

Éclusées – Mesures d'assainissement

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

Éclusées – Mesures d'assainissement

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

Impressum

Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et favorise 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, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection «L'environnement pratique».

Éditeur : Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteurs (par ordre alphabétique) : Büsser Peter, Fischereibiologische Untersuchungen, Berne; Chaix Olivier, Integralia, Berne/Genève; Essyad Khalid, BG Ingenieure & Berater, Berne; Meile Tobias, Basler & Hofmann West, Berne; Oppliger Silvia, Hunziker Betatech, Berne; Tonolla Diego, division Eaux, OFEV, Ittigen et eQcharta, Wädenswil; Zurwerra Andreas, Pronat Umweltingenieure, Brigue

Groupe d'accompagnement (GA), équipe de projet (EP), experts externes (EE) (par ordre alphabétique) : Auer Stefan, BOKU Vienne (EE); Beck-Torres Natalie, OFEN (GA); Caduff Ursin, représentant ASAE, AXPO (GA); Estoppey Rémy, OFEV (GA+EP); Hauer Christoph, BOKU Bienne (EE); Hohl Bernhard, OFEN (EP); Huber-Gysi Martin, OFEV (GA); Kummer Manfred, OFEV (GA+EP); Lussi Stephan, OFEV (GA); Monney Judith, Canton de Berne (GA); Nigg Urs, OFEV (GA); Peduzzi Sandro, Canton du Tessin (GA); Perraudin Romaine, Canton du Valais (GA); Peter Armin, EAWAG (GA); Pfändler Martin, OFEV (GA); Schmid David, Canton des Grisons (GA); Schmutz Stefan, BOKU Vienne (EE); Schweizer Steffen, Vertreter ASAE, KWO (GA+EP); Stern Lucien, Canton des Grisons (GA); Tonolla Diego, OFEV et eQcharta (GA+EP); Vetterli Luca, représentant des associations de protection de l'environnement, Pro Natura (GA); Vollenweider Stefan, Agenda 21 pour l'eau (GA); Weber Simona, OFEV (GA+EP); Weitbrecht Volker, VAW (GA); Zeiringer Bernhard, BOKU Vienne (EE); Zuber Frédéric, Canton du Valais (GA)

Référence bibliographique : Tonolla D.; Chaix O.; Meile T.; Zurwerra A.; Büsser P.; Oppliger S.; Essyad K. 2017. Éclusées – Mesures d'assainissement. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1701 : 134 p.

Traduction : Milena Hrdina, Bienne; Virginie Linder, Ins

Mise en page : Cavelti AG, medien. digital und gedruckt, Gossau

Photo de couverture : Dr Markus Zeh

Téléchargement au format PDF : www.bafu.admin.ch/uv-1701-f
(Il n'est pas possible de commander une version imprimée.)

Cette publication est également disponible en allemand et en italien.

Sommaire

Abstracts	7	4.4	Coordination avec d'autres mesures de protection des eaux	39
Avant-propos	9	4.5	Cas particuliers : projets d'agrandissement, centrales de dérivation des éclusées, débit résiduel non encore assaini, bassin de rétention utilisé pour l'accumulation par pompage	40
Introduction	10			
1 Point de départ	12	5 Suivi des résultats		42
1.1 But, destinataires et structure du module	12	5.1 Aperçu		42
1.2 Bases légales	13	5.2 Exigences relatives aux rapports des cantons		42
1.3 Domaine d'application	14	5.3 Suivi de la mise en œuvre		42
		5.4 Évaluation des effets		43
2 Détermination des mesures d'assainissement et suivi des résultats	16	6 Bibliographie		45
2.1 Introduction	16	Annexe A – Bases légales		46
2.2 Aperçu de la marche à suivre	16	Annexe B – Relevé des données de base morphologiques et hydrologiques		48
2.3 Différences entre installations existantes et nouvelles installations	19	1 Introduction		48
2.4 Coordination des centrales hydroélectriques dans le bassin versant	19	2 Délimitation de secteurs dans un tronçon à éclusées		48
		3 Détermination des tronçons à étudier et des relevés		49
3 Définition des objectifs	21	4 Présentation des informations issues du relevé des données de base		51
3.1 Aperçu	21	5 Bibliographie		51
3.2 Analyse des déficits	22	Annexe C – Indicateurs utilisés pour l'analyse des déficits, les prévisions et l'évaluation des effets		52
3.2.1 Indicateurs	22	D2 Paramètres hydrologiques		54
3.2.2 Détermination de l'atteinte grave	24	P2* Échouage de poissons		66
3.3 Analyse des causes	25	P3* Frayères		71
3.4 Formulation des objectifs	26	P6 Habitabilité pour les poissons		75
3.5 Présélection des mesures d'assainissement	28	B5 Habitabilité pour le macrozoobenthos		77
3.6 Concertation entre le détenteur de la centrale et les autorités cantonales	31	Q1* Température de l'eau		82
		F4* Présence de juvéniles		86
4 Étude de variantes et choix des mesures d'assainissement	32			
4.1 Aperçu	32			
4.2 Étude de variantes	32			
4.3 Choix des mesures d'assainissement	35			
4.3.1 Proportionnalité des coûts	35			
4.3.2 Gravité des atteintes et potentiel écologique	37			
4.3.3 Protection contre les crues et objectifs de politique énergétique	37			
4.3.4 Choix de la mesure la plus appropriée (meilleure variante) et vérification par les autorités	38			

B1*	Biomasse et diversité du macrozoobenthos	88	Annexes G – Exigences relatives aux documents à établir à chaque étape	126
B3	Zonation longitudinale du macrozoobenthos	91	Partie I Exigences générales relatives aux documents à remettre	126
B4	Familles EPT du macrozoobenthos	91	Partie II Définition des objectifs (chap. 3)	126
F1	Dérive	92	Partie III Étude de variantes et choix des mesures d'assainissement (chap. 4)	128
P1*	Module Poissons du SMG	95	Partie IV Suivi des résultats (chap. 5)	129
B2*	Module macrozoobenthos du SMG	96	Annexe H – Glossaire et abréviations	130
H1*	Colmatage interne	99		
H2	Colmatage externe	102		
Annexe D – Évaluation des tronçons de cours d'eau et formulation des objectifs		104		
1	Fiche de suivi	104		
2	Tableau récapitulatif (en trois parties)	106		
2.1	Partie I: Analyse des déficits et détermination des indicateurs à évaluer (cf. 3.2)	106		
2.2	Partie II: Nouvelle évaluation et analyse des causes (cf. pts 3.2 et 3.3)	108		
2.3	Partie III: Formulation des objectifs et des conditions hydrologiques requises (cf. pt 3.4)	110		
Annexe E – Mesures envisageables, pilotage des mesures et détermination des hydrogrammes		112		
1	Mesures envisageables	112		
1.1	Mesures de construction	112		
1.2	Mesures d'exploitation	114		
2	Pilotage des mesures	115		
3	Définition d'hydrogrammes représentatifs	117		
4	Bibliographie	120		
Annexe F – Modélisation des habitats		122		
1	De la nécessité de modéliser	122		
2	Choix du modèle et exigences relatives aux données de base	123		
2.1	Choix du modèle	123		
2.1.1	Modèles hydrauliques	123		
2.2	Modélisations des habitats	123		
2.3	Exigences relatives aux données de base	124		
3	Exemples pratiques	124		
4	Bibliographie	125		

Abstracts

The current module of the implementation guide on «re-
vitalization of water courses» outlines a procedure for
meeting the requirements of water protection legisla-
tion in relation to hydropeaking. It describes the individual
planning steps after the cantonal strategic planning
with focus on evaluation of alternatives and the choice
of the best remediation measure. It describes not only
methods and indicators to be used to evaluate hydro-
peaking impacts, but it also clarifies how to determine
the extent of remediation measures and to proof their
effectiveness.

Keywords: Hydropeaking, Water protection legislation,
remediation measure, Hydropower, Watercourses

Le présent module de l’aide à l’exécution «Renaturation
des eaux» propose une méthode efficace pour répondre
aux exigences de la législation sur la protection des eaux
dans le domaine des éclusées. Décrivant les diverses
étapes post-planification stratégique, il traite avant tout
de la phase d’étude de variantes et du choix de la meil-
leure mesure d’assainissement. Il détaille non seulement
les méthodes d’analyse et les indicateurs permettant
d’évaluer les tronçons de cours d’eau qui subissent des
atteintes dues aux éclusées, mais explique également
comment déterminer l’étendue des mesures requises et
vérifier leur l’efficacité.

Mots-clés: éclusées, loi sur la protection des eaux, me-
sure d’assainissement, exploitation de la force hydrau-
lique, cours d’eau

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe «Renaturie-
rung der Gewässer» zeigt ein zweckmässiges Vorgehen
auf, wie die Anforderungen der Gewässerschutzgesetz-
gebung an Sanierungsmassnahmen im Bereich Schwall-
Sunk erfüllt werden können. Es beschreibt die einzelnen
Planungsschritte nach Vorliegen der kantonalen strate-
gischen Planung. Insbesondere behandelt es die Phase
des Variantenstudiums und der Auswahl der Bestvari-
ante. Einerseits werden Methoden und Indikatoren zur
Beurteilung der Gewässerabschnitte, die durch Schwall-
Sunk beeinträchtigt sind, dargelegt. Andererseits wird
erklärt, wie das Ausmass der notwendigen Sanierungs-
massnahme bestimmt und deren Wirkung kontrolliert
werden kann.

Stichwörter: Schwall-Sunk, Gewässerschutzgesetz, Sa-
nierungsmassnahmen, Wasserkraftnutzung, Fließge-
wässer

Il presente modulo dell’aiuto all’esecuzione «Rinaturazio-
ne delle acque» illustra un procedimento adeguato che
consente di soddisfare i requisiti posti dalla legislazione
sulla protezione delle acque nell’ambito dei deflussi di-
scontinui. Descrivendo le diverse fasi post-pianificazione
strategica, tratta innanzitutto della fase di studio delle
varianti e di scelta della miglior misura di risanamento. Il
modulo non solo illustra i metodi di analisi e gli indicatori
per la valutazione dei tratti di corsi d’acqua pregiudica-
ti da deflussi discontinui, ma anche come determinare
l’entità delle misure di risanamento necessarie e a veri-
ficarne l’efficacia.

Parole chiave: deflussi discontinui, legge sulla prote-
zione delle acque, misura di risanamento, sfruttamento
idrico, corsi d’acqua

Avant-propos

La législation fédérale sur la protection des eaux vise avant tout à garantir une protection intégrale des eaux et de leurs multiples fonctions, ainsi que leur exploitation durable par l’homme. La récente modification de la loi sur la protection des eaux poursuit ce même objectif : trouver des solutions pour protéger les eaux tout en respectant à la fois les impératifs de la protection et les besoins d’utilisation. Le Parlement a adopté les modifications proposées en décembre 2009, sous forme de contre-projet, à l’initiative populaire «Eaux vivantes», après quoi l’initiative a été retirée.

Les révisions consacrées à la renaturation de la loi et de l’ordonnance sur la protection des eaux sont entrées en vigueur respectivement le 1^{er} janvier et le 1^{er} juin 2011, et représentent un nouveau grand pas en avant vers la protection des eaux en Suisse. Elles ont en effet pour but de revaloriser les écosystèmes que forment les cours d’eau et les étendues d’eau, afin de les rendre plus proches de l’état naturel, et de contribuer ainsi à la conservation de la biodiversité. En bref, il s’agit de redonner plus d’espace aux eaux sévèrement endiguées et d’atténuer les effets néfastes de l’exploitation de la force hydraulique.

L’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. L’application du droit environnemental incombant aux cantons, des représentants cantonaux ont siégé au sein des groupes de travail qui ont suivi de près l’élaboration de cette aide à l’exécution.

Le présent module de l’aide à l’exécution est consacré à l’élaboration et à l’évaluation de mesures dans le domaine des éclusées. Il explique les principaux critères et conditions qui doivent présider au choix des mesures, comment évaluer ces dernières et à quelles exigences doivent répondre les résultats de l’évaluation. Il définit également la méthodologie à appliquer lors du suivi des résultats à assurer après la réalisation des mesures.

L’OFEV tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la préparation de cette publication, en particulier les membres de l’équipe de projet et du groupe d’accompagnement, ainsi que les experts externes de l’Université des ressources naturelles et des sciences de la vie appliquées (BOKU, Vienne), qui ont particulièrement veillé à trouver des solutions pratiques.

Franziska Schwarz
Sous-directrice
Office fédéral de l’environnement (OFEV)

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

Introduction

Nouvelles dispositions fédérales 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^{er} janvier 2011, ces modifications décidées par le Parlement portent sur la renaturation des eaux. Elles définissent deux grandes orientations :

- Encourager les revitalisations (rétablissement, par des travaux de construction, des fonctions naturelles d’eaux superficielles endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre) et garantir le respect de l’espace réservé aux eaux et son exploitation extensive.
- Réduire les effets négatifs de l’utilisation de la force hydraulique, en réduisant les effets 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 du 21 juin 1991 sur la pêche (LFSP, RS 923.0), tel le rétablissement de la migration des poissons.

Les modifications du 11 décembre 2009 de la loi sur la protection des eaux ont notamment nécessité l’adaptation de l’ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814 201). L’OEaux révisée est entrée en vigueur le 1^{er} juin 2011.

Aide à l’exécution Renaturation des eaux

La présente publication est un module de l’aide à l’exécution **Renaturation des eaux**, destinée à aider les cantons à mettre en œuvre les dispositions légales nouvellement entrées en vigueur. L’aide à l’exécution aborde tous les aspects importants de la renaturation des eaux, dont notamment la revitalisation des cours d’eau, la revitalisation 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. Elle comporte divers modules, qui sont consacrés à la planification stratégique, à la mise en œuvre des mesures, au financement, aux modèles de données, aux exigences relatives aux données en vertu de la loi fédérale du 5 octobre 2007 sur la géoinformation (LGéo, RS 510.62), ainsi qu’un module dépassant le cadre thématique de la renaturation, consacré à la coordination des projets relatifs à la gestion des eaux (fig. 1).

Éclusées – Mesures d’assainissement

Le présent module «Éclusées – Mesures d’assainissement» encourage les cantons à appliquer une démarche pratique et uniformisée pour évaluer et apprécier les mesures envisagées par les détenteurs de centrales hydroélectriques dans le domaine des éclusées. Il présente par ailleurs les éléments auxquels les détenteurs de centrales doivent veiller lorsqu’ils élaborent et évaluent des mesures et lorsqu’ils remettent les documents requis aux autorités. La méthode proposée pour déterminer les mesures à réaliser et vérifier leur efficacité peut également s’appliquer aux nouvelles installations hydrauliques.

Fig. 1

Structure de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux.

Le présent module est entouré en rouge. Les modules existants peuvent être consultés sur le site de l’OFEV:

www.bafu.admin.ch/execution-renaturation

Revitalisation cours d’eau	Revitalisation étendues d’eau	Zones alluviales	Migration piscicole	Éclusées	Régime de charriage
Planification stratégique					
Mise en œuvre des mesures					
Financement					
Modèles de données et données					
Coordination des activités de gestion des eaux					

1 Point de départ

1.1 But, destinataires et structure du module

But du module

Les détenteurs de centrales hydroélectriques sont tenus de prendre des mesures d’aménagement appropriées pour éliminer ou empêcher les atteintes graves dues à des variations subites et artificielles du débit d’un cours d’eau (éclusées).

Le présent module propose une méthode pratique permettant d’élaborer et d’évaluer les mesures visées, de même que d’expliquer les exigences relatives aux documents à remettre aux autorités. Il vise ainsi à assurer un respect aussi uniforme que possible des exigences légales en matière d’éclusées et à garantir le même traitement à tous les détenteurs de centrales hydroélectriques, afin que le choix des mesures les plus appropriées réponde à des critères objectifs, clairs et scientifiquement fondés. La méthode proposée pour déterminer les mesures et procéder au suivi des résultats peut également servir à évaluer de nouvelles installations.

Destinataires

Ce module est destiné en premier lieu aux services cantonaux spécialisés en charge des centrales hydrauliques, qui doivent évaluer et sélectionner les mesures sur la base de critères uniformes. Il s’adresse également aux détenteurs de centrales hydrauliques ainsi qu’aux bureaux de l’environnement et d’ingénieurs mandatés pour élaborer les mesures et leurs variantes (le degré de précision devant respecter la norme SIA 112/2014, Modèle « Étude et conduite de projet », phase 2 « Études préliminaires »).

Structure du module

- Le **chapitre 2** donne un aperçu du contenu du module et de son application. Il comprend également des explications concernant la coordination des mesures destinées à atténuer les éclusées en présence de plusieurs centrales dans un bassin versant.
- Le **chapitre 3** décrit la marche à suivre lors de l’analyse des déficits et des causes ainsi que de la définition

des objectifs. Il fournit des précisions sur la concertation entre les détenteurs de centrales et les autorités cantonales.

- Le **chapitre 4** présente l’étude de variantes, ainsi que l’évaluation et le choix des mesures et explique la coordination avec d’autres mesures d’assainissement, non destinées à atténuer les éclusées.
- Le **chapitre 5** explique comment se déroule le suivi des résultats, qui comprend le suivi de la mise en œuvre et l’évaluation des effets.
- Le **chapitre 6** énumère les publications spécialisées mentionnées dans les chapitres 2 à 5.
- L’**annexe A** recense les différentes bases légales applicables.
- L’**annexe B** contient des informations sur la détermination des tronçons de cours d’eau à étudier et sur les données de base morphologiques et hydrologiques à réunir.
- L’**annexe C** présente les divers indicateurs utilisés pour évaluer l’état actuel, l’état prévisible et les effets de la mesure appliquée.
- L’**annexe D** comprend un tableau pratique pour évaluer les tronçons de cours d’eau et définir les objectifs.
- L’**annexe E** donne des indications sur différentes mesures envisageables pour atténuer les éclusées, sur le pilotage des mesures et sur la détermination d’hydrogrammes représentatifs.
- L’**annexe F** fournit des informations sur la modélisation des habitats.
- L’**annexe G** explique et énumère, dans un aide-mémoire, les exigences relatives aux divers documents à remettre.
- L’**annexe H** comprend un glossaire et les abréviations.

Mise à jour du module

L’OFEV prévoit de mettre le présent module à jour en fonction des besoins jusqu’en 2030, afin de l’adapter à l’état des connaissances et à l’expérience pratique. Cette mise à jour régulière induira un processus d’apprentissage.

1.2 Bases légales

Atteintes graves dues aux éclusées

La loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) contraint les détenteurs de centrales hydroélectriques à prendre des mesures de construction pour empêcher ou éliminer les atteintes graves que des variations subites et artificielles du débit d’un cours d’eau (éclusées) portent à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes. À la demande du détenteur, il est possible de recourir à des mesures d’exploitation. Selon l’art. 41e de l’ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201), les éclusées portent gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes, lorsque le débit d’éclusée d’un cours d’eau est au moins 1,5 fois supérieur à son débit plancher et que la taille, la composition et la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station sont altérées. Il n’y a pas d’atteinte grave lorsqu’une seule de ces conditions est remplie. Les mesures d’assainissement sont définies en fonction de la gravité des atteintes, du potentiel écologique du cours d’eau, de la proportionnalité des coûts, des intérêts de la protection contre les crues et des objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables (art. 39a, al. 2, LEaux).

L’obligation d’éviter ou d’éliminer les atteintes graves dues aux éclusées s’applique aussi bien aux centrales hydroélectriques existantes qu’aux nouvelles installations.

Assainissement d’installations existantes

Dans le cas d’installations existantes ou d’une nouvelle concession sans agrandissement, l’obligation de prendre des mesures afin d’éliminer les atteintes constatées dues aux éclusées se fonde sur l’art. 83a LEaux, qui ordonne que les installations existantes provoquant des éclusées soient assainies conformément aux exigences de l’art. 39a LEaux dans un délai de 20 ans. Ce délai échoit le 31 décembre 2030.

Selon l’art. 83b, al. 1, LEaux, les cantons sont tenus de planifier les mesures requises pour éliminer les atteintes dues aux éclusées provoquées par des installations existantes et de fixer les délais de leur mise en œuvre. Sur la base de sa planification stratégique, le canton propose des mesures d’assainissement envisageables aux déten-

teurs de centrales. Dans les bassins versants s’étendant sur plusieurs cantons, la coordination des mesures doit être assurée non seulement au niveau du canton, mais aussi, conformément à l’art. 46, al. 1, OEaux, sur le plan intercantonal.

Les détenteurs d’installations contraints de procéder à un assainissement sont tenus d’étudier diverses variantes de mesures (art. 41g, al. 1, OEaux). Dans le bassin du cours d’eau concerné, les mesures d’assainissement doivent être coordonnées entre elles, de même qu’avec d’autres mesures de protection des eaux (art. 39a, al. 3, LEaux en relation avec l’art. 46, al. 1, OEaux). Le canton détermine ensuite pour chaque installation la mesure la plus avantageuse parmi celles préparées par les détenteurs (la meilleure variante) et charge les détenteurs d’élaborer le projet de construction correspondant. Avant de rendre sa décision concernant le projet d’assainissement, le canton consulte l’OFEV (art. 41g, al. 2, OEaux). En prévision de la demande d’indemnisation pour la réalisation de mesures d’assainissement, selon l’art. 17d, al. 1, de l’ordonnance du 7 décembre 1998 sur l’énergie (OENE, RS 730.01), l’OFEV vérifie également si les exigences prévues à l’appendice 1.7, ch. 2, OENE sont remplies. Pour des explications détaillées concernant le calcul des coûts imputables, nous renvoyons au module « Assainissement écologique des centrales hydrauliques existantes – Financement des mesures requises » (OFEV 2016) (appelé ci-après module « Financement ») ainsi qu’à l’ordonnance du DETEC du 11 mars 2016 concernant le calcul des coûts imputables des mesures d’exploitation visant à assainir des centrales hydroélectriques (Ocach, RS 730.014.1).

Projets d’agrandissement et nouvelles installations

Lors du renouvellement d’une concession avec agrandissement (tel l’accroissement du volume turbiné dans une centrale à accumulation) ou d’une nouvelle concession (nouvelle installation), le projet doit, conformément à l’art. 39a LEaux, prévenir les futures atteintes dues aux éclusées provoquées par l’exploitation de la centrale agrandie ou la nouvelle installation. Dans le cas d’un projet d’agrandissement, l’indemnisation ne portera par conséquent que sur la partie des mesures qui servent à éliminer les atteintes préexistantes (art. 15a^{bis} de la loi du 26 juin 1998 sur l’énergie [LEne, RS 730.0]).

Suivi des résultats : suivi de la mise en œuvre et évaluation des effets

Dans le cadre de l’assainissement d’installations existantes, les détenteurs de centrales doivent, sur ordre de l’autorité, vérifier l’efficacité des mesures prises pour atténuer les éclusées (art. 41g, al. 3, OEaux). Ce contrôle fait partie intégrante de la planification des mesures et doit être pris en compte dans l’élaboration du projet, en particulier dans l’estimation des coûts. Les cantons sont tenus de présenter tous les quatre ans à la Confédération (la première échéance est fixée à fin 2018) un rapport sur les mesures appliquées (suivi de la mise en œuvre) et sur leurs effets (évaluation des effets ; art. 83b, al. 3, LEaux).

Un suivi des résultats s’impose également dans le cas de nouvelles installations. Aux termes de l’art. 46, al. 1, de la loi fédérale du 7 octobre sur la protection de l’environnement (LPE, RS 814.01), les détenteurs de centrales sont tenus de procéder aux enquêtes requises pour vérifier l’efficacité des mesures. Le suivi des résultats doit par ailleurs respecter le principe de la proportionnalité. Il incombe aux cantons de fournir des informations sur les mesures prises et sur leur efficacité pour la protection des eaux (art. 50 LEaux, art. 49, al. 2, OEaux).

Si le suivi des résultats révèle que les mesures choisies ne permettent pas d’atteindre les objectifs fixés, le droit d’ordonner d’autres mesures pour éliminer les atteintes graves existantes aux milieux aquatiques demeure réservé.

1.3 Domaine d’application

Le présent module régit l’élaboration et l’évaluation de mesures destinées à éliminer ou à éviter des atteintes graves dues aux éclusées, le contenu des contrôles de l’efficacité (étapes encadrées en bleu dans la fig. 2) et les exigences relatives aux documents à remettre. Ce module ne traite pas de l’élaboration théorique et pratique des mesures ni de leur autorisation, leur indemnisation ou leur mise en œuvre.

Lors de l’assainissement d’installations existantes, le canton (la Confédération, dans le cas de centrales situées sur la frontière nationale) notifie l’obligation d’assainir sur la base de la planification cantonale, avant que le dé-

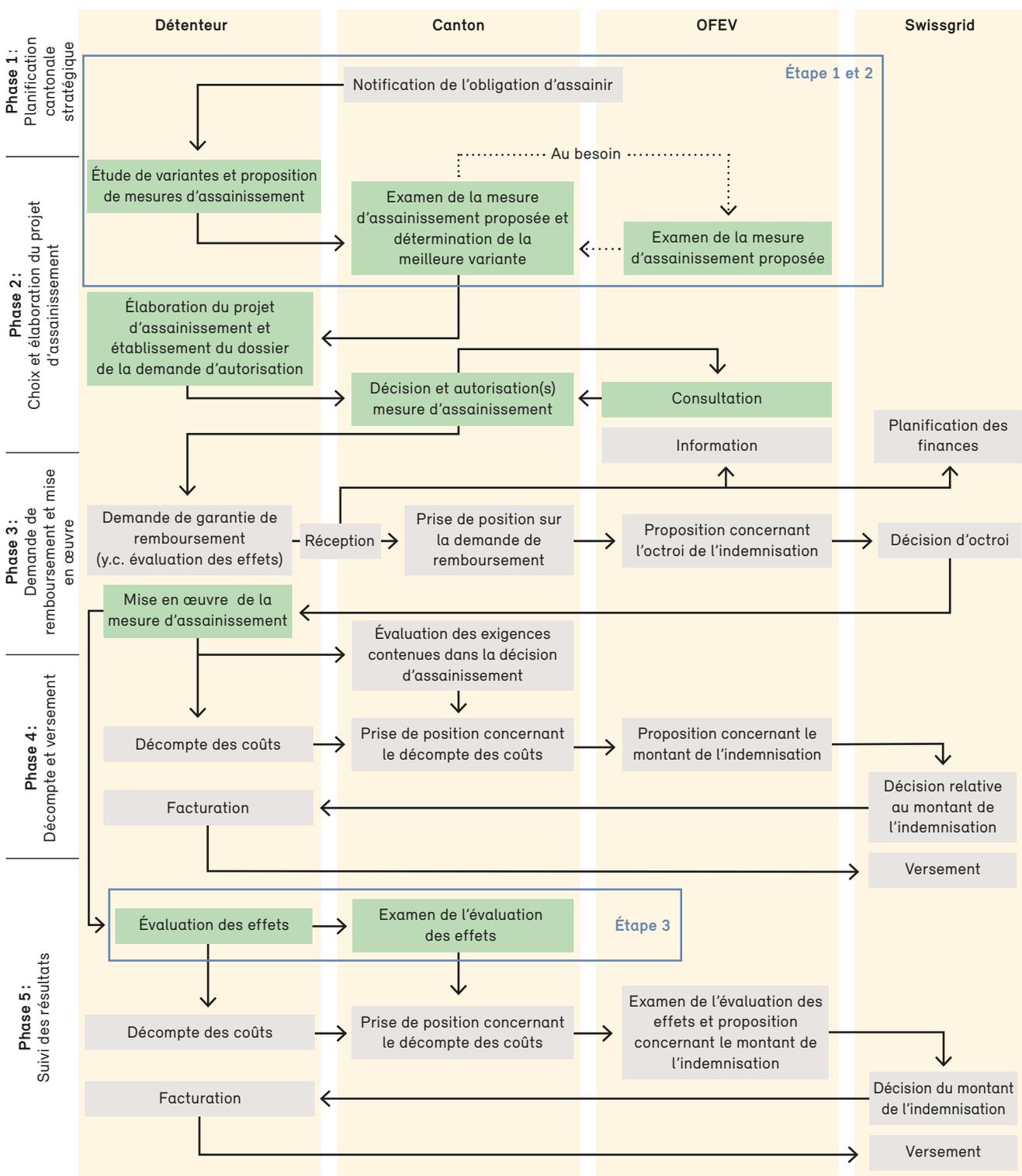
tenteur de la centrale (concessionnaire) ne commence à étudier et à évaluer les mesures d’assainissement. La figure 2 donne une vue d’ensemble des différentes étapes de la procédure en présentant le rôle et les tâches des différents acteurs. Cette illustration révèle aussi qu’une collaboration étroite de tous les acteurs est indispensable pour parvenir à des résultats concluants.

Ce module décrit globalement le déroulement des différentes phases de l’assainissement des éclusées (fig. 2), sans entrer dans les détails des procédures cantonales. L’octroi de concessions, par exemple, relève normalement de la compétence des autorités cantonales, mais dans certains cas des autorités communales. La figure 2 illustrant le déroulement des travaux dans le cas le plus fréquent, il convient donc de l’adapter aux cas particuliers.

Fig. 2

Les diverses étapes de l’assainissement.

Les étapes traitées dans le présent module sont encadrées en bleu. Elles sont présentées plus en détail dans les figures 3 et 4 du chapitre 2. Dans le cas de centrales hydroélectriques situées à la frontière nationale, l’Office fédéral de l’énergie (OFEN) remplace le canton dans les différentes étapes. Les rectangles gris concernent le financement et donc uniquement les projets d’assainissement, les rectangles verts concernent les projets d’assainissement de même que les nouvelles installations.



2 Détermination des mesures d’assainissement et suivi des résultats

2.1 Introduction

Le présent module se concentre sur les mesures destinées à éliminer les atteintes graves dues aux éclusées provoquées par des installations existantes ou à éviter de telles atteintes dans le cas d’installations nouvelles. D’autres mesures visant à protéger les eaux (notamment la revitalisation des cours d’eau et des zones alluviales, le rétablissement de la libre migration des poissons et du régime de charriage, le respect de débits résiduels convenables, la protection contre les crues et la protection des eaux souterraines) constituent le cadre général des mesures d’assainissement des éclusées lorsqu’une coordination s’impose avec celles-ci ou lorsqu’elles les complètent ou les renforcent (cf. 4.4).

La méthode proposée ici pour élaborer et évaluer les mesures d’assainissement s’inspire des connaissances les plus récentes sur le phénomène complexe que sont les éclusées. Malgré les lacunes qui subsistent quant aux interactions quantitatives et qualitatives des régimes d’écoulement, à la morphologie et aux exigences relatives à l’écologie aquatique et terrestre, la démarche présentée ici permet d’évaluer les situations futures avec un maximum d’objectivité et de transparence. Cette approche requiert des données de base fiables et complètes sur l’écologie des eaux ainsi que sur les paramètres hydrologiques et hydrauliques. Compte tenu du coût des mesures visant à atténuer les éclusées, l’investissement initial se justifie toutefois pleinement.

2.2 Aperçu de la marche à suivre

Pour déterminer les mesures d’assainissement et procéder au suivi des résultats, le présent module propose trois grandes étapes (fig. 3 et 4) :

1. Définition des objectifs.
2. Étude de variantes et choix des mesures d’assainissement.
3. Mise en œuvre des mesures et suivi des résultats.

Ces étapes s’appliquent dans cet ordre et sans modification lorsqu’une seule centrale ou un groupe de centrales exploitées par le même détenteur provoquent des éclusées dans un bassin versant ou sur un tronçon de cours d’eau. Dans les cas plus complexes, en présence de plusieurs centrales exploitées par des détenteurs différents dans un même bassin versant ou sur un même tronçon de cours d’eau par exemple, il convient de tenir compte par ailleurs des explications fournies au point 2.4.

Avant d’évaluer les indicateurs (annexe C) dans chacune des trois étapes, il importe de définir les tronçons de cours d’eau (annexe B) et les hydrogrammes (annexe E) à analyser. L’annexe A contient un résumé des bases légales pertinentes et l’annexe G détaille les exigences relatives aux documents à remettre à chacune des étapes.

Étape 1 : définition des objectifs (chap. 3)

Les mesures destinées à éliminer ou à prévenir de graves atteintes dues aux éclusées doivent viser à atteindre des objectifs clairement définis. Pour l’assainissement d’installations existantes, la définition des objectifs se fonde sur le plan stratégique cantonal et la notification de l’obligation d’assainir, tout en actualisant ou en complétant le cas échéant les données de base. L’étape 1 comprend les étapes de travail suivantes : i) analyse des déficits, ii) analyse des causes, iii) définition des objectifs, iv) présélection des mesures d’assainissement, v) concertation entre le détenteur de la centrale et les autorités cantonales sur le contenu de l’étude de variantes.

La définition des objectifs garantit que les données de base nécessaires pour les étapes suivantes présenteront le degré d’actualité et d’exhaustivité requis et que toutes les exigences et les objectifs servant à l’élaboration des mesures seront définis.

Nous recommandons aux détenteurs de centrales de déterminer en accord avec le canton les mesures à étudier plus avant dans le cadre de l’étude de variantes, de même

que d’éventuelles exigences et conditions à prendre en compte dans cette étude (cf. 3.6).

Étape 2 : étude de variantes et choix des mesures d’assainissement (chap. 4)

Le choix de la mesure la plus appropriée présuppose une étude approfondie de plusieurs variantes des différentes mesures envisageables. L’élaboration et l’évaluation des variantes respectent les exigences des objectifs définis au cours de l’étape précédente. L’étape 2 comprend les étapes de travail suivantes : i) élaboration des variantes conformément aux résultats de la concertation, ii) évaluation des variantes et choix

de la mesure la plus appropriée, iii) coordination avec d’autres mesures de protection des eaux ne visant pas les éclusées.

L’étape 2 débouche sur la proposition concrète des mesures à mettre en œuvre (meilleure variante), qui pourra être soumise pour approbation au canton et, le cas échéant, à l’OFEV (fig. 2).

Les étapes suivantes, à savoir l’élaboration du projet d’assainissement, son approbation, l’indemnisation et la mise en œuvre, ne sont pas traitées dans le présent module (fig. 2 et 3).

Fig. 3

Étapes à suivre pour déterminer les mesures d’assainissement et procéder au suivi des résultats.

La description des différentes étapes inscrites dans un champ en couleur figure dans les points et les annexes indiqués.

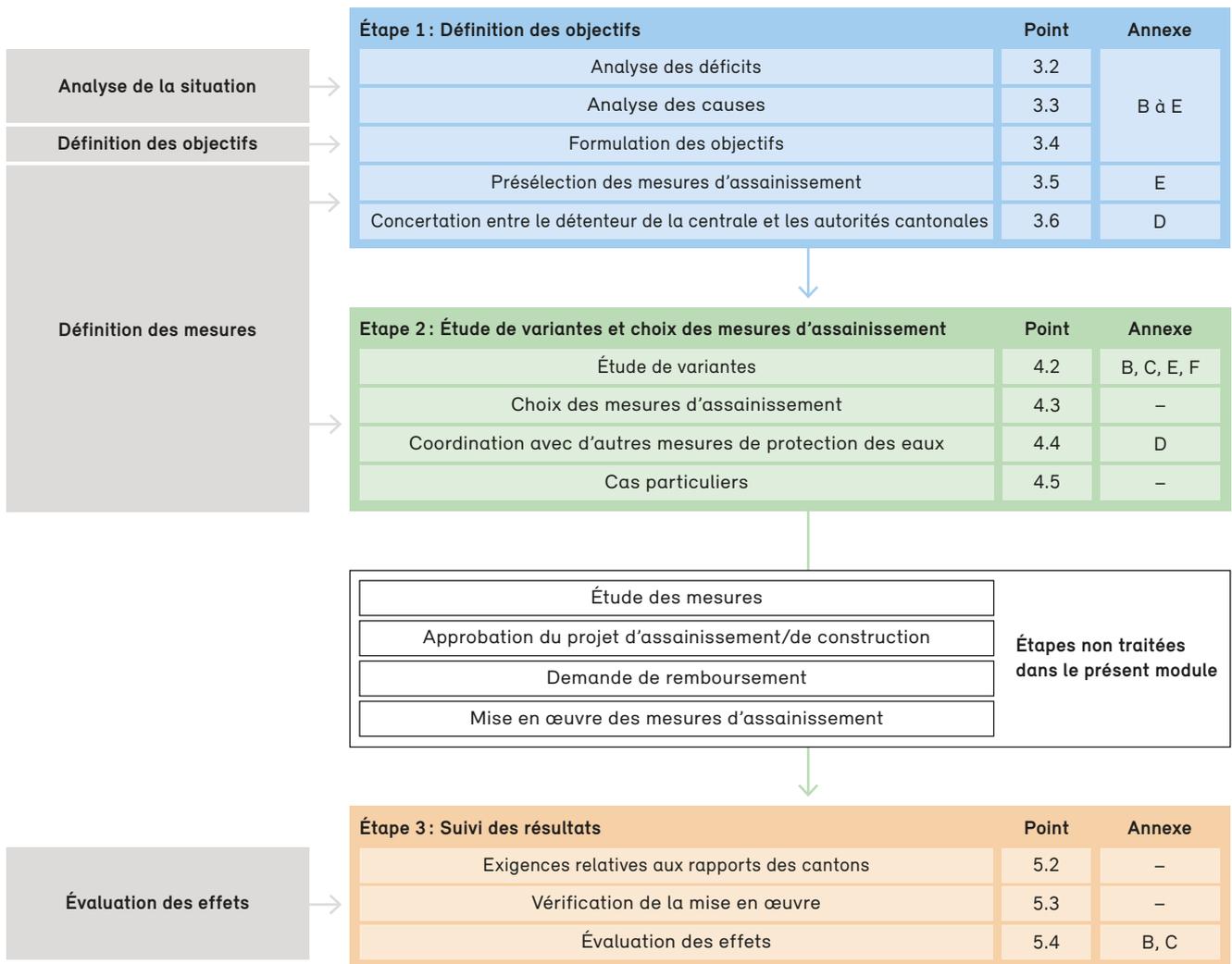
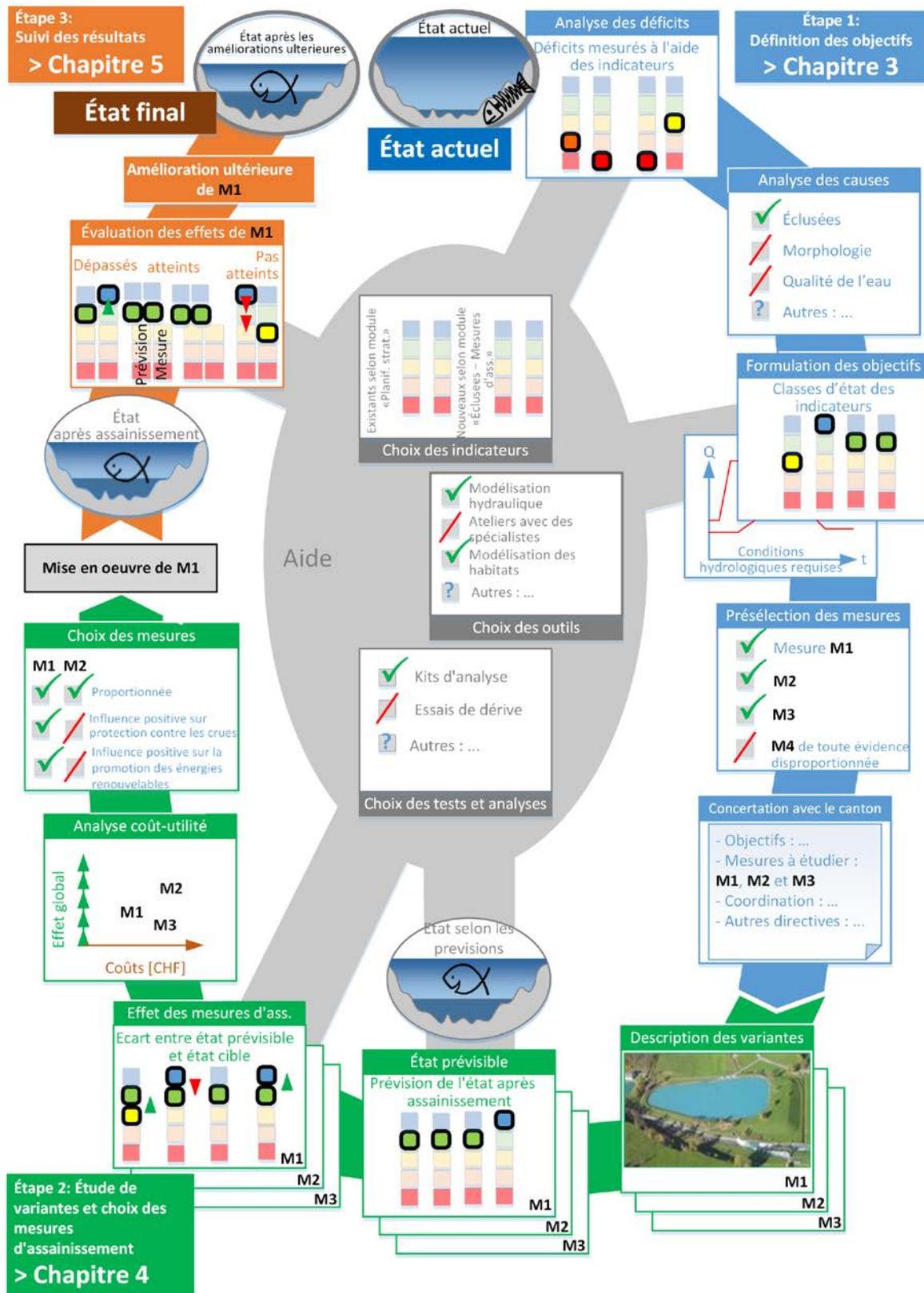


Fig. 4
Démarche expliquée dans le présent module.



Étape 3 : suivi des résultats (chap. 5)

Un suivi des résultats, à effectuer périodiquement, doit vérifier que les objectifs ont bien été atteints. Ce contrôle comprend le suivi de la mise en œuvre et l’évaluation des effets : le premier sert à vérifier si les mesures ordonnées sont appliquées comme prévu et la seconde détermine si les mesures appliquées par le détenteur de la centrale déploient les effets écologiques souhaités. Si les mesures réalisées n’atteignent pas les objectifs définis, le canton peut en ordonner d’autres.

