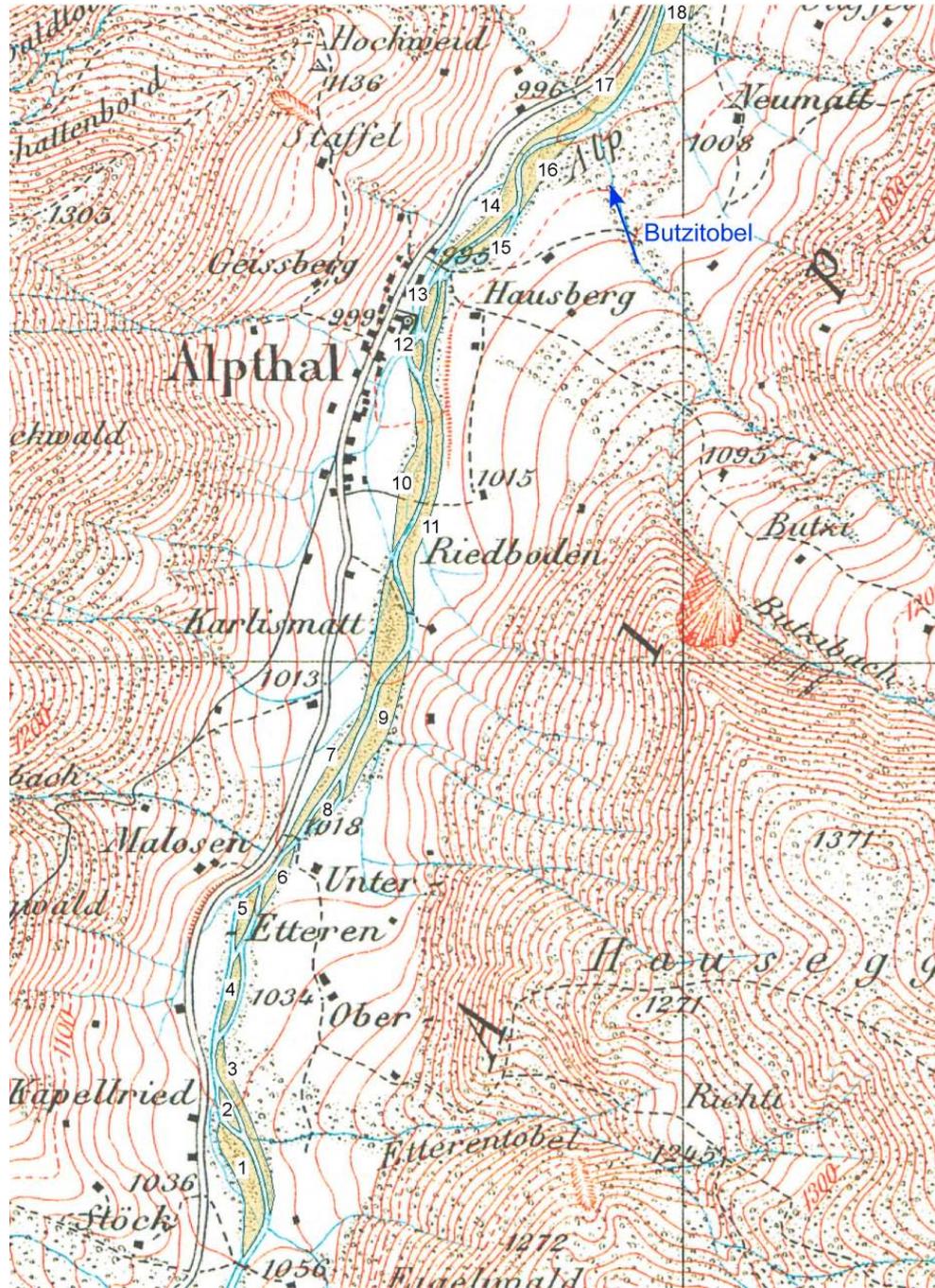
*tronçons de cours d'eau illustrés dans les figures 17 à 26.*

*M: morphologie; CT: capacité de transport; Tu: turbidité.*

Tronçon de cours d'eau	Superficie Ø des bancs	Vol. Ø couche superficielle	Facteurs de correction			Débit solide nécessaire (arrondi)
	[m <sup>2</sup> ]		[m <sup>3</sup> ]	M	TK	
Alp en amont du Butzitobel	4 100	1 240	2,0	1,0	1,0	2 500
Alp en aval du Butzitobel	5 600	1 680	2,0	1,0	1,0	3 400
Sihl à Adliswil	4 600	1 400	1,75	1,0	1,0	2 450
Limmat de Schlieren à Dietikon	3 800	1 140	2,0	1,0	0,5	1 140
Limmat de Baden à Turgi	4 930	1 500	1,0	1,5	0,5	1 100
Aar d'Olten à Gösgen (1)	17 900	5 370	1,75	1,0	0,75	7 000
Aar d'Olten à Gösgen (2)	7 100	2 130	1,75	1,0	0,75	2 800
Aar d'Olten à Gösgen (3)	7 800	2 340	1,75	1,0	0,75	3 100
Rhin à Mastrils	41 900	12 600	2,5	1,0	1,0	31 000
Rhin à Zurzach	19 600	5 900	1,5	1,0	0,8	7 000

Fig. 17 > L'Alp en amont de l'embouchure du Butzitobel, avec ses bancs de graviers reproduits sur la carte Siegfried (1<sup>re</sup> édition 1890)