2.3 Différences entre installations existantes et nouvelles installations

La présente démarche peut s’appliquer aussi bien aux installations existantes qu’aux nouvelles installations (nouvelles concessions). Voici les grandes différences entre ces deux cas :

- Lors de l’assainissement d’installations existantes, la démarche vise à éliminer l’atteinte grave due aux éclusées ; dans le cas de nouvelles installations, elle sert à prévenir une telle atteinte. Dans ce second cas, l’atteinte grave est déterminée sur la base des valeurs que les indicateurs afficheront après la construction de l’installation.
- Dans le cas des installations existantes, les analyses des déficits et des causes (cf. 3.2 et 3.3), de même que la présélection des mesures (cf. 3.5), ont en principe été effectuées au cours de la planification stratégique par le canton et il ne reste, le cas échéant, qu’à les actualiser ou à les compléter. Les objectifs que les mesures d’assainissement doivent atteindre peuvent alors être formulés (cf. 3.5). Dans le cas de nouvelles installations, il est recommandé de franchir toutes ces étapes de travail au cours de la procédure de concession conformément au présent module, les analyses des déficits et des causes servant de référence pour déterminer les éventuelles atteintes non causées par des éclusées dans l’état actuel (avant la construction de l’installation).
- La concertation entre l’autorité cantonale et le ou les détenteurs de centrales hydroélectriques (cf. 3.6) est recommandée s’il s’agit de l’assainissement d’installations existantes. Dans le cas d’installations nouvelles, elle fait partie intégrante de la procédure de concession.

- Pour déterminer l’effet écologique global au cours de l’étude de variantes (cf. 4.2), il convient de tenir compte, pour chaque projet d’assainissement, de la différence entre l’état prévisible (après assainissement) et l’état visé. Pour les nouvelles installations, on prévoit, dans le cadre de la procédure de concession, l’état du cours d’eau, avec et sans mesures d’assainissement, après la construction de l’installation.
- Que ce soit pour les projets d’assainissement ou pour les installations nouvelles, le choix des mesures les plus appropriées (meilleure variante ; cf. 4.3) se fonde sur les critères définis à l’art. 39a, al. 2, LEaux. Lors d’un assainissement, la consultation officielle de l’OFEV par le canton est prévue au plus tard avant la décision finale concernant le projet d’assainissement (fig. 2). Pour les nouvelles installations, le canton et l’OFEV sont consultés au cours de la procédure de concession.
- Dans le cas particulier d’un renouvellement de concession avec agrandissement, il importe également, en vertu de l’art. 39a LEaux, de prévenir les atteintes potentielles dues aux éclusées suite à l’agrandissement de l’installation. Afin de connaître l’effet écologique global, deux prévisions sont nécessaires : l’une pour cerner l’effet de la mesure d’atténuation des éclusées sans agrandissement, l’autre pour déterminer l’effet de cette mesure avec agrandissement (cf. 4.5).
- Les détenteurs de centrales hydroélectriques sont tenus de vérifier l’efficacité des mesures appliquées, aussi bien lorsqu’elles sont destinées à assainir des installations existantes que lorsqu’elles visent une installation nouvelle.

2.4 Coordination des centrales hydroélectriques dans le bassin versant

Lorsque plusieurs centrales hydroélectriques sont exploitées sur un même tronçon de cours d’eau ou dans le même bassin versant et causent des atteintes graves, les mesures visant à atténuer les éclusées doivent être coordonnées dans le bassin versant du cours d’eau en question (art. 39a, al. 3, LEaux). L’obligation de coordonner les mesures incombe en premier lieu aux cantons, elle s’applique aussi bien aux projets d’assainissement qu’aux nouvelles installations et vaut également dans les cas impliquant plus d’un canton. Lorsqu’un pays voisin est

concerné, la coordination est assurée par l’Office fédéral de l’énergie (OFEN).

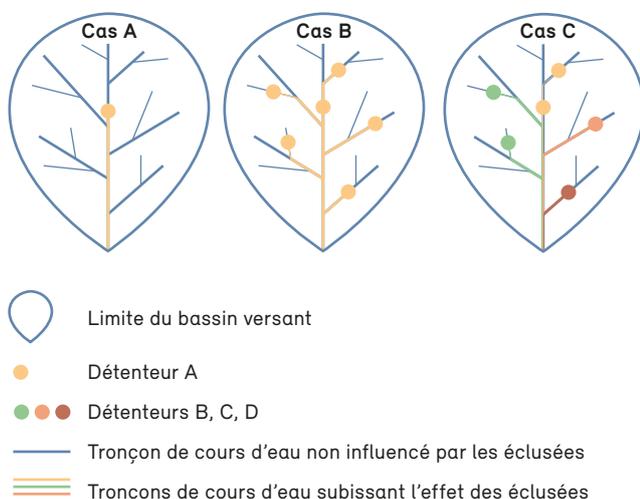
Différents cas de figure

Il est en principe possible de distinguer trois types de cas (fig. 5) :

1. Cas A : situation simple impliquant une seule centrale hydroélectrique.
2. Cas B : situation complexe impliquant plusieurs centrales hydroélectriques, qui sont toutefois exploitées par le même détenteur.
3. Cas C : situation complexe impliquant plusieurs centrales hydroélectriques exploitées par plusieurs détenteurs.

Fig. 5

Les trois cas de figure d’un cours d’eau influencé par des centrales hydroélectriques situées dans le même bassin versant.



Cas A : situation simple impliquant une seule centrale hydroélectrique

Dans le cas A, il est possible d’appliquer la démarche telle qu’elle est décrite dans la figure 3. Aucune étape de travail supplémentaire n’est requise.

Cas B : plusieurs centrales hydroélectriques exploitées par le même détenteur

Lorsque toutes les centrales appartiennent au même détenteur (cas B), elles peuvent être considérées comme une seule et même entité économique et juridique. Au

plan organisationnel, ce système est traité comme le cas A et la démarche décrite dans la figure 3 s’applique sans modification.

Du point de vue technique, l’étude de variantes et le choix des mesures s’avèrent cependant plus complexes que dans le cas A, car il est possible non seulement d’harmoniser les mesures d’aménagement, mais aussi l’exploitation des centrales. L’éventail des solutions envisageables est donc plus large que dans le cas A.

Cas C : plusieurs centrales, plusieurs détenteurs

Le cas C (plusieurs centrales exploitées par plusieurs détenteurs) est plus complexe tant du point de vue technique que juridique. Même la coordination de la planification (délais, organisation, localisation, aspects techniques, etc.) est difficile. Pour ce type de cas, nous renvoyons à la démarche intégrée présentée dans l’aide à l’exécution «Coordination des activités de gestion des eaux» (OFEV 2013).

L’obligation de coordination incombe au canton. Pour assurer une organisation et une direction de projet cohérente dans l’ensemble du bassin versant, le canton peut notamment en confier la responsabilité au détenteur de l’une des centrales.

3 Définition des objectifs

3.1 Aperçu

La définition des objectifs d’une mesure d’assainissement constitue le point de départ de l’étude des variantes visant à éliminer ou à prévenir les atteintes graves dues aux éclusées et sous-tend le choix de la mesure la plus appropriée (cf. chap. 4). Pour que cette définition soit précise, les données de base doivent présenter le degré d’actualité et d’exhaustivité requis. Au terme de toutes les étapes de travail – i) analyse des déficits, ii) analyse des causes, iii) formulation des objectifs, iv) présélection des mesures, v) concertation entre le détenteur de la centrale et les autorités cantonales – toutes les exigences et tous les objectifs nécessaires à l’élaboration des mesures d’assainissement sont connus.

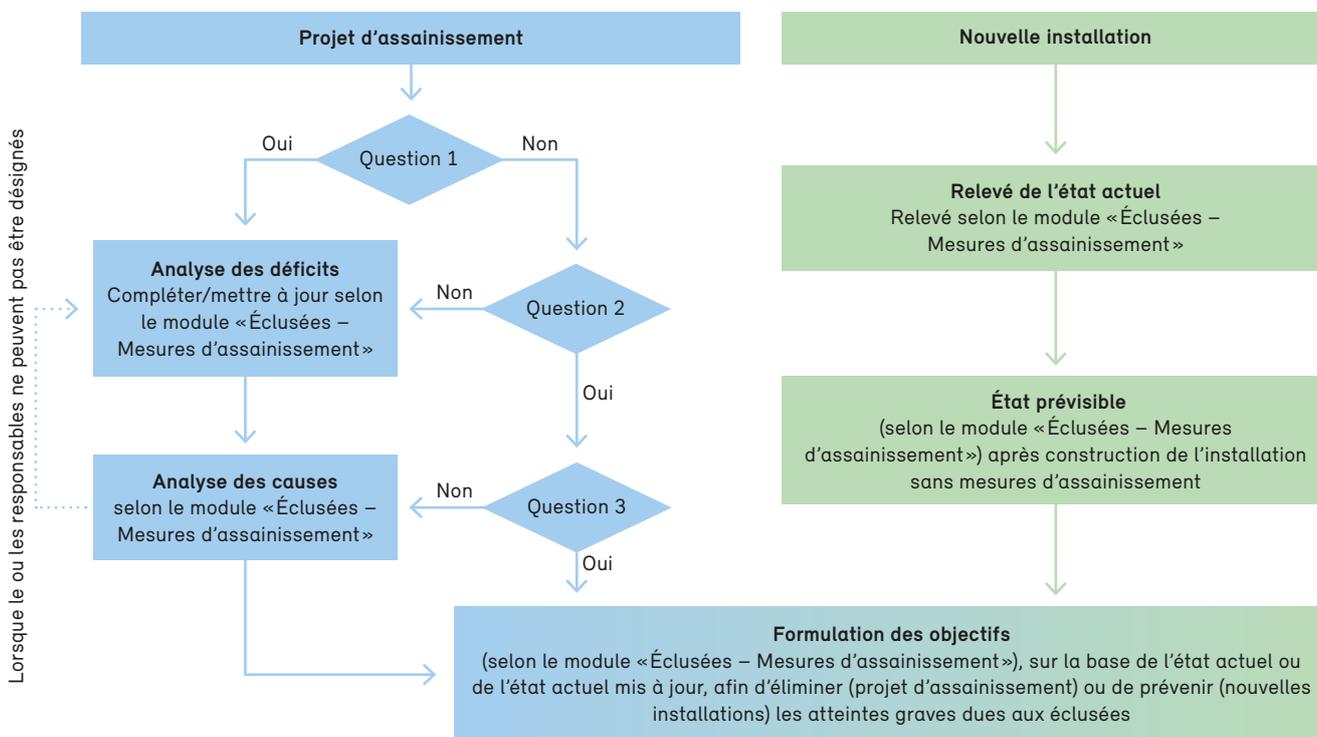
La marche à suivre pour les projets d’assainissement et les nouvelles installations est illustrée dans la figure 6. L’annexe G, partie II, explique les exigences relatives aux documents de l’étape 1.

Vérification des données de base en cas de projets d’assainissement

Pour chaque projet d’assainissement, il convient de vérifier si la notification de l’obligation d’assainir et le plan stratégique cantonal correspondant sont suffisamment détaillés et exhaustifs (c’est-à-dire si tous les indicateurs ont fait l’objet d’une évaluation approfondie selon le module « Assainissement des éclusées – Planification stratégique » [Baumann et al. 2012 ; dénommé ci-après module « Planification stratégique »]), si les causes des

Fig. 6

Analyse des déficits, analyse des causes et formulation des objectifs dans le cas de projets d’assainissement et de nouvelles installations.



Question 1: La morphologie, le régime de charriage, le régime d’écoulement ou la qualité de l’eau du tronçon analysé ont-ils subi des modifications notables depuis l’élaboration du plan stratégique cantonal?

Question 2: L’évaluation des indicateurs du module « Planification stratégique » (Baumann et al. 2012) est-elle exhaustive (autrement dit, ont-ils tous fait l’objet d’une évaluation approfondie)?

Question 3: Les atteintes dues aux éclusées ont-elles été clairement identifiées?

atteintes constatées ont été clairement identifiées et si les conditions générales ont évolué depuis le relevé des données (déterminer par exemple si la morphologie a été améliorée, si le régime de charriage a été rétabli ou si l’exploitation de la centrale a été modifiée). Si ces trois conditions sont remplies, il n’est pas nécessaire de procéder aux analyses des déficits et des causes décrites dans le présent module pour passer directement à la formulation des objectifs (cf. 3.4). Il convient néanmoins de consigner par écrit pourquoi ce raccourci a été pris, par exemple en remplissant la fiche de suivi ainsi que les parties let II du tableau récapitulatif de l’annexe D. Si les conditions ne sont pas toutes remplies, il convient de mettre à jour ou de compléter les analyses des déficits et des causes comme indiqué ci-après (cf. 3.2 et 3.3).

Même s’il n’est pas indispensable de compléter les données de base ou de les mettre à jour au cours de l’analyse des déficits et des causes, il importe néanmoins de relever une nouvelle fois les valeurs des indicateurs principaux proposés ici lors de la détermination des mesures, afin de pouvoir pronostiquer leurs effets.

3.2 Analyse des déficits

Sens et but de l’analyse des déficits

L’analyse des déficits (état actuel) détermine le type et l’ampleur des atteintes biologiques et structurelles existantes. Lorsqu’elle est pertinente, cette analyse fournit, à l’aide d’indicateurs, des informations sur l’état écologique actuel du milieu aquatique, en principe, mais pas uniquement, en relation avec les effets des éclusées.

3.2.1 Indicateurs

Indicateurs abiotiques et biotiques

Les vastes études écologiques de l’analyse des déficits se fondent sur plusieurs indicateurs biotiques et abiotiques. Ceux-ci servent à vérifier si la taille, la composition et la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station, au sens de l’art. 41e, let. b, OEaux, sont altérées (installations existantes) ou pourraient l’être (nouvelles installations). Les végétaux ou les biocénoses végétales sont en général moins sensibles aux modifi-

cations hydrologiques que les poissons et les macroinvertébrés. Vu les connaissances actuelles, l’analyse des déficits ne comprend dès lors aucun indicateur spécialement destiné à mesurer les atteintes qu’ils subissent. L’analyse des déficits part de l’hypothèse que les graves atteintes subies par les organismes végétaux sont éliminées lorsque les indicateurs des organismes animaux (poissons et macrozoobenthos) et des habitats aquatiques révèlent un état écologique suffisant.

Indicateurs utilisés dans l’analyse des déficits

L’analyse des déficits peut recourir à la série d’indicateurs définis dans le module « Planification stratégique » ou à celle décrite dans le présent module. Dans ce dernier, les indicateurs existants ont été mis à jour pour les conformer aux connaissances les plus récentes et complétés par de nouveaux indicateurs, qui permettent d’établir des prévisions (cf. p. ex. Bruder 2012, Auer et al. 2014, Habersack et Hauer 2014; fig. 7).

Nouveaux indicateurs définis depuis la publication du module « Planification stratégique »

Les indicateurs principaux Paramètres hydrologiques, Habitabilité pour les poissons, Habitabilité pour le macrozoobenthos et Dérive ont été intégrés dans le présent module, car ils sont sensibles aux éclusées.

Le nouvel indicateur principal Paramètres hydrologiques comprend les quatre principaux paramètres de l’hydrogramme des éclusées: i) débit d’éclusée, ii) débit plancher, iii) taux de montée du niveau d’eau, iv) taux de descente du niveau d’eau. L’indicateur Débit minimal du module « Planification stratégique » se retrouve dans le paramètre « débit plancher ».

Le recours au nouvel indicateur supplémentaire Colmatage externe n’est recommandé que dans les cas où les éclusées provoquent une turbidité élevée et où le colmatage externe pose problème en s’aggravant. Cet indicateur décrit la diminution de l’habitabilité d’un site et il est également possible, à l’aide de moyens adéquats, de prévoir ses valeurs.

En ce qui concerne l’indicateur Productivité piscicole du module « Planification stratégique », nombre de cantons et de spécialistes ont estimé, dans le cadre de la pla-

Fig. 7

Indicateurs utilisés dans l’analyse des déficits (cf. annexe C).

En cliquant sur l’indicateur, vous accédez directement au chapitre en question.

Abréviation		Analyse des déficits (état actuel)	Indicateurs du module « Planification stratégique »	Principaux changements apportés au module « Planification stratégique » ou buts des nouveaux indicateurs
 D2	Paramètres hydrologiques			Définition de la valeur cible des paramètres hydrologiques pour le tronçon considéré compte tenu des interactions avec d’autres indicateurs
 P2*	Échouage de poissons			Fonctions de valeurs, espèces piscicoles et stades de développement
 P3*	Frayères			Fonction de valeur, carte des frayères, tests portant sur les frayères et tests à l’aide de boîtes d’éclosion
 P6	Habitabilité pour les poissons			Modélisations de l’adéquation de l’habitat pour les poissons
 B5	Habitabilité pour le macrozoobenthos			Modélisations de l’adéquation de l’habitat pour le macrozoobenthos
 Q1*	Température de l’eau			Emplacement des mesures, prévisions
 P4*	Présence de juvéniles			Espèces piscicoles, abandon de la fonction de valeur, anciennement dénommé Reproduction des poissons
 B1*	Biomasse et diversité du macrozoobenthos			Estimation de la biomasse et de la diversité, uniquement des taxons EPT
 B3	Zonation longitudinale du macrozoobenthos			
 B4	Familles EPT du macrozoobenthos			
 F1	Dérive			Définition de valeurs seuils spécifiques au cours d’eau sur la base d’essais d’éclusées
 P1*	Module Poissons du SMG			Méthode de pêche, interprétation
 B2*	Module Macrozoobenthos du SMG			Méthode de relevé, interprétation
 H1*	Colmatage externe			Méthode de relevé
 H2	Colmatage externe			Quantification de l’habitabilité

 Indicateurs principaux

 Indicateurs globaux

 Indicateur modifié

 Indicateurs sensibles aux éclusées

 Indicateurs supplémentaires

 Nouvel indicateur

nification stratégique, qu’il n’est pas particulièrement sensible aux éclusées et qu’il pose parfois problème lors des évaluations (p. ex. en raison de la présence d’alevins). Voilà pourquoi cet indicateur n’apparaît plus dans le présent module et qu’il n’est pas indispensable de le mesurer.

Indicateurs principaux

Sont appelés indicateurs principaux ceux qui sont sensibles aux éclusées et qui fournissent des prévisions probantes (ou pouvant au moins faire l’objet d’estimations semi-quantitatives). Il s’agit des six indicateurs suivants : i) Paramètres hydrologiques, ii) Échouage de poissons, iii) Frayères, iv) Habitabilité pour les poissons, v) Habitabilité pour le macrozoobenthos, vi) Température de l’eau. Pour prévoir l’effet des mesures d’assainissement et comparer les variantes de mesures (cf. chap. 4), il convient de mesurer cinq au moins de ces six indicateurs. L’indicateur D2 Paramètres hydrologiques est cependant toujours obligatoire, car il interagit directement avec d’autres indicateurs (annexe C, indicateur D2) et qu’il est indispensable pour formuler les objectifs (cf. 3.4) et disposer d’hydrogrammes représentatifs (annexe E). De par son interaction avec les cinq autres indicateurs principaux, l’indicateur D2 Paramètres hydrologiques fournit une synthèse de la réalisation des objectifs. Il ne suffit cependant pas, à lui seul, pour tirer une conclusion définitive sur l’état d’un cours d’eau et quant à l’existence d’une atteinte grave.

Le choix des indicateurs doit être clairement documenté et correspondre au cours d’eau concerné. Il est recommandé de recourir à un processus participatif pour opérer ce choix.

Indicateurs sensibles aux éclusées et indicateurs globaux

Six indicateurs du module « Planification stratégique » sont désormais divisés en deux classes : indicateurs insensibles aux éclusées, également appelés indicateurs globaux (Module Poissons du SMG et Module Macrozoobenthos du SMG), et indicateurs sensibles aux éclusées (Présence de juvéniles, Biomasse et diversité du macrozoobenthos, Zonation longitudinale du macrozoobenthos et Familles EPT du macrozoobenthos). Aux indicateurs sensibles aux éclusées vient de plus

s’ajouter l’indicateur Dérive. Ces indicateurs ne figurent pas parmi les indicateurs principaux, car l’état actuel des connaissances ne permet pas de les prévoir avec une précision suffisante. Il est recommandé de mesurer les indicateurs sensibles aux éclusées dans tous les cas. Quant aux indicateurs globaux, il convient de les mesurer uniquement lorsque les facteurs d’influence abiotiques Qualité de l’eau et Morphologie présentent un état bon ou suffisant ou s’il existe un tronçon de référence. Dans ces conditions, les deux indicateurs globaux (Module Poissons du SMG et Module Macrozoobenthos du SMG) peuvent également fournir les indices d’une atteinte due aux éclusées.

Indicateurs supplémentaires

Le Colmatage interne et le Colmatage externe ont été qualifiés d’indicateurs supplémentaires, car les éclusées ne constituent en général pas la principale cause de ces phénomènes et que ces indicateurs ne sont donc pas particulièrement sensibles aux éclusées (Habersack et Hauer 2014). Leur mesure est recommandée dans des cas particuliers, à savoir dans des bassins versants où la turbidité est élevée et présente dès lors un rapport avec le colmatage. Ils servent à comprendre le phénomène et devraient être appréciés par comparaison avec un tronçon de référence et utilisés à titre complémentaire.

Série réduite d’indicateurs

Lorsqu’une série réduite d’indicateurs suffit pour analyser les déficits et qu’il serait disproportionné de mesurer tous les indicateurs (dans les cas simples et limpides, les relevés et l’analyse, après avoir consulté le canton). Il importe toutefois de motiver l’abandon de certains indicateurs.

3.2.2 Détermination de l’atteinte grave

Pour les projets d’assainissement, il est toujours possible de déterminer l’atteinte grave en appliquant la méthode du module « Planification stratégique » lorsque les indicateurs sont tous connus (c’est-à-dire que tous ont fait l’objet d’une appréciation sommaire ou d’une évaluation approfondie) et que les données à disposition sont suffisantes.

Qu’est-ce qu’une atteinte grave ?

Les éclusées provoquent des atteintes graves lorsque le débit d’éclusée est au moins 1,5 fois supérieur au débit plancher et que la taille, la composition et la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station sont altérées (art. 41e OEaux). C’est le cas lorsque la majorité des indicateurs principaux affichent un état moyen ou que l’un d’entre eux présente un état médiocre ou mauvais. Cela vaut pour les installations existantes et pour les nouvelles installations. Dans le cas de ces dernières, la détermination de l’atteinte grave se fonde sur l’état prévisible des indicateurs principaux après la construction de l’installation. Lorsque la moitié des indicateurs présentent un état moyen, il convient de réduire le coefficient de pondération de l’indicateur D2 en raison de son interaction avec les cinq autres indicateurs principaux.

Si elle est plus précise, cette nouvelle définition n’est pas plus stricte que celle figurant dans le module « Planification stratégique ». Elle n’est pas plus stricte, car certains indicateurs peuvent afficher un état moyen. Elle est toutefois plus précise, car la détermination de l’atteinte grave se fonde sur les six indicateurs principaux, qui révèlent les atteintes dues spécifiquement aux éclusées et ne sont pas influencés davantage par la qualité de l’eau que d’autres indicateurs. La morphologie du cours d’eau n’exerce pas non plus une influence directe sur les indicateurs principaux ni n’est prise en compte lors de leur appréciation.

3.3 Analyse des causes

Sens et but de l’analyse des causes

L’analyse des causes établit un lien entre les déficits constatés et leurs causes. Elle est nécessaire pour identifier aussi clairement que possible les causes des atteintes dues aux éclusées et, à partir de là, pour formuler les objectifs des mesures d’assainissement.

Causes en lien avec les éclusées

Mesurées à l’aide des indicateurs de l’analyse des déficits (cf. 3.2), les atteintes existantes constituent une première indication des causes potentielles. Une analyse des causes permet de cerner la ou les causes de l’atteinte subie par chacun des indicateurs. À cet effet, il

faut comprendre quelles caractéristiques hydrologiques, hydrauliques, morphologiques ou qualitatives du tronçon de cours d’eau considéré déterminent la classe d’état des indicateurs. Ce n’est que lorsque les atteintes dues aux éclusées sont connues qu’il est possible d’identifier les paramètres hydrologiques de l’hydrogramme, qui sont à l’origine des atteintes révélées par les indicateurs.

Causes sans lien avec les éclusées

Il convient d’identifier également les autres causes, sans lien avec les éclusées (l’insuffisance de l’état morphologique ou de la qualité de l’eau, p. ex.), qui sont coresponsables de l’atteinte écologique. Dans l’étude de variantes selon le point 4.2, il est en effet possible d’inclure des interventions morphologiques ponctuelles destinées à créer des refuges pour les larves et les alevins (zones à faible vitesse d’écoulement et de faible profondeur ; cf. annexe E, « Mesures de construction ») ou d’harmoniser les mesures destinées à atténuer les éclusées avec les mesures de revitalisation morphologique afin d’accroître l’effet écologique.

Instruments de l’analyse des causes

Le relevé des données de base morphologiques et hydrologiques selon l’annexe B sert à interpréter les déficits et à identifier les causes.

Les parties I et II du tableau récapitulatif de l’annexe D illustrent la marche à suivre pour établir, à partir de la classe d’état des indicateurs, le lien avec les déficits observés dans le milieu aquatique. Comme l’illustre l’exemple, la matrice proposée peut, selon les cas, être prise en compte pour identifier les causes. À caractère plutôt général, elle ne peut cependant pas remplacer les connaissances interdisciplinaires et l’expérience d’un spécialiste.

En l’absence d’informations fournissant une explication plausible des causes, il restera à les identifier en mesurant et en évaluant des indicateurs supplémentaires, en recourant à des kits d’analyse (cf. annexe C, indicateur P3*), etc.

Exception : exemption de l’obligation d’assainir

Si l’analyse des causes révèle qu’aucune des atteintes observées dans le cours d’eau n’est due aux éclusées, mais à d’autres facteurs, les détenteurs de centrales peuvent demander à être exemptés de l’obligation d’as-

sainir. En pareil cas, le canton exempte l’installation hydraulique concernée de l’obligation de prendre des mesures d’assainissement dans le domaine des éclusées. Nous recommandons aux cantons de consulter l’OFEV avant d’accorder une telle exemption. Swissgrid rembourse les frais d’analyse au concessionnaire.

3.4 Formulation des objectifs

Sens et but de la formulation des objectifs

Dès que les déficits sont recensés et leurs causes connues, il importe de formuler les objectifs des mesures d’assainissement. Ils constituent la base de l’étude de variantes et du choix des mesures d’assainissement selon le chapitre 4.

Formulation des objectifs : marche à suivre

La marche à suivre pour formuler les objectifs est reproduite dans la figure 8. Elle est décrite ci-après et illustrée dans la partie III du tableau récapitulatif de l’annexe D.

Objectif général des mesures d’assainissement

L’objectif défini par la loi (art. 39a, al. 1, LEaux) consiste à éliminer les atteintes graves dues aux éclusées dans le cas d’installations existantes et à les prévenir dans le cas de nouvelles installations.

Formulation d’objectifs concrets pour chaque indicateur

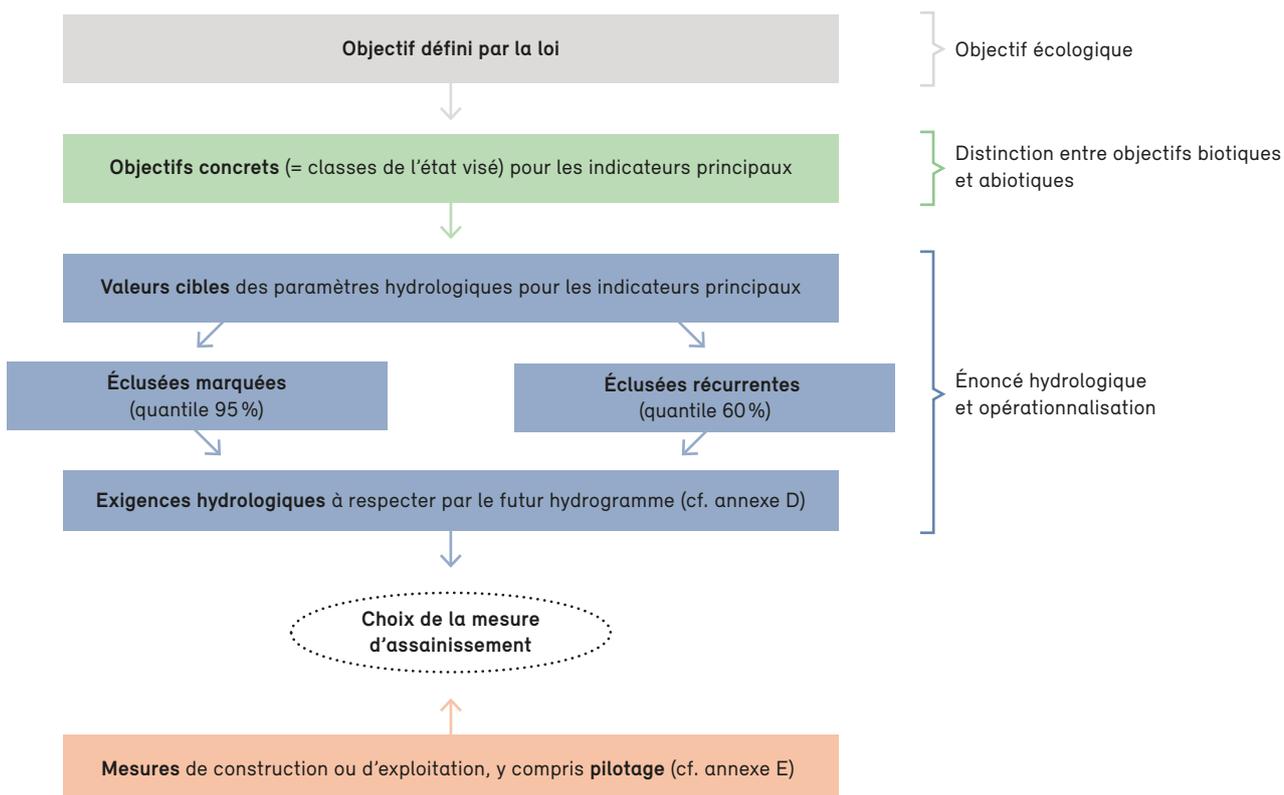
Pour chaque indicateur principal pris en compte et présentant un déficit considérable (état moyen à mauvais), il convient de formuler des objectifs concrets (= classe de l’état visé) que les mesures d’assainissement devront atteindre afin d’éliminer ou de prévenir les atteintes graves (cf. définition de l’atteinte grave, cf. 3.2.2).

Lors de la formulation des objectifs pour les divers indicateurs principaux, il importe d’appliquer les quatre principes suivants :

1. Les objectifs se réfèrent aux paramètres hydrologiques déterminants de l’hydrogramme des éclusées :

Fig. 8

Marche à suivre pour formuler les objectifs.



- i) débit d’éclusee, ii) débit plancher, iii) taux de descente du niveau d’eau, iv) taux de montée du niveau d’eau.
2. Dans la mesure du possible, les objectifs tiennent compte du régime d’écoulement naturel et de ses variations saisonnières.
 3. Les objectifs prennent en considération les espèces indicatrices, ainsi que leur stade de développement, la morphologie du cours d’eau (en comparant aux tronçons existants présentant un état morphologique aussi bon que possible ; cf. annexe B) et le potentiel écologique (plus le potentiel d’un cours d’eau est grand, plus les objectifs devraient être élevés).
 4. Les objectifs tiennent compte de l’état actuel ou de l’état actuel mis à jour sur la base de mesures de protection des eaux réalisées, planifiées ou prévues (comme la revitalisation des cours d’eau, la protection contre les crues, le rétablissement de la libre migration des poissons et du régime de charriage ou la garantie de débits résiduels convenables) ainsi que d’autres projets en préparation dans le bassin versant et pouvant exercer une influence sur les mesures d’assainissement (telle la construction de nouvelles installations hydrauliques).

Valeurs cibles des paramètres hydrologiques et conditions hydrologiques requises

Une fois que les objectifs ont été formulés en termes de classes d’état pour les différents indicateurs principaux, il est possible de fixer les valeurs cibles des paramètres hydrologiques. Sur la base de ces valeurs et des conditions hydrologiques requises qui en découlent (cf. partie III du tableau récapitulatif de l’annexe D), l’élaboration des mesures destinées à concrétiser le futur hydrogramme peut commencer.

Les mesures envisageables doivent viser à augmenter le débit plancher, à diminuer le débit d’éclusee, à ralentir les taux de variation du niveau d’eau et, le cas échéant, à réduire le nombre des éclusees. Comme les valeurs cibles peuvent varier selon la saison, certaines ne doivent être atteintes que pendant la période de frai ou durant l’éclosion des œufs des espèces piscicoles indicatrices. Pour compléter ou remplacer les mesures initiales, il peut s’avérer nécessaire ou utile d’appliquer des mesures locales de nature morphologique, qui contribuent à atteindre les

objectifs (cf. annexe E, « Mesures de construction »). De telles mesures s’imposent par exemple lorsque les indicateurs P6 et B5 font état d’une habitabilité insuffisante pour les poissons ou le macrozoobenthos ou que des structures appropriées font défaut pour le frai durant le débit plancher. Il ne faut toutefois pas confondre mesures de nature morphologique et revitalisations de cours d’eau selon la législation sur la protection des eaux (art. 38a LEaux). Ces dernières doivent certes être coordonnées avec les mesures visant les éclusees, mais elles n’en font pas partie.

Atteintes causées par des éclusees marquées et récurrentes

Lors de la définition des valeurs cibles pour les paramètres hydrologiques, il convient de distinguer (tab. 1) :

- a) Les atteintes provoquées par des éclusees peu nombreuses, mais marquées, durant des périodes critiques du point de vue écologique (en période de frai, p. ex.). Afin d’éliminer de telles atteintes, le degré de fréquence défini pour le respect des valeurs cibles des paramètres hydrologiques doit être élevé (quantile 95 %).
- b) Les atteintes causées par des éclusees régulières, récurrentes, mais peu marquées. Pour éliminer ces atteintes, le respect des valeurs cibles n’a pas besoin de répondre aux mêmes exigences de fréquence (quantile 60 %).

À titre d’exemple pour le cas a), la valeur cible du débit plancher doit être respectée pendant 95 % du temps (quantile 95 %) durant la période critique correspondant au développement du frai, afin de garantir qu’une partie au moins du frai ne sera pas mis à sec. Pour illustrer le cas b), considérons que la valeur cible du débit d’éclusee doit être respectée pendant 60 % du temps (quantile 60 %) pour limiter l’étendue de la zone de marnage durant la période de développement des alevins. Le risque d’échouage persiste certes dans la zone de marnage, mais le respect de faibles taux de descente du niveau d’eau suffit, même si la valeur cible n’est respectée qu’à 60 %, pour éviter de grandes pertes dans les peuplements de juvéniles.

Précisions concernant les objectifs et les valeurs cibles

Les objectifs doivent être décrits de manière suffisamment précise pour qu’il soit possible de vérifier l’efficacité des mesures et que l’autorité cantonale puisse le cas échéant se fonder sur ces objectifs pour exiger d’éventuelles améliorations (cf. chap. 5).

Les quantiles indiqués dans le tableau 1 doivent être considérés comme des valeurs indicatives à caractère général. Ils doivent toujours être fixés de cas en cas, selon la situation écologique, et non pas de manière systématique sur la base de ce tableau.

Selon le quantile défini, les valeurs cibles des paramètres hydrologiques peuvent être dépassées durant respectivement 5 % et 40 % des jours pendant la période considérée (exceptions). Ces dépassements doivent toujours être évalués au cas par cas, pour éviter que les exceptions admises n’anéantissent les efforts visant à éliminer ou à prévenir les atteintes dues aux éclusées. Autrement dit, le débit d’éclusee, le débit plancher et les taux de variation du niveau d’eau ne doivent s’écarter que faiblement des valeurs cibles définies durant les situations exceptionnelles. La représentation de la fréquence cumulée selon l’indicateur D2 (annexe C) convient pour garantir, à l’aide

d’une expertise, que les dépassements restent dans le domaine de l’admissible.

L’annexe C (indicateur D2) fournit des explications détaillées sur la fixation des valeurs cibles des divers paramètres hydrologiques, de même que sur leur évaluation et leur représentation. Le lien avec le pilotage des mesures et leur optimisation est présenté à l’annexe E (sous « Pilotage des mesures »).

3.5 Présélection des mesures d’assainissement

Projets d’assainissement

Dans le cas de projets d’assainissement, cette étape de travail ne doit être entreprise que si les conditions générales ont changé depuis la notification de l’obligation d’assainir (la morphologie a été améliorée, le régime de charriage a été rétabli, l’exploitation de la centrale a été modifiée) ou si le canton n’a pas été en mesure, faute de temps ou de données de base, de spécifier les mesures à prendre dans la notification.

Tab. 1

Approches servant à fixer les valeurs cibles des paramètres hydrologiques en fonction du cours d’eau.

Le quantile indique à quel degré de fréquence la valeur cible doit être respectée. L’indicateur déterminant spécifie l’indicateur prévisible (indicateur principal) avec lequel les paramètres hydrologiques sont en interaction (pour plus de détails, cf. annexe C, indicateur D2). Selon la méthode, on utilise un quantile 90 % au lieu d’un quantile 95 % pour l’amplitude et le taux de variation de la température (cf. annexe C, indicateur Q1*).

Approches servant à fixer les valeurs cibles des paramètres hydrologiques	Quantile	Indicateur principal déterminant
Stabilité d_m des frayères	95 %	P3*
Diminution de la taille de la zone de marnage	60 %	P2*, B5, P6
Réduction de l’amplitude de la variation de température	90 %	Q1*
Diminution générale de la dérive (sur la base d’essais)	60 %	F1/D2
Absence de dérive de catastrophe (sur la base d’essais)	95 %	F1/D2
Frai et développement du frai (prévention des mises à sec)	95 %	P3*
Habitabilité suffisante pour le macrozoobenthos	60 %	B5
Habitabilité suffisante pour les poissons (par stade de développement)	60 %	P6
Réduction de l’échouage (par stade de développement)	95 %	P2*
Réduction du taux de variation de la température	90 %	Q1*
... autres approches spécifiques au cours d’eau considéré, selon l’avis des spécialistes		

Cas général

L’analyse des déficits fondée sur les indicateurs révèle que le cours d’eau subit une atteinte, car la densité de jeunes truites est insuffisante. L’analyse des causes conclut que cette atteinte n’est pas d’origine morphologique, car le cours d’eau comporte des habitats normalement appréciés par les jeunes poissons. Des causes liées aux éclusées sont toutefois connues : habitabilité réduite pour les poissons (révélée par l’indicateur principal P6) et risque élevé d’échouage des poissons (révélé par l’indicateur principal P2*). Des valeurs cibles (telle la classe d’état « bon ») sont définies pour ces deux indicateurs (P6 et P2*) sensibles aux éclusées et prévisibles.

L’indicateur P2* dépend du paramètre hydrologique Taux de descente du niveau d’eau. Dans le tronçon étudié, l’indicateur P6 est déterminé par le débit d’éclusée. C’est donc pour ces deux paramètres hydrologiques que des valeurs cibles sont définies :

- P2* pendant la période mars/avril (truite fario, stade larvaire) : taux de descente du niveau d’eau inférieur ou égal à 0,3 cm/min, quantile 95 %. Cela signifie que le taux de descente du niveau d’eau ne devrait dépasser cette valeur que pour 5 % des éclusées au maximum survenant durant cette période.
- P2* pendant la période d’avril à septembre (truite fario, stade juvénile) : taux de descente du niveau d’eau inférieur à 3 cm/min, quantile 95 %.
- P6 pendant la période d’avril à septembre (truite fario, stade juvénile) : débit d’éclusée inférieur ou égal à 20 m³/s, quantile 60 %. Autrement dit, les pointes du débit d’éclusés ne doivent pas dépasser cette valeur au cours de 60 % au moins des éclusées survenant durant cette période, pour garantir que les pertes de surface des habitats adéquats restent inférieures à 20 % (classe d’état « bon » selon la fonction de valeur de l’indicateur P6).

Exemple : Forces motrices de l’Oberhasli (KWO)

Dans le cas de l’Aar du Hasli, les atteintes dues aux éclusées comprennent principalement l’échouage de poissons et de macroinvertébrés. Les causes de ces atteintes résident dans les taux de montée et de descente du niveau d’eau. Pour commencer, il importe donc d’appliquer une mesure destinée à améliorer ces deux paramètres hydrologiques (un bassin et une caverne de rétention, dotés du système de pilotage re-

quis, ont été aménagés). Pour éliminer les atteintes subies par les jeunes poissons, des mesures d’ordre morphologique seraient toutefois souhaitables dans l’Aar du Hasli, en vue de créer des habitats appropriés. De telles mesures feront l’objet d’une démarche distincte, car elles ne visent pas à remédier à des atteintes dues aux éclusées (Bieri et al. 2013, Schweizer et al. 2013 (1) – (4)).

Sens et but de la présélection des mesures d’assainissement

La présélection des mesures d’assainissement est un tri sommaire des mesures envisageables à étudier plus en détail. Elle se fonde sur les conditions spécifiques du cours d’eau et du bassin versant, des considérations techniques et une estimation approximative des coûts, afin d’exclure les mesures dont le coût serait de toute évidence disproportionné. Ce tri ne correspond pas encore à la définition de priorités ni au choix des mesures

concrètes. Ce choix se fonde sur une analyse approfondie du rapport coût/utilité ; celle-ci n’est présentée qu’au chapitre 4.

Présélection des mesures : marche à suivre

Cette étape de travail consiste en principe i) à prendre en considération toutes les mesures envisageables, ii) à identifier les mesures réalisables et iii) à rejeter les mesures qui seraient d’emblée disproportionnées.

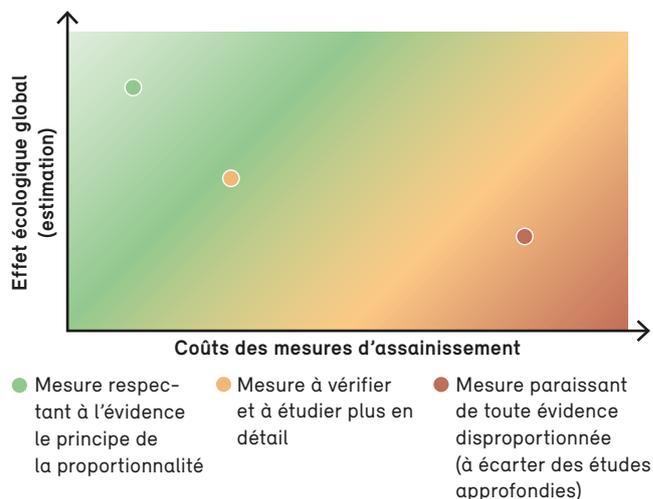
À titre d’aide pour la phase i), l’annexe E contient (sous « Mesures envisageables ») une liste et une brève description des mesures de construction et d’exploitation possibles. Le cas échéant, il convient par ailleurs de tenir compte également d’autres solutions qui auront été mises au point depuis l’élaboration du présent module. Lors de la présélection des mesures, il est recommandé, lorsque cela paraît judicieux et en particulier dans le cas de petites installations, d’évaluer la possibilité d’une déconstruction. Il vaut également la peine, au cours de cette présélection, d’envisager des mesures d’exploitation, car elles peuvent offrir des solutions souples et conformes au principe de proportionnalité.

La phase ii) est une évaluation sommaire des conditions techniques (débit minimal requis pour actionner les turbines, durée de la mise en route et de l’arrêt des turbines, p. ex.), ainsi que des conditions spécifiques au cours d’eau et au bassin versant (protection contre les crues, aspects territoriaux tels que le réseau hydrographique, les zones urbanisées et les infrastructures, dispositions régissant la protection, etc.), qui sert à déterminer les mesures réalisables. Dès la présélection des mesures, il est recommandé de prendre en considération les aspects du développement durable, tels les effets d’une mesure d’assainissement sur la production d’énergie, la protection contre les crues, la valeur récréative ou l’esthétique du paysage.

La phase iii) évalue les mesures en fonction de leur type (volumes de rétention souterrains ou à l’air libre, dérivations directes, etc.), de leur effet écologique global et de leur coût. Elle sert à identifier les types de mesures qui sont manifestement disproportionnées, compte tenu de leurs effets et de leur coût (fig. 9), ou qui sont absolument incompatibles avec d’autres conditions générales, et qu’il convient dès lors d’éliminer a priori. Nous partons de l’hypothèse que les cas où il n’existe aucune mesure respectant le principe de la proportionnalité sont l’exception.

Fig. 9

Tri sommaire des mesures d’assainissement (présélection).



Estimation de l’effet écologique global

L’effet écologique global est estimé à partir de l’amélioration (évaluée par un spécialiste) de l’état écologique selon les classes d’état des indicateurs.

Estimation des coûts

Les coûts des travaux de construction (sans l’étude de projet, l’acquisition de terrain et les conséquences sur l’exploitation) dépendent du site. Il est toutefois possible d’en établir une estimation approximative en considérant les données disponibles sur des constructions ou des éléments de construction similaires et les spécificités locales (cf. p. ex. Bieri 2012, bassin de rétention des KWO¹, bassin de rétention de Tierfehd et de Linthal²). Il convient de déterminer les coûts des mesures d’assainissement avec plus de précision dans le cadre de l’étude des variantes et du choix des mesures (cf. chap. 4), pour pouvoir prouver l’optimisation des variantes et favoriser un choix transparent et objectif de la meilleure variante.

Estimation des volumes de rétention

Lorsque la mesure d’assainissement prévoit de stocker l’eau, dans un bassin ou une caverne de rétention par exemple, il faut garder à l’esprit que l’effet de la mesure dépend du régime d’exploitation de la centrale et du vo-

1 Le montant exact des coûts a été consulté dans la littérature non accessible au public. L’échange de valeurs empiriques est possible dans le cadre d’une collaboration bilatérale ciblée entre des détenteurs de centrales.

2 Idem.

Exemple : Forces motrices de l’Oberhasli (KWO)

Les Forces motrices de l’Oberhasli (KWO) ont envisagé à titre de mesure réalisable d’une part de déverser directement l’eau turbinée dans le lac de Brienz et d’autre part de la retenir dans un volume de rétention entre la centrale et le point de sa restitution dans l’Aar du Hasli. Même en tenant compte de l’électricité qu’il permettrait de produire en raison de son dénivelé, le déversement direct, à assurer par une galerie de 16 km à construire entre la restitution actuelle et le lac de Brienz, engendrerait des coûts manifestement disproportionnés et l’entreposage des matériaux excavés modifierait de plus sensiblement le paysage. Considérant le rapport coût/utilité de cette solution et son impact sur le paysage, les KWO ont, après le tri sommaire des mesures d’assainissement, concentré leurs investigations sur des variantes prévoyant divers volumes de rétention (jusqu’à 100 000 m³) et une optimisation du pilotage des dispositifs restituant les eaux turbinées (Schweizer et al. 2013 (3)–(4)).

lume à disposition, ainsi que du type et de la souplesse de son pilotage. Le volume de rétention doit être optimisé grâce à un pilotage ciblé de son effluent (cf. annexe E, sous « Pilotage des mesures »), compte tenu des déficits, des causes et des objectifs définis, et non seulement sur la base du rapport entre débit d’éclusée et débit plancher. L’art. 39a, al. 1, LEaux contraint en effet les détenteurs de centrales à empêcher ou à éliminer les atteintes graves et non pas à respecter une certaine valeur de ce rapport. Des volumes de rétention sensiblement plus petits peuvent dès lors suffire à éliminer les atteintes, et ce constat exerce une influence directe sur la faisabilité et sur la proportionnalité de la mesure.

3.6 Concertation entre le détenteur de la centrale et les autorités cantonales

Sens et but de la concertation

Les travaux comprenant la mise au point des mesures d’assainissement, l’évaluation des variantes et le choix de la meilleure variante peuvent prendre du temps et s’avé-

rer très onéreux. Pour éviter des dépenses inutiles, il est recommandé aux détenteurs de la centrale existante à assainir de consulter l’autorité cantonale avant de procéder à l’étude de variantes (cf. chap. 4), afin de définir le contenu de cette étude (de même que d’éventuelles exigences et conditions fondamentales). Cette concertation se fonde sur les résultats des analyses des déficits et des causes, ainsi que sur la formulation des objectifs et la présélection, dûment motivée, des mesures d’assainissement à étudier (pts 3.2 à 3.5).

La concertation doit également servir à assurer la coordination avec d’autres mesures de protection des eaux (revitalisation des cours d’eau et des zones alluviales, rétablissement de la libre migration des poissons et du régime de charriage, garantie de débits résiduels convenables, protection contre les crues, protection des eaux souterraines, etc.) et avec d’autres projets (telle la construction de nouvelles centrales hydroélectriques) dans le bassin versant (cf. à ce sujet les pts 2.4 et 4.4 et l’annexe D « Fiche de suivi »). Les aspects du développement durable peuvent également intervenir dans le choix des mesures à étudier plus avant.

Il est par ailleurs conseillé d’entamer, dès ce stade, un travail d’information auprès d’autres acteurs ou groupes concernés (ONG, propriétaires de terrains, milieux agricoles, communes, etc.), afin de porter à leur connaissance la situation existante, les objectifs et l’orientation générale des mesures envisagées et de leur permettre d’exprimer leurs préoccupations. Cette information est d’autant plus importante si les mesures envisagées requièrent des terrains étendus ou risquent d’empiéter sur des surfaces d’assolement. Des idées pratiques pour identifier les acteurs et les groupes concernés et les impliquer dans le processus et sa planification figurent dans deux documents publiés par le groupe de travail « Dialogue Énergie hydraulique » de l’Agenda 21 pour l’eau (Agenda 21 pour l’eau 2012 et 2013). Plus généralement, le volet 8 « Démarche participative », du guide pratique Gestion par bassin versant (OFEV 2012) traite de la participation de diverses entités à ce type de démarche, tandis que la « Directive de la Confédération sur l’étude de l’impact sur l’environnement » (Manuel EIE, module 3 « Procédures », OFEV 2009) décrit les procédures à appliquer lorsque les mesures à réaliser sont soumises à l’étude d’impact sur l’environnement (EIE).

4 Étude de variantes et choix des mesures d’assainissement

4.1 Aperçu

Cette étape comprend l’élaboration de variantes de mesures d’assainissement, puis l’évaluation de leur capacité à atteindre les objectifs définis (cf. 3.4), c’est-à-dire à éliminer ou à prévenir des atteintes graves. Ces mesures doivent être à même d’apporter l’amélioration écologique requise et correspondre à l’état de la technique. Les mesures élaborées au cours de l’étude de variantes se fondent par ailleurs sur les critères énumérés à l’art. 39a, al. 2, LEaux. Selon cette disposition, le choix des mesures d’assainissement doit tenir compte de la gravité des atteintes et du potentiel écologique du cours d’eau, de même que de la proportionnalité des coûts, de la protection contre les crues et des objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables. Lors de leur élaboration, les mesures visant à atténuer l’effet des éclusées doivent de plus être harmonisées au niveau du bassin versant, et pas seulement entre elles, mais aussi avec d’autres mesures de protection des eaux non spécifiques aux éclusées (art. 39a, al. 3, LEaux en relation avec l’art. 46, al. 1, OEaux).

Au terme de l’étude détaillée des mesures et de leur évaluation selon les étapes de travail décrites ci-après – i) étude de variantes, ii) choix des mesures d’assainissement, iii) coordination avec d’autres mesures de protection des eaux – il est possible de déterminer la mesure d’assainissement la plus appropriée (meilleure variante), qui sera soumise pour examen au canton et, le cas échéant, à l’OFEV (fig. 2). Il appartient alors aux autorités cantonales de choisir la meilleure variante pour l’élaboration du projet.

L’annexe G, partie III, présente les exigences relatives aux documents à remettre au cours de l’étape 2 des travaux.

4.2 Étude de variantes

Description détaillée des variantes

Pour prévoir l’effet des mesures d’assainissement et estimer leurs coûts, il faut partir d’une description détaillée de l’installation (spécifications techniques, réservoir, prises d’eau, restitution d’eau, exploitation selon la concession assortie d’éventuelles restrictions) et des mesures d’assainissement (type de mesure, emplacement, taille, etc.). Afin d’assurer une évaluation suffisamment précise de la faisabilité des mesures compte tenu du bassin versant et des contraintes techniques, ainsi que des coûts, la description doit également fournir un dimensionnement préliminaire des éléments de construction déterminants, quantifier les éventuels terrains nécessaires pour réaliser la mesure prévue et ceux requis pour un entreposage définitif de matériaux excavés, de même que décrire l’éventuelle influence de la mesure sur le fonctionnement de l’installation (production d’électricité).

Détermination de l’effet écologique des mesures destinées à assainir les éclusées

Avant de pouvoir déterminer l’effet écologique des mesures, il faut commencer par établir une prévision de l’état du cours d’eau concerné après mise en œuvre des mesures visant les éclusées. L’évaluation de cet état permet ensuite de procéder à une comparaison avec les objectifs définis et d’estimer ensuite le degré de réalisation des objectifs. Une fois agrégés, ceux-ci fourniront le degré de réalisation global. Celui-ci correspond à l’effet écologique global de la mesure d’assainissement et sera notamment mis en rapport avec les coûts lors du choix de la mesure la plus appropriée (cf. 4.3). L’agrégation ne doit pas conduire à calculer des facteurs limitants isolés. Ceux-ci doivent être appréciés par des spécialistes lors de l’évaluation des mesures d’assainissement.

Prévision de l’état du cours d’eau après assainissement

Les indicateurs les plus appropriés pour prévoir l’état d’un cours d’eau après réalisation des mesures d’as-

sainissement sont les suivants : Échouage de poissons, Frayères, Habitabilité pour les poissons, Habitabilité pour le macrozoobenthos, Température de l’eau, Paramètres hydrologiques.

L’état d’un cours d’eau à éclusées après assainissement sera estimé au moyen d’instruments de modélisation appropriés, tels des modèles mathématiques et, le cas échéant, des modèles physiques (annexe F). Pour compléter ces prévisions, divers tests (essais d’éclusées, séries de tests standardisés, etc.) peuvent être réalisés dans le cours d’eau. Ces tests ne portent cependant que sur une période limitée et ne peuvent illustrer que des effets à court terme. Mais d’autres outils peuvent être utiles : expertises établies par des spécialistes, comparaisons transversales et raisonnements par analogie.

Pour concevoir des modèles prédictifs, il faut disposer de données exhaustives sur les cours d’eau subissant des atteintes dues aux éclusées et sur les hydrogrammes correspondants. Normalement, les données sur le tronçon à éclusées et sur ses diverses portions sont déjà collectées lors du relevé des données de base (annexe B) dans le cadre de l’évaluation de l’état actuel (cf. chap. 3). Si d’autres mesures que celles visant les éclusées, telles des modifications hydrologiques ou morphologiques (assainissement des débits résiduels, rétablissement du régime de charriage, revitalisations ou projets de protection contre les crues, etc.), sont prévues sur le cours d’eau concerné, il importe de les intégrer également dans le modèle. L’état prévisible après la mise en œuvre des mesures tiendra ainsi compte de l’état futur (même influencé par la réalisation d’autres modifications). Les hydrogrammes représentatifs pour le cours d’eau peuvent être établis selon l’annexe E.

L’annexe F fournit des informations sur les principaux aspects dont il faut tenir compte lors du choix des instruments de modélisation et mentionne des modélisations récentes conçues dans le cas d’éclusées. L’annexe C contient quant à elle des bases théoriques pour les indicateurs à inclure dans la modélisation, telles les courbes de préférence pour les poissons et les macroinvertébrés, et des informations sur les kits d’analyse (cf. indicateur P3*) utilisés dans les cours d’eau.

Modélisations

Les coûts des modélisations hydrauliques doivent en principe correspondre à la complexité du bassin versant (nombre d’installations provoquant des éclusées, morphologie existante et future, longueur et taille, rôle et potentiel écologiques du cours d’eau, etc.).

Des modèles hydrauliques unidimensionnels ou bidimensionnels non stationnaires (fonctions du temps) sont utilisés dans des bassins versants ou réseaux hydrographiques complexes. Dans de tels cas et en particulier lorsque les éclusées provoquées par plusieurs centrales hydroélectriques s’additionnent, il importe de cerner les phénomènes ci-après : la vitesse de propagation des vagues, la rétention dynamique (qui atténue l’éclusée) ou, le cas échéant, l’alignement des ondes (qui renforce l’éclusée), de même que le déplacement spatial et temporel des éclusées. Pour pouvoir s’appliquer, de tels modèles doivent être étalonnés à l’aide des données disponibles sur le débit.

Si des modèles bidimensionnels, voire tridimensionnels, sont certes requis pour évaluer les habitats et tirer au clair des points de détail, ils sont toutefois très coûteux. Nous proposons dès lors de ne pas les utiliser pour chaque tronçon subissant des atteintes dues aux éclusées, mais de réserver leur usage à des tronçons représentatifs de chaque type de morphologie existant ou prévu (lit canalisé, avec bancs de gravier, ramifié, etc.). Les tronçons étudiés (tronçons a à c dans le tab. 2) feront ensuite l’objet d’une modélisation pour chaque mesure envisagée, les résultats du modèle unidimensionnel pouvant alors fournir les conditions hydrauliques générales (tels les niveaux d’eau et les débits).

Appliquées aux tronçons sélectionnés afin de prévoir la situation qui s’y présentera après assainissement, les modélisations fournissent des données permettant d’évaluer l’état des indicateurs prévisibles. Elles comprennent en principe les profondeurs de l’eau et les vitesses d’écoulement dans le tronçon modélisé et la stabilité du substrat si la granulométrie est prise en compte. À partir de ces données, il est possible d’identifier les surfaces qui seront immergées et celles mises à sec lors des éclusées, ainsi que l’habitabilité du tronçon pour différents débits et la stabilité des frayères.

Évaluation de l’état après assainissement

L’état prévisible après mise en œuvre des mesures d’assainissement des éclusées est évalué à l’aide de fonctions de valeur. L’annexe C indique ces fonctions pour les différents indicateurs.

La prévision établie pour le tronçon étudié (grâce au modèle) permet de connaître l’état futur de tous les indicateurs pris en considération lors de la formulation des objectifs (cf. 3.4). Cet état est ensuite apprécié à l’aide d’une fonction de valeur, puis repris pour les tronçons de cours d’eau correspondants. Pour chaque mesure d’assainissement, l’appréciation de l’état prévisible fournit la classe d’état des différents indicateurs dans chaque tronçon de cours d’eau (« État prévisible après assainissement » dans le tab. 2), qui permet de déterminer le degré de réalisation des objectifs.

Détermination du degré de réalisation des mesures d’assainissement

Le degré de réalisation des objectifs formulés au point 3.4 résulte de la comparaison entre l’état prévisible dans le cours d’eau concerné après mise en œuvre des mesures visant les éclusées et l’état cible défini. Il est calculé pour chaque mesure d’assainissement, chaque tronçon de cours d’eau et chaque indicateur (« Degré de réalisation des objectifs » dans le tab. 2). La valeur que l’on obtient correspond à la différence entre la classe de l’état pronostiqué et celle des objectifs formulés.

Détermination de l’effet global des mesures d’assainissement

Pour pouvoir comparer les différentes mesures entre elles, il convient d’agréger les degrés de réalisation des différents objectifs en un degré global de réalisation (= effet

Tab. 2

Effet écologique global des mesures d’assainissement.

Le tableau doit comprendre tous les indicateurs définis lors de la formulation des objectifs selon le point 3.4. L’exemple tient compte de trois tronçons de cours d’eau (a, b et c) et de trois mesures d’assainissement (M1, M2 et M3).

Set d'indicateurs pertinents (exemple)	État actuel			État cible			État prévisible après assainissement									Degré de réalisation des objectifs (Δ état prévisible - état cible)										
	Tronçon de cours d'eau			Tronçon de cours d'eau			M1			M2			M3			M1			M2			M3				
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c		
P2* Échouage de poissons Truite fario, stade larvaire (mars, avril)	1	1	2	3	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	0	0	-1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1
P2* Échouage de poissons Truite fario, juvéniles (d'avril à sept.)	1	1	2	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6 Habitabilité pour les poissons Truite fario, juvéniles (d'avril à sept.)	2	2	2	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	-1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
D2 Paramètres hydrologiques	1	2	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
B5 Habitabilité pour le macrozoobenthos	3	4	5	4	4	5	3	4	5	4	4	5	4	4	5	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
Éventuels autres indicateurs pertinents																										
Degré de réalisation des objectifs par tronçon (somme des indicateurs ci-dessus)												-3	1	-2	-1	1	0	0	0	-1	-1					
Effet global = degré global de réalisation (somme des indicateurs pour tous les tronçons)												-4			0			-2								
Coût total en CHF												10 000 000			15 000 000			13 000 000								

État	Classe d'état
excellent	5
bon	4
moyen	3
médiocre	2
mauvais	1

Réalisation de l'objectif	
Objectif dépassé	1
Objectif atteint	0
Objectif non atteint	-1

global). On agrège tout d’abord les degrés de réalisation des indicateurs pour chaque tronçon, avant d’agrèger les résultats des divers tronçons.

Pour chaque tronçon et chaque mesure, l’agrégation consiste à additionner les degrés de réalisation des différents indicateurs. Elle fournit un degré de réalisation des objectifs par tronçon de cours d’eau (tab. 2). L’agrégation de tous les tronçons considérés en vue d’obtenir un effet global pour chaque mesure d’assainissement consiste à additionner le degré de réalisation des objectifs dans chacun des tronçons de cours d’eau (tab. 2). Malgré la détermination de l’effet global, les différents facteurs limitants restent visibles dans le tableau 2. Ces facteurs devront être appréciés par des spécialistes lors de l’évaluation des mesures d’assainissement.

Si cette méthode devait s’avérer insuffisante dans les cas complexes, il est possible d’appliquer des méthodes plus fines, qui pondèrent les tronçons ou les facteurs limitants (p. ex. en fonction de la longueur du cours d’eau, de la largeur de son lit, de son numéro d’ordre hydrographique ou de son potentiel écologique). Quelle que soit la démarche retenue, il importe d’assurer sa compréhension en la décrivant clairement et en expliquant pourquoi elle a été choisie. Outre cette démarche, il est par ailleurs recommandé de demander à des spécialistes de valider l’effet global prévu en prenant en considération l’état prévisible des différents indicateurs et tronçons.

4.3 Choix des mesures d’assainissement

Une fois que l’effet écologique global des mesures d’assainissement a été déterminé dans le cadre de l’étude de variantes, il convient d’apprécier les variantes élaborées et de les classer par ordre des priorités afin de choisir la mesure la plus appropriée (meilleure variante) en tenant compte de la gravité des atteintes et du potentiel écologique du cours d’eau, de la proportionnalité des coûts, de la protection contre les crues et des objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables. Les critères de choix peuvent également inclure le besoin en terrains et, plus spécialement, la perte de terres cultivables. Relevons à ce sujet que le besoin en terrains pour aménager des bassins de compensation

était connu au moment où la réglementation des éclusées dans la loi fédérale sur la protection des eaux a été élaborée (200 à 400 ha ; cf. FF 07.492, 2008, p. 7334).

Nous décrivons ci-après comment tenir compte de ces critères lors du choix des mesures d’assainissement (pts 4.3.1 à 4.3.3) et fournissons une aide afin d’apprécier les différents critères lors du choix de la meilleure variante (cf. 4.3.4).

4.3.1 Proportionnalité des coûts

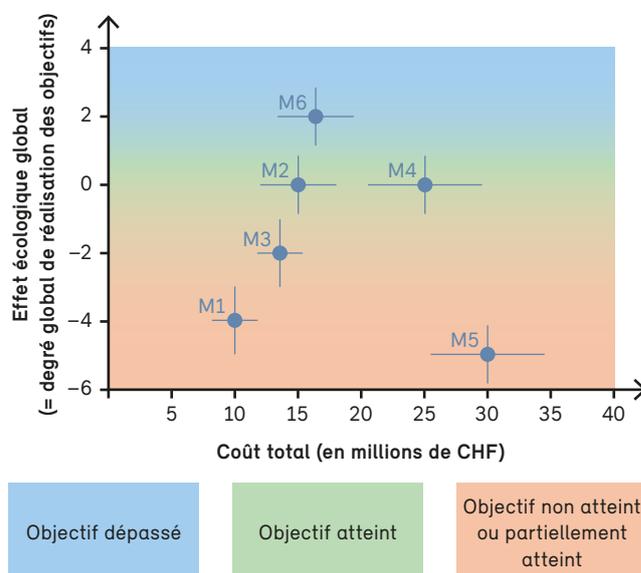
Analyse coûts-utilité

Une analyse coûts-utilité s’impose pour évaluer la proportionnalité des coûts. Cette analyse met en rapport l’effet écologique global des mesures élaborées au cours de l’étude de variantes (cf. 4.2, tab. 2) et leur coût (fig. 10).

Fig. 10

Rapport entre effet global et coûts ; il sert à déterminer la meilleure mesure d’assainissement.

L’axe des ordonnées quantifie l’effet écologique global des mesures (M1 à M6 en l’occurrence) mesuré sur la base du degré global de réalisation des objectifs selon le tableau 2 (objectif atteint = 0, objectif dépassé = nombres positifs, objectif non atteint ou partiellement atteint = nombres négatifs). L’axe des abscisses exprime le coût total des mesures. Les barres horizontales illustrent la variabilité des coûts (+/- 20 %) et les barres verticales la variabilité de l’effet global (+/- 1 point, p. ex.). Les meilleures mesures se trouvent en haut à gauche (M2 et M6), les moins bonnes en bas à droite (M5).



Une première estimation sommaire des coûts, normalement entreprise lors de la présélection des mesures à étudier (cf. 3.5), a déjà permis d’éliminer les mesures manifestement disproportionnées. Lors du choix des mesures, on détermine avec davantage de précision tous les frais prévisibles qui occupent une place non négligeable dans le coût global d’une mesure d’assainissement. À ce stade, il importe également de prendre en considération les coûts des terrains requis, dans la mesure où ils revêtent de l’importance pour la réalisation des mesures envisagées. Un décompte plus détaillé encore intervient par la suite, lors de la mise en œuvre des mesures (fig. 2), et est décrit dans le module « Financement » (OFEV 2016).

La détermination de l’effet global et l’estimation des coûts des mesures d’assainissement sont entachées d’incertitude. Il est dès lors conseillé de soumettre ces mesures à une analyse de sensibilité, c’est-à-dire de se demander comment évolue le rapport entre les différentes mesures (leur position dans la fig. 10) si leur effet global ou leurs coûts sont sous-estimés ou surestimés. Pour y répondre, nous proposons de considérer une variation de $\pm 20\%$ du paramètre « coûts ». Si la variation des coûts gomme l’écart entre les différentes mesures (plusieurs d’entre elles affichant une enveloppe financière similaire), il faut procéder à une estimation plus détaillée des coûts. À titre d’exemple, la figure 10 montre que les barres horizontales de la variabilité des coûts ($\pm 20\%$) des mesures M1, M2, M3 et M6 se recoupent. Les mesures M2 et M6 étant proches de par leur effet écologique global et pouvant toutes deux constituer la meilleure variante, il faut cerner leurs coûts avec plus de précision afin de pouvoir les départager. Une analyse de sensibilité de l’effet global est très complexe et ne peut être réalisée que par des spécialistes expérimentés. Notre exemple (fig. 10) pose comme hypothèse que la variabilité de l’effet global de toutes les mesures est de ± 1 point.

Évaluation de la proportionnalité

Une mesure est en principe proportionnelle lorsqu’elle est adéquate, nécessaire et acceptable pour atteindre l’objectif défini. Évaluer la proportionnalité consiste toujours à comparer dépenses et utilité. La proportionnalité des coûts peut être vérifiée comme suit à l’aide de l’analyse coûts-utilité :

- La mesure doit être adéquate pour atteindre l’objectif visé.
 - Dans la figure 10, cette qualité est vérifiée sur la base de l’effet écologique global : M2, M4 et M6 sont des mesures adéquates.
- La mesure doit par ailleurs être nécessaire (« interdiction » de prendre des mesures excessives). Il s’agit d’atteindre les objectifs avec le minimum de moyens (du point de vue matériel, temporel, spatial, financier et des ressources humaines). Dans le domaine qui nous occupe, c’est la vérification des moyens financiers requis (aussi modestes que possible) qui est prioritaire.
 - Dans la figure 10, cette qualité est vérifiée en comparant les coûts des diverses variantes (nécessité matérielle). Parmi les mesures qui permettent d’atteindre les objectifs définis (M2, M4 et M6), M2 et M6 sont sensiblement moins onéreuses que M4. Cette dernière n’est donc pas nécessaire du point de vue financier et se révèle donc disproportionnée.
- Une mesure est acceptable, lorsque le rapport entre objectif et moyens utilisés est raisonnable. Une mesure adéquate et nécessaire peut ainsi s’avérer disproportionnée lorsque ses coûts présentent, par exemple, un rapport disproportionné avec ses effets ou que la restriction qu’elle impose à la situation juridique de particuliers est par trop grande en regard de l’intérêt public poursuivi.
 - Lors de la vérification de l’acceptabilité, les mesures M2 et M6 de la figure 10 pourraient par exemple être écartées, bien qu’elles soient toutes deux adéquates et nécessaires.

Le choix des mesures tient compte de la proportionnalité, dans la mesure où chaque variante est qualifiée de proportionnée ou de disproportionnée sur la base des critères ci-dessus. L’évaluation de la proportionnalité doit être clairement justifiée et documentée.

Il se peut toutefois qu’une mesure de construction optimale du point de vue écologique (meilleur effet global) soit qualifiée de disproportionnée dans un cas spécifique et que le détenteur de la centrale refuse d’appliquer des mesures d’exploitation. Dans de tels cas (exceptionnels tout de même), un projet d’assainissement peut se contenter d’améliorer la situation écologique sans éliminer complètement les atteintes graves (autrement dit,

il est possible de choisir des mesures qui n’atteignent que partiellement les objectifs définis, telle M3 dans la fig. 10). Lorsqu’il n’existe aucune mesure de construction respectant le principe de la proportionnalité, une installation peut, à titre exceptionnel, être libérée de l’obligation d’assainir, malgré la non-réalisation de mesures d’assainissement. L’installation ne sera toutefois pas considérée comme assainie pour autant.

Lors du renouvellement de la concession d’installations non entièrement assainies, l’autorité compétente doit en particulier appliquer les principes suivants :

- En cas de renouvellement de la concession, le requérant doit en principe respecter la législation en vigueur. Celle-ci inclut notamment l’art. 39a LEaux.
- L’étude d’impact sur l’environnement doit décrire les atteintes que les éclusées portent au cours d’eau et déterminer s’il existe des mesures de construction conformes au principe de proportionnalité pour les éliminer. En vertu de l’art. 39a LEaux, des mesures d’exploitation ne sont possibles que sur demande du détenteur de la centrale hydroélectrique même dans le cas du renouvellement d’une concession.

Lorsqu’il s’avère impossible d’éliminer l’atteinte grave à l’aide de mesures de construction conformes au principe de proportionnalité, l’autorité compétente se fonde sur l’intérêt public pour décider ou non de renouveler la concession (art. 39 LFH, art. 2, lal. 2, LFSP). Elle peut alors être amenée à conclure que la concession ne peut être octroyée que si des mesures d’exploitation sont prises afin d’atténuer les effets des éclusées. Si les mesures d’exploitation ont certes pour objectif d’éliminer l’atteinte grave, leur ampleur sera néanmoins déterminée par l’intérêt public.

4.3.2 Gravité des atteintes et potentiel écologique

La gravité des atteintes et, en particulier, le potentiel écologique sont pris en compte pour formuler les objectifs (cf. 3.4) et interviennent donc indirectement dans l’évaluation de l’effet écologique global des mesures d’assainissement (tab. 2). Les objectifs que les mesures doivent

atteindre seront par exemple fixés à un niveau plus élevé si le potentiel écologique d’un cours d’eau est moyen ou élevé.

Le potentiel écologique est divisé en trois catégories : faible, moyen et élevé. La gravité des atteintes, identique pour toutes les mesures, est également divisée en trois catégories : moyenne, élevée et très élevée. Dans chaque cas, l’application de ces deux critères doit être clairement expliquée.

Le potentiel écologique intervient dans le choix des mesures d’assainissement, puisqu’une mesure qui engendre un effet global plus grand, mais s’avère plus coûteuse (M6 comparée à M2 dans la fig. 10, p. ex.), se justifiera par exemple en raison du grand potentiel écologique du cours d’eau et sera dès lors retenue comme étant la meilleure variante.

4.3.3 Protection contre les crues et objectifs de politique énergétique

Protection contre les crues

La protection contre les crues est prise en compte, puisque l’influence de la mesure d’assainissement sur cette protection fait l’objet d’une estimation par des experts ou, le cas échéant, d’un calcul spécifique. Cette influence est divisée en trois classes : positive, neutre (pas d’influence) ou négative.

L’évaluation de l’influence sur la protection des crues dépend de chaque cas particulier et doit être clairement expliquée. La prise en considération de cette influence peut conduire à choisir des mesures plus coûteuses ou des mesures n’engendrant qu’un effet écologique moindre.

Objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables

Les objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables sont pris en compte, puisque l’on estime l’influence possible de la mesure d’assainissement sur la production d’électricité exprimée en kilowattheures. Cette influence est divisée en trois classes : accroissement de la production, neutre (ni accroissement ni diminution de la production) et diminu-

tion de la production. Il importe par ailleurs de considérer aussi l’influence de la mesure d’assainissement sur le stockage saisonnier de l’énergie ainsi que sur l’offre de services système (adaptabilité de la production). Ces influences sont également réparties en trois catégories : positive, neutre (aucune influence) et négative.

La manière d’évaluer l’effet sur la production, sur le stockage saisonnier et sur l’adaptabilité de la production d’une centrale hydroélectrique varie d’un cas à l’autre, mais doit toujours être clairement expliquée. La prise en compte de ces influences peut conduire à choisir des mesures plus coûteuses ou des mesures à effet écologique moindre.

4.3.4 Choix de la mesure la plus appropriée (meilleure variante) et vérification par les autorités

Choix de la meilleure variante

Le choix de la mesure la plus appropriée (meilleure variante) passe par une pesée des intérêts entre la gravité des atteintes, le potentiel écologique du cours d’eau, la

proportionnalité des coûts, la protection contre les crues et les objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables (tab. 3). Pour procéder à cette pesée, il faut, en particulier dans les cas complexes, avoir une vue d’ensemble des problèmes en présence et disposer d’une bonne expérience ainsi que d’un grand savoir-faire.

La pesée des intérêts consiste le plus souvent en un jugement subjectif, qui dépend de chaque situation spécifique et qu’il n’est pas possible de systématiser entièrement. Quoiqu’il en soit, le choix de la meilleure variante doit, dans tous les cas, être clairement expliqué et documenté.

L’exemple du tableau 3 illustre une manière de procéder afin de respecter les critères énumérés à l’art. 39a, al. 2, LEaux. Dans cet exemple, la mesure M6 pourrait être retenue comme la meilleure variante, car elle atteint au mieux tous les objectifs. Autrement dit, elle engendre le meilleur effet écologique global dans un cours d’eau présentant un potentiel écologique élevé, elle est proportionnée, exerce une influence neutre sur la protection contre les crues et n’a qu’une influence négative minime

Tab. 3

Choix de la mesure la plus appropriée (meilleure variante) compte tenu de l’effet écologique global et des critères énumérés à l’art. 39a, al. 2, LEaux.

Cet exemple reprend les mesures de la figure 10 qui atteignent les objectifs définis (M2, M4 et M6).

	Mesures atteignant les objectifs		
	M2	M4	M6
Effet écologique global (0 = objectif atteint ; >0 = objectif dépassé)	0	0	2
Coût total (CHF)	15 000 000	25 000 000	16 000 000
Autres critères à prendre en compte en vertu l’art. 39a, al. 2, LEaux :			
a) gravité des atteintes (moyenne, élevée, très élevée)	très élevée	très élevée	très élevée
b) potentiel écologique (faible, moyen, élevé)	élevé	élevé	élevé
c) proportionnalité des coûts (proportionnés, disproportionnés)	proportionné	disproportionné	proportionné
d) protection contre les crues (influence positive, neutre, négative)	neutre	neutre	neutre
e) [...] promotion des énergies renouvelables			
e.1) influence sur la production (hausse de la production, sans influence, diminution de la production)	diminution de la production	diminution de la production	neutre
e.2) influence sur le stockage saisonnier (positive, neutre, négative)	neutre	positive	négative
e.3) influence sur l’adaptabilité de la production (positive, neutre, négative)	neutre	positive	négative
Évaluation globale pour le choix de la mesure la plus appropriée (meilleure variante)	2 ^e choix	3 ^e choix	Meilleure variante

sur les objectifs de la politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables.

Le choix de la mesure la plus appropriée doit également garantir une marge de manœuvre suffisante pour piloter la mesure d’assainissement, par exemple pour permettre de futures revalorisations morphologiques ou des modifications de l’exploitation de la centrale.

Il importe par ailleurs de tenir compte de la capacité d’adaptation des mesures d’assainissement à une évolution du cadre général. À cet effet, il faut évaluer l’adéquation des mesures en cas de modification du mode d’exploitation (suite à des changements sur le marché de l’électricité) ou du cadre général.

Examen par l’autorité

Pour chaque installation, le canton désigne la mesure la plus appropriée (meilleure variante) élaborée par le détenteur et autorise celui-ci à mettre au point le projet d’assainissement ou de construction correspondant.

Dans le cas de projets d’assainissement, la consultation de l’OFEV par le canton n’intervient qu’avant la décision définitive portant sur le projet d’assainissement (art. 41g, al. 2, OEaux). Nous recommandons toutefois aux cantons de consulter le cas échéant l’OFEV lors de l’examen des variantes de mesures, afin d’éliminer d’éventuels désaccords et imprécisions, avant que ne débute l’élaboration détaillée au niveau du projet de construction selon la SIA (fig. 2).

4.4 Coordination avec d’autres mesures de protection des eaux

D’autres mesures destinées à protéger les eaux, sans viser les éclusées, telles que le rétablissement de la libre migration des poissons et du régime de charriage, la revitalisation des milieux aquatiques et des zones alluviales, la garantie de débits résiduels convenables, la protection contre les crues et la protection des eaux souterraines doivent, au besoin, être coordonnées et harmonisées avec les mesures destinées à atténuer l’impact des éclusées (cf. à ce sujet le module Coordination des activités de gestion des eaux, OFEV 2013). En raison de sa

complexité, l’assainissement des éclusées exige parfois plus de temps que les autres assainissements. Cela ne saurait toutefois justifier que ces derniers soient retardés ou reportés. Il convient par ailleurs de tenir compte d’autres mesures – réalisées, à l’étude ou prévues – telle la construction de nouvelles centrales pouvant influencer l’effet des mesures d’assainissement.

Rapports entre les mesures visant les éclusées et d’autres mesures de protection des eaux

D’autres mesures de protection des eaux peuvent avoir un effet préalable, c’est-à-dire être mises en œuvre avant celles visant les éclusées (revitalisation ou améliorations morphologiques dans le cadre d’un projet de protection contre les crues, p.ex.). Elles peuvent aussi compléter ou renforcer les mesures visant les éclusées, à savoir accroître l’effet positif de ces dernières (tel l’aménagement de structures isolées dans le cours d’eau afin de créer des refuges pour les jeunes poissons, où la vitesse d’écoulement est moins rapide et l’eau moins profonde durant les éclusées). Voilà pourquoi l’analyse des causes (cf. 3.3 et partie II du tableau récapitulatif de l’annexe D) ne se limite pas aux causes des éclusées. Les résultats de cette analyse servent dès lors également de base pour inclure d’autres mesures de protection des eaux dans l’élaboration des mesures visant les éclusées.

Coordination par le canton

La coordination des diverses mesures de protection des eaux incombe aux cantons (art. 46, al. 1, OEaux). Nous leur recommandons d’harmoniser les autres mesures de protection des eaux prévues ainsi que les éventuels autres projets (telles les nouvelles installations hydrauliques) à l’échelle du bassin versant du cours d’eau à éclusées dans le cadre de la concertation avec les détenteurs de centrales (cf. 3.6). L’étude approfondie des variantes doit inclure ces autres mesures et examiner leur influence (préalable, complémentaire ou multiplicatrice) sur les mesures visant les éclusées, afin d’identifier à temps les éventuelles synergies ou les risques de conflits.

4.5 Cas particuliers : projets d’agrandissement, centrales de dérivation des éclusées, débit résiduel non encore assaini, bassin de rétention utilisé pour l’accumulation par pompage

Projets d’agrandissement

Lors du renouvellement d’une concession comprenant un agrandissement (telle l’augmentation du débit turbiné par une centrale à accumulation existante), le détenteur doit, en vertu de l’art. 39a LEaux, prendre des mesures pour prévenir les atteintes que pourraient provoquer les éclusées engendrées par l’agrandissement. Dans le cas d’un projet d’agrandissement, le détenteur n’est en toute logique indemnisé que pour la partie des mesures qui servent à éliminer les atteintes préexistantes (art. 15a^{bis} de la loi du 26 juin 1998 sur l’énergie [LEne, RS 730.0]).

Pour les projets d’agrandissement, l’effet écologique total de même que les coûts peuvent être déterminés sur la base du présent module, à condition toutefois d’établir deux prévisions :

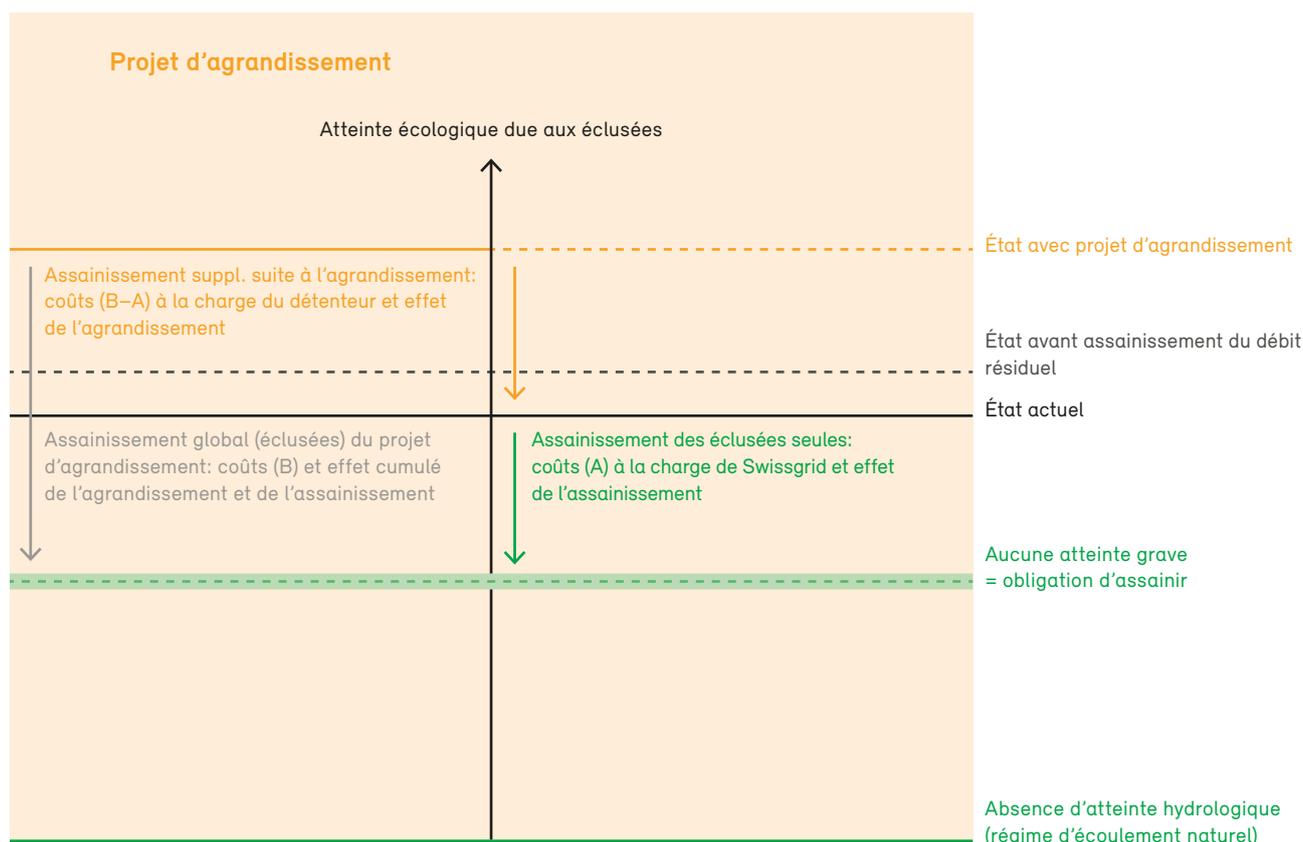
1. Effet et coûts A de l’assainissement des éclusées sans agrandissement (flèche verte dans la fig. 11).
2. Effet et coûts B de l’assainissement des éclusées avec agrandissement (flèche grise dans la fig. 11). La variante d’assainissement est choisie de manière à obtenir le même effet, malgré l’agrandissement, que dans le cas d’un simple assainissement (en règle générale, les éclusées ne doivent plus provoquer d’atteinte grave après assainissement).

Pour déterminer la part des coûts induits par l’agrandissement (B – A), on calcule la différence (flèche orange

Fig. 11

Détermination de l’effet et des coûts de l’assainissement dans le cas de projets d’agrandissement.