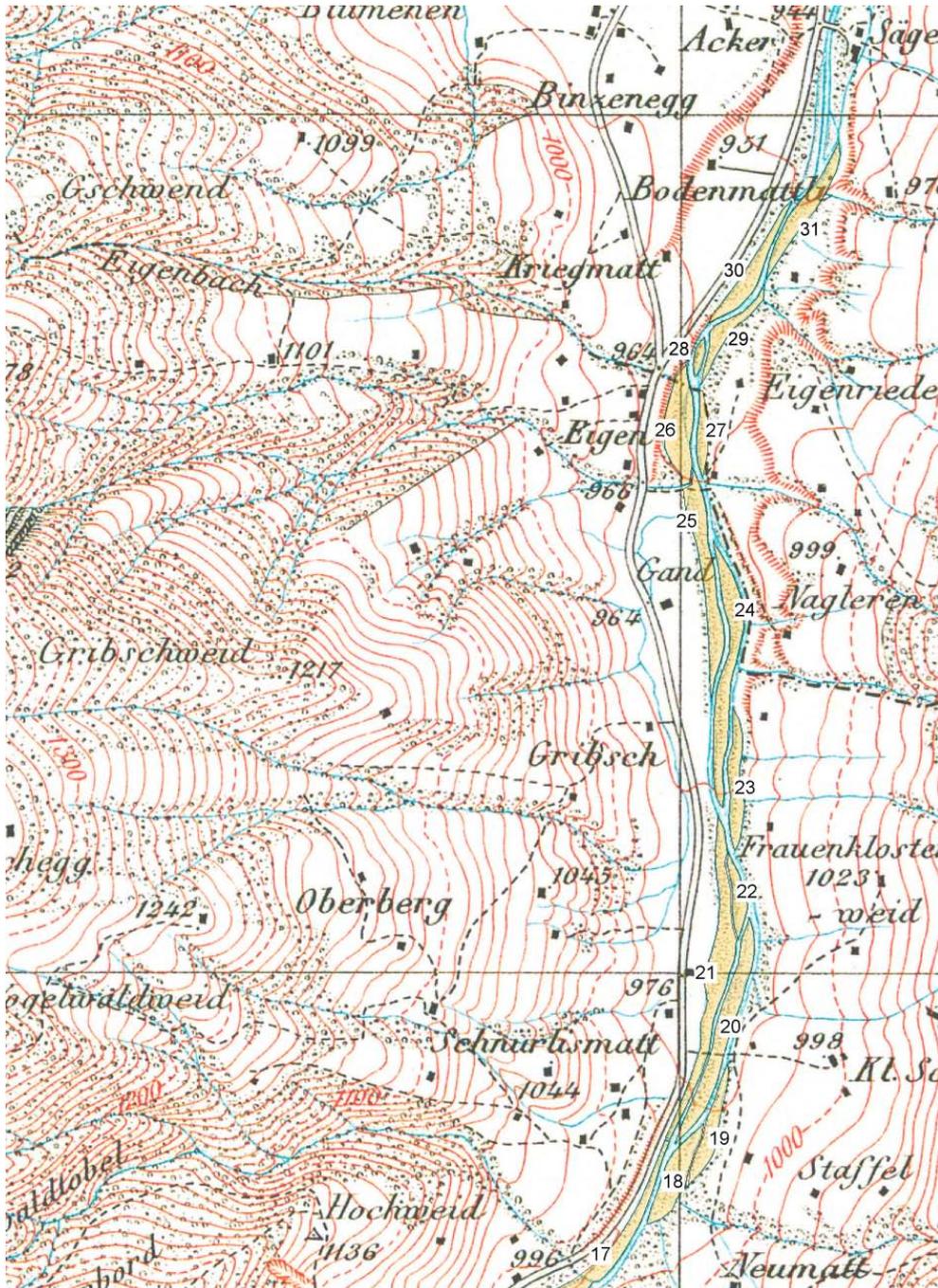
Echelle 1:25 000.



KB Nr.	Fläche [m2]
1	7150
2	1080
3	4430
4	2020
5	1660
6	1680
7	12240
8	1060
9	7180
10	6850
11	9470
12	690
13	1080
14	4310
15	1360
16	3900

Fig. 18 > L'Alp en aval de l'embouchure du Butzitobel, avec ses bancs de graviers reproduits sur la carte Siegfried (1<sup>re</sup> édition 1890)

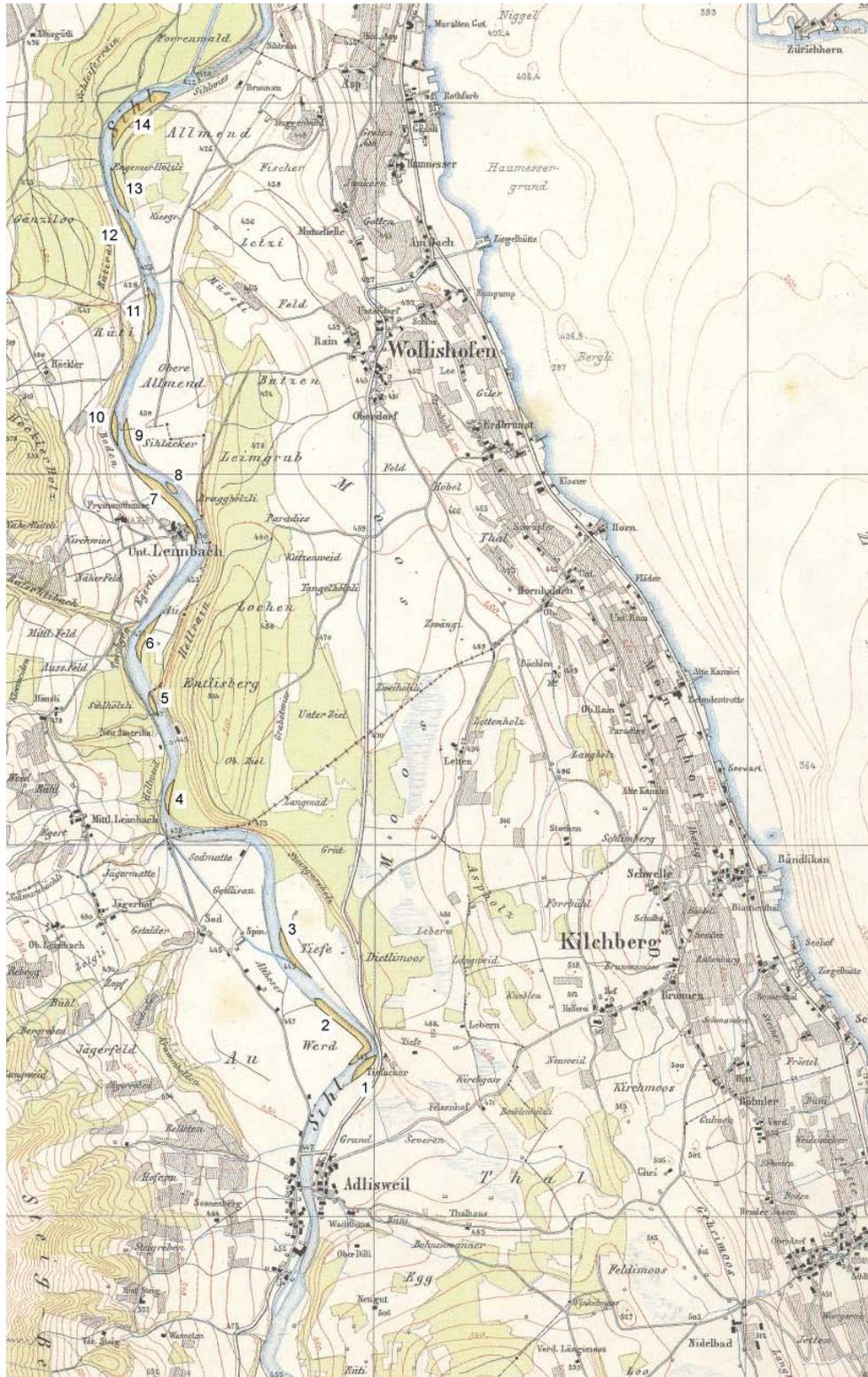
Echelle 1:25 000.