La flèche verte représente la part de l’assainissement qui améliore l’état actuel (coûts incombant à Swissgrid) et la flèche orange la part de l’assainissement rendue nécessaire par l’agrandissement (coûts à la charge du détenteur de la centrale).



dans la fig. 11). La part de l’assainissement destinée à remédier à l’état actuel (A) est indemnisée par Swissgrid, tandis que la part de l’assainissement rendue nécessaire par l’agrandissement (B – A) est à la charge du détenteur de la centrale.

Centrales de dérivation des éclusées

L’évaluation de centrales de dérivation destinées à assainir les éclusées doit dresser un parallèle entre d’une part le projet de centrale et d’autre part les mesures théoriques, mais réalisables, permettant aussi d’obtenir l’effet écologique souhaité (absence d’atteintes graves).

La participation unique aux coûts totaux de la centrale de dérivation des éclusées contribue à déterminer sa rentabilité future. En contrepartie, cette participation oblige le détenteur de cette centrale à l’exploiter de telle sorte que le tronçon à éclusées assaini ne subisse plus d’atteintes graves et que la dérivation ne provoque pas non plus d’atteintes graves dans un autre tronçon. Pour qu’une centrale de dérivation déploie l’effet écologique souhaité, son exploitation doit être optimisée du point de vue des éclusées et non pas du point de vue de la production énergétique. L’étude de variantes doit par ailleurs identifier les conséquences écologiques négatives que la construction d’une telle centrale peut engendrer, si elle prolonge par exemple le tronçon à débit résiduel, exige la construction d’ouvrages dans le cours d’eau, entrave la migration des poissons ou le régime des crues et du charriage. Tous ces facteurs sont à prendre en compte lors de l’évaluation de l’effet écologique global et du choix de la meilleure variante.

Débit résiduel non encore assaini

Lorsqu’un lien matériel existe avec le débit résiduel (si le débit plancher dépend du débit de dotation, p. ex.), le mode d’assainissement du débit résiduel doit être connu au plus tard au moment de l’élaboration de la demande d’indemnisation (module « Financement », cf. 2.3). Il serait néanmoins plus logique que cet assainissement soit déterminé auparavant, pour qu’il puisse être pris en compte, à titre de condition marginale, dans la planification des mesures et dans la sélection de la meilleure variante au terme de l’étude idoine. Au moment où l’OFEV est appelé à se prononcer sur un sujet d’assainissement (avant son approbation définitive), l’office doit déjà procéder à

l’examen de la proportionnalité (cet examen devant également déterminer si la mesure est nécessaire). À cet effet, l’OFEV doit connaître le débit résiduel.

Si le fait que les débits résiduels définitifs ne sont pas encore connus engendre des coûts de planification supplémentaires, il convient de régler leur imputabilité (ne sont imputables que les coûts directement nécessaires à l’exécution économique et adéquate des mesures, ces coûts englobant aussi l’étude de projet).

Bassin de rétention utilisé pour l’accumulation par pompage

Selon l’art. 39a, al. 4, LEaux, les bassins de compensation aménagés conformément à l’al. 1 peuvent être utilisés à des fins d’accumulation et de pompage sans modification de la concession.

Le volume de rétention peut servir pour l’accumulation et le pompage d’eau à condition que les objectifs formulés soient atteints et que les valeurs cibles correspondantes des paramètres hydrologiques (cf. 3.4) soient respectées à tout moment. Si ces conditions ne sont pas remplies, le bassin ne peut pas servir de volume d’accumulation et de pompage. Lorsque le volume de rétention aménagé est supérieur au volume requis pour éliminer l’atteinte grave (pour garantir l’accumulation et le pompage, p. ex.), les coûts supplémentaires incombent au détenteur de la centrale.

Soulignons qu’il est impossible de généraliser les cas spéciaux envisageables mentionnés ci-dessus ou d’autres qui pourraient se présenter encore. Les limites de financement doivent donc être fixées au cas par cas en accord avec le canton et la Confédération.

5 Suivi des résultats

5.1 Aperçu

Le suivi des résultats est un instrument essentiel pour garantir l’exécution de la législation sur la protection des eaux dans le domaine des éclusées. Il sert également de base pour informer le public sur les mesures appliquées et sur leur efficacité. Le contrôle d’efficacité constitue également un outil important dans le processus d’apprentissage.

L’annexe G (partie IV) décrit les exigences relatives aux documents à remettre au cours de cette 3^e étape.

Le suivi des résultats comprend le suivi de la mise en œuvre et l’évaluation des effets

Dans le cadre de l’assainissement d’installations existantes, les détenteurs de centrales hydroélectriques doivent, sur ordre de l’autorité, examiner l’efficacité des mesures prises (art. 41g, al. 3, OEaux). Les cantons sont par ailleurs tenus de présenter tous les quatre ans à la Confédération un rapport sur les mesures mises en œuvre (suivi de la mise en œuvre) et sur leurs effets, (évaluation des effets), conformément à l’art. 83b, al. 3, LEaux. Le suivi des résultats comprend donc le suivi de la mise en œuvre et l’évaluation des effets (cf. également le guide pratique de la Gestion par bassin versant, Volet 6 : Suivi, OFEV 2012).

Le suivi des résultats est également requis dans le cas de nouvelles installations. En vertu de l’art. 46, al. 1, LPE, les détenteurs de centrales hydroélectriques sont tenus de procéder aux enquêtes requises pour vérifier l’efficacité des mesures appliquées. Les cantons sont quant à eux chargés de fournir des informations sur les mesures prises pour protéger les eaux et sur leur efficacité (art. 50, LEaux, art. 49, al. 2, OEaux).

Processus d’apprentissage et mise à jour du module

Les enseignements tirés des contrôles de l’efficacité doivent enrichir les mises à jour du présent module, dont l’OFEV prévoit d’assurer l’actualisation en fonction des besoins jusqu’en 2030. Les enseignements tirés des expériences engrangées amélioreront les projets et ga-

rantiront une utilisation plus efficace des moyens. Si des progrès sont enregistrés, les études de projet en cours devront inclure les nouvelles connaissances acquises. Il ne sera pas nécessaire d’adapter les mesures définitivement fixées, voire partiellement réalisées.

5.2 Exigences relatives aux rapports des cantons

Le rapport³ que les cantons doivent présenter tous les quatre ans (la première fois fin 2018) doit contenir, pour chaque bassin versant, une description précise de l’avancement des travaux, aussi bien pour toutes les installations à assainir que pour les installations nouvelles. Pour ce qui est des mesures d’exploitation, le rapport rend compte des démarches entreprises pour vérifier le respect des prescriptions. Il doit également prendre en considération et consigner les éventuels compléments apportés à la planification stratégique cantonale.

Pour chaque mesure appliquée, dont l’effet a pu faire l’objet d’une évaluation selon le point 5.4, le rapport évalue par ailleurs les effets obtenus et détermine si des améliorations s’imposent encore et, si oui, comment il convient de les réaliser.

5.3 Suivi de la mise en œuvre

Sens et but du suivi de la mise en œuvre

Le suivi de la mise en œuvre (également appelé « vérification de l’exécution ») est une vérification périodique de l’avancement des travaux de mise en œuvre. Les cantons vérifient ainsi si l’application des mesures qu’ils ont ordonnées respecte les exigences matérielles et le calendrier prévu.

³ Au moment de la publication du présent module, le contenu et la forme de ce rapport n’avaient pas encore été définis.

5.4 Évaluation des effets

Sens et but de l’évaluation des effets

L’évaluation des effets examine si les mesures appliquées déploient l’effet souhaité, c’est-à-dire si elles éliminent (installations existantes) ou empêchent (nouvelles installations) les atteintes graves dues aux éclusées. Les détenteurs de centrales et les cantons vérifient ainsi périodiquement si les mesures déploient les effets positifs prévus sur l’écologie des eaux et si les valeurs cibles des paramètres hydrologiques sont respectées (cf. 3.4). L’évaluation de l’efficacité indique donc aussi quelles améliorations ultérieures seraient nécessaires.

Programme d’évaluation des effets

Dans la pratique, l’évaluation des effets passe par des investigations complètes que le détenteur de la centrale mène sur une période relativement longue. Les détenteurs de centrales sont tenus de remettre au canton un programme d’évaluation des effets avec le projet de mesures d’assainissement (c’est-à-dire après l’étude de variantes, mais avant l’obtention du permis de construire ; fig. 2).

Que ce soit dans le cas de projets d’assainissement ou d’installations nouvelles, l’autorité cantonale se prononce sur le programme d’évaluation des effets au plus tard dans le cadre de l’octroi du permis de construire.

Exigences et méthodologie

Le programme d’évaluation doit spécifier quand (à quelle période), où (emplacement sur le tronçon à éclusées) et comment (indicateurs et méthode) les effets seront évalués. L’évaluation prend en compte trois états du cours d’eau :

1. état avant la planification des mesures (état actuel ou initial),
2. état prévisible (état que les mesures devraient permettre d’atteindre),
3. état effectif après mise en œuvre des mesures.

L’évaluation des effets recourt aux indicateurs biotiques et abiotiques, qui ont été étudiés et appréciés lors de l’analyse des déficits (cf. 3.2) et qui ont servi à prévoir l’effet des variantes de mesures (cf. chap. 4). L’évaluation des

effets devrait par ailleurs intervenir aux mêmes emplacements (cf. annexe B) et recourir à la même méthode que l’analyse des déficits (état actuel). Cette manière de procéder garantit une comparaison aussi systématique que possible des analyses avant et après l’assainissement, afin qu’il soit possible de vérifier si les objectifs sont atteints et les valeurs cibles des paramètres hydrologiques respectées (cf. 3.4). L’annexe C contient une description détaillée et des renseignements pratiques pour procéder aux analyses et à l’évaluation des indicateurs.

L’évaluation des effets doit porter sur une période de trois à cinq ans au minimum, l’idéal étant une période de dix ans, en particulier dans le cas de grands projets et lorsque des centrales portent atteinte à des cours d’eau de grande valeur écologique. La période d’évaluation découle également des objectifs formulés. Le plus souvent, il est recommandé d’entreprendre une évaluation des effets deux, cinq et dix ans après l’assainissement. Si le budget prévu est minimal, les effets devraient être évalués à moyen et à long termes, c’est-à-dire après trois et dix ans.

Il est recommandé d’inscrire les indicateurs retenus pour l’évaluation des effets, de même que le cadre spatial et temporel de l’évaluation, dans l’accord conclu entre le détenteur de la centrale et les autorités cantonales (cf. 3.6). Ces spécifications sont ensuite reprises dans le programme d’évaluation des effets.

Absence de l’effet escompté et améliorations ultérieures

Lorsque les objectifs formulés et, dès lors, l’effet écologique global escompté ne sont pas atteints, même après cinq à dix ans, il importe d’examiner les causes de cet échec et d’estimer si l’effet positif pourrait se déployer ultérieurement. Les causes peuvent résider dans le non-respect des valeurs cibles définies et des conditions hydrologiques requises. Il se peut également que l’écosystème aquatique ne réagisse pas comme prévu aux nouveaux hydrogrammes.

Si l’évaluation des effets révèle que les mesures appliquées n’ont pas permis d’atteindre les objectifs, le canton peut ordonner des mesures complémentaires pour éliminer les atteintes graves subies par le cours d’eau (amélio-

rations ultérieures). Ces mesures doivent à nouveau faire l’objet d’un suivi de la mise en œuvre et d’une évaluation des effets (pts 5.3 et 5.4).

Si l’effet global prévu n’a pas pu être atteint en raison d’un changement du cadre général depuis l’élaboration des mesures d’assainissement (telle une modification de la morphologie ou du régime de charriage) ou parce que l’exploitation de la centrale a dû être modifiée pour répondre aux exigences du marché, le détenteur de la centrale doit en apporter la preuve au canton. Sur la base de ces informations, le canton décide dans quelle mesure il incombe au détenteur de la centrale d’entreprendre lui-même des améliorations ultérieures dans le domaine des éclusées ou si d’autres mesures, non spécifiques aux éclusées, doivent être mises en œuvre par des tiers. Dans le premier cas, l’obligation incombe au détenteur. Le financement des améliorations ultérieures est régi par le module « Financement ».

Coordination avec d’autres mesures

Il est utile de coordonner l’évaluation des effets des mesures visant les éclusées avec celle d’autres mesures de protection des eaux (notamment la revitalisation des cours d’eau et des zones alluviales, le rétablissement de la libre migration des poissons et du régime de charriage, le respect de débits résiduels convenables, la protection contre les crues et la protection des eaux souterraines), afin d’exploiter au mieux les synergies potentielles et d’éviter les doublons. À cette fin, il convient d’appliquer par analogie les réflexions concernant la coordination des mesures exposées au point 4.4. Les coûts de l’évaluation des effets doivent être comptabilisés séparément pour les différents efforts d’assainissement et de protection.

6 Bibliographie

Publications mentionnées dans les chapitres 2 à 5.

Agenda 21 pour l’eau 2012. Einbezug der Betroffenen bei der Sanierung von Schwall und Sunk, Standpunkt der Arbeitsgruppe Dialog Wasserkraft. Agenda 21 pour l’eau, Dübendorf : 4 p.

Agenda 21 pour l’eau 2013. Einbezug der Betroffenen bei der Sanierung von Schwall und Sunk, Checkliste zur Planung des Einbezugs. Agenda 21 pour l’eau, Dübendorf : 2 p.

Auer S., Fohler N., Zeiringer B., Führer S., Schmutz S. 2014. Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien. BOKU, Vienne. 109 p.

Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203 : 127 p.

Bieri M. 2012. Operation of complex hydropower schemes and its impact on the flow regime in the downstream river system under changing scenarios. Thèse de doctorat. EPFL, Lausanne : 199 p.

Bieri M., Person E., Peter A., Schleiss A.J. 2013. Beurteilung von Massnahmen zur Reduktion von Schwall und Sunk – Fallbeispiel Hasliaare. Wasser Energie Luft 105 : 95–102.

Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk – Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf : 92 p.

Habersack H., Hauer C. 2014. Schwalluntersuchung Alpenrhein – Sedimentologische und morphologische Bewertungen. BOKU, Vienne : 163 p.

OFEV 2009. Manuel EIE. Directive de la Confédération sur l’étude de l’impact sur l’environnement. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 0923 : 160 p.

OFEV 2012. Gestion par bassin versant. Guide pratique pour une gestion intégrée des eaux en Suisse. Office fédéral de l’environnement, Berne. Connaissance de l’environnement n° 1204.

OFEV 2013. Coordination des activités de gestion des eaux. Coordination intra- et intersectorielle, multiniveaux et à l’échelle du bassin versant. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1311 : 58 p.

OFEV 2016. Assainissement écologique des centrales hydrauliques existantes – Financement des mesures requises. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1634 : 43 p.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K. 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft 105 : 191 – 199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105 : 200 – 207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M., Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105 : 269 – 276.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105 : 277 – 287.

Annexe A – Bases légales

Tab. A1

Dispositions régissant les éclusées dans la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) et dans l’ordonnance sur la protection des eaux (OEaux).

LEaux	Titre et libellé
Art. 39a, al. 1	Éclusées Les détenteurs de centrales hydroélectriques prennent des mesures de construction pour empêcher ou éliminer les atteintes graves que des variations subites et artificielles du débit d’un cours d’eau (éclusées) portent à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes. À la demande du détenteur d’une centrale hydroélectrique, l’autorité peut ordonner des mesures d’exploitation en lieu et place de travaux de construction.
Art. 39a, al. 2	Les mesures sont définies en fonction des facteurs suivants : a. gravité des atteintes portées au cours d’eau ; b. potentiel écologique du cours d’eau ; c. proportionnalité des coûts ; d. protection contre les crues ; e. objectifs de politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables.
Art. 39a, al. 3	Dans le bassin versant du cours d’eau concerné, les mesures doivent être coordonnées après consultation des détenteurs des centrales hydroélectriques concernées.
Art. 39a, al. 4	Les bassins de compensation mis en place conformément à l’al. 1 peuvent être utilisés à des fins d’accumulation et de pompage sans modification de la concession.
Art. 83a	Mesures d’assainissement Les détenteurs de centrales hydroélectriques existantes et d’autres installations situées sur des cours d’eau sont tenus de prendre les mesures d’assainissement conformes aux exigences prévues aux art. 39a et 43a dans un délai de 20 ans à compter de l’entrée en vigueur de la présente disposition.
Art. 83b, al. 1	Planification et rapport Les cantons planifient les mesures visées à l’art. 83a et fixent les délais de leur mise en œuvre. Cette planification comprend également les mesures que doivent prendre les détenteurs de centrales hydroélectriques conformément à l’art. 10 de la loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche.
Art. 83b, al. 2	Les cantons remettent leur planification à la Confédération le 31 décembre 2014 au plus tard.
Art. 83b, al. 3	Ils présentent tous les quatre ans à la Confédération un rapport sur les mesures mises en œuvre.
OEaux	Titre et libellé
Art. 33a	Potentiel écologique Le potentiel écologique des eaux est déterminé en fonction de : a. l’importance écologique des eaux dans leur état actuel ; b. l’importance écologique que les eaux pourraient revêtir après réparation des atteintes nuisibles causées par l’homme, dans une mesure impliquant des coûts proportionnés.
Art. 41e	Atteintes graves dues aux éclusées Les éclusées portent gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes lorsque : a. le débit d’éclusée d’un cours d’eau est au moins 1,5 fois supérieur à son débit plancher ; et que b. la taille, la composition et la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station sont altérées, en particulier en raison de phénomènes artificiels survenant régulièrement, comme l’échouage de poissons, la destruction de frayères, la dérive d’animaux aquatiques, l’apparition de pointes de turbidité dans l’eau ou la variation non admissible de la température de l’eau.

OEaux	Titre et libellé
Art. 41g, al. 1	Mesures d’assainissement des éclusées Se fondant sur la planification des mesures, l’autorité cantonale ordonne l’assainissement des éclusées et engage les détenteurs de centrales hydroélectriques à étudier diverses variantes de mesures d’assainissement en vue de mettre en œuvre la planification.
Art. 41g, al. 2	Avant de prendre une décision concernant le projet d’assainissement, l’autorité cantonale consulte l’OFEV. En prévision de la demande à déposer en vertu de l’art. 17d, al. 1de l’ordonnance du 7 décembre 1998 sur l’énergie (OEne), l’OFEV vérifie si le projet respecte les exigences de l’appendice 1.7, ch. 2, OEne.
Art. 41g, al. 3	Sur ordre de l’autorité, les détenteurs de centrales hydroélectriques examinent l’efficacité des mesures prises.
Art. 46, al. 1	Coordination Au besoin, les cantons coordonnent entre elles les diverses mesures à prendre en vertu de la présente ordonnance de même qu’avec les mesures à prendre dans d’autres domaines. Ils veillent par ailleurs à coordonner ces mesures avec les cantons voisins.

Tab. A2

Dispositions régissant les éclusées dans la loi sur l’énergie (LEne) et dans l’ordonnance sur l’énergie (OEne).

LEne	Titre et libellé
Art. 15a ^{bis} , al. 1	Indemnisation du concessionnaire En accord avec l’Office fédéral de l’environnement et le canton concerné et après consultation du concessionnaire, la société nationale du réseau de transport rembourse au concessionnaire la totalité des coûts des mesures prises en vertu de l’art. 83a de la loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux ou selon l’art. 10 de la loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche.
Art. 15a ^{bis} , al. 2	Le Conseil fédéral règle les modalités.

OEne	Titre et libellé
Art. 17d, al. 1	Procédure Pour des mesures prises en vertu de l’art. 83a de la loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux) ou selon l’art. 10 de la loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche (LFSP), le détenteur d’une centrale hydroélectrique peut adresser une demande de remboursement des coûts à l’autorité cantonale compétente.

Annexe B – Relevé des données de base morphologiques et hydrologiques

1 Introduction

Sens et but des relevés des données de base

Abstraction faite de la qualité chimico-physique de l’eau et du débit, l’aptitude d’un cours d’eau à servir de biotope à la faune et à la flore aquatiques dépend principalement de la morphologie de son lit et des facteurs hydrauliques qui sont en interaction avec cette morphologie.

Procéder aux relevés des données de base morphologiques et hydrologiques est nécessaire pour planifier soigneusement les analyses, distinguer les différentes influences en présence et garantir la reproductibilité des résultats.

Objectifs du relevé des données de base

Le relevé des données de base poursuit deux grands objectifs :

1. Recenser les caractéristiques du cours d’eau et le subdiviser en secteurs homogènes sur les plans morphologique, hydrologique et hydraulique.
2. Définir les tronçons à étudier et procéder aux relevés.

À quel moment intervient le relevé ?

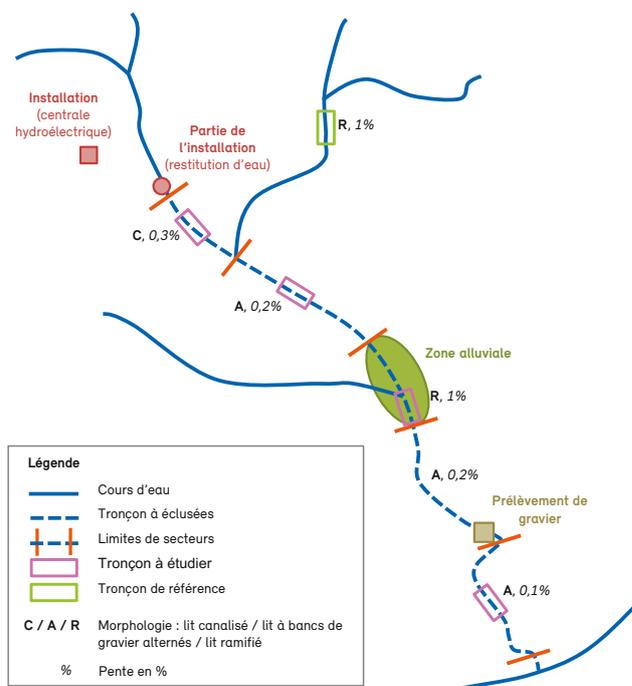
Le relevé des données de base intervient normalement avant le traitement ultérieur détaillé (subséquent) des indicateurs (annexe C), avant les analyses des déficits et des causes, avant la formulation des objectifs (cf. chap. 3 et annexe D) et avant la modélisation des habitats (annexe F).

2 Délimitation de secteurs dans un tronçon à éclusées

La délimitation de secteurs dans le cours d’eau doit tenir compte non seulement de la configuration de l’installation concernée (réservoir d’accumulation, prises et restitution d’eau), de la morphologie du cours d’eau, de son hydrologie et de la qualité de ses eaux, et aussi des

zones protégées, des affluents, de l’influence de secteurs situés en amont et en aval ainsi que d’autres installations (à assainir) dans le bassin versant (fig. B1).

Fig. B1
Subdivision du tronçon à éclusées en secteurs et en tronçons à étudier.



En longueur, un secteur devrait en principe mesurer au minimum entre 10 à 20 fois la largeur moyenne du cours d’eau. Il peut toutefois être sensiblement plus long, pour autant que la morphologie du lit, le régime de charriage ou l’hydrologie n’exigent pas de le subdiviser davantage. Dans un secteur présentant une morphologie identique sur une distance relativement longue, il convient d’examiner le profil en long pour vérifier si des ruptures de pente ne modifient pas sensiblement les propriétés hydrauliques.

Dans la majorité des cas, il faut supposer que le cours d’eau subit l’effet des éclusées jusqu’à son embouchure

dans un lac ou jusqu’à son confluent avec un cours d’eau plus grand. Il importe néanmoins de vérifier que l’« effet de dilution » dans le cours d’eau plus grand est suffisant, même en période de basses eaux, pour exclure toute atteinte grave. C’est par exemple le cas lorsque le rapport débit d’écluse/débit plancher est inférieur à 1,5 (art. 41e OEaux).

La délimitation de secteurs dans le cours d’eau doit tenir compte des informations contenues dans les plans stratégiques cantonaux d’assainissement des éclusées ainsi que des annexes A2 à A4 du module « Assainissement des éclusées – Planification stratégique » (Baumann et al. 2012).

Morphologie et charriage

La morphologie est une donnée importante pour subdiviser le cours d’eau en secteurs homogènes du point de vue morphologique et hydraulique. La description d’un secteur repose sur la forme du lit, la granulométrie, les ruptures de pente ainsi que sur les apports et les prélèvements de gravier. Des informations à ce sujet figurent notamment dans les plans stratégiques cantonaux d’assainissement du régime de charriage.

Sur la base de l’annexe A3 du module « Planification stratégique », il convient de commencer par identifier les secteurs qui présentent encore une morphologie naturelle ou proche de l’état naturel (c’est-à-dire des tronçons non corrigés ou aménagés), de même que l’état le plus sensible (c’est-à-dire la plus variée des morphologies rencontrées).

Hydrologie et affluents

L’évaluation de l’hydrologie vise à délimiter des secteurs aux conditions hydrologiques similaires et à recenser les déficits, au niveau du débit (régime d’écoulement), qui ne sont pas directement dus aux éclusées, mais qui s’avèrent utiles pour interpréter les atteintes constatées dans le cours d’eau.

Dans les cas simples, un spécialiste peut délimiter ces secteurs aux caractéristiques similaires. Dans les cas plus complexes (réseau hydrographique subissant un grand nombre d’atteintes hydrologiques), il est possible de recourir au module « Hydrologie » du Système modu-

laire gradué (Pfaundler et al. 2011) pour déterminer l’influence de l’hydrologie et des affluents.

Qualité de l’eau

Il importe de vérifier si les données disponibles sont d’actualité. Pour pouvoir exclure la qualité de l’eau des facteurs susceptibles de perturber l’évaluation des indicateurs des éclusées, des données complémentaires peuvent être recueillies selon les indications de Liechti (2010) ou en appliquant le module « Diatomées » du Système modulaire gradué (SMG ; Hürlimann et Niederhauser 2007).

Zones protégées

Les zones protégées jouent un rôle central dans la délimitation des secteurs et en particulier pour celle des tronçons à étudier. Elles comprennent notamment les éléments ci-après : i) objets IFP, ii) zones alluviales d’importance nationale, cantonale ou régionale, iii) zones de protection des eaux souterraines, iv) réserves d’oiseaux d’eau et de migrateurs, v) sites Émeraude, vi) réserves piscicoles d’importance nationale (telles les frayères du nase ou de l’ombre), vii) sites de reproduction de batraciens.

3 Détermination des tronçons à étudier et des relevés

Choix des tronçons à étudier

Il est en principe recommandé d’étudier quelques tronçons en détail, puis de procéder par extrapolation. On peut partir de l’hypothèse que si une mesure d’assainissement parvient à combler un déficit dans le tronçon étudié, il en ira de même dans la totalité du secteur de cours d’eau présentant les mêmes caractéristiques ou dans des tronçons aux caractéristiques similaires.

Voici les options permettant de limiter les coûts : i) choisir au maximum un tronçon à étudier sur un secteur de cours d’eau présentant des caractéristiques homogènes, ii) à l’intérieur du secteur, limiter normalement le tronçon à étudier à une longueur équivalant à 10 à 20 fois la largeur moyenne du cours d’eau, iii) restreindre en priorité le choix aux tronçons critiques, c’est-à-dire privilégier les tronçons sensibles ou proches de l’état naturel.

Selon la complexité du bassin versant (nombre d’installations provoquant des éclusées, morphologie existante et future, longueur, taille et potentiel écologique du cours d’eau, etc.), il convient d’étudier en détail plusieurs tronçons sur un secteur de cours d’eau ou de réaliser des relevés dans l’ensemble du bassin versant.

Lors de la visite sur le terrain, les déficits présumés servent de base pour déterminer les indicateurs à prendre en compte et fixer les emplacements sur le ou les tronçons à étudier, où il conviendra de les mesurer. Voici les lieux de relevés et les relevés à prendre en compte : i) tronçons dont le peuplement piscicole doit être inventorié et emplacements d’autres analyses propres à l’écologie des poissons (tels les kits d’analyse, cf. annexe C, indicateur P3*), ii) sites des relevés pour le macrozoobenthos, iii) évaluation de la nécessité et, le cas échéant, désignation de lieux de relevés pour la dérive, de même que pour le colmatage interne et externe, iv) emplacements des profils transversaux sélectionnés pour modéliser et évaluer les divers indicateurs (approche unidimensionnelle), v) secteurs pour la modélisation et l’évaluation des différents indicateurs (approche bidimensionnelle), vi) emplacements des relevés de la répartition granulométrique, pour déterminer le coefficient de rugosité et l’adéquation

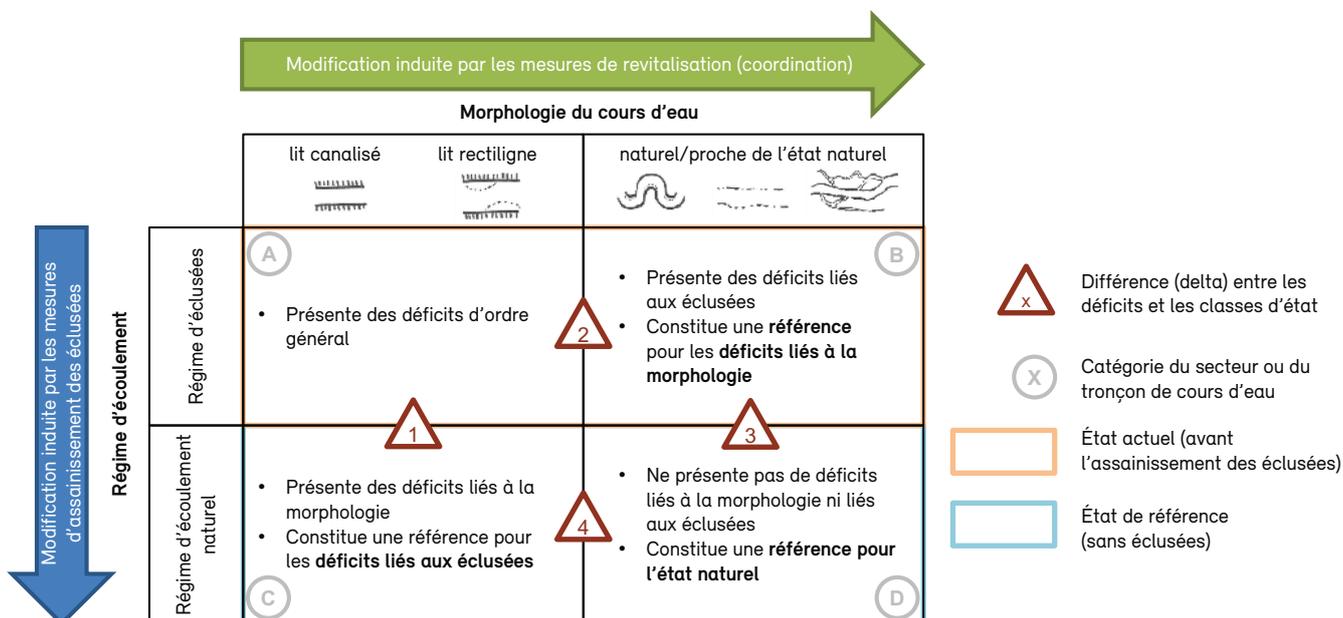
du substrat, les profondeurs et les vitesses de l’eau pour les espèces piscicoles indicatrices et le macrozoobenthos (courbes de préférence), vii) relevés d’abris adéquats pour les poissons. Il est essentiel d’assurer une coordination précoce et soigneuse entre les différents spécialistes.

Classement et interprétation des résultats

Pour classer les états et les éventuels déficits observés lors des études détaillées, dans la mesure où des résultats sont disponibles, il convient de prendre en compte les tronçons étudiés dans les secteurs de cours d’eau ci-après (fig. B2) :

- (A) Secteurs de cours d’eau à éclusées dont le lit est canalisé ou rectiligne.
- (B) Secteurs de cours d’eau à éclusées dont la morphologie est à l’état naturel ou proche de l’état naturel, et correspond si possible à l’état le plus sensible selon Baumann et al. (2012).
- (C) Secteurs de cours d’eau canalisés ou rectilignes non soumis aux éclusées (sur un autre tronçon que celui à éclusées). Ce secteur illustre l’amélioration écologique maximale que la mesure d’assainissement permet d’obtenir.

Fig. B2
Classement des résultats enregistrés dans les tronçons étudiés afin d’interpréter les déficits.



(D) Secteurs de cours d’eau non soumis aux éclusées dont la morphologie correspond à un état naturel ou est proche de l’état naturel. Ce secteur constitue la référence naturelle et illustre le potentiel écologique.

À l’aide des résultats obtenus pour les états de référence B, C et D, il est possible d’établir une assez bonne correspondance entre les déficits, les causes des atteintes et l’effet réel des mesures d’assainissement. Une comparaison des déficits ou des classes d’état permet d’identifier avec plus de précision la part de l’atteinte due aux éclusées ou à la morphologie (fig. B2) :

- Delta 1 et Delta 3 correspondent aux parts de l’atteinte dues aux éclusées dans des secteurs de cours d’eau canalisés ou rectilignes ou dans des secteurs dont la morphologie correspond à l’état naturel ou est proche de l’état naturel.
- Delta 2 montre la part des déficits liés à la morphologie dans des secteurs de cours d’eau à éclusées, c’est-à-dire à quel point des mesures de revitalisation, par exemple, permettraient d’améliorer la situation.
- Delta 4 correspond à la part des déficits due à la morphologie dans des secteurs de cours d’eau à régime d’écoulement naturel, mais revêt moins d’importance pour l’appréciation des éclusées et l’élaboration de mesures d’assainissement.

Périodes et coordination des relevés sur le terrain

Il importe aussi de désigner quels relevés sur le terrain doivent être coordonnés du point de vue spatial, temporel et thématique (relevés de substrat avec les relevés macrozoobenthiques et piscicoles, sites d’analyse du macrozoobenthos et relevés concernant le colmatage, cartographie des habitats pour les modélisations).

4 Présentation des informations issues du relevé des données de base

Les informations ci-après peuvent être reportées sur une carte de situation (cf. fig. B1) : i) l’installation et ses différentes parties (réservoir d’accumulation, prises et restitution d’eau), ii) le tronçon à éclusées, iii) les secteurs homogènes du cours d’eau, iv) les tronçons à étudier et, le cas échéant, d’autres informations telles que zones de

protection, tronçons de référence, autres installations (à assainir) dans le bassin versant, emplacements de mesure du débit, affluents, prélèvements de gravier, éventuels chantiers, etc.

Les informations ci-après concernant le tronçon à étudier peuvent être reportées sur des orthophotos : i) lieux d’analyse avec précision des indicateurs à mesurer, ii) largeurs du lit inondé en fonction du débit, iii) indications concernant les mésohabitats et la connectivité avec les berges, iv) indications sur la qualité de l’eau, v) périodes des relevés.

5 Bibliographie

Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203 : 127 p.

Hürlimann J., Niederhauser P. 2007. Méthodes d’analyse et d’appréciation des cours d’eau. Diatomées Niveau R (région). Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 0740 : 132 p.

Liechti P. 2010. Méthodes d’analyse et d’appréciation des cours d’eau. Analyses physico-chimiques, nutriments. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1005 : 44 p.

Pfaundler M., Dübendorfer C., Zysset A. 2011. Méthodes d’analyse et d’appréciation des cours d’eau. Hydrologie – régime d’écoulement niveau R (région). Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1107 : 113 p.

Annexe C – Indicateurs utilisés pour l’analyse des déficits, les prévisions et l’évaluation des effets

Fig. C1

Liste des indicateurs.

En cliquant sur l’indicateur, vous accédez directement au chapitre en question.

Abréviation		Analyse des déficits (état actuel)	Prévisions	Évaluation des effets	Indicateurs du module «Planification stratégique»	Principaux changements apportés au module «Planification stratégique» ou buts des nouveaux indicateurs
D2	Paramètres hydrologiques	●	●	●		Définition de la valeur cible des paramètres hydrologiques pour le tronçon considéré compte tenu des interactions avec d’autres indicateurs
P2*	Échouage de poissons	●	●	●	●	Fonctions de valeurs, espèces piscicoles et stades de développement
P3*	Frayères	●	●	●	●	Fonction de valeur, carte des frayères, tests portant sur les frayères et tests à l’aide de boîtes d’éclosion
P6	Habitabilité pour les poissons	●	●	●		Modélisations de l’adéquation de l’habitat pour les poissons
B5	Habitabilité pour le macrozoobenthos	●	●	●		Modélisations de l’adéquation de l’habitat pour le macrozoobenthos
Q1*	Température de l’eau	●	●	●	●	Emplacement des mesures, prévisions
P4*	Présence de juvéniles	●		●	●	Espèces piscicoles, abandon de la fonction de valeur, anciennement dénommé Reproduction des poissons
B1*	Biomasse et diversité du macrozoobenthos	●		●	●	Estimation de la biomasse et de la diversité, uniquement des taxons EPT
B3	Zonation longitudinale du macrozoobenthos	●		●	●	
B4	Familles EPT du macrozoobenthos	●		●	●	
F1	Dérive	●		●		Définition de valeurs seuils spécifiques au cours d’eau sur la base d’essais d’éclusées
P1*	Module Poissons du SMG	●		●	●	Méthode de pêche, interprétation
B2*	Module Macrozoobenthos du SMG	●		●	●	Méthode de relevé, interprétation
H1*	Colmatage interne	●		●	●	Méthode de relevé
H2	Colmatage externe	●	●	●		Quantification de l’habitabilité

● Indicateurs principaux

● Indicateurs sensibles aux éclusées

● Indicateurs globaux

● Indicateurs principaux

On appelle indicateurs principaux les indicateurs qui sont sensibles aux éclusées et facilement prévisibles. Pour prévoir l’effet des mesures d’assainissement et comparer les variantes, il faut mesurer cinq au moins de ces six indicateurs (cf. chap. 4).

L’indicateur principal D2 (paramètres hydrologiques) doit toujours être mesuré, car il est en interaction directe avec d’autres indicateurs, qu’il est indispensable pour formuler les objectifs (cf. 3.4) et qu’il détermine des hydrogrammes représentatifs (annexe E). Cet indicateur permet d’établir le lien entre les indicateurs écologiques déterminants du point de vue juridique, le pilotage de la centrale hydroélectrique et, par exemple, le pilotage d’un bassin de rétention. Sa valeur doit être définie avec un très grand soin compte tenu d’intérêts opposés (protection et exploitation), car il doit garantir l’élimination ou la prévention de l’atteinte grave.

● Indicateurs sensibles aux éclusées

Les indicateurs sensibles aux éclusées ne figurent pas parmi les indicateurs principaux, car ils ne peuvent pas, dans l’état actuel des connaissances, faire l’objet de prévisions suffisantes. Il est recommandé de mesurer les indicateurs sensibles aux éclusées pour compléter les analyses des déficits et des causes.

● Indicateurs globaux

Les indicateurs globaux ne sont pas particulièrement sensibles aux éclusées. Lorsque les facteurs d’influence abiotiques, qualité de l’eau et morphologie, présentent un état bon ou suffisant ou en présence d’un tronçon de référence, ils peuvent signaler l’existence d’une atteinte due aux éclusées.

● Indicateurs supplémentaires

Dans l’état actuel des connaissances, les indicateurs supplémentaires ne sont pas particulièrement sensibles aux éclusées. Ils servent à comprendre le phénomène et il faudrait si possible les évaluer par comparaison avec un tronçon de référence. Il est recommandé de les mesurer dans les bassins versants à forte turbidité et dès lors en relation avec des phénomènes de colmatage.

D2 Paramètres hydrologiques

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Nouvel indicateur. L’indicateur «débit minimal» du module «Planification stratégique» (Baumann et al. 2012) est inclus dans le débit plancher.

- Constitue une aide pour classer les déficits biotiques, également par comparaison avec des tronçons ou des états de référence.
- Sert à formuler les objectifs spécifiques au cours d’eau pour le débit d’éclusee, le débit plancher et les taux de variation du niveau d’eau.
- Permet d’estimer la réalisation des objectifs et peut donc jouer le rôle d’indicateur de synthèse pour une présélection de mesures.
- Est en interaction avec d’autres indicateurs biotiques et abiotiques.

1 Bases théoriques

Définition des valeurs cibles des paramètres hydrologiques – principes de base

Les valeurs cibles des paramètres hydrologiques doivent être définies pour le cours d’eau concerné et se fonder sur les informations issues des analyses des déficits et des causes. Elles ne peuvent pas être fixées indépendamment des autres facteurs biotiques et abiotiques, puisque ceux-ci sont en relation avec les paramètres hydrologiques (fig. C2). De plus, la morphologie intervient également dans la définition de leurs valeurs cibles (annexe B).

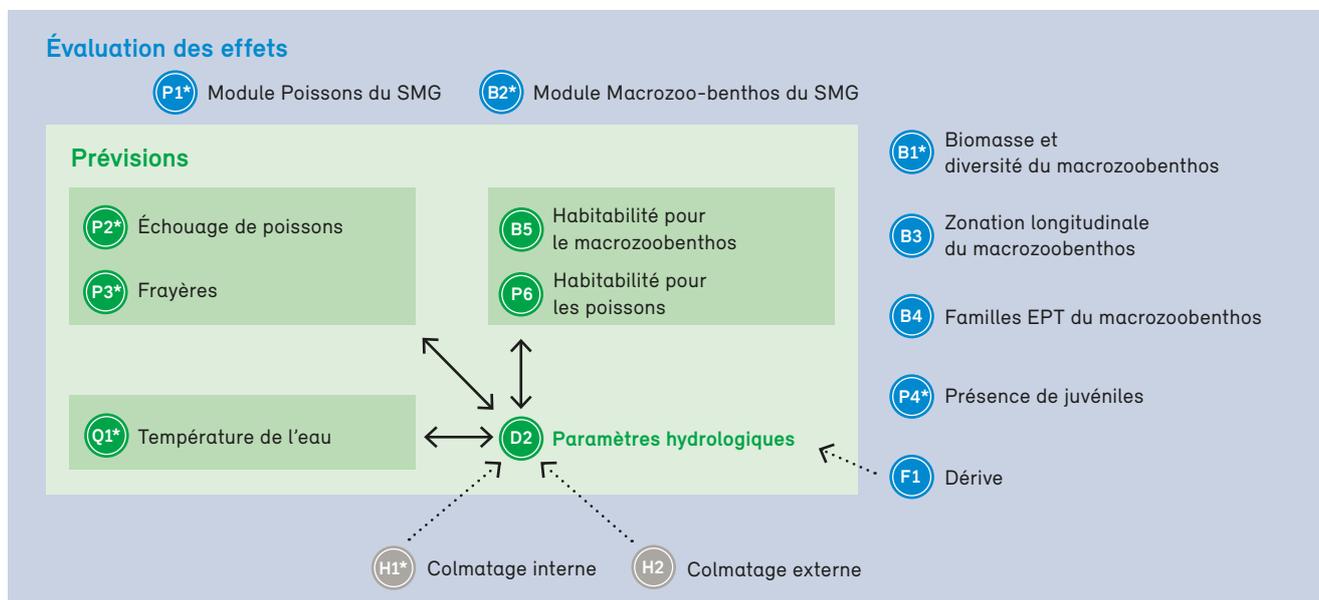
D’autres études déjà réalisées (comme les essais de dérivation F1*, les séries de tests [annexe C, P3*]) peuvent également constituer des données de base pour définir les valeurs cibles hydrologiques.

Sur la base des valeurs cibles des paramètres hydrologiques et des conditions hydrologiques requises qui en découlent (cf. partie III du tableau récapitulatif de l’annexe D), il est possible de classer l’effet des diverses me-

Fig. C2

Interactions entre l’indicateur D2 «paramètres hydrologiques» et les autres indicateurs.

Flèches en traitillé : facilitent la définition des valeurs cibles ; flèches en trait continu : servent à définir les valeurs cibles (dirigées vers D2) ou à déterminer la classe d’état (en direction des indicateurs biotiques et abiotiques).



sures d’assainissement isolées ou agrégées. À ce titre, l’indicateur D2 Paramètres hydrologiques est un indicateur synthétique témoignant de la réalisation des objectifs. Il ne permet cependant pas, à lui seul, de parvenir à une conclusion définitive concernant l’état du cours d’eau ou l’existence d’une éventuelle atteinte grave.

2 Détermination de l’indicateur

Planification et manière de procéder

La détermination de cet indicateur n’appelle pas d’explications particulières, car elle n’exige pas de se rendre sur le terrain. Il peut parfois s’avérer utile de mettre en place une station de mesure du débit afin de collecter des données manquantes. Celles-ci pourront par ailleurs servir à une analyse approfondie des déficits et des causes, ainsi qu’à formuler les objectifs et à élaborer les mesures d’assainissement.

Résolution temporelle des données

Des mesures du débit de très haute résolution temporelle (valeurs ponctuelles) sont nécessaires. Contrairement aux valeurs moyennes (horaires, journalières, mensuelles, etc.), les valeurs ponctuelles indiquent le débit à un moment précis. Des relevés réguliers et fréquents (toutes les 10 minutes, p. ex.) ou chaque fois que le débit enregistre un changement notable fournissent une série de données qui reflètent fidèlement les variations du débit avec le temps. Dans la pratique de l’Office fédéral de l’environnement, les appareils automatiques des stations de mesure enregistrent en général la valeur du débit très fréquemment pendant 10 minutes et reportent ensuite la moyenne établie pour cet intervalle sur un graphique. Cet intervalle étant bref, les valeurs obtenues peuvent être considérées comme ponctuelles. La résolution temporelle des données utilisées pour évaluer les paramètres de l’hydrogramme ne devrait donc pas dépasser 10 à 15 minutes. Le cas échéant, l’hydrogramme peut être calculé à partir des données d’exploitation (cf. Pfaundler et al. 2011).

Définition des valeurs cibles pour les paramètres écologiques

La définition des valeurs cibles pour les paramètres hydrologiques et de leur degré de réalisation intervient en cinq étapes :

1. Choix de tronçons de cours d’eau et de la ou des morphologies à prendre en considération et justification de ce choix.
2. Choix de la ou des saisons considérées et justification de ce choix.
3. Choix des paramètres hydrologiques.
4. Définition des valeurs cibles.
5. Appréciation du respect des valeurs cibles définies pour les paramètres hydrologiques (= classe d’état).

Choix de tronçons de cours d’eau et de la ou des morphologies et justification de ce choix

L’influence des éclusées sur l’écologie des eaux varie avec la morphologie du cours d’eau. Il importe dès lors de distinguer autant que possible l’influence des éclusées et celle de la morphologie. La prise en considération de tronçons de référence (des tronçons avec une morphologie naturelle ou proche de l’état naturel subissant l’effet d’éclusées, comme la zone alluviale de Mastrils sur le Rhin alpin), d’états de référence (c’est-à-dire des tronçons similaires sans éclusées) ou de références naturelles (tronçons sur un cours d’eau présentant des caractéristiques similaires, mais ne subissant pas d’éclusées ou des éclusées faibles, c’est-à-dire inférieures à 1,5) peut contribuer à définir les valeurs cibles (cf. fig. B2, annexe B).

L’annexe B décrit la marche à suivre pour choisir les tronçons de cours d’eau à prendre en considération et ceux à étudier, de même que pour justifier ce choix.

Choix de la ou des saisons considérées et justification

Le choix de la ou des saisons à considérer dépend de chaque cas particulier et peut se justifier à l’aide des arguments ci-après :

- La période où le débit et le niveau d’eau (éventuellement aussi les variations de température) s’écartent le plus de l’état naturel. Pour les cours d’eau alpins, il s’agit normalement des six mois les plus froids de l’année.
- La période où les déficits sont les plus importants ou celle qui s’avère la plus critique (période de frai, p. ex.) pour ce qui est des exigences écologiques des espèces indicatrices (poissons et macrozoobenthos).

Choix des paramètres hydrologiques

Diverses études récentes se sont penchées sur la définition des paramètres hydrologiques spécifiques à un cours d’eau (cf. p.ex. Flussbau 2012, Schweizer et al. 2013 (1)–(4)). Sur la base de calculs hydrauliques, elles fournissent des valeurs pour le débit d’éclusée, le débit plancher, ainsi que pour les taux de montée et de descente du niveau d’eau, en tenant compte des conditions hydro-morphologiques (telles les exigences en matière d’échouage de poissons [P2*] et les frayères [P3*]).

Voici les paramètres hydrologiques :

- Débit d’éclusée (débits maximaux journaliers) : il influe en particulier sur la dérive, la stabilité des frayères et les habitats de macroinvertébrés, d’algues, de macrophytes et de jeunes poissons en mobilisant les matières solides (charriage) et les sédiments fins. Il exerce une influence indirecte sur la turbidité et le colmatage (stress physiologique, ralentissement de la photosynthèse, réduction de l’oxygène disponible pour le frai, etc. ; Bruder 2012, Bruder et al. 2012).
- Débit plancher (= débits minimaux journaliers) : il permet non seulement d’évaluer le risque d’échouage, mais sert aussi à déterminer les surfaces appropriées pour les frayères ainsi que l’habitabilité pour les poissons et le macrozoobenthos dans la partie inondée du fond du lit. Une comparaison avec les exigences imposées en matière de débits résiduels (art. 31 à 33 LEaux), c’est-à-dire l’indicateur D1 du module « Planification stratégique » (Baumann et al. 2012), permet de vérifier si le débit plancher le plus faible remplit ces exigences minimales. La comparaison avec le débit Q_{347} permet de classer le débit plancher dans des conditions naturelles. Il est en effet possible de comparer directement le débit Q_{347} avec le quantile 95 % du débit plancher au cours de l’année ($347/365 = 95\%$). Associé au débit d’éclusée, le débit plancher permet de calculer les zones mises à sec (zones de marnage).
- Taux de descente du niveau d’eau : ce paramètre exerce principalement une influence sur le risque d’échouage et influe aussi sur la sédimentation des matières en suspension et, dès lors, sur le colmatage interne et externe (Bruder 2012, Bruder et al. 2012).
- Taux de montée du niveau d’eau : à l’instar du débit d’éclusée, ce paramètre détermine l’intensité de la dé-

rive du macrozoobenthos (et influe implicitement sur sa biomasse et sa diversité) et des alevins et joue un rôle dans la remise en suspension de matières fines (Bruder 2012, Bruder et al. 2012).

Si plusieurs éclusées se produisent par jour, le présent module considère la valeur journalière la plus élevée (débit d’éclusée, taux de montée du niveau d’eau) et la valeur la plus basse (débit plancher, taux de descente du niveau d’eau).

Compte tenu de la géométrie du cours d’eau, les paramètres mentionnés ci-dessus incluent également le niveau d’eau, la largeur inondée du lit et le taux de variation de la largeur inondée.

Les résultats de l’analyse des déficits et des causes permettent de justifier clairement quels paramètres reflètent au mieux le problème des éclusées dans le secteur étudié. Selon les déficits et les causes, il peut arriver qu’une partie seulement des paramètres hydrologiques soient pertinents (tel l’indicateur P2* Échouage de poissons, lorsque cet indicateur affiche un état excellent ou bon, le taux de descente du niveau d’eau revêt peu d’importance).

Définition des valeurs cibles

Des valeurs cibles sont fixées pour les paramètres hydrologiques pertinents. Cette opération s’inscrit dans le cadre de la définition des objectifs sur la base de l’interaction de l’indicateur D2 avec les indicateurs biotiques et abiotiques (cf. 3.4 et partie III du tableau récapitulatif de l’annexe D). À chaque valeur cible, il importe alors d’attribuer la fréquence de son respect (quantile exprimé en pour cent de la période pendant laquelle la valeur cible doit être respectée). Ce faisant il importe de distinguer :

- a) Les atteintes causées par des éclusées peu nombreuses mais de forte amplitude, survenant à des périodes particulièrement critiques du point de vue écologique (telle la période de frai ; dans ce cas, il faudra fixer le quantile exigible à 95 %).
- b) Les atteintes causées par des éclusées de moins forte amplitude, mais régulières et récurrentes (dans ce cas, le quantile exigible pourra être fixé à 60 %).

Les tableaux C1 à C4 présentent diverses approches pour fixer les valeurs cibles et les quantiles, ainsi que les indicateurs principaux qui sont interaction.

Respect des valeurs cibles des paramètres hydrologiques (= classe d’état)

Un résumé des objectifs que l’assainissement des éclusées doit atteindre dans le cours d’eau concerné indique comment apporter les améliorations qu’exige l’hydrogramme. Autrement dit, ce résumé correspond aux conditions hydrologiques requises pour éliminer ou empêcher les atteintes graves (cf. partie III du tableau récapitulatif de l’annexe D).

Grâce à la fonction de valeur (fig. C3), la définition de la valeur cible et du quantile permet de déterminer la classe d’état des paramètres hydrologiques, aussi bien pour l’état actuel que pour l’état après assainissement.

Pour l’état actuel, cette méthode met en évidence le déficit. Pour l’état après assainissement, elle peut par exemple révéler si le volume de rétention et le pilotage prévu des débits turbinés permettent d’atténuer suffisamment l’effet des éclusées pour que les valeurs cibles soient respectées à une fréquence suffisante durant la période déterminante.

3 Traitement des données et évaluation

Fonctions de valeurs

Les fonctions de valeurs appliquées pour attribuer une classe d’état sont présentées dans la figure C3. L’évaluation de l’état de chaque paramètre hydrologique (X) se fonde sur le respect probable de sa valeur cible (p(X)) en comparaison avec le quantile exigible (60% ou 95% pour le débit d’éclusée ou les valeurs absolues du taux de variation du niveau d’eau, 40% et 5% pour le débit plancher), établi à partir du nombre de jours où la valeur cible est respectée par rapport au nombre total de jours de la période considérée. Sont toujours considérées comme déterminantes les valeurs maximales journalières (débit d’éclusée, taux de montée du niveau d’eau) ou les valeurs minimales journalières (débit plancher, taux de descente du niveau d’eau).

Fig. C3 Fonctions de valeurs. Légende des figures C5 à C8.

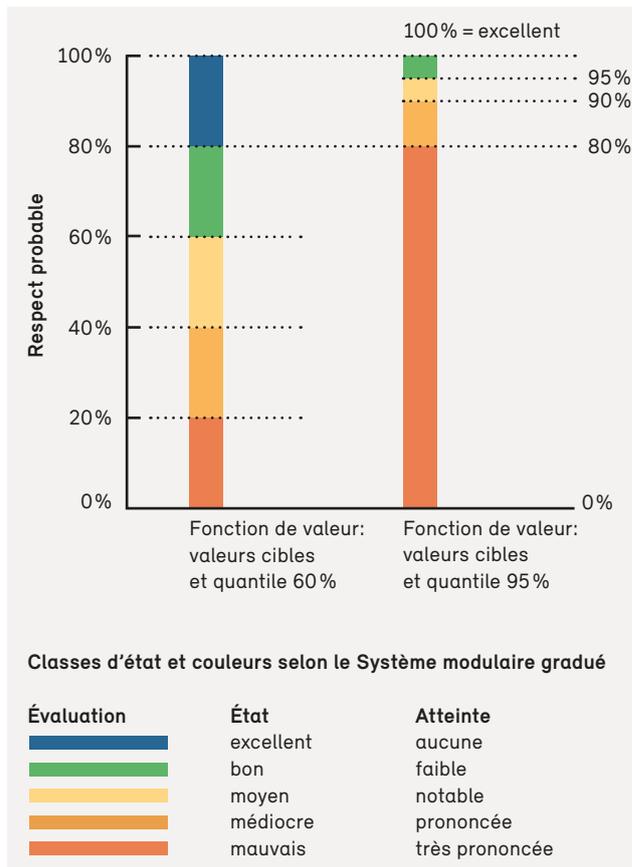
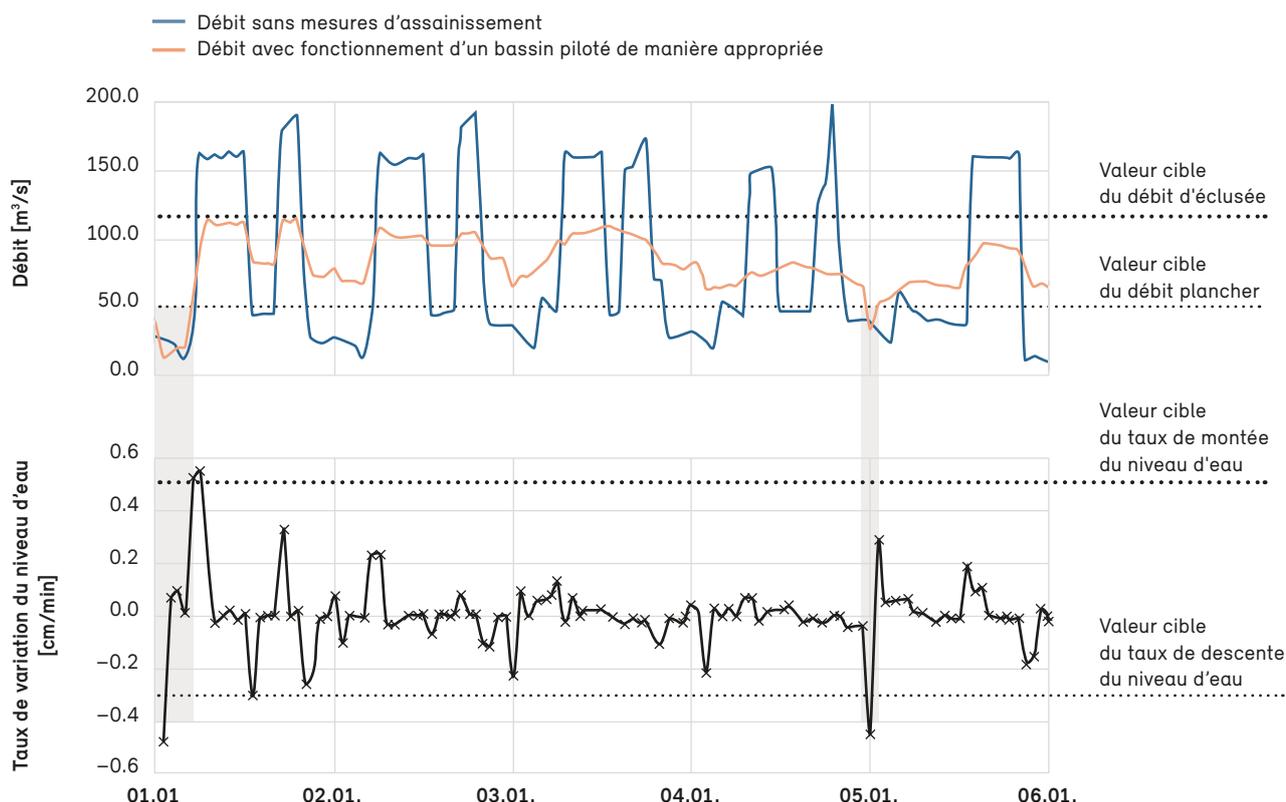


Fig. C4

Hydrogramme avec et sans mesures atténuant les éclusées (en haut), taux de variation du niveau d’eau avec application des mesures (en bas).

Représentation des valeurs cibles.



Valeurs cibles fondées sur l’hydrogramme

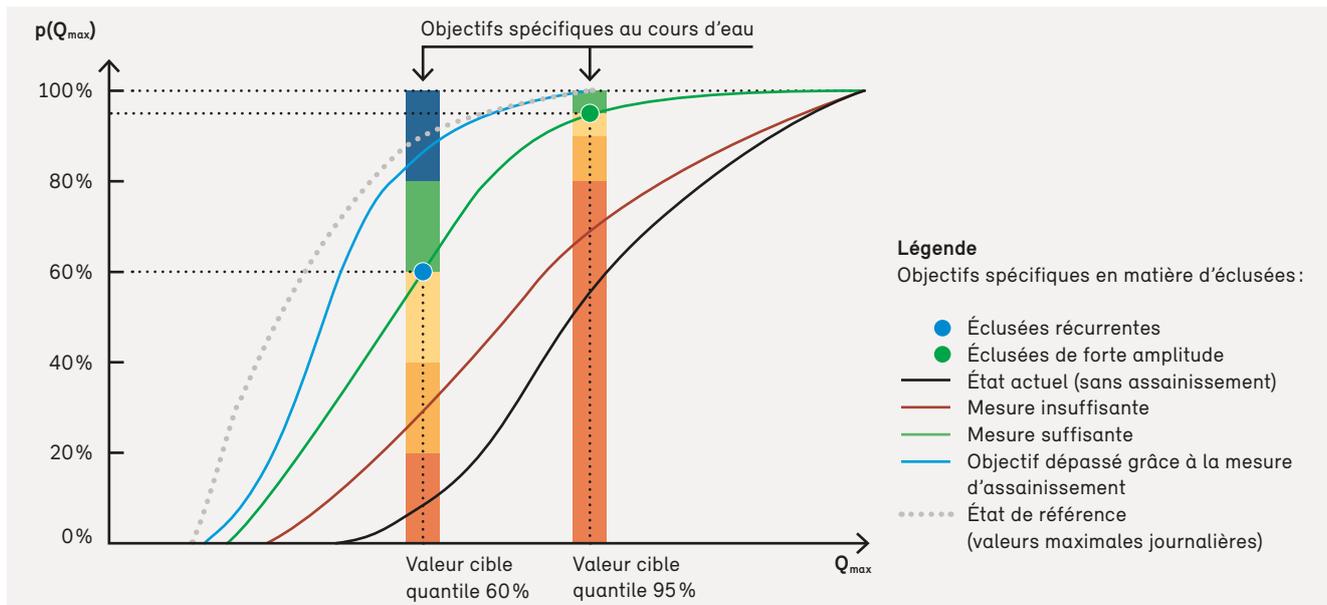
La figure C4 présente un extrait de l’hydrogramme d’un cours d’eau et du tracé des taux de variation du niveau d’eau, sans et avec application de mesures atténuant les éclusées. À titre de comparaison, elle indique également les valeurs cibles des paramètres hydrologiques. Dans cet exemple fictif, un taux de descente trop rapide du niveau d’eau ne pose problème que lorsque le débit est inférieur à $50\text{ m}^3/\text{s}$ (ligne bleu clair dans la fig. C4). Une valeur cible n’est donc définie que pour les débits correspondants.

Fréquence cumulée : exemple de représentation et de lecture

L’évaluation de l’hydrogramme (cf. annexe E), avec ou sans mesures d’assainissement, donne les différentes valeurs maximales et minimales journalières des paramètres hydrologiques suivants : débit d’éclusee, débit plancher, taux de descente du niveau d’eau et taux de montée du niveau d’eau. La représentation de la fréquence cumulée durant la période considérée fournit la fréquence des dépassements vers le bas (débit d’éclusee, taux de montée du niveau d’eau) et vers le haut (débit plancher, taux de descente des éclusées).

Fig. C5

Respect des valeurs cibles représenté à l’aide de la fréquence cumulée du débit d’éclusée $p(Q_{max})$ pour trois mesures, ainsi que pour l’état actuel et l’état de référence : exemple de représentation et de lecture.



Donnant un exemple de représentation du volume d'éclusée, la figure C5 se lit comme suit : la fréquence cumulée du débit d'éclusée ($p(Q_{max})$) pour trois mesures étudiées montre que la mesure « verte » assure le respect de la valeur cible du débit d'éclusée Q_{max} (quantile 60 %) avec une fréquence de 65 % environ. Elle permet même de respecter la valeur cible Q_{max} (quantile 95 %) avec une fréquence de 95 %. Dans les deux cas, la mesure parvient à créer un état de la classe « bon ». La mesure « rouge » est certes insuffisante (classe d'état « médiocre » ou « mauvais »), mais améliore tout de même l'état actuel. La mesure « bleue » dépasse l'objectif défini pour le paramètre hydrologique débit d'éclusée (classe d'état « excellent ») et la situation se rapproche de l'état de référence (hydrologie naturelle). Il convient de lire les figures C6 à C8 par analogie à cet exemple.

Valeurs cibles et représentation du débit d’éclusee (débits maximaux journaliers)

La représentation du débit d’éclusee est illustrée dans la figure C5. L’évaluation se fonde sur le débit journalier maximal. Selon le cours d’eau, d’autres aspects peuvent inclure la mobilisation des matériaux solides et leur transport avec le courant (Flussbau 2012).

Valeurs cibles et représentation du débit plancher (débits minimaux journaliers)

Selon la définition, c’est le quantile 5 % ou 40 % qui est déterminant pour la fréquence cumulée du débit plancher. Cette différence par rapport aux autres paramètres hydrologiques ne change rien au fait que la valeur cible doit être respectée pendant 95 % ou 60 % des jours de la période considérée.

Tab. C1

Possibilités de définir les valeurs cibles du débit d’éclusee.

Selon la méthode, on utilise un quantile 90 % et non pas 95 % pour l’amplitude de la variation de température (cf. annexe C, indicateur Q1*).

Débit d’éclusee (= débits maximaux journaliers) Approche pour définir la valeur cible du débit d’éclusee	Quantile	Indicateurs principaux déterminants
Stabilité d_m des frayères durant le débit d’éclusee	95 %	P3*
Diminution de la taille des zones de marnage grâce à la réduction de l’éclusee	60 %	F2*, B5, P6
Réduction de l’amplitude de la variation de la température $AT_{\text{éclusee/plancher}} < AT_{\text{réf}}$	90 %	Q1*
Diminution générale de la dérive (sur la base d’essais)	60 %	F1/D2
Pas de dérive de catastrophe (sur la base d’essais)	95 %	F1/D2
Habitabilité suffisante pour les poissons en cas d’éclusee (en fonction des stades de développement)	60 %	P6
... Selon le cours d’eau, les spécialistes peuvent recourir à d’autres aspects		

Tab. C2

Possibilités de définir les valeurs cibles du débit plancher.

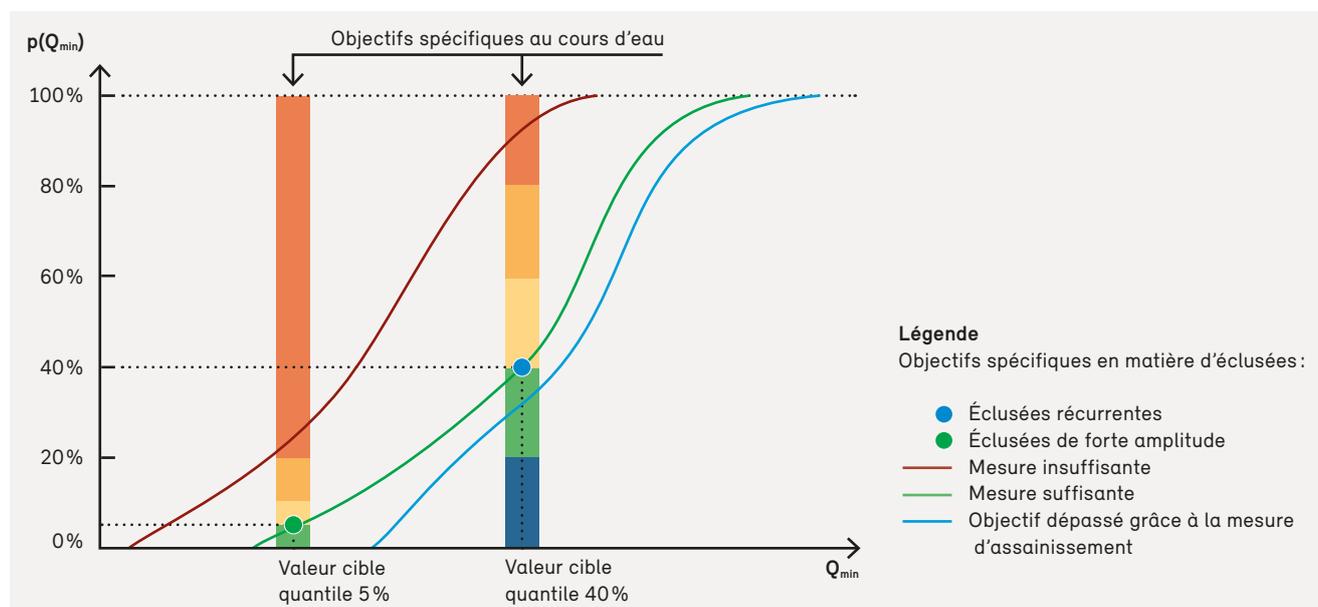
Selon la méthode, on utilise un quantile 10 % et non pas 5 % pour l’amplitude de la variation de température (cf. annexe C, indicateur Q1*).

Débit plancher (= débits minimaux journaliers) Approche pour définir la valeur cible du débit plancher	Quantile	Indicateurs principaux déterminants
Frai et développement du frai (pas de mise à sec)	5 %	P3*
Diminution de la taille des zones de marnage grâce à l’augmentation du débit plancher	40 %	P2*, B5, P6
Habitabilité suffisante pour les poissons durant le débit plancher (en fonction des stades de développement)	40 %	P6
Habitabilité suffisante pour le macrozoobenthos durant le débit plancher	40 %	B5
Réduction de l’amplitude de variation de la température $AT_{\text{éclusee/plancher}} < AT_{\text{réf}}$	10 %	Q1*
... Selon le cours d’eau, les spécialistes peuvent recourir à d’autres aspects		

Valeurs cibles et représentation du taux de montée du niveau d’eau lors de l’augmentation du débit

La définition des valeurs cibles pour le taux de montée du niveau d’eau se fonde essentiellement sur des essais de dérivation. Ceux-ci dépendent, par définition, du cours d’eau considéré et fournissent les valeurs cibles correspondantes. Pour estimer la stabilité des matériaux déposés sur le fond du lit lors de montées du niveau d’eau, il est également possible de recourir à des modèles non stationnaires uni- ou bidimensionnels (annexe F).

Fig. C6
 Représentation du respect des valeurs cibles à l’aide de la fréquence cumulée du débit plancher $p(Q_{min})$ pour trois mesures.
 On évalue le débit journalier minimal.



Tab. C3
 Possibilités de définir les valeurs cibles du taux de montée du niveau d’eau.
 Selon la méthode, on utilise un quantile 90 % et non pas 95 % pour l’amplitude de la variation de température (cf. annexe C, indicateur Q1*).

Taux de montée du niveau d’eau ou taux de variation du débit pour la température Approche pour définir la valeur cible du taux de montée du niveau d’eau	Quantile	Indicateurs principaux déterminants
Stabilité d_m des frayères durant le débit d’éclusée	95 %	P3*
Réduction de l’amplitude de la variation de température (augmentation du débit)	90 %	Q1*
Diminution générale de la dérivation (sur la base d’essais)	60 %	F1/D2
Pas de dérivation de catastrophe (sur la base d’essais)	95 %	F1/D2
... Selon le cours d’eau, les spécialistes peuvent recourir à d’autres aspects		

Le cas échéant, la variation de température peut également déterminer la vitesse admissible du passage du débit plancher au débit d’éclusée. La définition de l’objectif se fonde alors sur le taux admissible d’accroissement du débit dQ/dt^* selon l’indicateur $Q1^*$.

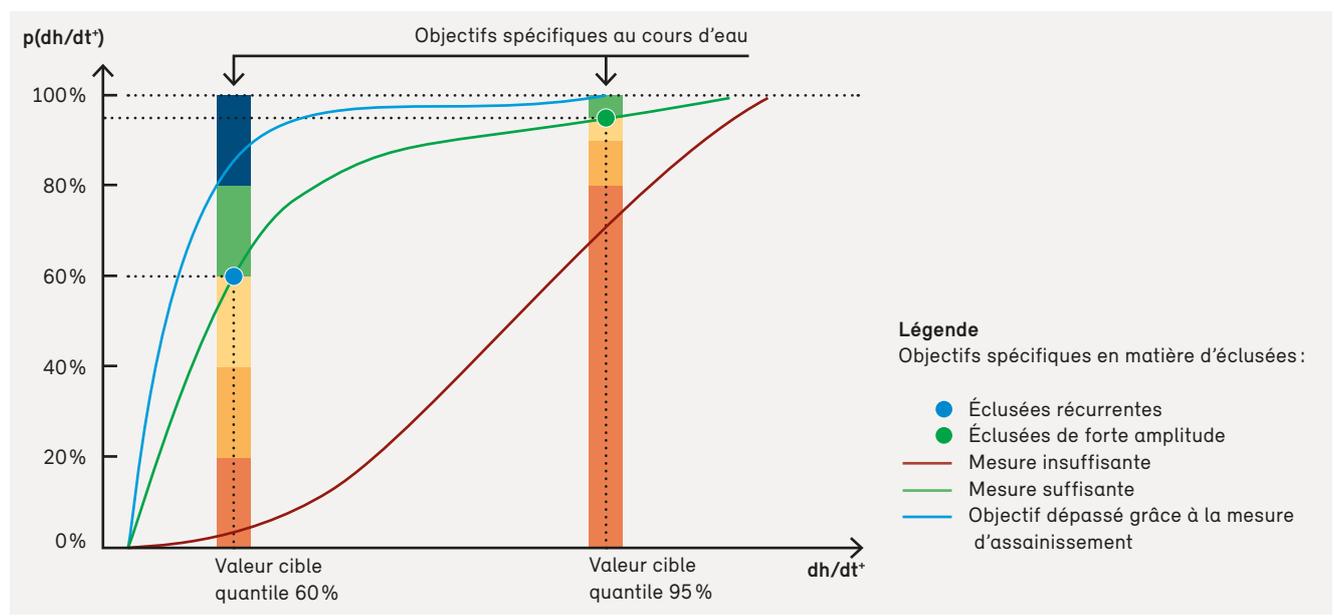
teur $P2^*$, compte tenu de l’espèce ou des espèces indicatrices et des stades de développement des individus.

Si la variation de température est déterminante, la définition de l’objectif se fonde sur le taux admissible de diminution du débit dQ/dt^* selon l’indicateur $Q1^*$.

Valeurs cibles et représentation du taux de descente du niveau d’eau lors de la diminution du débit

La définition de la valeur cible pour le taux de descente du niveau d’eau se fonde principalement sur l’approche visant à diminuer l’échouage de poissons selon l’indica-

Fig. C7
 Représentation du respect des valeurs cibles à l’aide de la fréquence cumulée du taux de montée du niveau d’eau $p(dh/dt^*)$ pour trois mesures. dh/dt^* sont des valeurs positives de la variation du niveau d’eau, exprimées en cm/min. On évalue la valeur positive la plus élevée lorsque le débit se situe dans une plage de valeurs critiques.



Tab. C4
 Possibilités de définir les valeurs cibles du taux de descente du niveau d’eau.

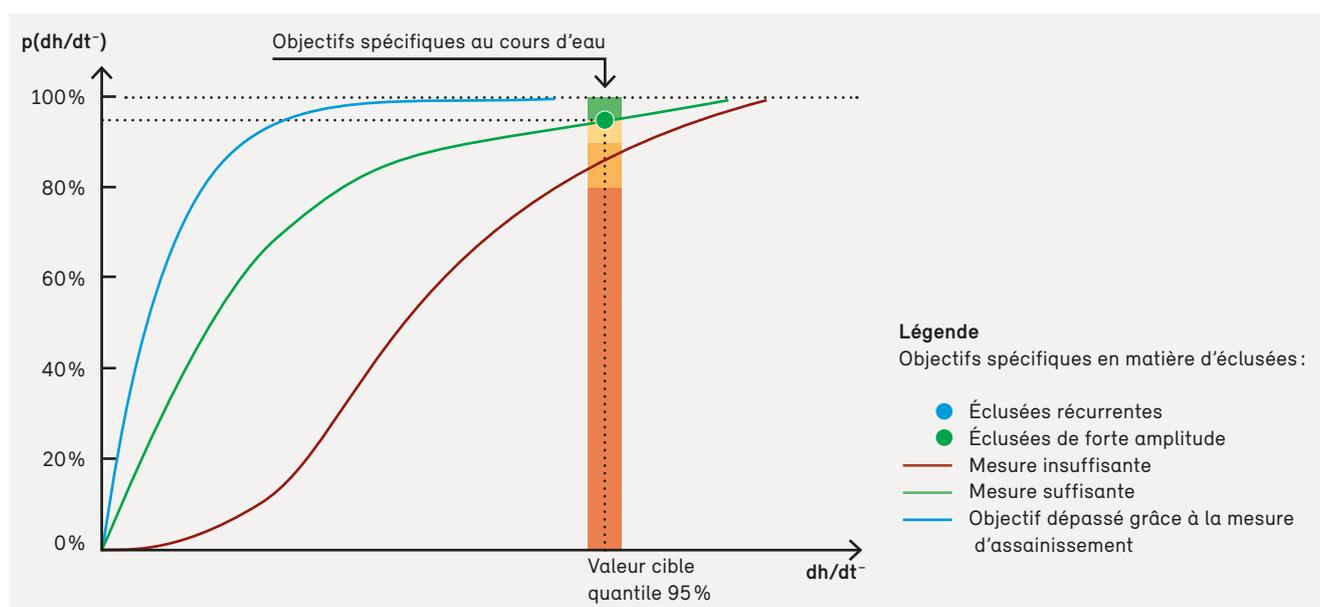
Selon la méthode, on utilise un quantile 90 % et non pas 95 % pour l’amplitude de la variation de température (cf. annexe C, indicateur $Q1^*$).

Taux de descente du niveau d’eau ou taux de variation du débit pour la température Approche pour définir la valeur cible du taux de descente du niveau d’eau	Quantile	Indicateurs principaux déterminants
Réduction de l’échouage (en fonction des stades de développement), lorsque le débit présente des valeurs critiques	95 %	$P2^*$
Diminution de l’amplitude de la variation de température (diminution du débit)	90 %	$Q1^*$
... Selon le cours d’eau, les spécialistes peuvent recourir à d’autres aspects		

Fig. C8

Représentation du respect des valeurs cibles à l’aide de la fréquence cumulée du taux de descente du niveau d’eau $p(dh/dt^-)$ pour trois mesures.

dh/dt^- sont des valeurs négatives de la variation du niveau d’eau, exprimées en cm/min. On évalue la valeur journalière négative la plus basse (valeur absolue) lorsque le débit se situe dans une plage de valeurs critiques.



L'agrégation du débit d'éclusée, du débit plancher et des taux de variation du niveau d'eau fournit l'évaluation globale de l'indicateur D2

Une comparaison des variantes de mesures d'assainissement peut intervenir dès le stade des paramètres hydrologiques isolés, donc avant qu'ils ne soient agrégés. L'agrégation des classes d'état de ces différents paramètres permet cependant d'évaluer globalement la réalisation de l'objectif défini pour l'indicateur D2.

L'agrégation intervient en trois étapes et la manière de procéder s'inspire de Pfandler et al. (2011).

Étape 1 : Agrégation pour un paramètre hydrologique

La première étape consiste à agréger les classes d'état d'un paramètre hydrologique.

Lorsqu'un seul objectif est défini pour un paramètre hydrologique dans le cours d'eau concerné, l'étape 1 est superflue et les classes d'état du paramètre en question sont reprises telles quelles.

Dans les autres cas, c'est-à-dire lorsque plusieurs objectifs ont été définis par paramètre hydrologique, la classe d'état est agrégée à l'aide de la moyenne. Si la moyenne se situe exactement entre deux classes d'état, c'est la plus mauvaise de ces deux classes qui est retenue. Si des raisons fondées le justifient, il est possible de déroger à cette règle d'agrégation. C'est le cas par exemple lorsque l'évaluation globale du paramètre hydrologique applique l'approche du pire.

Le tableau C5 illustre, à titre d’exemple, l’agrégation pour le débit plancher.

Tab. C5
Agrégation à l’exemple du débit plancher.

Objectif spécifique au cours d’eau	Période déterminante	Type d’objectif	Classe d’état
Pas de mise à sec des frayères existantes durant le débit plancher (P3*)	octobre – mars	quantile 95 %	3
Habitabilité suffisante pour le macrozoobenthos en hiver (B5)	octobre – mars	quantile 60 %	2
Évaluation globale du débit plancher			2,5 –> 3

Après agrégation des classes d’état pour les différents objectifs définis (spécifiques au cours d’eau concerné), on obtient une classe d’état, située entre 1 et 5, pour chaque paramètre hydrologique.

Lorsqu’aucun objectif n’est défini pour un paramètre hydrologique, cela signifie que la cause des déficits observés dans le cours d’eau ne réside pas dans ce paramètre. Dans ce cas, on lui attribue la classe d’état 2 (vert).

Étape 2 : Agrégation du débit d’éclusée, du débit plancher et des taux de variation du niveau d’eau

Pour les quatre paramètres débit d’éclusée, débit plancher, taux de montée du niveau d’eau et taux de descente du niveau d’eau, l’agrégation suit une méthode analogue à celle décrite par Pfaundler et al. (2011)

L’agrégation des évaluations individuelles s’obtient en additionnant les points ci-après en fonction de la classe d’état des évaluations individuelles :

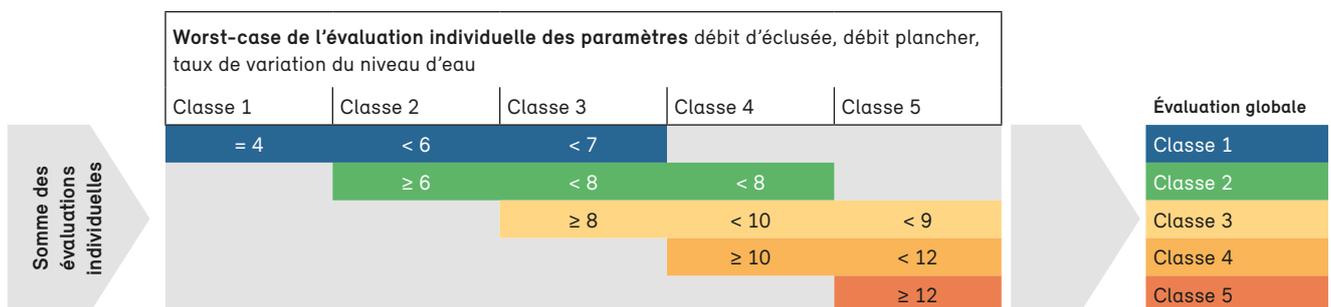
- classe 1 « bleu » : 1 point
- classe 2 « vert » : 2 points
- classe 3 « jaune » : 3 points
- classe 4 « orange » : 4 points
- classe 5 « rouge » : 5 points

Pour terminer, on détermine la classe d’état qui correspond à l’évaluation globale en se conformant à la règle de classement du tableau C6. Celle-ci est conçue de telle sorte que la classe d’état worst-case s’applique lorsqu’elle apparaît deux fois ou plus dans les évaluations individuelles. En outre, on prévoit une amélioration de deux classes par rapport à la valeur worst-case lorsque, à l’exception de l’indicateur se trouvant dans la classe worst-case, tous les autres indicateurs atteignent la classe 1.

Exemple

L’étape 1 comprend l’évaluation individuelle selon l’approche worst-case. Le taux de descente du niveau d’eau correspond à la classe d’état 4 (4 points), c’est-à-dire que la somme des évaluations individuelles intervient à partir de la colonne de la classe 4. L’évaluation individuelle du débit plancher et du débit d’éclusée atteint la classe d’état 1 (1 point chacune) et le taux de montée du niveau d’eau se situe dans la classe d’état 2 (2 points). La somme est 8 (4+1+1+2 =8). Comme elle est inférieure à 10 points, l’agrégation atteint la classe 4. L’évaluation globale correspond donc à la classe 3.

Tab. C6
Règle d’agrégation pour l’évaluation globale de l’indicateur D2, comprenant la valeur worst-case et la somme des évaluations individuelles.



4 Prévisions

Les prévisions consistent à tracer les hydrogrammes avec application des mesures d’assainissement dans les tronçons de cours d’eau concernés et à déterminer les paramètres hydrologiques correspondants (fréquence cumulée selon le chapitre précédent), toujours avec application des mesures d’assainissement. Dans le cas de nouvelles installations, les prévisions sont établies de manière analogue, dans la mesure où l’on prévoit l’état de l’indicateur D2 en cas d’application de mesures. Il est alors recommandé, à titre de comparaison, d’établir une prévision « nouvelle construction sans mesures d’assainissement », afin de démontrer l’effet positif des mesures prévues.

5 Bibliographie

Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203 : 127 p.

Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk, Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf: 92 p.

Bruder A., Schweizer S., Vollenweider S., Tonolla D., Meile T. 2012. Schwall und Sunk : Auswirkungen auf die Gewässerökologie und mögliche Sanierungsmassnahmen. Wasser Energie Luft 104 : 257 – 264.

Flussbau 2012. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 1 : Anforderungsprofile und Kolmation. IRKA : 61 p.

Pfändler M., Dübendorfer C., Zysset A. 2011. Méthodes d’analyse et d’appréciation des cours d’eau. Hydrologie – régime d’écoulement niveau R (région). Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1107 : 113p.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K., 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft 105 : 191 – 199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b : Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105 : 200 – 207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M. und Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105 : 269 – 276.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b : Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105 : 277 – 287.

Échouage de poissons

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Sur la base de récents tests d’échouage dans des canaux expérimentaux, de nouvelles fonctions de valeurs ont été définies pour les taux de descente du niveau d’eau dans le cas des truites fario (ou truites de rivière) et des ombres.
- L’échouage de poissons fait toujours l’objet d’observations sur le terrain, mais celles-ci ne sont plus évaluées à l’aide d’une fonction de valeur. Leurs résultats servent de données de base pour une possible évaluation des effets.
- L’évaluation globale de l’indicateur P2* se fonde désormais sur deux critères.