KB Nr.	Fläche [m <sup>2</sup> ]
17	7570
18	5520
19	3830
20	9260
21	11420
22	2380
23	4330
24	9280
25	8280
26	6870
27	1910
28	820
29	2910
30	4460
31	5200

Fig. 19 > La Sihl entre Adliswil et Leimbach, avec ses bancs de gravier reproduits sur la carte Wild (env. 1850)

Echelle 1:25 000.



KB Nr.	Fläche [m2]
1	3438
2	9813
3	4125
4	1938
5	1500
6	4063
7	10875
8	1000
9	4000
10	2313
11	3313
12	2875
13	3375
14	12250

Fig. 20 > La Limmat dans la région de Dietikon, avec ses bancs de gravier reproduits sur la carte Wild (env. 1850)

Echelle 1:25 000.

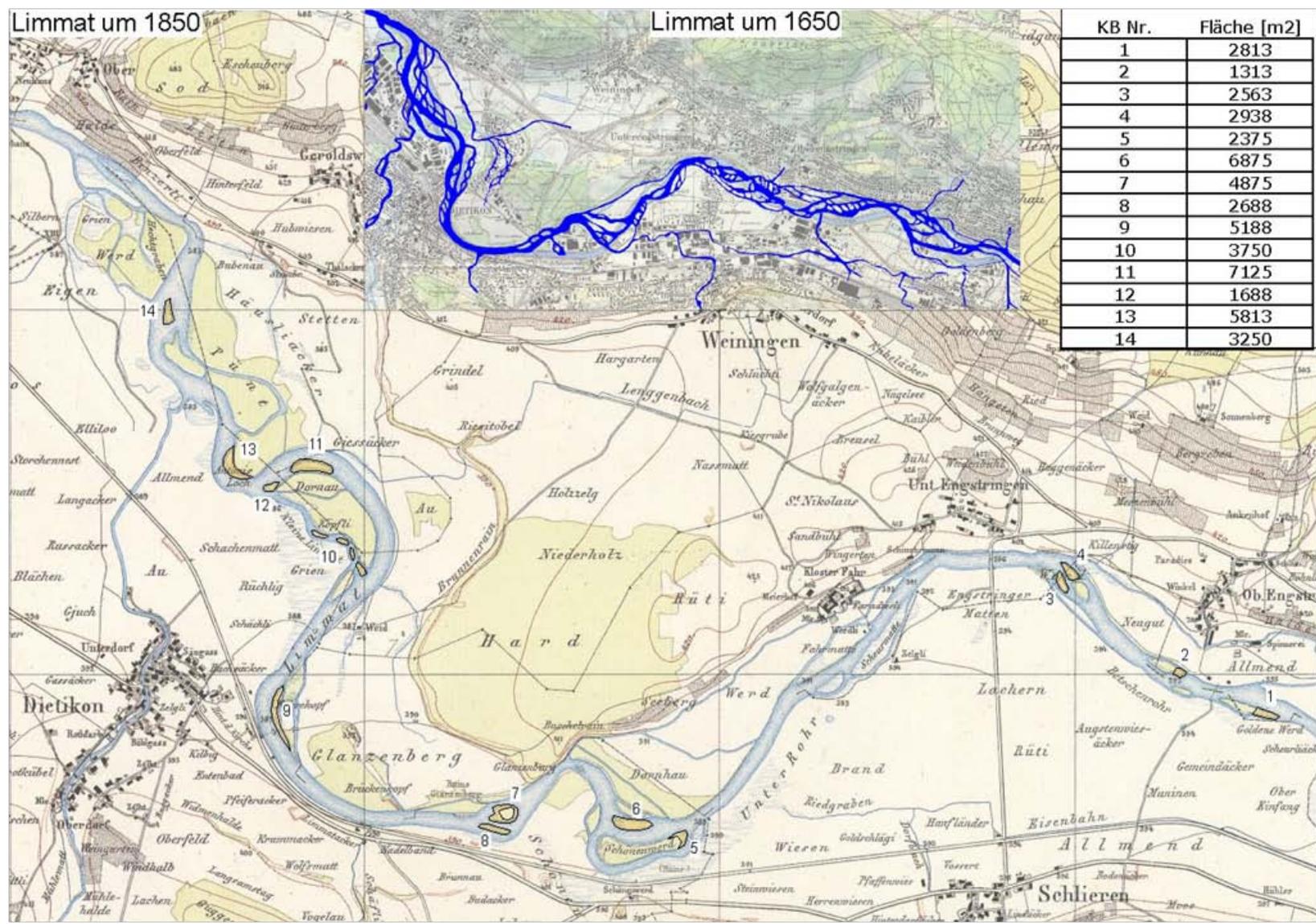


Fig. 21 > La Limmat entre Baden et l'Aar, avec ses bancs de gravier potentiels

Echelle 1:25 000.