1 Bases théoriques

Nouvelles connaissances sur l’échouage et la dérive de poissons

Les récentes études expérimentales ont eu pour objectif premier de quantifier la dérive et l’échouage de jeunes truites fario et de jeunes ombres (larves et juvéniles 0+) en cas d’éclusée, c’est-à-dire d’identifier les facteurs qui influent sur l’échouage (Auer et al. 2014). Des expériences portant sur différents aspects – échouage, structure du lit, différence jour/nuit –, mais aussi sur les effets d’éclusées multiples ont approfondi les connaissances issues d’études antérieures.

Les animaux utilisés pour les essais présentaient les longueurs suivantes : larves d’ombre : 13 à 20 mm, juvéniles d’ombre : 50 à 76 mm, larves de truite fario : 24 à 30 mm, juvéniles de truite fario : 67 à 69 mm.

Les principaux résultats de ces essais peuvent être résumés comme suit :

- **Observation de l’échouage de larves de truite fario et d’ombre sur un banc de gravier homogène** : Ces observations ont montré que le taux d’échouage dépend directement de la vitesse à laquelle le niveau d’eau descend après l’éclusée et qu’aucune larve de truite fario échouée n’a été identifiée lorsque cette vitesse se situe à 0,1 cm/min. Les essais menés avec les larves d’ombre ont montré par ailleurs qu’aucune de ces larves ne s’est échouée à une vitesse de 0,2 cm/min. Les taux d’échouage des larves d’ombre se sont révélés relativement faibles lorsque la vitesse de descente du niveau d’eau est de 0,3 cm/min. Lorsque cette vitesse est plus élevée, on a observé les mêmes taux d’échouage que lors d’études antérieures (Schmutz et al. 2013).
- **Classe d’âge** : Les juvéniles d’ombre courent un risque bien moindre que les larves d’ombre de dériver ou de s’échouer en cas d’éclusée. Si les juvéniles d’ombre affichent des taux de dérive et d’échouage plus faibles, c’est peut-être parce qu’ils ont une meilleure capacité de nage et, pour le second risque, parce qu’ils choisissent un autre habitat à ce stade de leur développement. Cette dernière différence ne vaut toutefois que de jour. Durant la nuit en effet, même les juvéniles d’ombre préfèrent des habitats peu profonds et à courant faible, de sorte qu’ils risquent de s’échouer davantage de nuit que de jour.
- **Structure morphologique** : Les essais ont pu démontrer que la présence de structures morphologiques réduit nettement le taux de dérive comme le taux d’échouage. À noter cependant que les structures testées quant à la vitesse d’écoulement et à la nature du substrat ne constituaient pas un habitat à long terme pour les larves et les juvéniles de truite fario et d’ombre, et que leurs caractéristiques hydrologiques n’en font que des refuges en cas d’éclusée.
- **Jour/nuit** : Les essais jour/nuit réalisés avec des juvéniles et des larves d’ombre ont révélé que le choix de l’habitat, le déplacement longitudinal et le risque d’échouage varient en fonction du moment de la journée. Durant la nuit, ces jeunes populations privilégient des emplacements où l’eau est peu profonde et le courant moins fort, à la limite de la zone inondée. Les résultats des essais menés de nuit font ainsi état d’un risque d’échouage nettement plus grand.

- **Éclusées multiples :** Plusieurs éclusées successives ont pour effet de réduire les taux de dérive à partir de la deuxième éclusée. Quant au taux d’échouage, les différences qu’il affiche sont surtout fonction du moment de la journée. Des expériences spécialement conçues à cet effet devraient identifier les causes de la baisse du taux de dérive. Ce phénomène pourrait s’expliquer par le fait que les individus prédisposés à migrer lorsque les conditions deviennent défavorables se laissent dériver du canal expérimental. Une autre explication résiderait dans la capacité des poissons à s’adapter aux conditions créées par les éclusées, de sorte que le nombre d’individus qui dérivent à l’éclusée suivante diminue. Cet effet d’apprentissage ne dure cependant pas longtemps (moins de 24 heures).
- **Éclusée asymétrique :** Lorsque le débit commence par s’accroître avant de redescendre, mais à un niveau inférieur au débit de dotation initial, les larves de truite fario sont obligées de se déplacer pour ne pas s’échouer. Dans ce scénario, les taux de dérive sont environ deux fois plus élevés de nuit que de jour et le taux d’échouage est également plus élevé pendant qu’il fait nuit. Dans l’ensemble, les expériences ont toutefois montré que les éclusées asymétriques ne modifient pas les taux d’échouage par rapport aux éclusées symétriques. Une modification antérieure du débit de dotation ne produit donc pas un effet d’avertissement sur les larves de truite fario. On suppose qu’une éclusée asymétrique augmente le taux de dérive durant la nuit.
- **Truite fario et ombre :** Lors d’essais réalisés sur un banc de gravier homogène, les taux d’échouage enregistrés à toutes les vitesses de descente du niveau d’eau ont été plus élevés parmi les larves de truite fario que parmi les larves d’ombre. Le risque d’échouage apparaît à partir d’une vitesse de descente du niveau d’eau de 0,2 cm/min pour les larves de truite fario et seulement à partir d’une vitesse de 0,3 cm/min pour les larves d’ombre, mais avec des taux d’échouage relativement faibles (médiane < 5 %) à ces vitesses-là. La situation diffère lorsque le banc de gravier comporte des cuvettes. Les taux d’échouage diminuent alors parmi les larves de truite fario, cette baisse étant liée à la vitesse de descente du niveau d’eau. Le contraire a été observé chez les larves d’ombre : la présence de cuvettes a un effet négatif (ces cuvettes constituent des pièges) et entraîne une hausse significative des

taux d’échouage. Un échouage a même été observé pour une vitesse de descente du niveau d’eau de 0,2 cm/min (médiane = 20 %). Les différences observées sont mises sur le compte des modes de vie différents des larves de poisson.

2 Collecte des données et prévisions

Calculs hydrauliques servant à déterminer la proportion des surfaces mises à sec

Les calculs hydrauliques servant à connaître l’étendue des zones de marnage, ainsi que l’évaluation et la représentation des résultats correspondent au module « Planification stratégique » (Baumann et al. 2012). Il est par ailleurs recommandé de vérifier l’étendue des zones de marnage sur le terrain, lors d’essais d’éclusées par exemple, et de valider ainsi les modèles hydrauliques. En ce qui concerne la modélisation, voir également l’annexe F.

Observation sur le terrain de l’échouage de poissons

La possibilité de vérifier la survenue d’un échouage et de déterminer le nombre de poissons qui s’échouent dépend souvent de la nature et de la déclivité de la berge (enrochement ou banc de sable, p.ex.), du nombre et de l’espèce de (jeunes) poissons, du moment de la journée auquel le débit diminue (jour ou nuit), ainsi que de la présence de prédateurs et d’abris pour les poissons. Pour ces raisons, l’observation de poissons échoués est jugée plutôt difficile et, contrairement au module « Planification stratégique », le présent module ne les évalue plus à l’aide d’une fonction de valeur.

À titre d’information complémentaire, qui pourra contribuer par la suite à évaluer les effets de mesures d’assainissement, nous recommandons néanmoins de procéder à un relevé sur le terrain des poissons éventuellement échoués.

Taux de descente du niveau d’eau : valeurs seuils

Afin d’estimer le risque d’échouage de larves et de juvéniles à partir des résultats et des déductions des études expérimentales menées jusqu’ici en tenant compte de la vitesse de descente du niveau d’eau, il importe au préalable d’examiner les aspects fondamentaux ci-après (Auer et al. 2014) :

- Les valeurs limites se fondent sur des essais réalisés avec des larves d’élevage, qui n’ont été confrontées qu’à une seule éclusée. On ignore donc si et, si oui, dans quelle mesure les larves sont capables d’adapter leur comportement après avoir « survécu » à des éclusées. Or ces informations jouent un rôle important, en particulier si l’on envisage des classements par catégories. Force est en effet de considérer qu’une diminution de 25 % de la population larvaire à chaque éclusée n’est pas admissible au plan écologique.
- Malgré les connaissances actuelles, l’influence d’autres facteurs abiotiques – la pente du banc de gravier, sa composition granulométrique, la température de l’eau, les caractéristiques horizontales de la zone de marnage, l’heure de la journée et la durée de l’éclusée – sur le risque d’échouage reste parfois indéfinie. Les essais menés jusqu’ici avec des juvéniles ont montré que ce sont surtout l’heure de la journée et la morphologie (structure et déclivité transversale) qui peuvent avoir une grande influence. Nombre de paramètres et les effets de leur modification n’ont toutefois pas encore fait l’objet de tests.

3 Traitement des données et évaluation

Proportion de surfaces mises à sec

La proportion des surfaces mises à sec durant le débit plancher est mesurée, comme dans le module « Planification stratégique », sur la base de toute la surface du lit inondée durant l’éclusée (tab. C7).

Tab. C7

Fonction de valeur pour les surfaces mises à sec.

Évaluation	État	Critère : pourcentage des surfaces mises à sec (sur l’ensemble de la surface inondée)
	excellent	< 10 %
	bon	≥ 10 < 30 %
	moyen	≥ 30 < 40 %
	médiocre	≥ 40 < 50 %
	mauvais	≥ 50 %

Remarque : Le calcul des surfaces mises à sec n’a de sens, d’une part, que pour les secteurs susceptibles d’accueillir des larves et des juvéniles, d’autre part, pour les emplacements où un échouage peut survenir (cf. critère de la morphologie la plus sensible selon Baumann et al. 2012).

Taux de descente du niveau d’eau : valeurs seuils

La fonction de valeur à trois niveaux utilisée dans les travaux d’Auer et al. (2014) est étendue à cinq niveaux et distingue diverses classes d’âge (stades de développement) ou espèces de poissons (tab. C8 à C10).

Tab. C8

Fonctions de valeur des taux de descente du niveau d’eau pour les larves d’ombre et de truite fario durant la journée.

Évaluation	État	Critère : taux de descente du niveau d’eau (cm/min)
	excellent	< 0,2
	bon	≥ 0,2 < 0,3
	moyen	≥ 0,3 < 0,4
	médiocre	≥ 0,4 < 0,5
	mauvais	≥ 0,5

Tab. C9

Fonctions de valeur des taux de descente du niveau d’eau pour les juvéniles d’ombre durant la journée.

Évaluation	État	Critère : taux de descente du niveau d’eau (cm/min)
	excellent	< 1
	bon	1 < 1,2
	moyen	≥ 1,2 < 2
	médiocre	≥ 2 < 3
	mauvais	≥ 3

Tab. C10
Fonctions de valeur des taux de descente du niveau d’eau pour les juvéniles de truite fario durant la journée.

Évaluation	État	Critère : taux de descente du niveau d’eau (cm/min)
	excellent	< 1,5
	bon	≥ 1,5 < 3
	moyen	≥ 3 < 4,5
	médiocre	≥ 4,5 < 6
	mauvais	≥ 6

Remarque : Chez les larves et les juvéniles, de truite fario comme d’ombre, le risque d’échouage est nettement plus grand de nuit que de jour, car ces poissons privilégient d’autres habitats la nuit que le jour et qu’ils se déplacent dans le sens longitudinal. Lors de l’évaluation des éclusées de nuit, il est donc judicieux, pour les truites fario comme pour les ombres, d’adapter en conséquence (en les divisant par deux, p. ex.) les taux de descente du niveau d’eau indiqués dans les tableaux C8 à C10.

Évaluation globale de l’indicateur

Pour classer l’évaluation globale de cet indicateur dans un système comprenant cinq classes d’état, il convient d’utiliser les fonctions de valeur des surfaces mises à sec et celles des taux de descente du niveau d’eau (en fonction de la saison et, le cas échéant, du stade de développement des individus, ainsi qu’en adaptant la fonction au moment de la journée où intervient l’éclusée) et d’agrèger les classes obtenues selon le tableau C11.

Dans certains cas, la prise en compte des surfaces mises à sec et des taux de descente du niveau d’eau ne suffit pas pour expliquer le problème de l’échouage. Dans de telles situations, c’est le plus souvent l’emplacement de structures dans le cours d’eau, en relation avec la morphologie de celui-ci, qui sont déterminants. Il faut alors les prendre en compte lors de l’interprétation des résultats (cf. annexe E, « Mesures envisageables »).

Exemple

Lorsque la proportion des surfaces mises à sec sur l’ensemble de la surface inondée avoisine 20%, ce critère est considéré comme bon (classe d’état « vert », tab. C7). Lorsque le taux de descente du niveau d’eau se situe à 0,45 cm/min, ce critère est médiocre pour les larves de truite fario (classe d’état « orange », tab. C8) et excellent pour les juvéniles de truite fario (classe d’état « bleu », tab. C10). Après agrégation des classes d’état pour ces deux critères, on obtient la classe d’état « médiocre » (« orange ») pour l’indicateur P2* Échouage de larves de truite fario et la classe d’état « bon » (« vert ») pour P2* Échouage de juvéniles de truite fario.

Tab. C11
Agrégation des critères « surfaces mises à sec » et « taux de descente du niveau d’eau » pour obtenir l’évaluation globale de l’indicateur F2*.

		Critère : pourcentage des surfaces mises à sec (sur l’ensemble de la surface inondée)				
		excellent	bon	moyen	médiocre	mauvais
Critère : taux de descente du niveau d’eau	mauvais	moyen	médiocre	médiocre	mauvais	mauvais
	médiocre	bon	médiocre	médiocre	médiocre	mauvais
	moyen	bon	moyen	médiocre	médiocre	médiocre
	bon	bon	bon	bon	bon	moyen
	excellent	excellent	bon	bon	bon	bon

4 Bibliographie

Auer S., Fohler N., Zeiringer B., Führer S., Schmutz S. 2014. Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien. BOKU, Vienne: 109 p.

Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203: 127 p.

Schmutz S., Fohler N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel F., Höller N., Jungwirth M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten. BMFLUW, Vienne: 183 p.



Frayères

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Lors de la construction d’une nouvelle centrale hydro-électrique sur un tronçon de cours d’eau naturel ne subissant aucune influence, l’évaluation se base sur la superficie des frayères existantes (en m²). Dans le cas d’une centrale existante, elle considère la surface théorique des frayères disponibles pour un débit naturel (établi par modélisation) à la période de frai.
- Nouvelles fonctions de valeurs pour la perte (en termes de superficie) de frayères potentielles.
- Propositions de kits d’analyses complémentaires à appliquer sur le terrain.

1 Bases théoriques

Ces bases sont identiques à celles du module « Planification stratégique » (Baumann et al. 2012). Seules les frayères de la truite (fario et lacustre) et, lorsque c’est nécessaire ou possible, celles d’autres espèces indicatrices (ombre, barbeau) sont prises en considération.

2 Collecte des données et prévisions

Planification

Lorsque l’eau est claire, il est possible d’identifier à tout moment sur le terrain l’emplacement et la taille des frayères potentielles. Lorsque d’autres analyses sur place s’avèrent nécessaires ou sont à prévoir (cf. page suivante), il convient de consulter suffisamment tôt l’organe cantonal de surveillance de la pêche.

Marche à suivre

Il convient de modéliser les habitats pour vérifier si le cours d’eau présente, dans les frayères cartographiées ou les frayères potentielles, les vitesses d’écoulement

et les profondeurs requises et si celles-ci sont maintenues pendant toute la durée de développement du frai (concrètement, il s’agit p. ex. de tester la stabilité de la frayère durant le débit d’éclusée et le débit plancher jusqu’à l’émergence des alevins). Pour évaluer si un emplacement peut servir de frayère, il convient de se fonder sur les courbes de préférence propres au cours d’eau et aux espèces piscicoles indicatrices (cf. indicateur P6). Le cas échéant, des analyses complémentaires devront être réalisées dans les tronçons étudiés afin de contrôler les données obtenues.

3 Traitement des données et évaluation

Les frayères disponibles peuvent être représentées à l’aide d’un diagramme à l’image de celui qui figure ci-dessous (fig. C9). Cet exemple illustre de plus les habitats de juvéniles de truite fario.

L’état de référence correspond aux frayères disponibles (en m²) à la période du frai et pour un débit naturel. Dans un cours d’eau où le débit ne subit aucune influence (avant la construction d’une centrale hydroélectrique, p. ex.), ces frayères peuvent être observées sur le terrain et reportées sur une carte. Pour un cours d’eau soumis à une exploitation par éclusées, l’état de référence peut être modélisé : la surface utile est calculée à l’aide du débit naturel à la période du frai à partir de l’hydrogramme (connu ou reconstruit) du débit naturel.

L’écart entre la taille de la surface des frayères disponibles et celle des frayères existant lorsque le débit est naturel est évalué pour chaque espèce indicatrice à l’aide de la fonction de valeur ci-après (tab. C12).

Tab. C12

Fonction de valeur des pertes de frayères adéquates par rapport à l’état de référence.

Évaluation	État	Critère : perte de surface (en %)
	excellent	< 10
	bon	10 < 30
	moyen	30 < 50
	médiocre	50 < 70
	mauvais	≥ 70

4 Analyses complémentaires sur le terrain à l’aide de kits

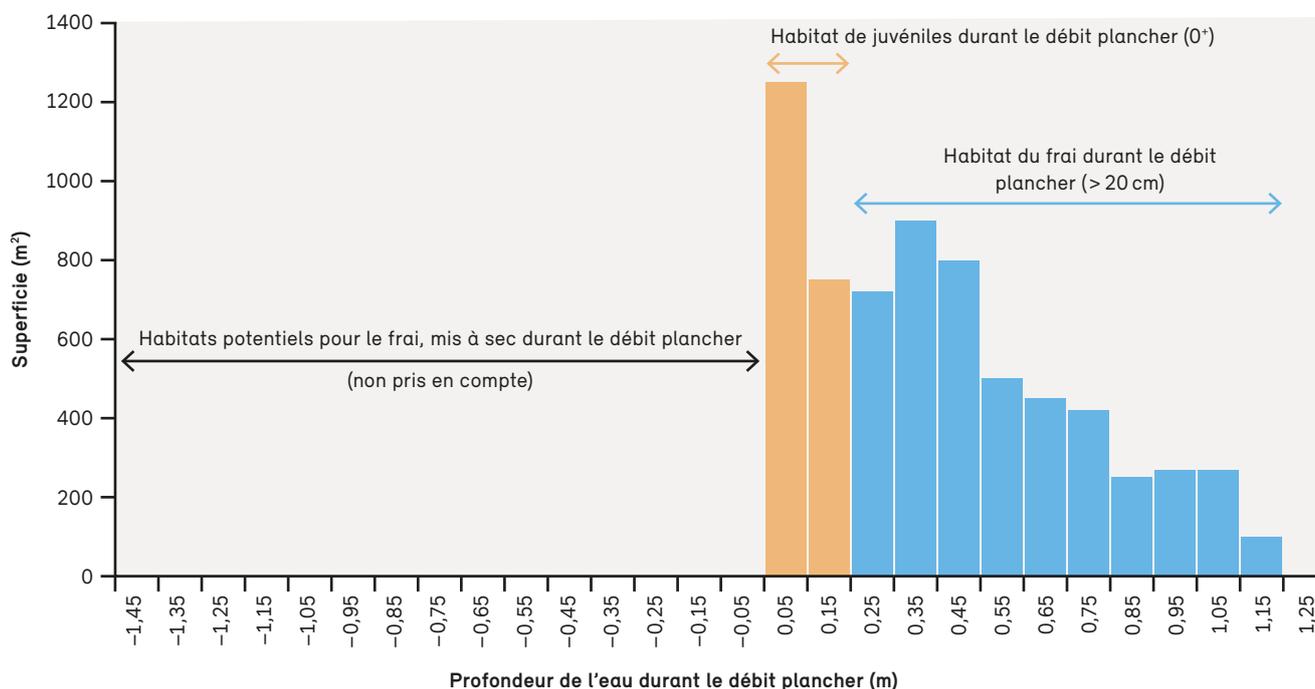
Cartographie des frayères

Il est utile de cartographier les frayères de truite fario et de truite lacustre (éventuellement aussi celles de l’ombre) durant le débit plancher, lorsque le débit résiduel est respecté et que l’eau est alors souvent claire. Les frayères peuvent être localisées avec précision à l’aide de deux points fixes sur la berge et d’un ruban métrique (ou en

Fig. C9

Surfaces mises à sec en fonction de la profondeur de l’eau durant le débit plancher.

Exemple : Sarine (document non publié).



calculant la distance à l’aide d’un GPS). Il est possible de vérifier le stade de développement du frai en déterrando des œufs au stade œillé (le frai atteint ce stade après env. 220 degrés-jours chez la truite fario et après 110 degrés-jours chez l’ombre). Une pêche appropriée permettra ensuite de déterminer le taux d’éclosion des œufs œillés et donc l’apparition de juvéniles (cf. indicateur P4*).

Il peut arriver que le tronçon de cours d’eau considéré ne comporte aucune frayère utilisée ou potentielle. L’absence de frayère peut être due à une morphologie inappropriée, si le cours d’eau est par exemple canalisé. Il ne faut pas oublier non plus que l’érosion des matières solides et leur transport durant l’éclusée et leur déposition durant le débit plancher peut modifier la granulométrie dans les frayères. Ce phénomène peut même éroder complètement une frayère. Dans de tels cas ou pour vérifier la modélisation établie, il peut être utile de procéder aux analyses ci-après sur le terrain.

Boîtes d’éclosion

Mettre en place des boîtes d’éclosion contenant du frai (truite et ombre) durant le débit plancher, puis vérifier si la qualité chimico-physique de l’eau, la température et la concentration des matières en suspension en particulier, est suffisante pour que les œufs se développent. Les œufs placés dans les boîtes proviennent de prélèvements réalisés au mieux dans le cours d’eau concerné ou sinon dans des cours d’eau voisins. La fécondation est assurée dans un établissement de pisciculture et avoisine le plus souvent 100 %. Les œufs incubés à la pisciculture servent de référence.

Il existe par ailleurs d’autres méthodes permettant d’évaluer le développement des œufs (cf. p. ex. Dumas et Marti 2006).

Couches de gravier coloré

Alterner des couches de gravier coloré, d’une épaisseur de 5 cm environ, et des couches de gravier non coloré dans les bancs de gravier ou les frayères identifiées. La profondeur jusqu’à laquelle il convient de disposer ces horizons artificiels dépend de la profondeur des frayères des poissons qui déposent leur frai dans le domaine interstitiel (salmonidés). Si des truites lacustres fraient dans la zone concernée, il faut alterner les couches colo-

rées et non colorées jusqu’à 50 cm de profondeur environ. Pour les truites fario, jusqu’à 20 cm de profondeur suffit. L’emplacement est ensuite soigneusement enregistré. Au bout d’un certain temps, après six mois par exemple ou après une crue, on déterre la frayère aménagée pour déterminer si les couches colorées sont toujours présentes. Cette méthode sert à vérifier la stabilité du lit durant le développement du frai.

Dans le cadre d’un projet du PNR 61 (Gestion durable de l’eau en Suisse ; Badoux et al. 2014), des chercheurs ont mis au point un outil d’analyse pour évaluer l’effet du changement climatique sur la reproduction et le mésohabitat de la truite fario. Des modélisations entreprises sur la Petite Emme et le Brenno ont illustré les perspectives de la reproduction de cette espèce piscicole. À l’avenir, les conditions régnantes seront moins favorables durant l’incubation des œufs et des alevins vésiculés et les crues hivernales qui vont croissant auront un impact négatif sur la reproduction naturelle. Les modèles élaborés révèlent que la qualité morphologique du cours d’eau s’améliore lorsque celui-ci dispose d’une largeur suffisante. Les élargissements et les revitalisations de cours d’eau gagnent ainsi en importance.

Interprétation des analyses complémentaires sur le terrain

En relation avec l’indicateur P1* (Module Poissons du SMG), il est possible de poser ceci :

- Le nombre des frayères répond-il aux attentes (calculées à partir du nombre de reproducteurs recensés) correspondant aux résultats de l’indicateur P1* tout en tenant compte des frayères disponibles ?
- Déterrer les frayères permet, parallèlement au contrôle des boîtes d’éclosion, de vérifier le développement du frai naturel ainsi que le taux de fécondation.
- Si le courant érode les frayères, les couches de gravier coloré mises en place indiquent jusqu’à quelle profondeur les matériaux solides ont été déplacés. Les éclusées ne doivent pas éroder les frayères. L’utilisation des couches de gravier coloré permet aussi de valider les modèles mathématiques.

5 Bibliographie

Badoux A., Peter A., Rickenmann D., Junker J., Heimann F., Zappa M., Turowski J.M. 2014. Geschiebetransport und Forellenhabitate in Gebirgsflüssen der Schweiz: mögliche Auswirkungen der Klimaänderung. *Wasser Energie Luft* 106: 200 – 209.

Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. *L’environnement pratique* n° 1203: 127 p.

Dumas J., Marty S. 2006. A new method to evaluate egg-to-fry survival in salmonids, trials with Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology* 68: 284 – 304.



Habitabilité pour les poissons

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Nouvel indicateur servant à modéliser l’habitabilité pour les espèces piscicoles indicatrices lors de différents débits d’éclusée et débits planchers.

1 Bases théoriques

Les exigences en matière d’habitat de nombreuses espèces indigènes sont aujourd’hui bien connues. Relevons que les poissons privilégient différents milieux en fonction de leur stade de développement et de la saison. Les paramètres pertinents pour les poissons – profondeur de l’eau, vitesse d’écoulement et granulométrie (dominante) du substrat – suffisent en général pour décrire ces préférences. Ces paramètres ne reflètent toutefois pas les « petites » structures morphologiques (microhabitats) et les abris, indispensables à la truite fario par exemple, si bien qu’ils ne sont pas inclus dans les modélisations des habitats. Il apparaît donc d’emblée que seul un spécialiste expérimenté est en mesure de déterminer l’existence actuelle et future de telles structures. Lors du relevé des données de base, il est recommandé de recenser les structures et les refuges fonctionnels (cf. annexe B).

2 Collecte des données et prévisions

Tandis que l’indicateur P3* permet de modéliser en particulier les frayères disponibles, le présent indicateur vise à prévoir l’habitabilité générale du secteur considéré pour les espèces piscicoles indicatrices. Les exigences en matière d’habitat de ces espèces sont définies pour le stade juvénile (0+) et le stade adulte (individus à maturité sexuelle), de sorte que l’on considère deux stades de développement par espèce piscicole. Dans l’idéal, ces conditions doivent être remplies aussi bien lors d’un débit plancher typique que lors d’un débit d’éclusée typique (cf. annexe E, « Définition d’hydrogrammes représentatifs »).

Évaluation à l’aide des courbes de préférence

Les exigences sont représentées à l’aide de courbes de préférence (cf. à ce sujet p.ex. Person 2013), qu’il convient dans la mesure du possible de vérifier par des analyses sur le cours d’eau à éclusées et, au besoin, de les adapter. Dans les cours d’eau des parties supérieure et inférieure de la zone à truite, ce sont les exigences en matière d’habitat de la truite fario qui servent de base. Dans la zone à ombre, ce sont celles de l’ombre et dans la zone à barbeau celles du barbeau.

Planification

Le relevé des données de base topographiques, morphologiques, hydrauliques et hydrologiques intervient conformément aux annexes B et F, tandis que la définition des secteurs à modéliser doit être coordonnée avec les sites d’analyse de l’indicateur P1* Module Poissons du SMG. L’annexe F décrit la planification de la modélisation, le choix du modèle et les paramètres requis. Il est possible de combiner la modélisation et les relevés avec ceux de l’indicateur B5. Il est essentiel d’assurer une coordination précoce et soignée entre les différents spécialistes compétents.

3 Traitement des données et évaluation

L’évaluation en matière d’éclusées se fonde sur l’état de référence pour ce qui des éclusées, c’est-à-dire le cours d’eau considéré avec sa diversité morphologique actuelle pour un débit naturel Q_{182} de la courbe des débits classés. Dans le cas d’un tronçon à éclusées, les hydrogrammes caractéristiques, le cas échéant de la situation qui prévalait avant l’exploitation par éclusées, sont connus ou peuvent être reconstruits par approximation.

On détermine la superficie totale des surfaces disponibles qui remplissent, à l’état de référence, les exigences en matière d’habitat (profondeur de l’eau, vitesse d’écoulement et granulométrie dominante, pour un indice de qualité de l’habitat (IQH) > 0,5 [cf. p.ex. Hauer et al. 2014]) de l’espèce piscicole considérée aux deux stades de développement définis. Cette superficie correspond toujours à 100 %.

Une modélisation permet de déterminer pour chaque stade de développement et chaque espèce indicatrice l’ampleur de la variation (exprimée en pourcentage, p. ex.) que cette superficie subit ou subira lors d’un débit d’éclusee et lors d’un débit plancher.

Toute modification calculée de la superficie (c’est-à-dire la différence par rapport à la superficie des habitats disponibles pour un débit naturel Q_{182} de la courbe des débits classés) est évaluée à l’aide de la fonction de valeur du tableau C13. On obtient ainsi des évaluations distinctes des surfaces appropriées correspondant aux conditions d’un débit plancher moyen et d’un débit d’éclusee moyen. Contrairement à ce que l’on observe pour le macrozoobenthos, ces surfaces peuvent se situer dans différents secteurs du lit du cours d’eau (cf. à ce sujet la fig. C10).

Tab. C13

Fonction de valeur pour le changement de la superficie de l’habitat disponible par rapport à l’état de référence Q_{182} de la courbe des débits classés.

Évaluation	État	Critère : perte de surface (%)
	excellent	< 10 ou gain de surface
	bon	10 < 20
	moyen	20 < 30
	médiocre	30 < 50
	mauvais	≥ 50

Évaluation globale

Pour chaque espèce indicatrice, on obtient deux évaluations : l’une apprécie les conditions lors d’un débit plancher moyen et l’autre les conditions pour un débit d’éclusee moyen.

L’habitabilité durant le débit plancher est en général meilleure pour les jeunes poissons, celle durant le débit d’éclusee correspond (tout au plus) mieux aux exigences des adultes jouissant de meilleures capacités natatoires. La classe d’état obtenue indique quels paramètres hydrologiques de l’hydrogramme (débit d’éclusee ou débit plancher) il importe d’améliorer en priorité.

Même dans des conditions naturelles (tant morphologiques qu’hydrologiques), certains secteurs d’un cours

d’eau conviennent mieux aux juvéniles et d’autres aux adultes. Une évaluation globale, c’est-à-dire une agrégation, ne peut donc pas être établie uniquement par des calculs et à l’aide d’un tableau. Pour chaque cours d’eau, l’évaluation définitive exige l’intervention d’un spécialiste, qui livrera une description complète et compréhensible. Cette démarche doit tendre à déterminer à laquelle des cinq classes d’état correspond l’évaluation globale.

La méthode décrite ci-dessus pour l’indicateur P6 permet d’évaluer aussi bien l’état actuel que l’état après réalisation des mesures. L’évaluation de ces deux états peut, par analogie, suivre la démarche de la figure C10.

4 Bibliographie

Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. *Earth Surface Processes and Landforms* 39 : 1622 – 1641.

Person E. 2013. Impact of hydropeaking on fish and their habitat. Thèse de doctorat. EPFL, Lausanne : 151 p.



Habitabilité pour le macrozoobenthos

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Nouvel indicateur servant à modéliser l’habitabilité pour les espèces macrozoobenthiques indicatrices lors de différents débits d’éclusée et débits planchers.

1 Bases théoriques

En règle générale, les exigences du macrozoobenthos (MZB) sont moins élevées que celles des poissons ou alors moins connues vu la grande variété de ces organismes et leur spécialisation dans l’utilisation de l’habitat. Ces dernières années, plusieurs groupes de chercheurs sont parvenus à mettre au point des modèles hydrauliques afin de prévoir l’habitabilité à l’aide de courbes de préférence (Dolédéc et al. 2007, Sagnes et al. 2008, Méricoux et al. 2009, Schneider et Noack 2009, Lamouroux et al. 2010 et 2013, Tanno 2012, Tanno et al. 2013).

Facteurs limitants

Les facteurs qui limitent la répartition des organismes benthiques dans les tronçons à éclusées sont le moment pendant lequel la zone de marnage est inondée et le stress hydraulique maximal. Durant le débit plancher, ces organismes ne colonisent que les types de surfaces où le stress hydraulique provoqué par l’éclusée ne dépasse pas un seuil maximal tolérable et où les conditions hydrauliques ne subissent pas un changement radical après l’éclusée (Schmutz et al. 2013). Dans les grandes vallées alpines où les glaciers occupent une surface significative, les fortes concentrations de matières en suspension peuvent également constituer un facteur limitant, dont il faut tenir compte pour évaluer l’indicateur B5.

2 Collecte des données et prévisions

Comme pour l’indicateur P6, il convient de recourir à des modèles afin de simuler des modifications des habitats disponibles pour les différents types de débits. Lors des relevés et de l’élaboration des modèles hydrauliques, il importe d’exploiter les synergies existantes.

Planification

Le relevé des données de base topographiques, morphologiques, hydrauliques et hydrologiques intervient conformément aux annexes B et F et doit être coordonné avec les sites d’analyse des indicateurs B2* Module Macrozoobenthos du SMG et P6 Habitabilité pour les poissons. Il est essentiel d’assurer une coordination précoce et efficace entre les différents spécialistes compétents.

Les taxons qui serviront pour les prévisions (groupes fonctionnels, genres, espèces) seront déterminés à partir de la liste d’espèces à établir afin d’évaluer l’indicateur B3 Zonation longitudinale du macrozoobenthos dans les tronçons à éclusées étudiés. Afin de limiter les coûts, les experts seront appelés à opérer un choix restreint, mais néanmoins représentatif. Quant à la fenêtre d’observation, elle est fixée selon la variabilité naturelle du débit.

Marche à suivre

La figure C10 illustre la marche à suivre pour évaluer l’indicateur B5.

Débits typiques pour la modélisation du macrozoobenthos

Les débits modélisés englobent toute la gamme du régime d’écoulement du cours d’eau étudié. Contrairement à l’indicateur P6, le calcul de l’état de référence ne se fonde pas sur le débit Q_{182} de la courbe des débits classés, mais sur les différents débits de référence naturels et saisonniers. Les périodes d’étéage ainsi que celles où la fonte des neiges et des glaciers accroît les débits méritent en général d’être examinées de près.

Taxons appropriés pour les prévisions

Le choix des taxons présentant les courbes de préférence appropriées doit être clairement motivé. Les taxons retenus devraient être représentatifs de l’état de référence reconstruit (espèce typique de la région étudiée) et des extrêmes hydrauliques (stagnophiles ou rhéophiles), ainsi que de la composition du substrat (ezb et al. 2012a, Tanno 2012, Tanno et al. 2013).

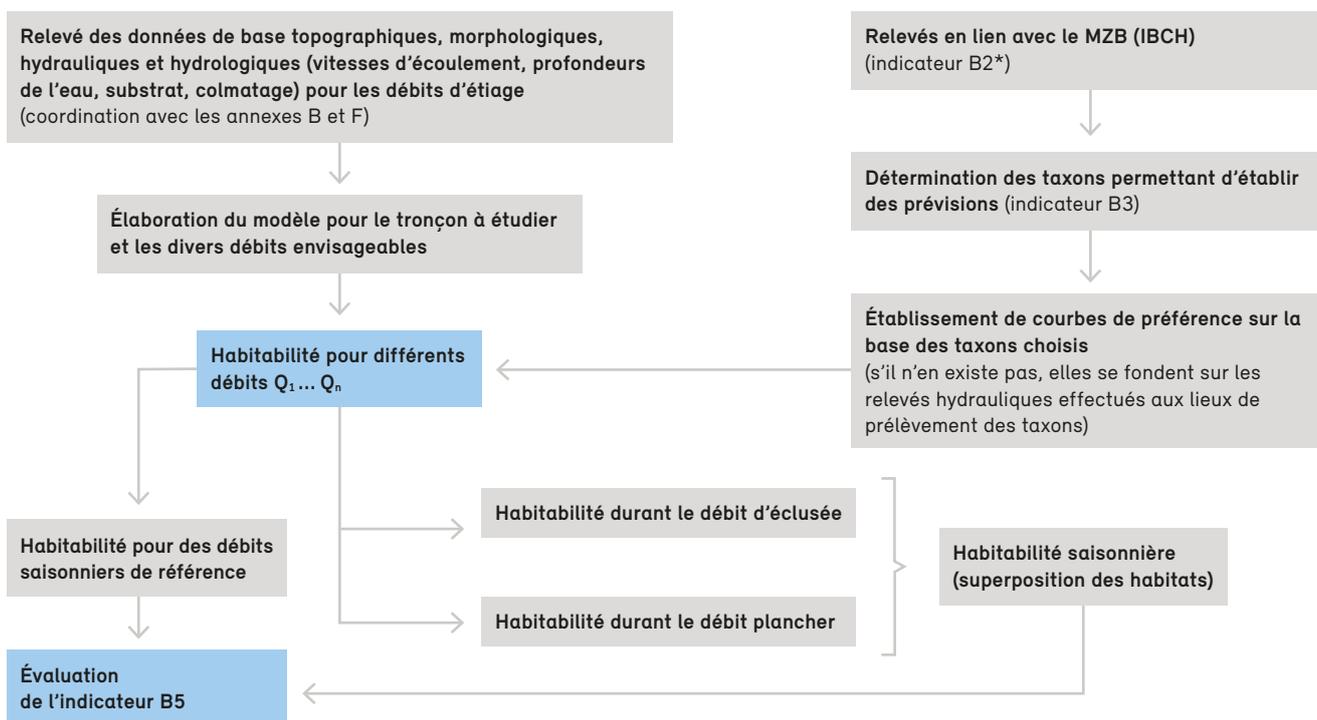
Évaluation à l’aide de courbes de préférence

Les paramètres, tant biologiques (taille du corps, répartition des espèces, départ des insectes devenus adultes, p. ex.) que physiques (température de l’eau, turbidité, débit de base, etc.), changent avec les saisons. Il convient donc d’utiliser des courbes de préférence saisonnières propres au cours d’eau considéré. Les relevés peuvent en partie être réalisés avec ceux de l’indicateur P6.

Afin de limiter le coût des analyses et de relativiser les résultats ou les écarts lors de l’utilisation de différentes courbes de préférence, il ne faut recourir à des modélisations que pour évaluer des habitats dont l’indice de qualité (IQH) est supérieur à 0,5 (cf. p. ex. Hauer et al. 2014). Comme il n’existe le plus souvent aucun tronçon de référence approprié (ne subissant aucune influence) dans les environs de tronçons à éclusées, il convient d’interpréter de manière adéquate les courbes de préférence établies pour un tronçon à éclusées dont la morphologie est proche de l’état naturel ou pour un tronçon à débit résiduel.

Fig. C10

Marche à suivre pour évaluer l’indicateur B5.



Calcul de la superficie d’habitats appropriés

ezb et al. (2012a et 2012b) décrivent les bases biotiques et la méthode permettant de modéliser les habitats. Les superficies appropriées obtenues par calcul fournissent des informations sur i) l’état actuel, ii) l’état de référence et iii) le degré d’habitabilité pour différents débits modélisés. Le cas échéant, les calculs doivent être effectués pour différentes morphologies (secteurs du cours d’eau).

3 Traitement des données et évaluation

Calcul et évaluation des pertes d’habitats

Contrairement à ce qui prévaut pour l’indicateur P6, les surfaces d’habitats appropriés perdues pour chaque taxon sont calculées par saison. Cela vaut pour le choix du débit naturel de référence et des débits d’éclusée et plancher typiques de la même période.

Un premier calcul détermine les superficies d’habitats appropriés ($IQH > 0,5$) pour chaque débit saisonnier de référence (= surface 1, correspond à 100 %).

Un deuxième calcul sert à identifier les habitats qui présentent un indice de qualité (IQH) supérieur à 0,5, tant en cas de débit d’éclusée que durant le débit plancher, au cours de la période considérée (cf. superposition des habitats, fig. C10). Vu la faible mobilité du macrozoobenthos, seules ces surfaces lui offrent un habitat approprié (= surface 2).

Selon le tableau C14, la perte saisonnière de surfaces (exprimée en pour cent) se calcule comme suit : $1 - (\text{surface 2} / \text{surface 1}) [\%]$. Quant à l’évaluation de la perte de surfaces par taxon étudié, elle est établie par comparaison de la fonction de valeur du tableau C14 avec l’état de référence.

Tab. C14

Perte d’habitats appropriés par rapport à l’état de référence.

Évaluation	État	Critère : perte d’habitats (exprimée en superficie) offrant une habitabilité bonne à très bonne (indice de qualité de l’habitat supérieur à 0,5 après recouplement de l’habitabilité durant le débit d’éclusée et le débit plancher) par rapport à l’état de référence
	excellent	< 20 % ou gain de surface
	bon	20 < 40 %
	moyen	40 < 60 %
	médiocre	60 – 80 %
	mauvais	> 80 %

Exemple d’évaluation globale de différents taxons et débits

Nous présentons ci-après un exemple d’évaluation de l’indicateur B5 dans le cadre de l’analyse des déficits ou des prévisions. Comme pour l’indicateur P6, la qualité de l’habitat est évaluée pour chaque taxon sur la base de la perte de surfaces pour différents scénarios de débits. Se fondant sur les diverses évaluations effectuées selon le tableau C14, le spécialiste procède à une évaluation globale conformément au tableau C15. Il n’y a pas lieu d’agrèger les valeurs de la qualité de l’habitat obtenues par calcul.

L’évaluation de plusieurs états de référence peut montrer si l’influence des éclusées sur le macrozoobenthos varie selon la saison. Le spécialiste doit motiver clairement son évaluation globale. Il convient en particulier d’interpréter avec prudence les prévisions concernant les habitats, qui se fondent sur des niveaux taxonomiques supérieurs (genre ou famille).

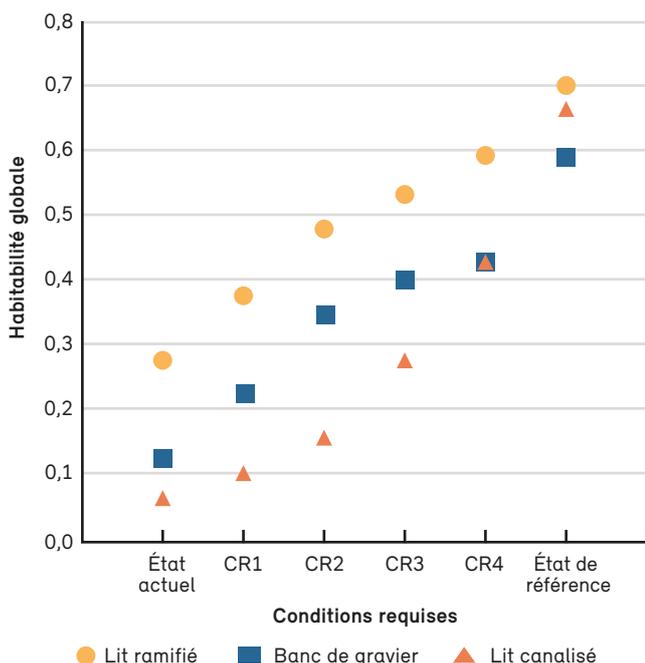
Tab. C15
Exemple d’évaluation globale pour des taxons et des débits saisonniers

Débit hivernal : analyse des déficits (état actuel) ou prévisions (après assainissement)	Taxon 1	Taxon 2	Taxon n	Évaluation globale (Taxons 1 à n)
Critère : perte de surface				

Débit estival : analyse des déficits (état actuel) ou prévisions (après assainissement)	Taxon 1	Taxon 2	Taxon n	Évaluation globale (Taxons 1 à n)
Critère : perte de surface				

Les différents débits (plancher et d’éclusée) étudiés ou leurs successions en rapport avec différentes morphologies peuvent être représentés en tant qu’habitabilité globale (fig. C11) ou comme pourcentage de surfaces aisément colonisables par comparaison avec l’état actuel et l’état de référence (pour d’autres options, cf. ezb et al. 2012c).

Fig. C11
Exemple de représentation de l’habitabilité globale sur la base de diverses conditions requises (CR, selon ezb et al. 2012c).



L’habitabilité globale se calcule en multipliant les paramètres écologiques abiotiques prévisibles (profondeur de l’eau, vitesse d’écoulement moyenne et substrat dominant), puis en convertissant le résultat pour parvenir à un indice de qualité de l’habitat (IQH), dont la valeur se situe entre 0 (habitabilité nulle) et 1 (habitabilité maximale). Schmutz et al. (2013) contient une représentation de l’IQH pour *Allogamus auricollis* (une espèce de trichoptère).

4 Bibliographie

Dolédéc S., Lamouroux N., Fuchs U., Méricoux S. 2007. Modelling the hydraulic preferences of benthic macroinvertebrates in small European streams. *Freshwater Biology* 52 : 145–164.

ezb, limnex, sje. 2012a. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile Arbeitspaket 5 : Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Grösse des Schwallenflusses am Alpenrhein. IRKA : 185 p.

ezb, sje, limnex 2012b. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Habitatmodellierung, Biotische Grundlagen. IRKA : 54 p.

ezb, limnex, sje. 2012c. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 2 : Adaptierung der Präferenzkurven, Definition von Eingangsparametern für die Habitatmodellierung. IRKA : 123 p.

Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. *Earth Surface Processes and Landforms* 39 : 1622–1641.

Lamouroux N., Souchon Y., Herouin E. 1995. Predicting velocity frequency distributions in stream reaches. *Water Resources Research* 31 : 2367–2375.

-
- Lamouroux N. 1998. Depth Probability Distributions in Stream Reaches. *Journal of Hydraulic Engineering*: 224 – 226.
- Lamouroux N., Méricoux S., Capra H., Dolédec S., Jowett I.G., Statzner B. 2010. The generality of abundance-environment relationships in microhabitats: A comment on Lancaster and Downes (2009). *River Research and Applications* 26: 915 – 920.
- Lamouroux N., Méricoux S., Dolédec S., Snelder H. 2013. Transferability of hydraulic preference models for aquatic macroinvertebrates. *River Research and Applications* 29: 933 – 937.
- Méricoux S., Lamouroux N., Olivier J.M., Dolédec S. 2009. Invertebrate hydraulic preferences and predicted impacts of changes in discharge in a large river. *Freshwater Biology* 54: 1343 – 1356.
- Sagnes P., Méricoux S., Péru N. 2008. Hydraulic habitat use with respect to body size of aquatic insect larvae: Case of six species from a French Mediterranean type stream. *Limnologica* 38: 23 – 33.
- Schmutz S., Fohler N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel F., Höller N., Jungwirth M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern - Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten, BMFLUW, Vienne: 175 p.
- Schneider M., Noack M. 2009. Untersuchung der Gefährdung von Jungfischen durch Sunkereignisse mit Hilfe eines Habitatsimulationsmodells. *Wasser Energie Luft* 101: 115 – 120.
- Tanno D. 2012. Physical habitat modeling for the assessment of macroinvertebrate response to hydropeaking. Master Thesis, University of Zurich and Eawag: 66 p.
- Tanno D., Schweizer S., Robinson C.T. 2013. Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Makroinvertebraten anhand von physikalischen Habitatmodellen. *Wasser Energie Luft* 105: 288 – 295.



Température de l’eau

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Prévisions: les taux de variation de la température et les amplitudes journalières de variation sont déterminés pour différentes conditions de brassage.
- Indications concernant la détermination des emplacements de mesure et modèle Excel pour les appréciations dans le cadre du module SMG.
- Le cas échéant, prise en compte d’un cycle annuel au lieu de cinq.

1 Bases théoriques

Indicateur Température de l’eau selon le module « Planification stratégique »

Dans le tronçon à éclusées, la température de l’eau dépend avant tout de la température et de la quantité d’eau turbinée. Le taux de variation de la température $TT_{\text{éclusée/plancher}}$ (quantile 90 %) est la grandeur décisive, tandis que l’amplitude journalière de la température $AT_{\text{éclusée/plancher}}$ (quantile 90 %) ne joue qu’un rôle secondaire. Compte tenu des amplitudes journalières typiques du cours d’eau en fonction de la zone biocénotique, cette amplitude sera néanmoins prise en compte sous forme de facteur de correction. La même règle s’applique au nombre de pics de température exprimé sous forme de moyenne ($PM_{\text{éclusée/plancher}}$) et au quantile 95 % de ces pics ($P95_{\text{éclusée/plancher}}$). Le présent module n’apporte que quelques précisions minimales à la description de cet indicateur telle qu’elle figure dans le module « Planification stratégique » (Bauermann et al. 2012).

Modification inadmissible de la température de l’eau

Le prélèvement et le déversement d’eau ainsi que les ouvrages ne doivent pas modifier l’hydrodynamique, la morphologie ni la température de l’eau dans une mesure telle que sa capacité d’auto-épuration soit réduite ou que

la qualité de l’eau soit insuffisante pour permettre le développement de biocénoses spécifiques au cours d’eau (annexe 2, ch. 12, al. 3, OEaux). Ces exigences s’appliquent en particulier à l’apport ou au prélèvement de chaleur après un mélange homogène (annexe 2, ch. 12, al. 4, OEaux).

Conséquences pour les organismes aquatiques

Les conséquences des éclusées sur le macrozoobenthos sont décrites dans plusieurs travaux (p.ex. Zolezzi et al. 2011, Carolli et al. 2012, Bruno et al. 2013). Il y a tout d’abord la vague de l’éclusée, qui peut par exemple provoquer une dérive de catastrophe. Vient ensuite la modification soudaine de la température, qui peut conduire à une dérive comportementale (Siviglia et Toro 2009, Toffolon et al. 2010). La température influe sur le risque d’échouage de poissons. Les températures étant plus basses en hiver, ce risque est plus élevé à cette saison (Saltveit et al. 2001, Halleraker et al. 2003).

2 Collecte des données

Préparation

Pour évaluer cet indicateur, il importe de connaître précisément les températures dans le tronçon à éclusées, de même que dans les tronçons situés en amont et en aval de la restitution d’eau.

L’analyse des déficits et l’évaluation des effets peuvent se fonder sur un relevé effectué dans le secteur en aval de la restitution. Pour établir des prévisions, il faut disposer d’hydrogrammes ou du moins connaître le débit plancher et les températures correspondantes en amont de la restitution et du tronçon à éclusées. En cas de doute et vu le faible coût des appareils de mesure de la température, il est recommandé de procéder à des relevés en aval et en amont du tronçon à éclusées également pour l’analyse des déficits et l’évaluation des effets.

Les modifications de la température générées par les éclusées variant beaucoup au cours de l’année, il est recommandé de considérer au moins un cycle annuel, l’idéal étant de baser les travaux sur une série de me-

sures portant sur cinq ans. La résolution temporelle des mesures devrait se situer entre 10 et 15 minutes (30 min au maximum) et la précision au dixième de degré.

Marche à suivre

Le relevé est réalisé à l’aide de sondes thermiques selon le module « Planification stratégique ».

Lors de la mise en place des sondes, il importe de veiller à ce qu’elles mesurent toujours la température de l’eau, c’est-à-dire qu’elles restent immergées même lorsque le débit est faible et qu’elles se trouvent dans un endroit ombragé.

Pour le relevé en amont du point de restitution, la sonde doit être placée hors de la zone d’influence de la courbe de remous de cette restitution. Lors de l’interprétation des résultats, il sera ainsi possible d’exclure tout mélange des eaux du tronçon amont avec les flux de l’éclusée.

S’ils ne sont pas encore connus, le débit d’éclusée et la température peuvent être mesurés à la centrale.

Mélange débit d’éclusée et débit de base

En aval de la centrale, la température doit être mesurée à un emplacement où l’eau du tronçon situé en amont de la centrale et le débit d’éclusée forment un mélange homogène. Faute de quoi, la sonde risque d’enregistrer des variations de température dues aux éclusées qui sont très localisées et non représentatives des conditions régnant dans le tronçon en aval de la centrale.

La distance d’écoulement (X) jusqu’à l’obtention d’un mélange homogène dépend de la largeur du cours d’eau (W), de la profondeur de l’eau (h), de la vitesse d’écoulement (v) et de la vitesse à laquelle s’exerce la contrainte d’entraînement (u^*). En première approximation, X peut être défini comme suit : $X \approx 0,4vW^2/\varepsilon_v$, ε_v étant égal à $0,6hu^*$. Les conditions hydrauliques durant l’éclusée sont déterminantes. Il est recommandé de placer la sonde à une distance au moins égale au double de X .

Une autre solution pour calculer la distance d’écoulement jusqu’à mélange complet des débits consiste à mesurer la température de l’eau pendant un jour ou deux sur les deux berges du cours d’eau à une distance au moins égale à

dix fois sa largeur, puis à comparer les données recueillies. Si elles coïncident, le mélange est homogène. Si ce n’est pas le cas, il faut mesurer la température plus en aval. D’autres solutions encore comprennent la coloration artificielle des eaux ou la prise en compte de la turbidité du flot de l’éclusée.

3 Traitement des données et évaluation

Le traitement, l’évaluation et l’interprétation des données suivent le module « Planification stratégique » tout en recourant aux modèles Excel élaborés pour l’évaluation dans le module Température du SMG (www.modulstufen-konzept.ch/fg/module/temp/index_FR). Aucune exigence particulière n’est définie pour la représentation des résultats et les fonctions de valeur sont reprises telles quelles du module « Planification stratégique » (tab. C16).

Les autres paramètres, à savoir l’amplitude journalière de la température $AT_{\text{éclusée/plancher}}$ (quantile 90 %), le nombre de pics de température exprimé sous forme de moyenne ($PM_{\text{éclusée/plancher}}$) et le quantile 95 % de ces pics ($P95_{\text{éclusée/plancher}}$) sont estimés par un spécialiste.

Tab. C16

Fonction de valeur pour la température de l’eau.

Évaluation	État	Critère : taux de variation de la température $TT_{\text{éclusée/plancher}}$ (°C/h)
	excellent	< 1,25
	bon	1,25 < 2,5
	moyen	2,5 < 3,75
	médiocre	3,75 ≤ 5
	mauvais	> 5

Facteurs de correction

Dégradation d’une classe: $AT_{\text{éclusée/plancher}} > AT_{\text{réf}}$ et $PM = 3-5$ et $P95 = 6-9$ ou $AT_{\text{éclusée/plancher}} > 1,5 \times AT_{\text{réf}}$ ou $PM > 5$ et $P95 > 9$

Dégradation de deux classes: $AT_{\text{éclusée/plancher}} > 1,5 \times AT_{\text{réf}}$ et $PM > 5$ et $P95 > 9$

4 Prévisions

Les prévisions de l’indicateur sont établies selon l’approche de Schweizer et al. (2009), de manière pragmatique et en tenant compte des conditions de brassage, sur la base des débits et des températures dans le tronçon en amont (*d. entrant*) et des débits et des températures du débit d’écluse à partir de la centrale hydroélectrique (*ch*) ou du débit atténué après assainissement (aménagement d’un bassin de rétention, p. ex.).

Séries de mesures des débits et des températures

S’il existe des séries de mesures pour le débit $Q(t)$ et la température de l’eau $T(t)$, la température prévisible de l’eau en aval de la restitution de l’écluse se calcule à l’aide de la formule suivante :

$$T(t)_{\text{totale}} \equiv (T(t)_{d.\text{entrant}} \times Q(t)_{d.\text{entrant}} + T(t)_{ch} \times Q(t)_{ch}) / (Q(t)_{d.\text{entrant}} + Q(t)_{ch})$$

Les données du débit entrant (*d. entrant*) sont des températures et des débits que l’on rencontre typiquement durant l’année. Elles ont par exemple déjà été relevées lors de l’analyse des déficits ou pour l’élaboration de la mesure d’assainissement. Les données de la centrale hydroélectrique (*ch*) correspondent aux cycles de turbinage prévisibles.

Lorsqu’une mesure d’assainissement est mise en œuvre entre l’écluse déversée par la centrale et sa restitution dans le cours d’eau (bassin de rétention, p. ex.), il convient de remplacer le débit $Q(t)_{ch}$ par le débit atténué $Q(t)_{\text{bassin}}$. La température dans le bassin de rétention ne variant que de manière minime, on néglige cette variation dans le calcul et l’on suppose que la température de l’eau dans le bassin équivaut à $T(t)_{ch}$. La série de valeurs ainsi prévues pour la température $T(t)_{\text{totale}}$ est évaluée de manière analogue au module « Planification stratégique ».

Approximations de débits et de températures

En l’absence de séries de données, il est possible d’estimer le taux de variation de la température $TT_{\text{écluse/plancher}}$ en °C/h à titre de critère prépondérant. Le calcul est établi pour des valeurs de débit et de températures saisonnières typiques et se fonde sur le débit plancher Q_{plancher}

associé à la température T_{plancher} et le débit équipé ΔQ_{ch} associé à la température T_{ch} selon la formule ci-après :

$$TT_{\text{écluse/plancher}} \equiv \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{(T_{\text{plancher}} \times Q_{\text{plancher}} + T_{ch} \times \Delta Q_{ch}) / (Q_{\text{plancher}} + \Delta Q_{ch}) - T_{\text{plancher}}}{\Delta t}$$

Pour faciliter la comparaison avec l’approche utilisant des séries de données, nous proposons de fixer l’intervalle de temps ΔT à 15 minutes.

Si une mesure d’assainissement est en place (bassin de rétention, p. ex.), il convient de remplacer ΔQ_{ch} par le débit atténué ΔQ_{bassin} et d’utiliser la durée effective de la variation du débit (≥ 15 min) pour ΔT .

Calcul utilisant les approximations – exemple simple

Lorsque l’exploitation de la centrale superpose un débit d’écluse de $DQ_{ch} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$ à 4°C à un débit plancher de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ à 8°C et que la modification du débit intervient en 15 minutes, $TT_{\text{écluse/plancher}} = -11,4^\circ\text{C/h}$ (état : mauvais).

En cas d’atténuation de la restitution, si $\Delta Q_{ch} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ et que la modification du débit intervient en 75 minutes, $TT_{\text{écluse/plancher}} = -2,0^\circ\text{C/h}$ (état : bon).

5 Bibliographie

- Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203 : 127 p.
- Bruno M.C., Siviglia A., Carolli M., Maiolini B. 2013. Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves. *Ecohydrology* 6 : 511–522.
- Carolli M., Bruno M.C., Siviglia A., Maiolini B. 2012. Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. *River Research and Applications* 28 : 678–691.
- Halleraker J.H., Saltveit S.J., Harby A., Arnekleiv J.V., Fjeldstad H. P., Kohler B. 2003. Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications* 19 : 589 – 603.
- Saltveit S.J., Halleracker J.H., Arnekleiv J.V., Harby A. 2001. Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydropeaking. *Regulated Rivers : Research & Management* 17 : 609 – 622.
- Schweizer S., Neuner J., Heuberger N. 2009. Bewertung von Schwall-Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzepts. *Wasser Energie Luft* 101 : 194–202.
- Siviglia A., Toro E. 2009. The WAF method and splitting procedure for simulating hydro and thermal peaking waves in open channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering* 135 : 651 – 662.
- Toffolon M., Siviglia A., Zolezzi G. 2010. Thermal wave dynamics in rivers affected by hydropeaking. *Water Resources Research* 46 : 1 – 18.
- Zolezzi G., Siviglia A., Toffolon M., Maiolini B. 2011. Thermopeaking in Alpine streams : event characterization and time scales. *Ecohydrology* 4 : 564 – 576.



Présence de juvéniles

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Outre la truite fario, l’ombre est également recensé.
- Pas de fonction de valeur, mais conclusion établie par un spécialiste (possédant une solide expérience du domaine).

1 Bases théoriques

Ces bases sont identiques à celles du module « Planification stratégique » (Baumann et al. 2012).

2 Collecte des données

Planification

Il importe de prendre en compte la saison (stade de développement des œufs, date d’éclosion probable). Les analyses sur le terrain doivent si possible être menées avant un éventuel alevinage.

Marche à suivre

L’observation directe et la pêche électrique permettent de quantifier, par approximation au moins, la présence de juvéniles de truite lacustre, de truite fario et d’ombre.

Après l’éclosion et l’émergence du gravier (habituellement en mai), les juvéniles d’ombre séjournent (jusqu’à l’âge de 4 semaines env.) dans les anses calmes ou à l’abri du courant en aval d’enrochements. Il est possible de les observer et de les compter à l’œil nu.

Les juvéniles de truite lacustre et de truite fario ainsi que les juvéniles d’ombre, un peu plus âgés, sont pêchés et quantifiés à l’aide d’appareils électriques (Peter et Erb 1996).

Les alevins de truite fario et d’ombre sont présents et peuvent être identifiés au printemps. Pour les autres espèces, les individus aux premiers stades de développement et les poissons 0+ ne peuvent pas être identifiés avec certitude avant l’automne et avant qu’ils atteignent 5 cm, au stade 1+. Les observations de juvéniles d’espèces non identifiables sont également consignées.

3 Traitement des données et évaluation

En relation avec l’indicateur P1* Module Poissons du SMG, il est possible de se demander si les nombres de juvéniles correspondent aux nombres escomptés (ceux-ci étant calculés à partir du nombre d’individus adultes recensés) ?

Cette observation correspond à un relevé ponctuel, qui peut être faussé par différents événements extérieurs (empoissonnement, crues récentes ou sécheresse extrême, conditions inappropriées pour la pêche expérimentale, pollution des eaux, etc.).

Il convient par ailleurs de prendre en compte les conditions morphologiques du cours d’eau, telle la capacité des tronçons étudiés à servir d’habitat aux juvéniles.

Les nombreuses variables rendent en fin de compte l’interprétation difficile et celle-ci ne débouche souvent que sur un ordre de grandeur. Les résultats des observations et des pêches électriques ne sont donc pas évalués à l’aide d’une fonction de valeur pour les juvéniles recensés, mais un spécialiste conclut si l’exploitation par éclusées a exercé une influence nulle (état : bon), moyenne (état : moyen) ou forte (état : mauvais) sur ces relevés ponctuels.

4 Analyses complémentaires

Les analyses complémentaires ci-après sont à même de faciliter l’interprétation de la présence de juvéniles :

- Lorsque le frai naturel n’obtient que de mauvais résultats, les tests utilisant les boîtes d’éclosion (cf. indicateur P3*) peuvent fournir des informations sur la qualité de l’eau (notamment pour ce qui est de la température et de la turbidité).
- Lorsque la reproduction naturelle est entravée par une forte concentration de matières en suspension, les boîtes d’éclosion permettent d’observer concrètement le phénomène (dépôt de sédiments fins dans les boîtes) et de le corroborer.
- Lorsque la présence de juvéniles dans les boîtes d’éclosion est bonne, mais que le frai naturel ne fournit pas de résultats probants, la cause peut résider dans l’érosion des frayères (vérification à l’aide de l’indicateur P3*) ou dans un échouage excessif (cf. indicateur P2*) ou une dérive excessive de juvéniles (cf. indicateur F1), voire dans l’absence d’habitats appropriés.
- Lorsque ni le frai naturel ni les boîtes d’éclosion ne donnent de résultats probants, c’est la température de l’eau qui peut être en cause (à vérifier à l’aide de l’indicateur Q1*).
- Un frai naturel donnant de bons résultats signifie en général que les exigences en matière de qualité chimico-physique de l’eau sont remplies et que les conditions morphologiques des frayères décrites ci-dessus sont réunies durant le débit plancher. Un frai naturel entravé peut indiquer une atteinte due aux éclusées.

5 Bibliographie

Baumann P., Kirchofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203 : 127 p.

Peter A., Erb M. 1996. Leitfaden für fischbiologische Erhebungen in Fließgewässern unter Einsatz der Elektrofischerei. OFEFP, Berne. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 58 : 19 p.

Biomasse et diversité du macrozoobenthos

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Outre la biomasse, l’évaluation porte désormais aussi sur la biodiversité.
- Seuls des taxons EPT sont désormais pris en compte.
- L’évaluation de la biomasse à l’aide d’une valeur cible définie par calcul n’a pas fait ses preuves dans la pratique. L’évaluation porte désormais sur la perte de biomasse et de diversité due à l’échouage dans la zone de marnage (les indicateurs B3 et F1* constituent une aide utile à cet effet).

1 Bases théoriques

L’évaluation de la biomasse utilise les données provenant des échantillons semi-quantitatifs de l’indicateur B2* Module Macrozoobenthos du SMG.

Quant à l’évaluation de la biodiversité, elle se fonde sur les listes de taxons, établies au niveau de l’espèce, de l’indicateur B3 Zonation longitudinale du macrozoobenthos. La détermination directe de la masse des taxons EPT réduit le temps nécessaire pour la collecte des données et augmente la signifiante des résultats (prise en compte de taxons sensibles à l’échouage ou à la dérive, abandon des gammarides).

2 Collecte des données

Marche à suivre

La marche à suivre pour évaluer la biomasse et la diversité dépend de la présence d’un tronçon de référence ainsi que de la morphologie du secteur étudié. S’il existe un

tronçon de référence, la diversité et la biomasse du secteur étudié peuvent être comparées avec ce tronçon. En l’absence de tronçon de référence, les valeurs servant à la comparaison doivent être définies sur la base des données obtenues lors de l’évaluation de l’indicateur B2*, car il n’existe que très rarement des informations sur des relevés antérieurs. Si de telles données sont malgré tout disponibles, elles ne sont en général pas comparables, soit en raison de la méthode appliquée soit parce que d’autres atteintes, telle une mauvaise qualité chimico-physique de l’eau ou des déficits morphologiques, influaient déjà sur la biomasse et la diversité du macrozoobenthos. On se trouve donc en principe face aux scénarios décrits ci-après avec leurs possibilités d’interprétation.

Scénario 1 : existence d’un tronçon de référence et secteur à étudier canalisé (pas de zone de marnage)

Les échantillons prélevés pour l’indicateur B2* servent à déterminer la biomasse des taxons EPT (g/m²) et la liste de taxons établie pour l’indicateur B3 permet de connaître la diversité EPT au niveau de l’espèce. Une fois obtenus pour le tronçon de référence et le secteur à étudier, les résultats sont évalués à l’aide de la fonction de valeur indiquée à la page suivante (tab. C17).

Scénario 2 : existence d’un tronçon de référence et présence d’une zone de marnage dans le secteur à étudier

Afin de pouvoir comparer la biomasse EPT du tronçon de référence avec la biomasse EPT du tronçon à étudier, qui comprend une zone de marnage, il faut tout d’abord déterminer la biomasse (g/m²) de ce dernier. Lors de cette opération, la biomasse mesurée dans la zone de marnage tend à sous-estimer la biomasse réellement présente dans le secteur étudié, tandis que la biomasse recensée dans la zone inondée en permanence tend à la surestimer. Afin d’obtenir des valeurs de biomasse comparables dans le tronçon à éclusées et dans le tronçon de référence, on détermine la zone inondée par débit $Q_{347naturel}$ et celle inondée en cas de débit plancher, cette dernière pouvant être identifiée à l’aide de modèles hydrauliques.

Grâce à ces surfaces, il est possible d’établir le rapport entre biomasse de la zone de marnage ou biomasse de la zone inondée en permanence, d’une part, et la biomasse totale dans le tronçon à éclusées étudié, d’autre part. La biomasse EPT totale établie par calcul est comparée avec la biomasse EPT totale recensée dans le tronçon de référence, puis évaluée conformément à la fonction de valeur ci-dessous. Pour évaluer la diversité, on réunit les échantillons de la zone de marnage et de la zone inondée afin de recenser le nombre de taxons EPT (au niveau de l’espèce). La diversité observée est comparée avec la diversité du tronçon de référence et évaluée selon la fonction de valeur ci-dessous (tab. C17).

Scénario 3 : absence de tronçon de référence et présence d’une zone de marnage dans le secteur à étudier

La biomasse est déterminée selon la marche à suivre décrite dans le scénario 2. À titre de comparaison, on utilise la biomasse EPT recensée dans la zone de débit plancher, que l’on compare à la biomasse EPT par $Q_{347naturel}$ avant de l’évaluer à l’aide de la fonction de valeur ci-dessous (tab. C17). Afin de pouvoir évaluer la diversité, il faut déterminer la diversité totale des taxons EPT dans le tronçon à étudier. À cet effet, on réunit les listes de taxons de la zone de marnage et de la zone de débit plancher, afin de recenser le nombre d’espèces présentes.

Scénario 4 : absence de tronçon de référence et secteur à étudier canalisé (pas de zone de marnage)

En l’absence de tronçon de référence et de zone de marnage, l’indicateur B1* ne peut pas être évalué. À sa place, il est possible d’évaluer l’indicateur F1*.

3 Traitement des données et évaluation

À l’aide d’échantillons prélevés dans la zone de débit plancher (IBCH-1) et dans la zone de marnage (IBCH-2) ainsi que des observations supplémentaires faites durant les relevés sur le terrain (cf. indicateur B2*), il est possible d’estimer avec une bonne fiabilité la biomasse effective et de la comparer aux valeurs cibles.

Détermination des pertes de biomasse

Les pertes de biomasse sont calculées sur la base des échantillons IBCH-1 et IBCH-2 et des observations faites sur place. Des explications à cet effet figurent dans Limnex (2006), Zurwerra et Bur (2009), Ochsenhofer (2013), Schmutz et al. (2013) et Tanno et al. (2013). Pour l’interprétation, il importe de recourir à un spécialiste.

Détermination des pertes de diversité

Les pertes de diversité sont déterminées selon la démarche spécifiée et représentées dans un tableau ou un graphique. Les résultats doivent faire l’objet de commentaires clairs au niveau des espèces ou des groupes.

Évaluation

Une fois quantifiées, les pertes de diversité et de biomasse sont évaluées selon la fonction de valeur ci-après (tab. C17).

Il est également possible d’évaluer les paramètres diversité et biomasse séparément, puis de les agréger.

Tab. C17

Fonction de valeur pour la perte de diversité ou de biomasse du macrozoobenthos.

Évaluation	État	Critère : perte de diversité ou de biomasse (en %)
	excellent	< 10
	bon	< 20
	moyen	< 40
	médiocre	< 60
	mauvais	≥ 60

4 Bibliographie

Limnex 2006. Schwallversuche in der Linth. Ökologische Auswirkungen von schwalldämpfenden Massnahmen. Bericht zuhanden des kantonalen Amtes für Umweltschutz, Glaris: 50 p.

Ochsenhofer G. 2013. Die makrozoobenthische Besiedlung von Uferhabitaten inneralpiner Flüsse unter Schwalleinfluss. Masterarbeit, BOKU, Vienne: 86 p.

Schmutz S., Fohler, N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel F., Höller N., Jungwirth, M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten, BMFLUW, Vienne: 175 p.

Tanno D., Schweizer S., Robinson C.T. 2013. Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Makroinvertebraten anhand von physikalischen Habitatmodellen. Wasser Energie Luft 105: 288 – 295.

Zurwerra A., Bur M. 2009. Abschätzung der Schäden an Fischen und Nährtieren in einer Schwall-Sunk Strecke der Saane (Freiburg, Schweiz). Wasser Energie Luft 101: 309 – 315.

B3 Zonation longitudinale du macrozoobenthos

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Aucune modification par rapport au module « Planification stratégique ».

B4 Familles EPT du macrozoobenthos

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Aucune modification par rapport au module « Planification stratégique ».



Dérive

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Nouvel indicateur :

- Définition spécifique au cours d’eau, sur la base d’éclusées-tests, de valeurs seuils, à partir desquelles la dérive peut constituer une atteinte grave.
- L’indicateur F1 n’est utilisé qu’au cas par cas, lorsque la biomasse et la diversité du macrozoobenthos sont faibles (cf. indicateur B1*).

1 Bases théoriques

La hausse du débit accroît la vitesse d’écoulement et la profondeur de l’eau. La contrainte d’entraînement au niveau du fond du lit et les remous augmentent également, pouvant provoquer la dérive d’organismes, emportés par le courant. Des éclusées journalières fréquentes entraînent en particulier des pertes au sein du macrozoobenthos et celles-ci ne sont que modestement compensées par la migration d’organismes vers l’amont et par la dérive naturelle de macrozoobenthos provenant du secteur situé en amont de la restitution.

Corrélations et importance pour les poissons

La dérive de poissons dépend en particulier de la morphologie du cours d’eau, du moment de la journée, de la saison, de la température de l’eau et du stade de développement des différentes espèces piscicoles. En principe, les poissons emportés par le courant tendent à se rapprocher de la rive et peuvent, au bout d’un certain temps, stopper leur dérive, puis remonter à nouveau le cours d’eau durant le débit plancher (Auer et al. 2014). Ce phénomène, de même que les facteurs qui le limitent, sont encore trop mal connus pour que la dérive de poissons puisse servir à évaluer les atteintes graves dues aux éclusées (cf. toutefois Auer et al. 2014 et les bases théoriques de l’indicateur P2*).

Corrélations et importance pour le macrozoobenthos

Bruder (2012) résume les connaissances actuelles sur la dérive, qui sont souvent associées au décollement d’algues filamenteuses. Des études réalisées dans des cours d’eau alpins confirment que les éclusées renforcent le phénomène de dérive (Limnex 2006, Bruno et al. 2010, Bernard et Solcà 2011). De brusques changements de température peuvent en effet accentuer la dérive du macrozoobenthos (Carolli et al. 2012, Bruno et al. 2013 ; cf. indicateur Q1*).

2 Collecte des données

Quand procéder aux relevés et à la planification ?

L’indicateur F1 est mesuré lorsque le faible niveau de la biomasse et de la diversité recensées dans le cadre de l’évaluation de l’indicateur B1* donne à penser que la dérive est excessive. Selon les cas, il est par ailleurs recommandé de mesurer l’indicateur F1 afin d’analyser plus en détail et de mieux comprendre les conséquences des éclusées sur le macrozoobenthos.

D’éventuels essais de dérive doivent être préparés soigneusement d’entente avec l’exploitant de la centrale hydroélectrique. Pour coordonner le déroulement des relevés, des essais préalables sont indispensables.

Marche à suivre

Le choix des emplacements où seront effectués les relevés nécessaires à l’évaluation de l’indicateur F1 est opéré selon la catégorisation des tronçons conformément à l’annexe B et selon la sélection des tronçons à étudier. Il convient de coordonner les lieux de mesure de la dérive avec les relevés de l’indicateur B2*.

La marche à suivre comprend les six étapes ci-après :

1. Décision quant à la nécessité de mesurer l’indicateur.
2. Choix des lieux de prélèvement.
3. Choix des techniques de prélèvement.
4. Choix de la période de prélèvement et des moments de la journée où ils auront lieu, avec définition des intervalles entre deux prélèvements.

5. Définition des débits à étudier et des scénarios de dérive sur la base des paramètres hydrologiques (débit d’éclusée et taux de montée du niveau d’eau) actuels et futurs (après assainissement).
6. Traitement des données, évaluation et interprétation des résultats.

Durant les relevés décrits, il est recommandé de mesurer également d’autres paramètres abiotiques tels que la température, le débit, le niveau de l’eau, la vitesse d’écoulement et les matières en suspension (à l’aide d’un entonnoir Imhoff, p. ex.) afin de pouvoir, d’une part, situer les prélèvements d’échantillons dans le temps et de réunir, d’autre part, de précieuses informations pour l’interprétation des données.

Prélèvement d’échantillons

Il n’existe pas de méthode standardisée pour mesurer la dérive des organismes macrozoobenthiques. En Suisse, des prélèvements probants ont été réalisés à l’aide de filets et de pompes (Limnex 2006, Limnex 2009, Bernard et Solcà 2011).

Le prélèvement à l’aide d’un filet utilise une installation proche du substrat, qui comprend un filet à mailles fines avec une ouverture de taille standard. Comme les filets doivent être régulièrement vidés et remis en place durant la montée du niveau d’eau et le débit d’éclusée (l’intervalle de temps dépend du taux de montée du niveau d’eau et du débit d’éclusée), cette méthode de prélèvement convient principalement pour les centrales à débits faibles ou pour mesurer la dérive de fond dans les zones proches de la berge.

Le prélèvement à l’aide de pompes consiste à diriger le tube d’une ou de plusieurs pompes contre le courant et de pomper l’eau dans un filet à mailles fines.

Les prélèvements doivent intervenir durant les quatre phases appropriées pour atteindre les objectifs suivants :

1. Mesurer la dérive de fond durant le débit plancher.
2. Mesurer l’augmentation du débit à plusieurs intervalles.
3. Mesurer l’éclusée constante et déterminer l’arrivée du pic thermique (prélèvement à différentes périodes).

4. Mesurer la dérive de fond durant le débit plancher.

Il faut si possible répéter les prélèvements pour différents débits planchers et d’éclusée, ainsi que pour différents taux de montée du niveau d’eau, en fonction des scénarios étudiés (après assainissement) et en respectant un intervalle suffisant entre les jours des prélèvements. Il est recommandé en outre de prélever si possible dans un cours d’eau de référence.

3 Traitement des données et évaluation

Une fois les données recueillies, il convient d’évaluer au moins le poids d’organismes frais et la densité macrozoobenthique par taxon (selon les problèmes à traiter), puis de représenter les résultats en fonction du niveau d’eau ou du débit, ainsi que de la période de prélèvement. On trouve des exemples de représentation des données dans Limnex (2009) et Bernard et Solcà (2011). Pour interpréter les données, il peut être utile de représenter également la densité et le poids d’organismes frais en fonction d’autres paramètres, telles la température, la concentration de matières en suspension ou la vitesse d’écoulement dans la colonne d’eau et à proximité du fond du lit. Il est également recommandé de représenter le taux de dérive (nombre d’individus par rapport au nombre total d’individus emportés par le courant) pour un débit naturel et pour un débit d’éclusée. L’analyse ne tiendra pas compte des taxons dont l’abondance est inférieure à cinq.

Il convient ensuite de comparer les résultats des différentes périodes d’analyse, des différents modes d’exploitation et des différents lieux de prélèvement.

Comme il n’existe pas de données pouvant servir de comparaison, le présent module ne propose pas de fonction de valeur. En comparant la dérive dans différents tronçons étudiés ainsi qu’à l’intérieur du même tronçon étudié pour différents types d’éclusées, un spécialiste devrait toutefois être en mesure d’évaluer la dérive, selon son importance, selon cinq classes d’état et de définir des valeurs indicatives pour le débit d’éclusée et le taux de montée du niveau d’eau.

Des essais expérimentaux (non encore publiés) révèlent que la dérive du macrozoobenthos est plus élevée de nuit que de jour. Il convient donc de réduire en conséquence les paramètres hydrologiques déterminants (taux de montée du niveau d’eau et débit d’écluse) lorsque des écluses surviennent la nuit.

4 Prévisions

La dérive (F1) n’est pas un indicateur qui se prête aux prévisions. Son utilité est indirecte, puisque les tests de dérive aident à définir des valeurs limites spécifiques pour les taux de montée du niveau d’eau ou d’accroissement du débit ainsi que pour le débit d’écluse.

Les connaissances actuelles sont par trop lacunaires pour établir des prévisions à moyen et à long terme de la dérive indépendamment d’essais expérimentaux. Font notamment défaut des données sur la contrainte d’entraînement au niveau du fond du lit, une donnée cruciale, durant l’accroissement du débit (débit non stationnaire), de même que sur la sensibilité différenciée du macrozoobenthos face à la dérive (en fonction de l’espèce, de la constitution et du comportement).

5 Bibliographie

Auer S., Fohler N., Zeiringer B., Führer S., Schmutz S. 2014. Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien. BOKU, Vienne : 109 p.

Bernard R., Solcà L. 2011. Studio degli effetti delle variazioni di portata indotti dalla regimazione idroelettrica lungo il fiume Ticino. Rapporto conclusivo di sintesi. Dipartimento del Territorio, Lugano : 79 p.

Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk – Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf : 92 p.

Bruno M.C., Maiolini B., Carolli M., Silveri L. 2010. Short time-scale impacts of hydropeaking on benthic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). *Limnologica* 40 : 281 – 290.

Bruno M.C., Siviglia A., Carolli M., Maiolini B. 2013. Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves. *Ecohydrology* 6 : 511–522.

Carolli M., Bruno M.C., Siviglia A., Maiolini B. 2012. Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. *River Research and Applications* 28 : 678 – 691.

Limnex 2006. Schwallversuche in der Linth, Ökologische Auswirkungen von schwalldämpfenden Massnahmen. Bericht zuhanden des kantonalen Amtes für Umweltschutz, Glaris : 50 p.

Limnex 2009. Schwall-Sunk in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchung von Hasliaare und Lüttschine. Beurteilung der Schwall-Auswirkungen in je zwei Strecken und Szenarien. Bericht zuhanden der Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen : 40 p.



Module Poissons du SMG

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Dans les petits cours d’eau, les pêches doivent si possible se faire en deux ou trois passages.
- Les tronçons où ont lieu les pêches électriques doivent être représentatifs de la totalité du tronçon à éclusées.

1 Bases théoriques

Un état des lieux complet, réalisé à l’aide de pêches électriques, fournit d’une part des résultats parlants et d’autre part les bases requises pour classer, évaluer et interpréter toutes les autres analyses écologiques.

2 Collecte des données

Nous proposons en principe de respecter la marche à suivre décrite dans le module « Planification stratégique » (Baumann et al. 2012), moyennant toutefois les quelques (petites) adaptations ci-après :

- Dans les petits cours d’eau, il est possible, selon les conditions locales, de clôturer des tronçons à l’aide de filets et d’effectuer deux ou trois passages de capture pour quantifier le peuplement piscicole.
- Nombre de tronçon : X de 200 m. Les tronçons où ont lieu les pêches électriques doivent être représentatifs de la totalité du tronçon à éclusées. Ils sont déterminés sur la base des relevés consacrés à la morphologie des eaux (cf. annexe B).

3 Traitement des données et évaluation

Pour traiter les résultats des pêches, de même que pour évaluer et interpréter les données, il convient de se

conformer au module Poissons du SMG (Schager et Peter 2004) en veillant aux points ci-après :

- Rattacher le cours d’eau à l’écorégion correspondante.
- Déterminer la zone piscicole et la composition potentielle de l’ichtyofaune.
- Établir la liste des espèces de poissons (et de cyclostomes).
- Déterminer la fréquence relative des différentes espèces.
- Établir la distribution des classes de taille de la truite fario.
- Déterminer ou estimer la proportion de poissons 0+ dans les populations des espèces indicatrices (calcul de la moyenne si plusieurs espèces indicatrices); déterminer également la densité (individus/ha) dans le cas de la truite fario.
- Calculer la surface pêchée.
- Calculer la densité des truites fario en individus par hectare.
- Déterminer le pourcentage de poissons présentant des anomalies et des déformations (par espèce et en moyenne).

En dehors des résultats obtenus pour les autres indicateurs spécifiques aux poissons, l’interprétation doit également tenir compte d’autres éléments, telles la qualité chimico-physique de l’eau, la présence de la maladie rénale proliférative (MRP) et les informations sur d’éventuelles mesures d’alevinage.

5 Bibliographie

Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203 : 127 p.

Schager E., Peter A. 2004. Méthodes d’analyse et d’appréciation des cours d’eau en Suisse. Poissons – niveau R (région). OFEFP, Berne. Informations concernant la protection des eaux n° 44 : 63 p.



Module macrozoobenthos du SMG

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Relevé supplémentaire dans la zone de marnage avec huit prélèvements IBCH-2 pour les bancs de gravier de grande étendue et les lits ramifiés.

1 Bases théoriques

Dans le cadre de la planification stratégique de l’assainissement des éclusées, la majorité des données utilisées pour évaluer l’indicateur B2 ne sont pas spécifiques à la problématique des éclusées. De plus, nombre de tronçons à éclusées ne peuvent pas faire l’objet de prélèvements suffisants (débits élevés, visibilité restreinte).

Comme l’indicateur global B2 fournit des données de base importantes pour évaluer les autres indicateurs du macrozoobenthos, un relevé destiné à connaître les conditions spécifiques qui règnent pendant les éclusées dans le cours d’eau étudié améliore sensiblement les informations servant à fonder et à évaluer les mesures d’assainissement requises.

Afin d’établir le plan stratégique du canton de Fribourg, les spécialistes ont appliqué l’indicateur B2* à quatre sites d’analyse sur la Sarine. Sur 29 espèces EPT identifiées, sept n’ont été recensées que dans la zone de marnage, dont certaines étaient des espèces sensibles aux éclusées (PRONAT, non publié). Les travaux d’Ochsenhofer (2013) et de Schmutz et al. (2013) contiennent des explications à ce sujet.

2 Collecte des données

Si le tronçon étudié comporte des zones de marnage étendues, il est recommandé de procéder à un nouveau relevé en utilisant l’indicateur B2* (IBCH-2). Les relevés

dans la zone à débit plancher (IBCH-1) sont réalisés selon Stucki (2010) et les relevés dans la zone de marnage (IBCH-2) selon le présent module.

Études préalables

Avant de procéder aux relevés du macrozoobenthos, il convient de définir, avec l’exploitant de la centrale, le régime d’éclusées à étudier pendant la période des prélèvements. Quant aux prélèvements d’échantillons aux emplacements étudiés, il faut les prévoir à des périodes où les éclusées présentent une grande amplitude (quantile 95 %).

Des calculs hydrauliques permettent d’estimer la zone inondée durant le débit plancher typique, durant le débit Q_{347} et durant le débit naturel médian en hiver et à la période de fonte des neiges. Les données obtenues servent à décider si une période de prélèvement suffit ou s’il faut en prévoir deux.