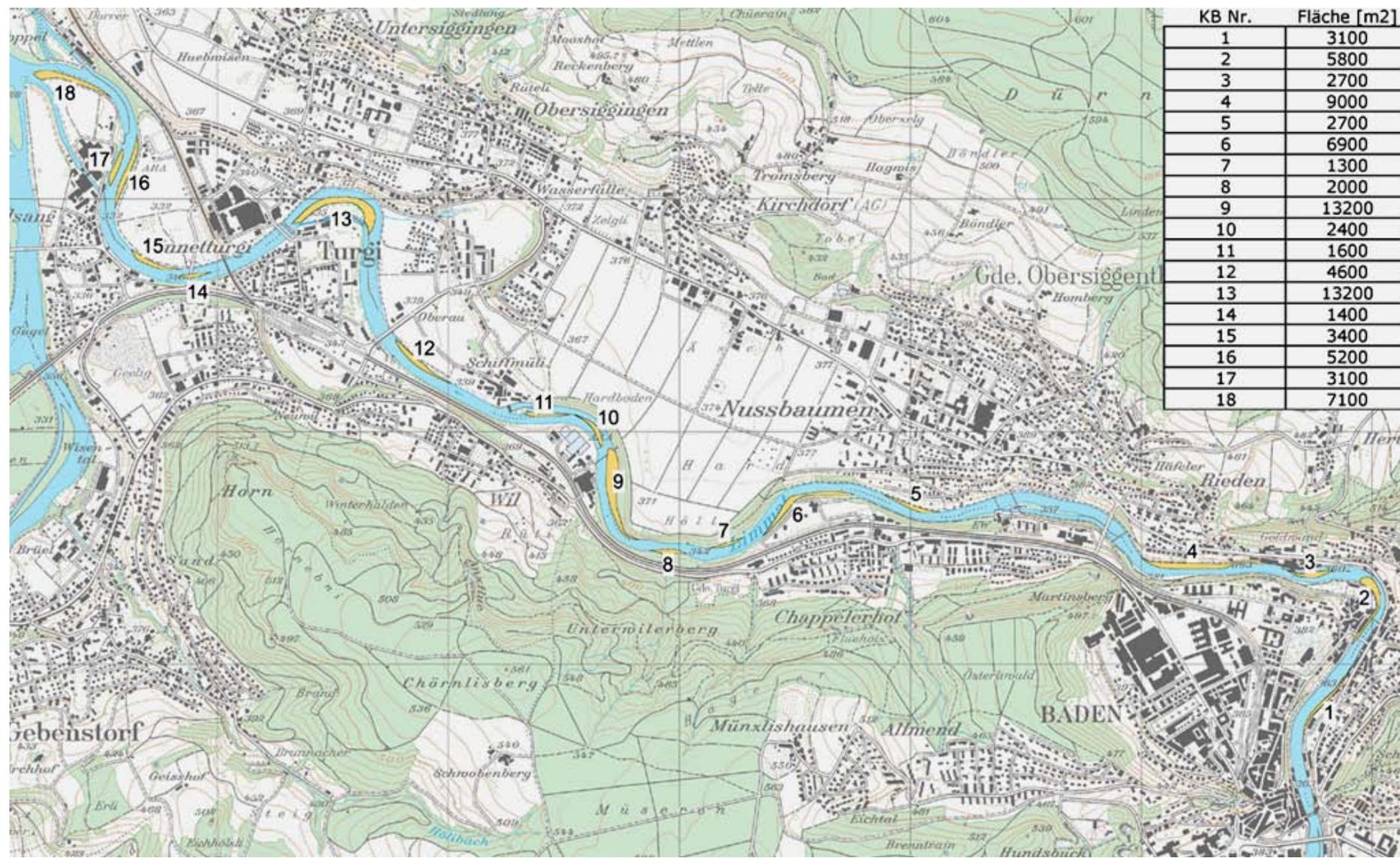


Fig. 22 > L'Aar de Winznau à Niedergösgen, avec ses bancs de gravier reproduits sur la carte Siegfried (1<sup>re</sup> édition 1878)

Echelle 1:20000.

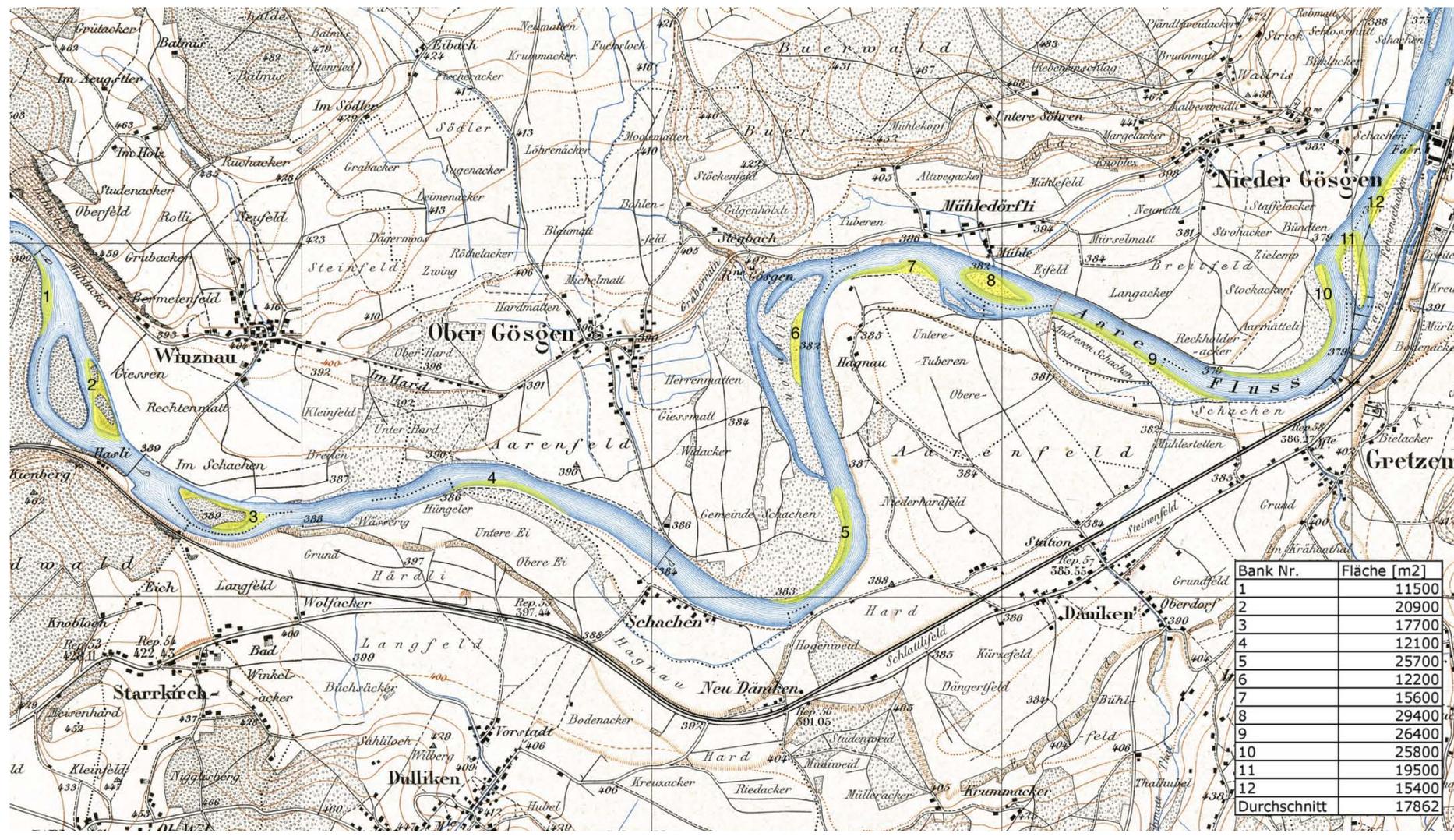


Fig. 23 > L'Aar de Winznau à Niedergösgen. Etat actuel avec ses bancs de gravier cartographiés

Echelle 1:20000.

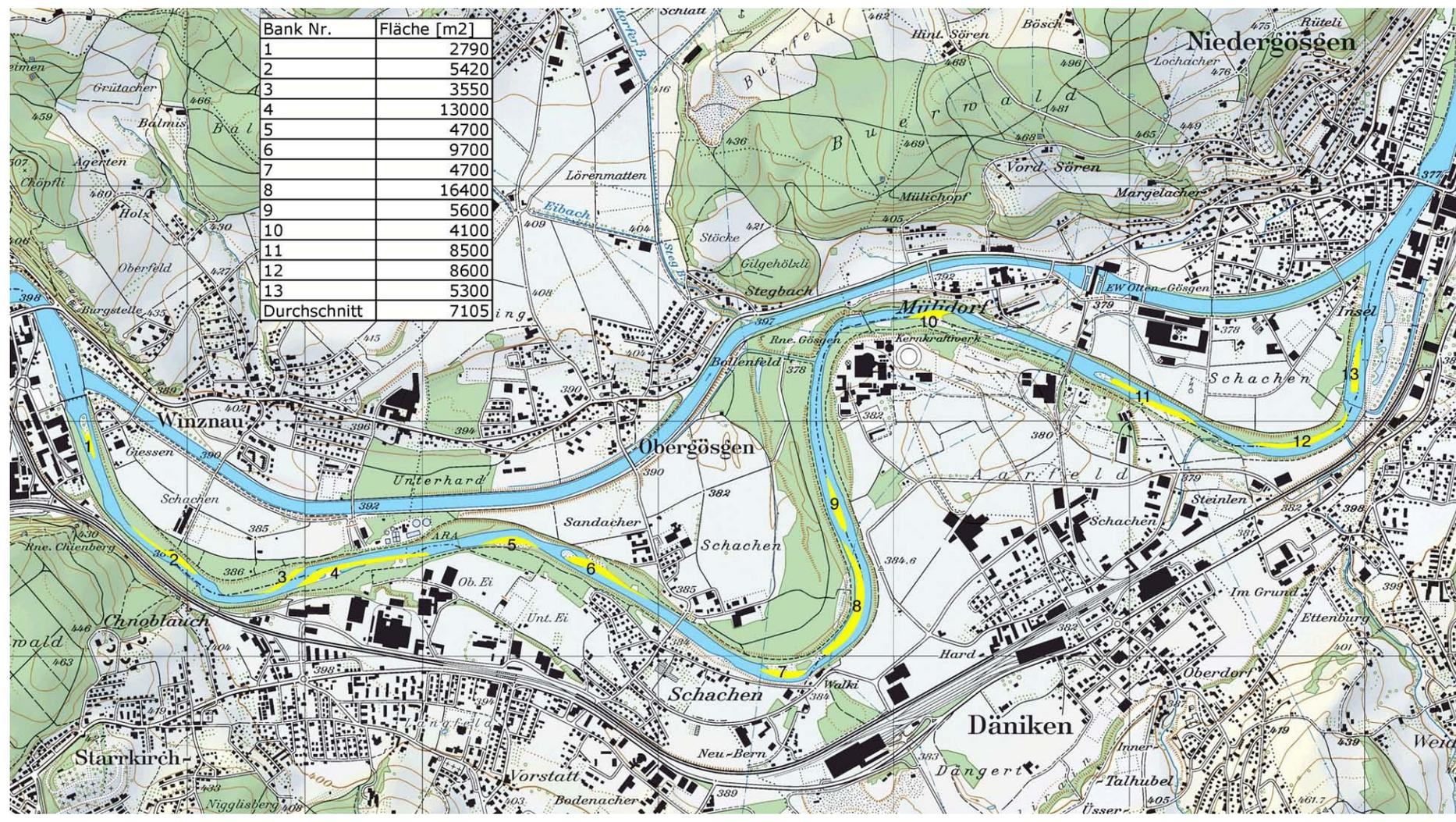


Fig. 24 > L'Aar de Winznau à Niedergösgen. Projet de protection contre les crues avec bancs de gravier potentiels

Echelle 1:20000.

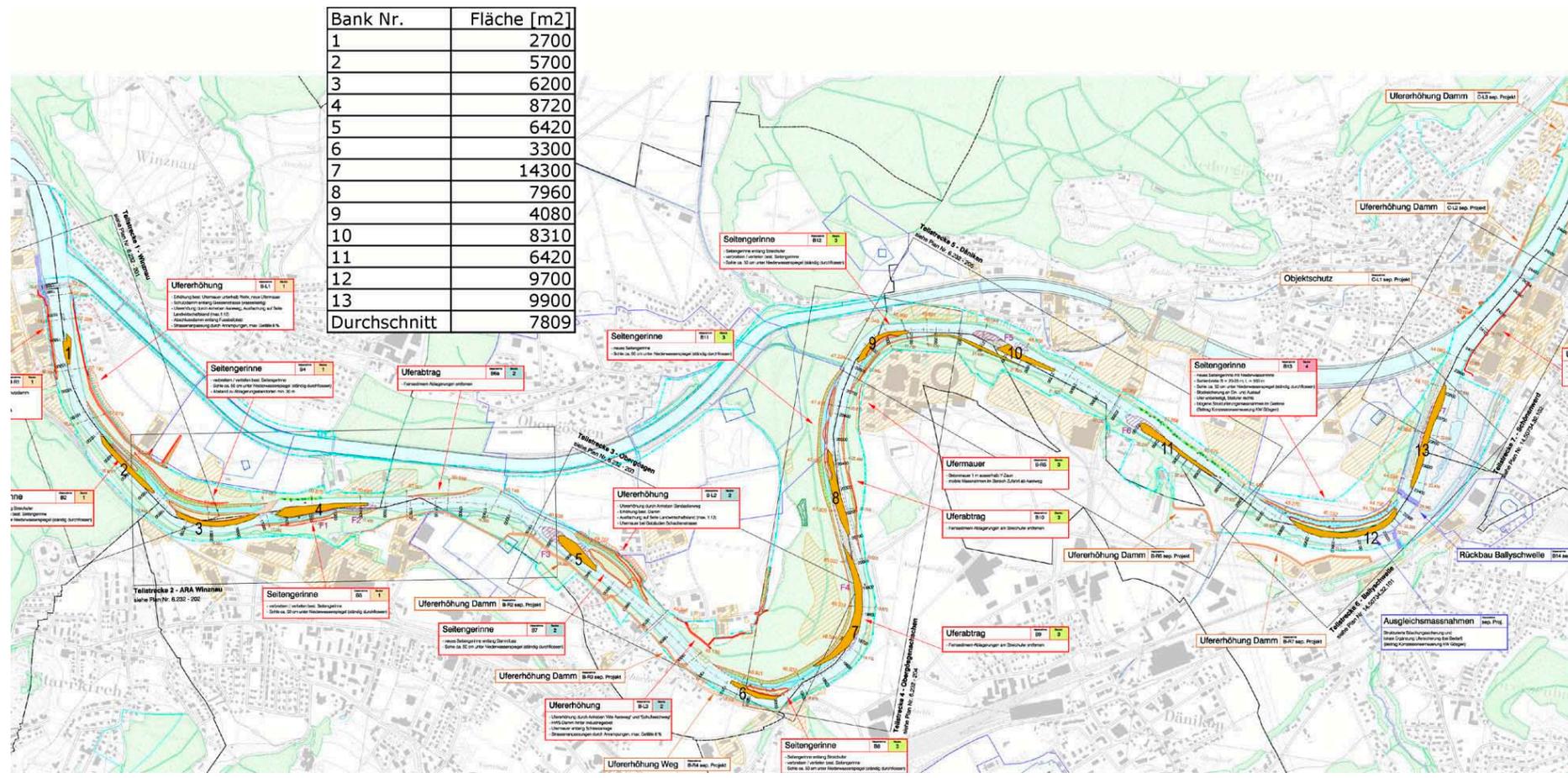


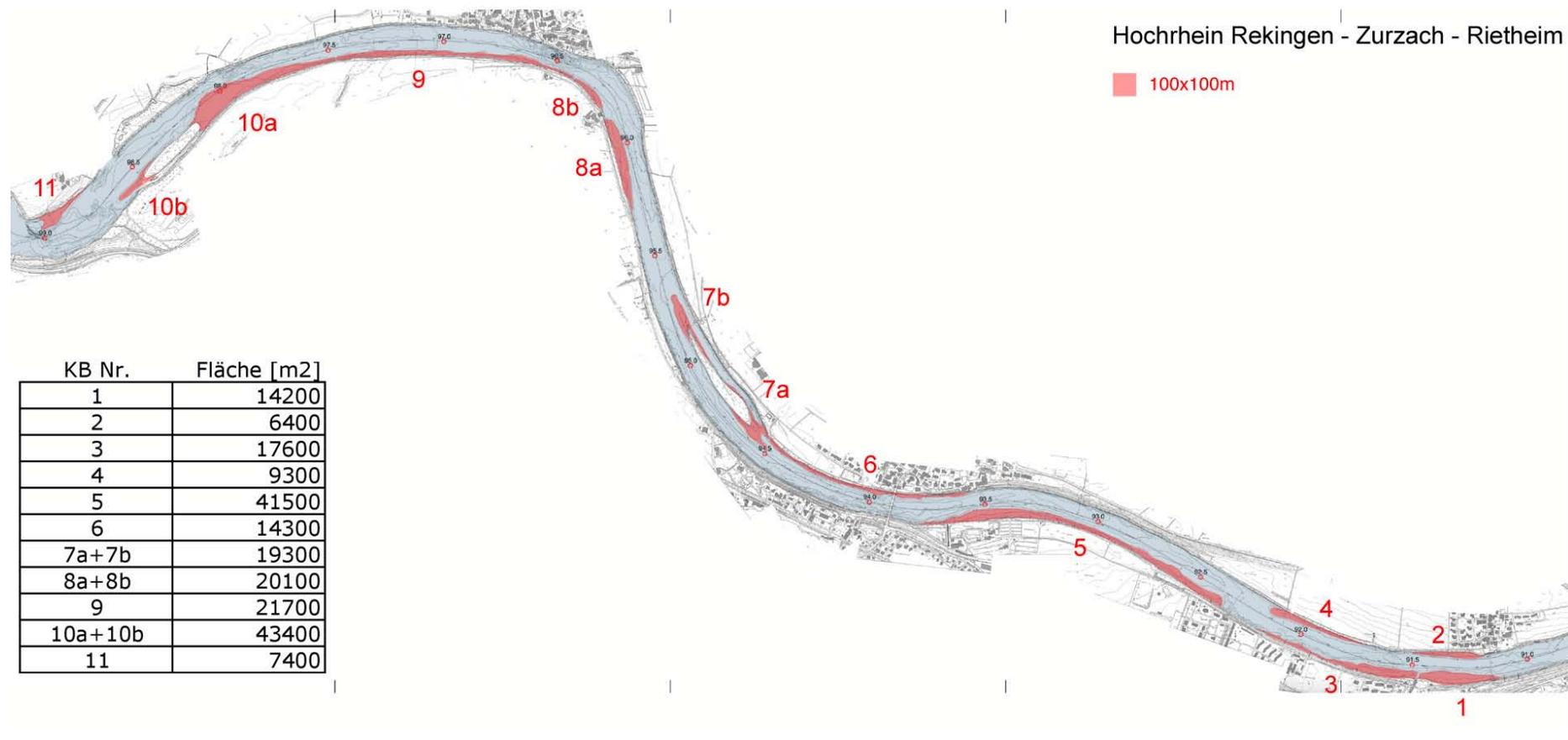
Fig. 25 > Rhin alpin à Mastrils avec ses bancs de gravier (sans la végétation), état en 2000

Echelle 1:20000.



Fig. 26 > Le Rhin de Rekingen à Zurzach puis Rietheim, avec les bancs de gravier potentiels

Interprétation de la carte topographique. Echelle 1:25 000.



## A2 Exigences minimales auxquelles doit satisfaire la planification cantonale

### A2-1 Rapport intermédiaire à remettre d'ici à fin 2013 – exigences minimales

Contenu du rapport intermédiaire selon OEaux	Documents à remettre par le canton
a. Désignation des tronçons de cours d'eau où une modification du régime de charriage porte gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes, à leurs biotopes, au régime des eaux souterraines ou à la protection contre les crues	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carte des tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves en raison d'une modification de leur régime de charriage, avec indication du ou des types d'atteintes (1) faune, flore et biotopes; 2) régime des eaux souterraines; 3) protection contre les crues)</li> <li>Désignation de tous les cours d'eau cibles</li> </ul>
b. Evaluation du potentiel écologique des tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves et du degré de gravité des atteintes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation/classement du potentiel écologique selon l'art. 33a OEaux</li> <li>• Attribution du degré de gravité des atteintes selon les classes d'état «mauvais», «médiocre», «moyen»</li> </ul>
c. Liste des installations provoquant des atteintes graves dans les tronçons de cours d'eau visés à la let. a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liste des installations provoquant les atteintes graves, avec indication des causes et documentation de ces atteintes</li> </ul>
d. Liste des installations dont les détenteurs seront vraisemblablement appelés à prendre des mesures d'assainissement, avec des indications sur la faisabilité des mesures d'assainissement et sur la coordination de ces mesures dans le bassin versant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liste des installations</li> <li>• Données relatives à la faisabilité de mesures d'assainissement (adaptations constructives et d'exploitation, effets sur des tiers et sur l'environnement, coûts)</li> <li>• Indications sur la coordination des mesures à l'échelle du bassin versant</li> </ul>
Traitement des données conformément au modèle de géodonnées minimal	

### A2-2 Planification définitive à adopter d'ici à fin 2014 – exigences minimales

Contenu du rapport final selon OEaux	Documents à remettre par le canton
a. Liste des installations dont les détenteurs doivent prendre des mesures pour remédier aux atteintes graves que la modification du régime de charriage porte à la faune et à la flore indigènes, à leurs biotopes, au régime des eaux souterraines ou à la protection contre les crues, de même que les délais fixés pour la planification et la réalisation des mesures prévues	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liste définitive, accompagnée des indications figurant dans le rapport intermédiaire</li> <li>• Délais fixés pour la planification et la réalisation de toutes les mesures prévues</li> </ul>
b. Indications sur la manière dont l'assainissement du régime de charriage prend en compte d'autres mesures destinées à protéger les biotopes naturels et à assurer la protection contre les crues	<p>Indications sur la coordination avec les planifications dans les domaines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• revitalisation des eaux</li> <li>• assainissement des éclusées</li> <li>• migration piscicole</li> <li>• protection contre les crues</li> </ul>
c. Dans le cas des installations pour lesquelles la nécessité de mesures d'assainissement ne peut encore être déterminée en raison de circonstances particulières: un délai au terme duquel le canton déterminera si des mesures d'assainissement s'imposent et, le cas échéant, dans quel délai des mesures doivent être planifiées et réalisées	<p>Justification dûment motivée du recours à cette dérogation. Délai au terme duquel le canton déterminera si des mesures d'assainissement s'imposent et, le cas échéant, lesquelles et dans quel délai elles devront être planifiées et réalisées</p>
Traitement des données conformément au modèle de géodonnées minimal	

## > Bibliographie

- [1] Office fédéral de l'environnement 2011: Rapport explicatif. A) Initiative parlementaire Protection et utilisation des eaux (07.492) – Modification des ordonnances sur la protection des eaux, l'aménagement des cours d'eau et l'énergie, de même que de l'ordonnance relative à la loi fédérale sur la pêche. B) Infiltration d'eaux à évacuer – Modification de l'ordonnance sur la protection des eaux. C) Adaptation des noms de poissons – Modification de l'ordonnance relative à la loi fédérale sur la pêche.
- [2] Office fédéral de l'environnement (version pour consultation, état 14.6.2011): Revitalisation des cours d'eau. Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux.
- [3] Flussbau AG SAH 2011: Geschiebehaushalt Einzugsgebiet Sihl – Limmat. Sanierungsbericht. Im Auftrag der Kantone Schwyz, Zug, Zürich und Aargau.
- [4] Flussbau AG SAH 2010: Geschiebehaushaltsstudie Sihl – Limmat. Im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zürich, des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich, des Departements Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau und der Limmatkraftwerke AG, Baden.
- [5] Flussbau AG SAH 2009: Kriterien / Anforderungen Geschiebehaushalt. Auftrag im Rahmen der Arbeiten zur Parlamentarischen Initiative «Schutz und Nutzung der Gewässer». Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.
- [6] Schälchli U., Breitenstein M., Kirchofer A. 2010: Kiesschüttungen zur Reaktivierung des Geschiebehaushalts der Aare – die kieslaichenden Fische freut's. Wasser Energie Luft 102/3: 209–213.
- [7] Schälchli, Abegg + Hunzinger, Hunziker, Zarn & Partner 2007: Reaktivierung des Geschiebehaushalts in Schweizer Fließgewässern. Massnahmen und Kosten. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.
- [8] Schälchli, Abegg + Hunzinger, Hunziker, Zarn & Partner 2005: Geschiebe- und Schwebstoffproblematik in Schweizer Fließgewässern. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt.
- [9] Ahmari H., Ferreira Da Silva A.M. 2011: Regions of bars, meandering and braiding in da Silva and Yalins plan, Journal of Hydraulic Research, 49:6, 718–727.
- [10] Peter A., Scheidegger C. 2012: Suivi des projets de revitalisation. In: Recueil des fiches sur l'aménagement et l'écologie des cours d'eau. OFEV, Berne. Fiche 8.
- [11] Schälchli, Abegg + Hunzinger 2002: Innere Kolmation. Methoden zur Erkennung und Bewertung. Im Auftrag der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG).
- [12] Schälchli U. 1993: Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen. Mitteilung Nr. 124 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.
- [13] Bezzola G.R. 2012: Flussbau – Vorlesungsmanuskript Fassung FS 2012, Professur für Wasserbau, Eidg. Technische Hochschule Zürich ETH. Zürich.

# > Répertoires

## Figures

<b>Fig. 1</b> Vue d'ensemble de l'aide à l'exécution «Renaturation des eaux»	10	<b>Fig. 13</b> Degré de gravité des atteintes portées au régime de charriage dans l'état actuel et mise en évidence du potentiel de valorisation concernant le charriage.	46
<b>Fig. 2</b> Altération du régime de charriage dans les cours d'eau suisses examinés	12	<b>Fig. 14</b> Evaluation du régime de charriage de l'Alp, de la Sihl et de la Limmat dans l'état actuel et dans l'état que l'on peut raisonnablement atteindre (par des mesures d'assainissement), ainsi que du potentiel de valorisation (résultant de la différence entre ces deux états)	46
<b>Fig. 3</b> Déroulement de la planification et de la mise en œuvre des mesures d'assainissement du régime de charriage	16	<b>Fig. 15</b> Profils en long du volume solide charrié par l'Alp, la Sihl et la Limmat à l'état non altéré (en bleu) et dans l'état actuel (en rouge), ainsi qu'après réalisation des mesures d'assainissement (en vert)	53
<b>Fig. 4</b> Phase 1, planification stratégique. Schéma du déroulement, partie 1	18	<b>Fig. 16</b> Graphique d'évaluation combinée de l'écomorphologie (espace réservé aux eaux, aménagements) et du régime de charriage	54
<b>Fig. 5</b> Phase 1, planification stratégique. Schéma du déroulement, partie 2	19	<b>Fig. 17</b> L'Alp en amont de l'embouchure du Butzitobel, avec ses bancs de graviers reproduits sur la carte Siegfried (1 <sup>re</sup> édition 1890)	57
<b>Fig. 6</b> Phase 2, étude détaillée	23	<b>Fig. 18</b> L'Alp en aval de l'embouchure du Butzitobel, avec ses bancs de graviers reproduits sur la carte Siegfried (1 <sup>re</sup> édition 1890)	58
<b>Fig. 7</b> Délimitation des cours d'eau cibles (marqués en rouge) sur la base d'indicateurs relatifs à l'importance écologique à l'état naturel	25	<b>Fig. 19</b> La Sihl entre Adliswil et Leimbach, avec ses bancs de gravier reproduits sur la carte Wild (env. 1850)	59
<b>Fig. 8</b> Représentation schématique du charriage et du renouvellement des bancs dans des cours d'eau comportant des ramifications, des bancs alternés et des méandres	39	<b>Fig. 20</b> La Limmat dans la région de Dietikon, avec ses bancs de gravier reproduits sur la carte Wild (env. 1850)	60
<b>Fig. 9</b> Graphique pour l'évaluation du facteur de correction turbidité en aval de lacs	40	<b>Fig. 21</b> La Limmat entre Baden et l'Aar, avec ses bancs de gravier potentiels	61
<b>Fig. 10</b> Profils en long du débit solide charrié par l'Alp, la Sihl et la Limmat dans l'état non altéré (en bleu) et dans l'état actuel (en rouge), ainsi que le débit solide nécessaire dans certains tronçons de ces cours d'eau selon l'étape 6 (points verts)	43	<b>Fig. 22</b> L'Aar de Winznau à Niedergösgen, avec ses bancs de gravier reproduits sur la carte Siegfried (1 <sup>re</sup> édition 1878)	62
<b>Fig. 11</b> Graphique de flux servant à établir l'ordre de priorité des cours d'eau à assainir	44	<b>Fig. 23</b> L'Aar de Winznau à Niedergösgen. Etat actuel avec ses bancs de gravier cartographiés	63
<b>Fig. 12</b> Figuration schématique du potentiel écologique et du potentiel de valorisation dans le cas de cours d'eau non naturels	45	<b>Fig. 24</b> L'Aar de Winznau à Niedergösgen. Projet de protection contre les crues avec bancs de gravier potentiels	64
		<b>Fig. 25</b> Rhin alpin à Mastrils avec ses bancs de gravier (sans la végétation), état en 2000	65

**Fig. 26**

Le Rhin de Rekingen à Zurzach puis Rietheim, avec les bancs de gravier potentiels

66

**Tableaux**

---

**Tab. 1**

Schéma du déroulement de l'étude détaillée (phase 2)

23

**Tab. 2**

Détermination du débit solide nécessaire sur les tronçons de cours d'eau

56

# > Glossaire

**Abrasion**

Usure des matériaux charriés, par frottement au cours du transport.

**Apports solides charriés**

Volume de matériaux charriés par le bassin versant dans le milieu récepteur pendant une durée déterminée, indiqué en [m<sup>3</sup>/unité de temps].

**Atteinte grave**

Préjudice porté aux structures morphologiques ou à la dynamique d'un cours d'eau par des installations telles que centrales hydroélectriques, sites d'extraction de gravier, dépotoirs à alluvions ou aménagements de cours d'eau et corrections de torrents.

**Capacité de transport (de matériaux charriés)**

Volume de matériaux transportable par unité de temps dans un tronçon de cours d'eau (ou à travers un profil transversal) avec un débit déterminé.

**Charge solide**

Volume solide mobilisable dans le bassin versant considéré. Cette valeur sert à caractériser une période déterminée (p. ex. charge annuelle) ou des situations de crues cycliques.

**Charriage**

Transport solide de matériaux de diamètre > 2mm, entraînés par l'eau et se déplaçant par glissement, roulement ou sauts sur le fond du lit.

**Colmatage**

Processus de dépôt de sédiments fins sur le fond du lit, ayant pour effet de le colmater. Réduction du volume des pores et compactage des matériaux du fond du lit provoquant une diminution temporaire ou durable de sa perméabilité, ce qui empêche le libre échange entre eaux souterraines et eaux superficielles.

**Cours d'eau cible**

Tronçon de cours d'eau dont le régime de charriage a été altéré par la présence d'une ou plusieurs installations et présentant une grande importance à l'état naturel.

**Cours d'eau de plaine**

Emissaires situés dans la région de plaine d'un bassin versant.

**Emissaire**

Eaux réceptrices d'un autre cours d'eau ou plan d'eau.

**Débit de charriage ou débit solide charrié**

Volume de matériaux charriés dans un tronçon de cours d'eau (ou à travers un profil transversal) par unité de temps.

**Degré de gravité des atteintes**

Différence entre débit solide annuel moyen dans l'état actuel et débit solide annuel moyen dans l'état naturel.

**Dynamique morphologique**

Renouvellement constant des dépôts de matériaux charriés créant des structures par formation de bancs meubles et d'autres structures.

**Etat non altéré (= état proche de l'état naturel)**

Etat dans lequel les éventuelles corrections de cours d'eau ou corrections de torrents ne perturbent pas de manière déterminante le régime de charriage dans le réseau hydrographique considéré.

**Installations**

Le terme installations au sens de l'art. 42a OEAux comprend en particulier les centrales hydroélectriques, les sites d'extraction de gravier, les dépotoirs à alluvions et les aménagements de cours d'eau (y compris stabilisation de versant).

**Lithologie**

Désignation de la nature et des propriétés des roches sédimentaires (structure, stratification, etc.).

**Matières en suspension**

Sédiments fins emportés par les turbulences en raison de leur faible vitesse de sédimentation et transportés en suspension dans l'eau sur de longues distances.

**Milieu récepteur**

Milieu récepteur situé dans la partie aval d'un bassin versant.

**Potentiel de valorisation**

Différence entre l'état écologique actuel et l'état écologique pouvant être atteint par des moyens impliquant des coûts proportionnés.

**Potentiel écologique**

Pour un cours d'eau qui n'est pas à l'état naturel, importance écologique que celui-ci pourrait revêtir dans un état de référence théorique après réparation, dans la mesure où le permettent des moyens proportionnés, des atteintes anthropiques nuisibles. Le potentiel écologique d'un cours d'eau proche de l'état naturel correspond à son importance écologique dans son état actuel.

**Régime ou bilan de charriage**

Ampleur et variations, dans l'espace et le temps, du débit solide charrié dans un tronçon de cours d'eau, compte tenu des apports variables et des phénomènes d'atterrissement et d'érosion que cela implique.

**Réseau hydrographique**

Réseau hydrographique faisant partie d'un bassin versant

**Revitalisation**

Rétablissement, par des travaux de construction, des fonctions naturelles d'eaux superficielles endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre.

**Transport solide par charriage**

Processus de transport des matériaux charriés dans un cours d'eau

**Tronçon-clé**

Tronçon de cours d'eau où à long terme aucune érosion ou dépôt n'a lieu. Ces tronçons se situent souvent dans une zone où débouchent des affluents.