Pour compléter les données, des relevés devront être entrepris dans un ou plusieurs tronçons de référence (à condition qu’il en existe).

Choix des lieux de prélèvement

Les lieux de prélèvement des échantillons IBCH-1 et IBCH-2 dans le tronçon à éclusées devront être choisis de telle sorte que les résultats ne soient pas faussés par des affluents ou des déversements d’eau.

Les échantillons de référence doivent, si possible, être prélevés dans un tronçon de cours d’eau non soumis aux éclusées et selon Stucki (2010), c’est-à-dire avec évaluation séparée et conservation des huit échantillons ponctuels. Est considéré comme référence un tronçon du même type que le cours d’eau étudié, situé à une altitude similaire, dont le régime d’écoulement est peu perturbé (les tronçons à débit résiduel sont donc le plus souvent exclus) et présentant un état physique (température, morphologie) et chimique comparable au tronçon à étudier.

Dans un cours d’eau où le macrozoobenthos revêt une grande importance, il faut le cas échéant, en particulier pour évaluer les indicateurs B3 Zonation longitudi-

nale du macrozoobenthos et B1*Biomasse et diversité du macrozoobenthos, envisager un autre prélèvement de macrozoobenthos, à une période qui s’écarte de la fenêtre habituellement prévue pour les échantillonnages (été/automne).

Prélèvement d’échantillons

Dans les tronçons à éclusées, des prélèvements distincts sont opérés dans la zone inondée en permanence durant le débit plancher et dans la zone de marnage. Voici les trois étapes à respecter :

1. Déterminer, conformément à l’annexe B, les secteurs et les tronçons à étudier sur le tracé du cours d’eau ainsi que les tronçons de référence.
2. Déterminer les sites à étudier selon la méthode IBCH dans la zone inondée en permanence durant le débit plancher et procéder aux prélèvements (IBCH-1 ; emplacements indiqués en bleu dans la fig. C13) en tenant compte des habitats déterminés par le couple substrat-vitesse (selon Stucki 2010), puis évaluer et conserver séparément les huit échantillons ponctuels.
3. Répéter l’étape 2 pour huit autres prélèvements dans deux sections transversales (transects) de la zone de marnage, puis évaluer et conserver séparément les huit échantillons ponctuels (IBCH-2 ; emplacements indiqués en rouge dans la fig. C13).

Les prélèvements dans les deux transects de la zone de marnage (IBCH-2) sont effectués durant l’éclusee et durant la diminution subséquente du débit à partir de la rive vers le centre du cours d’eau. Voici comment procéder (fig. C12 et C13) :

1. Les échantillons 1 et 2 sont prélevés à l’aide du filet kicknet durant l’éclusee. Les emplacements se situent en dehors de la zone inondée durant le débit $Q_{347\text{naturel}}$.
2. Les échantillons 3 et 5 sont prélevés pendant que le débit diminue après l’éclusee et lorsque la profondeur de l’eau ne dépasse pas 5 cm. Si ces conditions ne peuvent pas être remplies, il est possible de prélever des échantillons de vase après la mise à sec de la zone. Les emplacements se situent en dehors de la zone inondée durant le débit $Q_{347\text{naturel}}$.
3. Les échantillons 4 et 6 sont prélevés à l’aide du filet kicknet dans la zone inondée durant le débit $Q_{347\text{naturel}}$

si possible durant le débit d’éclusee ou alors pendant que le débit diminue.

4. Les échantillons 7 et 8 sont prélevés dans la zone inondée durant le débit $Q_{347\text{naturel}}$ pendant que le débit diminue après l’éclusee et lorsque la profondeur de l’eau ne dépasse pas 5 cm. Si ces conditions ne peuvent pas être remplies, il convient de prélever des échantillons de vase après la mise à sec de la zone.

Fig. C12 Sections transversales évaluées, avec indication du débit plancher, du débit $Q_{347\text{naturel}}$ et de la zone de marnage.

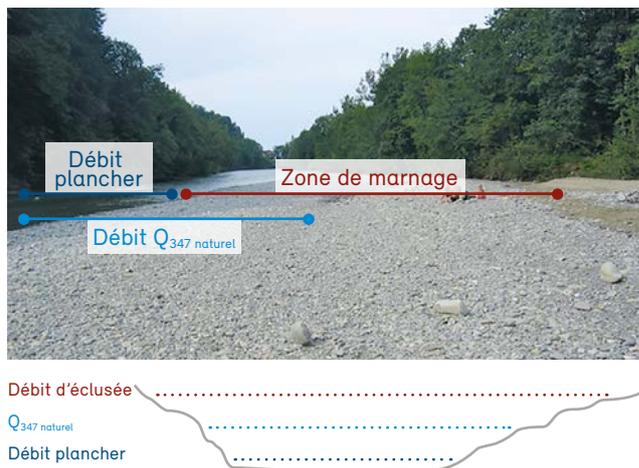
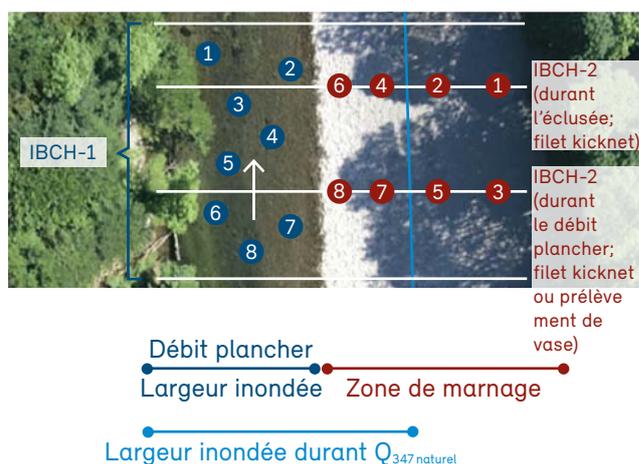


Fig. C13 Prélèvement IBCH. Emplacements des prélèvements dans la zone inondée durant le débit plancher (IBCH-1) et dans la zone de marnage (IBCH-2).



Il importe de noter les emplacements des prélèvements sur des croquis ou des photos du site étudié, afin de pouvoir prélever des échantillons aux mêmes endroits en cas de répétition des relevés.

Selon les besoins, d’autres mesures et observations sont entreprises parallèlement aux prélèvements. En voici quelques exemples : échouage du macrozoobenthos, dérive, température, abris potentiels (pour le macrozoobenthos) dans l’espace interstitiel, vitesse d’écoulement et profondeur de l’eau à proximité des emplacements des prélèvements, ces derniers relevés complétant les courbes de préférence.

3 Traitement des données et représentation des résultats

Les données issues des échantillons sont traitées selon l’IBCH, avec évaluation distincte de chaque échantillon ponctuel et détermination de l’IBCH des échantillons composites dans la zone inondée en permanence durant le débit plancher, dans la zone de marnage et dans le tronçon de référence.

Les résultats sont représentés dans un graphique :

1. IBCH des échantillons ponctuels ou des échantillons composites prélevés dans les tronçons ainsi que le long du cours d’eau.
2. Diversité taxonomique des échantillons ponctuels ou des échantillons composites prélevés dans les tronçons ainsi que le long du cours d’eau.
3. Densité totale d’individus dans les échantillons ponctuels ou les échantillons composites prélevés dans les tronçons ainsi que le long du cours d’eau.
4. Densité des individus de taxons importants (éphéméroptères, plécoptères, trichoptères, diptères et autres év.) dans les échantillons ponctuels ou les échantillons composites prélevés dans les tronçons ainsi que le long du cours d’eau.

4 Évaluation

L’évaluation intervient selon Stucki (2010). Les relevés du macrozoobenthos dans le tronçon de référence per-

mettent d’estimer les conditions régnant à l’état naturel et de procéder à une comparaison avec le macrozoobenthos présent dans le tronçon à éclusées. Il importe pour ce faire de vérifier si d’autres perturbations ont pu influencer sur la composition et le nombre d’individus du macrozoobenthos.

Les relevés réalisés pour l’indicateur B2* permettent d’identifier une modification de la composition et de la densité des individus :

1. Dans le temps, par rapport à des données recueillies précédemment.
2. Au fil du cours d’eau, dans le tronçon à éclusées.
3. Au fil du cours d’eau, par rapport au tronçon de référence.
4. À chaque emplacement étudié, grâce à la comparaison et à l’analyse des taxons identifiés dans la zone inondée durant le débit plancher et dans la zone de marnage.

Les relevés et les observations dans la zone de marnage révèlent en particulier les pertes de macrozoobenthos dues à la dérive, à l’échouage et à la mise à sec. Leur estimation spatiale et quantitative permet de procéder à des comparaisons avec l’habitabilité prévue pour différents taxons à l’aide de l’indicateur B5.

5 Bibliographie

Ochsenhofer G. 2013. Die makrozoobenthische Besiedlung von Uferhabitaten inneralpiner Flüsse unter Schwallenfluss. Masterarbeit, BOKU, Vienne : 86 p.

Schmutz S., Fohler N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel F., Höller N., Jungwirth M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten, BMFLUW, Vienne : 175 p.

Stucki P. 2010. Méthodes d’analyse et d’appréciation des cours d’eau en Suisse. Macrozoobenthos – niveau R. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1026 : 61 p.

Colmatage interne

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Modifications apportées au module « Planification stratégique » :

- Colmatage interne utilisé comme indicateur complémentaire en cas de crues peu fréquentes et d’apports en quantité de sédiments fins dans les grandes vallées alpines significativement influencées par la présence de glaciers (une utilisation restrictive est recommandée).
- Le colmatage interne n’est pas déterminé à l’aide d’un abaque de la concentration de matières en suspension, mais au cas par cas au moyen de la méthode désirée.

1 Bases théoriques

Facteurs d’influence

Une étude réalisée récemment sur le Rhin alpin a montré que le colmatage interne peut exercer une influence décisive sur la reproduction des poissons qui déposent leur frai dans le gravier du fond du lit (Flussbau 2012).

Dans le module « Planification stratégique » (Baumann et al. 2012), le colmatage interne est déterminé par un abaque en fonction de la concentration de matières en suspension durant l’éclusee en hiver.

De nombreux facteurs influent toutefois sur le colmatage interne. Les principaux sont le gradient hydraulique du courant d’infiltration, la contrainte d’entraînement, la température de l’eau, la répartition de la granulométrie des matériaux formant le fond du lit (en particulier les matériaux fins), la concentration de matières en suspension, ainsi que la dynamique du charriage et des crues (Habersack et Hauer 2014).

Observations récentes

Des analyses approfondies menées sur l’Aar du Hasli (Schweizer et al. 2013 (1)–(4)) ont montré que les estimations établies à l’aide de l’abaque coïncident mal avec

les relevés sur le terrain. Le colmatage interne observé dans la zone de marnage selon Schälchli (2002) et celui de la zone inondée (selon la traînée provoquée par une remise en suspension artificielle) peuvent s’écarter de l’abaque. C’est également ce qui ressort des conclusions de Habersack et Hauer (2014) : les analyses d’échantillons obtenus par carottage-congélation ont révélé que le colmatage interne dans la zone inondée en permanence est principalement dû aux matériaux charriés fins (0,5 à 2 mm) et non pas aux matières en suspension (< 0,5 mm).

L’accumulation de fractions fines engendre des problèmes écologiques lorsque les matériaux déposés ne sont pas redéplacés ou lorsqu’une sédimentation perturbée rend le substrat du fond du lit plus grossier. En ce qui concerne l’influence des éclusées, les études réalisées dans le Rhin alpin ont montré que les sédiments fins s’accumulent surtout dans les zones de marnage (Habersack et Hauer 2014). Dans la zone inondée en permanence, la proportion de sédiments fins était au contraire très faible.

Dans le Rhin alpin aucune corrélation claire n’a toutefois pu être établie entre le rapport débit d’éclusee/débit plancher et l’ampleur du colmatage interne, ni dans la zone inondée en permanence ni dans la zone de marnage.

De nouveaux relevés peuvent s’imposer

La relation directe entre le colmatage interne et la concentration de matières en suspension est donc remise en doute. Lorsque l’évaluation de l’indicateur H1* est nécessaire pour compléter et vérifier les résultats de l’analyse des déficits, il est recommandé d’effectuer de nouveaux relevés afin de pouvoir en tirer des conclusions sur la qualité de l’espace interstitiel. Dans la mesure du possible, il convient d’évaluer un tronçon de référence à titre de comparaison.

Une autre solution, pour remplacer les relevés du colmatage interne, consiste à mettre en place des boîtes d’éclosion contenant des œufs de poisson fécondés (cf. indicateur P3*).

2 Collecte des données

Planification

Pour que le colmatage interne selon Schälchli (2002) puisse être déterminé aussi près que possible de la zone inondée en permanence, les relevés de l’indicateur doivent être effectués lorsque le débit est faible. La méthode mesurant le colmatage même sous l’eau (Guthruf 2014) ou le carottage-congélation permettent de prélever des échantillons même dans la zone inondée.

Il est recommandé d’effectuer les relevés sur le terrain avant le début de la période de frai de l’espèce indicatrice, lorsque l’étiage est prononcé et l’eau claire. Les relevés seront répétés aux mêmes emplacements vers la fin de l’hiver, quand l’influence potentielle du régime d’éclusées sur le colmatage interne est normalement plus perceptible.

Marche à suivre

Les relevés comprennent les six étapes ci-après :

1. Évaluation du charriage fin et de la dynamique des crues par un spécialiste.
2. Décision d’évaluer l’indicateur H1* dans le cadre d’une analyse approfondie des déficits.
3. Identification des zones de marnage durant les périodes où le débit plancher est faible et le choix des emplacements représentatifs.
4. Inventaire des conditions générales particulières : dernière crue ayant remodelé le lit, dernière crue ayant arraché la couche de couverture du fond du lit et événements particuliers tels qu’un torrent de boue dans

un affluent, un glissement de terrain ou le curage d’un réservoir d’accumulation.

5. Détermination du colmatage interne durant le débit plancher dans la zone de marnage avec prélèvement d’échantillons de référence en dehors de la zone de marnage (selon Schälchli 2002), puis agrégation pour obtenir cinq classes d’état, ou alors prélèvements par carottage-congélation (Habersack et Hauer 2014).
6. Détermination du colmatage interne dans la zone inondée en permanence selon la méthode de Guthruf (2014), grâce à des prélèvements par carottage-congélation ou le plus près possible de la zone inondée et lorsque le niveau est bas selon la méthode de Schälchli (2002).

Il revient au spécialiste de choisir la méthode à utiliser dans la zone de marnage et dans la zone inondée en permanence. Ce choix dépend du cours d’eau et du coût des relevés. Les relevés et le choix de la méthode doivent toutefois être clairement expliqués.

3 Traitement des données et évaluation

Le traitement des données et l’évaluation sont effectués conformément à la méthode choisie. Il est recommandé d’établir les documents suivants :

1. Une explication sommaire des raisons pour lesquelles l’indicateur n’est pas pris en compte.
2. Une carte et une description des lieux de prélèvement dans la zone de marnage, dans la zone inondée en permanence et dans le tronçon de référence.

Tab. C18

Fonction de valeur pour le colmatage interne.

Évaluation	État	Classe de colmatage	Schälchli* (2002)	Guthruf** (2014)	Carottage-congélation***
	excellent	aucun	0, 1, 2	< 5,65 N	< 5 %
	bon	faible	3, 4, 5	< 20,85 N	< 15 %
	moyen	considérable	6, 7, 8	< 34,57 N	≥ 15 %
	médiocre	fort	9, 10, 11	< 88,62 N	> 30 %
	mauvais	très fort	12, 13, 14	≥ 88,62 N	> 50 %

* Pour la zone de marnage et les emplacements très proches de la zone inondée en permanence lorsque le niveau est bas, selon Schälchli (2002).

** Pour la zone inondée en permanence, selon Guthruf (2014), grâce à la détermination de la force médiane (5 à 10 tiges).

*** Proportion de sédiments fins (< 2 mm) dans les frayères, déterminée dans des échantillons prélevés par carottage-congélation.

3. Un tableau des différents résultats.

L'évaluation et l'interprétation se fondent sur les classes de colmatage « aucun », « faible », « considérable », « fort » et « très fort », auxquelles on attribue les classes d'état « excellent » à « mauvais ». Le classement dépend de la méthode et il doit être clairement expliqué, conformément au tableau C18. Le colmatage interne est déterminé sur la base des échantillons prélevés dans la zone inondée en permanence et dans la zone de marnage. Les échantillons prélevés en dehors de ces zones servent de comparaison.

4 Prévisions

Le colmatage interne est très difficile à prévoir avec les connaissances actuelles.

La qualité des données disponibles a permis de faire de bonnes prévisions pour le Rhin alpin compte tenu de la charge de fond (par tronçon testé), de la morphologie (gués, forme du chenal, rapides, affouillements, etc.) et de l'intensité des éclusées (exigences). Ces prévisions se sont appuyées sur un schéma d'évaluation (Flussbau 2012).

Dans les grandes vallées alpines significativement influencées par la présence de glaciers et par un apport élevé de sédiments fins (Rhin, Rhône et, év. aussi, Tessin, Reuss et Linth), il est recommandé de faire des prévisions similaires à celles établies pour le Rhin alpin. Nous proposons de renoncer à de telles prévisions pour les cours d'eau plus petits et lorsque l'apport de sédiments fins est plus faible. En mettant en place des boîtes d'éclosion avec des œufs fécondés, il est toutefois possible de déterminer si le colmatage interne entrave la reproduction naturelle dans le cours d'eau concerné (cf. indicateur F3*).

5 Bibliographie

Baumann P., Kirchofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office

fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 1203 : 127 p.

Flussbau 2012. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 1 : Anforderungsprofile und Kolmation. IRKA : 61 p.

Guthruf J., 2014. Arbeitshilfe zur Messung der inneren Kolmation. Bericht im Auftrag des Renaturierungsfonds des Kantons Bern : 16 p.

Habersack H., Hauer C. 2014. Schwalluntersuchung Alpenrhein – Sedimentologische und morphologische Bewertungen., BOKU, Vienne : 163 p.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K. 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft 105 : 191 – 199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105 : 200 – 207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M., Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105 : 269 – 276.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105 : 277 – 287.

Schälchli U. 2002. Kolmation – Methoden zur Erkennung und Bewertung. Bericht im Auftrag der EAWAG : 26 p.

H2 Colmatage externe

Champ d’application

- analyse des déficits
- prévisions
- évaluation des effets

Nouvel indicateur

- Indicateur supplémentaire adapté aux bassins versants à forte proportion de glaciers et aux bassins versants où les éclusées augmentent la turbidité et où le colmatage externe est avancé.
- Indicateur supplémentaire lorsque les relevés des données de base (annexe B) reflètent un colmatage externe marqué. Il décrit les limites de la qualité des habitats usuels du macrozoobenthos et des poissons.

1 Bases théoriques

Facteurs d’influence et mécanismes

Lorsque la concentration de matières en suspension dans le cours d’eau est élevée, le colmatage externe peut s’avérer considérable. Des fractions de sédiments fins (< 2 mm) se déposent alors durablement ou temporairement sur le fond du lit. Le colmatage externe est en général déterminé par les fractions dont la granulométrie est inférieure à 0,5 mm (Habersack et Hauer 2014). Des dépôts se forment sur les bancs de gravier et le long des berges, surtout dans les secteurs à courant faible de la zone de marnage. Dans les secteurs à courant rapide, ces sédiments sont remis en suspension durant l’éclusée. Ce mécanisme de dépôt et de remise en suspension explique très bien le colmatage externe observé par exemple dans le Rhône, la Viège et le Rhin alpin.

Dépôt et resuspension

Le dépôt et la resuspension sont des phénomènes naturels, qui dépendent principalement des sédiments dans le bassin versant (ils sont plus marqués en présence de produits provenant de l’érosion de roches telles que les schistes lustrés et moins importants en présence de produits solubles dans l’eau comme le calcaire). Le colmatage externe n’est pas causé par les éclusées, mais celles-ci peuvent l’accélérer ou le favoriser. Le problème

ne réside en général pas dans la proportion de sédiments fins, mais dans l’absence de déplacement des dépôts (absence de grosses crues, lit canalisé). Ce sont sans doute davantage l’assainissement du régime de charriage, la redynamisation du régime des crues et un élargissement important du lit, plutôt que l’assainissement des éclusées, qui sont à même d’améliorer la situation du point de vue du colmatage interne et externe.

Éventuels relevés

Si les relevés des données de base (annexe B) montrent que le colmatage externe est spécifique aux éclusées et détériore l’habitabilité, ce colmatage peut être inclus comme indicateur dans l’analyse des déficits, les prévisions lors de l’étude des variantes et l’évaluation des effets. Quoi qu’il en soit, il importe de distinguer clairement le colmatage dû aux éclusées de celui engendré par d’autres causes, comme les curages de réservoirs d’accumulation, l’exploitation du gravier, des chantiers en amont et le service routier durant l’hiver, également à même de générer un colmatage externe.

2 Collecte des données

Planification

Les études portant sur le colmatage externe doivent être planifiées soigneusement à partir des relevés des données de base (annexe B) et ne doivent être réalisées que si d’autres influences que les éclusées peuvent être exclues.

Marche à suivre

Les relevés comprennent les quatre étapes ci-après :

1. Évaluation par un spécialiste des fractions de sédiments fins, de la dynamique des crues et de l’ampleur du colmatage externe dans le cours d’eau concerné.
2. Décision d’évaluer l’indicateur H2 dans le cadre d’une analyse approfondie des déficits.
3. Recensement sur le terrain des surfaces présentant un colmatage externe.
4. Recensement sur le terrain de la granulométrie du colmatage externe en fonction des zones.

Au lieu de cartographier sur le terrain les surfaces présentant un colmatage externe, il est possible de les identifier par calcul bidimensionnel pour les hydrogrammes de l’état actuel (cf. étape Prévisions).

L’étude de la granulométrie du colmatage externe sert à classer les dépôts parmi les sables ou entre les sables et des particules plus fines et plus cohésives (silt, argile).

3 Traitement des données et évaluation

Si l’indicateur n’est pas pris en compte, il est recommandé d’expliquer sommairement pourquoi. Pour le reste, le traitement des données et l’évaluation consistent pour l’essentiel à établir une carte et à l’assortir de documents et de photos.

L’indicateur supplémentaire Colmatage externe ne peut pas, au sens d’un abaque, être évalué à l’aide d’une fonction de valeur. Les zones présentant un colmatage externe doivent être rangées dans la classe d’état « mauvais ».

Les zones présentant un colmatage externe ne peuvent abriter ni des frayères ni le macrozoobenthos. En cas de modélisation des habitats (annexe F, indicateurs P6 et B5), elles doivent être classées comme non habitables.

4 Prévisions

Une approche pragmatique, qui permet de prévoir le colmatage externe et qui requiert des moyens tout à fait admissibles lorsque l’on dispose des résultats de modèles bidimensionnels, subdivise le fond du lit en trois domaines comme suit (p. ex. Flussbau 2012) :

1. Zone de déplacement : lit de gravier propre, car la vitesse d’écoulement est supérieure à 0,5 m/s même durant le débit plancher.
2. Zone de resuspension : dépôts périodiques de sédiments fins, car la vitesse d’écoulement est inférieure à 0,5 m/s durant le débit plancher et supérieure à 0,5 m/s durant le débit d’éclusée.

3. Zone de sédimentation : dépôts durables de sédiments fins (le colmatage externe s’accroît), car la vitesse est inférieure à 0,5 m/s durant le débit d’éclusée.

S’inspirant de la vitesse limite définie par Kresser (1964), cette subdivision s’appuie sur l’hypothèse qu’il n’y a pas de colmatage lorsque la vitesse d’écoulement moyenne (V_m ou alors la vitesse d’écoulement pondérée en fonction de la profondeur, dans les modèles bidimensionnels) est supérieure à 0,5 m/s, mais que des dépôts de sable (diamètre de 0,062 à 2 mm) se forment lorsque la vitesse d’écoulement moyenne se situe entre 0,2 et 0,5 m/s et des dépôts de particules plus fines et cohésives (silt, argile) lorsque la vitesse moyenne est inférieure à 0,2 m/s.

Dans le cas du Rhin alpin, cette approche a montré, pour les trois morphologies en présence, qu’une hausse croissante du débit plancher et une diminution du débit d’éclusée augmentent la taille des zones de déplacement et réduisent celle des zones de resuspension et de sédimentation (Flussbau 2012).

5 Bibliographie

Flussbau 2012. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 1 : Anforderungsprofile und Kolmation. IRKA : 61 p.

Habersack H., Hauer C. 2014. Schwalluntersuchung Alpenrhein – Sedimentologische und morphologische Bewertungen. Sedimentologische und morphologische Bewertungen. BOKU, Vienne : 163 p.

Kresser W. 1964. Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. Österreichische Wasserwirtschaft 16 : 6 p.

Annexe D – Évaluation des tronçons de cours d’eau et formulation des objectifs

1 Fiche de suivi

La fiche de suivi sert à :

1. Réunir les données disponibles selon le Système modulaire gradué (SMG) par secteur de cours d’eau afin d’avoir un aperçu de l’état général.
2. Identifier les mesures de protection des eaux déjà mises en œuvre, planifiées et prévues.
3. Identifier le besoin de coordination avec d’autres mesures visant à protéger les eaux.

Fig. D1

Fiche de suivi complétée pour un secteur de l'Aa.

Nom du cours d'eau :	Aa
Tronçon :	De la restitution à la gravière : 1,2 à 5,4 km (GEWISS)
Morphologie :	Lit rectiligne, avec bancs de gravier alternés

Évaluation selon le Système modulaire gradué	Évaluation réalisée		Évaluation (classe d'état)					Encore d'actualité ?	
	Non	Oui	1	2	3	4	5	Non	Oui
Écomorphologie R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hydrologie R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hydrologie R (partie consacrée aux éclusées)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Aspect général	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Macrozoobenthos R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poissons R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diatomées R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chimie R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
... autres modules éventuels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

État actuel : www.modul-stufen-konzept.ch/fg/module/index_FR

Plan stratégique cantonal	Disponible		Mesures réalisées		Besoin de coordination		
	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	A préciser
Revitalisation des cours d'eau	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Migration des poissons	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Éclusées	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Régime de charriage	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Autres projets	Non	Oui	Besoin de coordin.		
			Non	Oui	A préciser
Assainissement des débits résiduels (art. 80 LEaux) achevé ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mesure(s) de protection contre les crues à l'étude ou prévue(s) ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Projet(s) de revitalisation ou projet(s) combiné(s) à l'étude ou prévu(s) ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nouvelle(s) centrale(s) hydroélectrique(s) à l'étude ou prévue(s) ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
... autres projets éventuels	<input type="checkbox"/>				

Remarques :

--

2 Tableau récapitulatif (en trois parties)

Le tableau récapitulatif, qui permet d’évaluer les secteurs de cours d’eau et de formuler les objectifs, est subdivisé en trois parties : i) analyse des déficits et détermination des indicateurs à évaluer, ii) nouvelle évaluation et analyse des causes, iii) formulation des objectifs et des conditions hydrologiques requises. Voici les possibilités que permet le tableau récapitulatif :

1. Analyser les déficits sur la base de l’évaluation des indicateurs.
2. Classer les causes, en particulier celles dues aux éclusées.
3. Identifier les paramètres hydrologiques de l’hydrogramme d’éclusées, qui jouent un rôle dans les déficits.
4. Formuler les objectifs (=classes de l’état cible), les valeurs cibles des paramètres hydrologiques et les conditions hydrologiques requises qui en découlent.

2.1 Partie I : Analyse des déficits et détermination des indicateurs à évaluer (cf. 3.2)

Les déficits dans le cours d’eau font l’objet d’une première évaluation à partir des données utilisées pour établir la version finale du plan stratégique de l’assainissement des éclusées. Si cette évaluation est complète et suffisante pour identifier les causes, on peut passer directement aux étapes suivantes : analyse des causes et formulation des objectifs (cf. 3.1, fig. 6). Si ce n’est pas le cas, il convient de prévoir un programme d’analyse à l’aide des indicateurs du présent module. Les indicateurs à prendre en compte doivent être choisis sur la base des critères ci-après :

1. Indicateurs principaux qui n’ont pas été mesurés ou évalués dans le cadre de la planification stratégique.
2. Indicateurs principaux directement liés à un déficit patent dans le domaine des éclusées.
3. Indicateurs principaux directement liés à un déficit indéterminé/potentiel.
4. Autres indicateurs directement liés à un déficit indéterminé et permettant d’éliminer des incertitudes (compréhension du phénomène).

Fig. D2

Tableau récapitulatif – partie I : exemple d’analyse des déficits utilisant les données du plan stratégique de l’assainissement des éclusées.

Nom du cours d’eau : Aa
Tronçon : De la restitution à la gravière : 1,2 à 5,4 km (GEWISS)
Morphologie : Lit rectiligne, avec bancs de gravier alternés

Analyse des déficits sur la base des données de la planification stratégique et détermination d’indicateurs tirés du module «Éclusées – Mesures d’assainissement» (cf. 3.2)

	Module Poissons du SMG											Rapport entre l'évaluation des indicateurs et les déficits (potentiels). Y a-t-il déficit ?			Programme d'analyse (nouveaux relevés à réaliser pour certains indicateurs ou, si des relevés existent, nouvelle évaluation)				
	Évaluation des indicateurs selon le module «Assainissement des éclusées–Plan. strat.»											Oui	Non	Indéfini					
	P1	P2	P3	P4	P5	B1	B2	B3	B4	H1	D1					Q1			
Déficits potentiels dans le tronçon	Les cases ci-dessous sont à colorier en fonction de l'état (cinq classes) et conformément aux fonctions de valeur (A1: deux classes d'état ; F2: trois classes d'état)														Quels indicateurs principaux du module «Éclusées – Mesures d'assainissement» présentent un lien probant avec des déficits constatés?	Autres indicateurs servant à éliminer les incertitudes (compréhension du phénomène)			
Déficits biotiques																			
Altération de la structure du peuplement piscicole (structure par âge et structure dominante)	x	o															P		
Biomasse piscicole trop faible	x	o	o	o	x	o				o			o				P		
Absence de certaines espèces piscicoles (diversité)	x																P		
Densité insuffisante de juvéniles	x	o	o	x													P		P6
Échouage excédant une proportion critique pour les poissons		x																?	P2*
Développement du frai entravé	o		x	o													P		P3*
Dérive excédant une proportion critique pour la faune benthique							o	o		o	o							?	F1
Biomasse benthique trop faible						o	x	o					o	o	o		P		F1
Diversité réduite de la faune benthique								o	o	o								x	B1*
... autres déficits éventuels selon le spécialiste																			
Déficits au niveau de la morphologie et des habitats																			
Déficits au niveau des habitats des poissons (frayères, abris, habitats proches de la berge, refuges en cas de crue)			o	o														?	F6
Déficits au niveau des habitats du macrozoobenthos durant les débits d'hiver et de printemps (fond de lit, habitats proches de la berge)						o	o			o	o							?	B5
Colmatage interne						o	o						o					?	H1*
Colmatage externe						o	o						o					?	H2
... autres déficits éventuels selon le spécialiste																			
Déficits du régime de charriage																			
Absence de substrat et de granulométrie adéquats (frai)				x	o								o	o			P		P3*
Fond de lit instable durant le développement du frai				x	o												P		P3*
... autres déficits éventuels selon le spécialiste																			
Déficits de la qualité de l'eau																			
Turbidité excessive ou ne correspondant pas à la saison				o		o	o	o	o	o	o							?	H1*
Variations excessives de la température ou ne correspondant pas à la saison				o		o	o									x	P		Q1*
... autres déficits éventuels selon le spécialiste																			
Déficits d'écoulement																			
Irrigation insuffisante des habitats durant le débit plancher	o		o	o		o	o			o	o							?	B5, P6
Absence de dynamique des crues (selon le module Hydrologie du SMG, p. ex.)			o	o		o	o			o	o							?	H1*
... autres déficits éventuels selon le spécialiste																			

Légende concernant le rapport entre indicateurs et déficits
 x Indicateur présentant un rapport effectif avec le déficit
 o Indicateur révélant l'existence d'un déficit potentiel
 Ces propositions doivent être vérifiées par le spécialiste et peuvent être modifiées si dûment motivées.

État	Classe d'état
excellent	1
bon	2
moyen	3
médiocre	4
mauvais	5

Programme d'analyse
 Critères principaux pour lesquels de nouveaux relevés ou une nouvelle évaluation sont requis :
 P2*, P3*, P6, B5, H1*, D2
 Autres indicateurs
 B1*, F1, H1*, H2

Classe d'état	Rapport entre indicateur et déficit	Déficit perceptible?
1 ou 2	Effectif (x) ou possible (o)	Non (x)
3, 4 ou 5	Rapport possible (o)	Indéterminé (?)
3, 4 ou 5	Rapport effectif (x)	Oui (P)

2.2 Partie II : Nouvelle évaluation et analyse des causes (cf. pts 3.2 et 3.3)

Sur la base des nouveaux relevés ou de la nouvelle évaluation (classe d’état) des indicateurs selon le présent module («Éclusées – Mesures d’assainissement»), il est possible de procéder à une évaluation définitive des déficits et d’établir les rapports entre les déficits observés dans le cours d’eau et leurs causes. Cette démarche permet de déterminer les indicateurs principaux pertinents et d’identifier les causes.

Fig. D3

Tableau récapitulatif – partie II : exemple d’une analyse complémentaire des déficits, moyennant de nouveaux relevés, de nouvelles évaluations et une analyse des causes.

Nom du cours d'eau : Aa																				
Tronçon : De la restitution à la gravière : 1,2 à 5,4 km (GEWISS)																				
Morphologie : Lit rectiligne, avec bancs de gravier alternés																				
Analyse des déficits sur la base des nouveaux relevés et des nouvelles évaluations (cf. 3.2)															Analyse des causes (cf. 3.3)					
Déficits potentiels dans le tronçon	Evaluation des indicateurs selon le module «Eclusées – Mesures d’assainissement»														OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
	Les cases ci-dessous sont à colorier selon l'état et conformément aux fonctions de valeur (cinq classes d'état)																			
	D2	P2*	P3*	P6	B5	O1*	P4*	B1*	B3	B4	F1	P1*	B2*	H1*						
Paramètres hydrologiques															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Echouage de poissons																				
Frayères															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Habitabilité pour les poissons																				
Habitabilité pour le macrozoobenthos															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Température de l'eau																				
Présence de juvéniles															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Biomasse et diversité du macrozoobenthos																				
Zonation longitudinale du macrozoobenthos															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Familles EPT du macrozoobenthos																				
Dérive															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Module Poissons du SMG																				
Module Macrozoobenthos du SMG															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Colmatage interne																				
Colmatage externe															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Existe-t-il un déficit ?																				
Déficits biotiques															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Altération de la structure du peuplement piscicole (structure par âge et structure dominante)																				
Biomasse piscicole trop faible															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Absence de certaines espèces piscicoles (diversité)																				
Densité insuffisante de juvéniles															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Echouage excédant une proportion critique pour les poissons																				
Développement du frai entravé															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Dérive excédant une proportion critique pour la faune benthique																				
Biomasse benthique trop faible															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Diversité réduite de la faune benthique																				
... autres déficits éventuels selon le spécialiste															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Déficits au niveau de la morphologie et des habitats																				
Déficits au niveau des habitats des poissons (frayères, abris, habitats proches de la berge, refuges en cas de crue)															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Déficits au niveau des habitats du macrozoobenthos durant les débits d'hiver et de printemps (fond du lit, habitats proches de la berge)																				
Colmatage interne															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Colmatage externe																				
... autres déficits éventuels selon le spécialiste															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Déficits du régime de charriage																				
Absence de substrat et de granulométrie adéquats (frai)															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Fond du lit instable durant le développement du frai																				
... autres déficits éventuels selon le spécialiste															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Déficits de la qualité de l'eau																				
Turbidité excessive ou ne correspondant pas à la saison															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Variations de la température excessives ou ne correspondant pas à la saison																				
... autres déficits éventuels selon le spécialiste															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Déficits d'écoulement																				
Irrigation insuffisante des habitats durant le débit plancher															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)
Absence de dynamique des crues (selon le module Hydrologie du SMG, p. ex.)																				
... autres déficits éventuels selon le spécialiste															OUI	Non	Le déficit est-il à mettre entièrement ou partiellement sur le compte des éclusées?	Indicateur principal déterminant	Causes ayant un lien avec les éclusées (paramètres hydrologiques déterminants)	Causes sans lien avec les éclusées (morphologie, qualité de l'eau)

Légende concernant le rapport entre indicateurs et déficits
 x Indicateur présentant un rapport effectif avec le déficit
 ° Indicateur révélant l'existence d'un déficit potentiel
 Ces propositions doivent être vérifiées par le spécialiste et peuvent, si la chose est suffisamment motivée, être modifiées.

Légende des indicateurs «Mesures»
 Indicateurs principaux
 Indicateurs sensibles aux éclusées
 Indicateurs globaux
 Indicateurs supplémentaires
 X* Indicateur modifié
 X Nouvel indicateur

Légende des classes d'état
 Etat Classe d'état
 excellent 1
 bon 2
 moyen 3
 médiocre 4
 mauvais 5

Critères déterminant l'existence d'un déficit

Classe d'état	Lien entre indicateur et déficit	Déficit perceptible
1 ou 2	Effectif (x) ou possible (°)	Non (X)
3, 4 ou 5	Lien possible (°)	Non (X)
3, 4 ou 5	Lien effectif (x)	Oui (P)
Si un déficit effectif (x) a été constaté selon le tableau récapitulatif – partie II (sur la base des indicateurs ci-dessus)		Oui (P)

2.3 Partie III: Formulation des objectifs et des conditions hydrologiques requises (cf. pt 3.4)

Cette partie est consacrée à la définition des objectifs pour les différents indicateurs, à l’aide des classes d’état à atteindre et des valeurs cibles correspondantes des paramètres hydrologiques. Sur la base de ces valeurs cibles et des conditions hydrologiques requises qui en résultent, il est ensuite possible d’élaborer les mesures qui permettent de respecter le futur hydrogramme.

Annexe E – Mesures envisageables, pilotage des mesures et détermination des hydrogrammes

1 Mesures envisageables

Des mesures d’aménagement (construction d’ouvrages) ou des mesures d’exploitation peuvent en principe réduire les conséquences écologiques des éclusées. Ces mesures visent, en premier lieu, à interrompre la restitution de l’eau turbinée dans le cours d’eau ou à l’atténuer et, dans un deuxième temps, à mettre en œuvre des mesures morphologiques ponctuelles afin de réduire les conséquences des éclusées sur le cours d’eau.

En privilégiant les mesures de construction, les prescriptions légales (art. 39a, al. 1, LEaux) permettent de réduire autant que possible l’impact sur la production d’électricité, qui doit rester aussi souple que possible. L’autorité ne peut cependant ordonner des mesures d’exploitation que si le détenteur de la centrale concernée en fait la demande. Dans certains cas, il peut malgré tout s’avérer judicieux, efficace et proportionné d’associer mesures de construction et mesures d’exploitation. Il ne faut donc pas perdre cette option de vue lors de l’élaboration du projet d’assainissement.

Lors de l’assainissement d’installations existantes, la Société nationale pour l’exploitation du réseau à très haute tension (Swissgrid) indemnise les détenteurs de centrales hydroélectriques pour les mesures de construction et d’exploitation mises en œuvre. Le système d’indemnisation est décrit en détail dans le module « Financement » (OFEV 2016).

1.1 Mesures de construction

Différents types de mesures de constructions

Plusieurs auteurs ont déjà recensé les différents types de mesures de construction envisageables (cf. p. ex. Bau-

mann et al. 2012, Bruder 2012, Bruder et al. 2012). Le tableau E1 en compile diverses listes.

Mesures de construction destinées à empêcher ou à atténuer les éclusées :

Les mesures qui visent à modifier le déversement de l’éclusée : l’atténuer avant le déversement, la déverser dans le même cours d’eau mais à un autre niveau, déverser l’éclusée dans un autre milieu récepteur. Ces mesures visent à modifier directement l’hydrogramme dans le tronçon à éclusées. Widmann (2008) présente plusieurs moyens d’inclure des réservoirs tampons dans le fonctionnement d’une centrale, c’est-à-dire d’atténuer les éclusées grâce à un volume de rétention, et explore en particulier la possibilité d’installer des réservoirs en amont et en aval, en les équipant au besoin de pompes quand la place fait défaut.

Mesures complémentaires :

Les mesures qui sont à même, par des adaptations morphologiques modestes et localisées du lit du cours d’eau, de réduire les conséquences écologiques des éclusées, sans pour autant modifier la morphologie du cours d’eau à grande échelle. Ces mesures d’aménagement ne visent pas directement à modifier l’hydrogramme en aval de la centrale. À titre d’exemple, mentionnons l’aménagement de niches ou d’anses pour les poissons (Ribi et al. 2011), l’intégration de structures, d’épis, de sinuosités et de replis permettant de modifier l’écoulement (instream river training) et de grandes pierres qui brisent la force du courant (Werdenberg et al. 2012, Schneider et Speerli 2014) et créent ainsi des zones structurées où la vitesse d’écoulement et la profondeur sont plus faibles durant le débit d’éclusée. Les structures permettant d’offrir des habitats appropriés aux juvéniles (en particulier du-

rant les débits planchers et d’éclusee) comprennent par exemple : i) des bras latéraux, inondés en permanence et toujours connectés au chenal principal mais par un accès étroit, qui offrent des conditions hydrauliques stables, ii) des anses calmes, inondées en permanence et toujours connectées au chenal principal, où le fond du lit présente une pente régulière depuis la berge, iii) des berges relativement escarpées, qui présentent une hé-

térogénéité accrue avec des structures pouvant servir d’abris. En combinaison avec la morphologie, l’emplacement de telles structures dans le cours d’eau joue un rôle décisif et il faut si possible privilégier la réalisation de ce type de mesures à grande échelle (grandes anses à même de servir d’habitat, p.ex.). Dans l’ensemble, la dynamique des crues et, surtout, la concentration de matières solides jouent un rôle décisif dans la conception

Tab. E1

Liste non exhaustive de mesures de construction.

Toutes sortes de variantes sont possibles à l’intérieur des catégories mentionnées. Cette énumération ne doit surtout pas constituer un frein à la créativité lors de l’élaboration des mesures. Le tableau relève aussi d’autres atteintes ou conflits écologiques potentiels.

		Accumulation par pompage	Centrale de dérivation de l’éclusee, au niveau de la centrale	Protection contre les crues	Loisirs de proximité	Revitalisation, projet combiné	Irrigation	... éventuelles autres possibilités	Érosion des sédiments	Modification du niveau de la courbe des remous	Écologie du milieu récepteur****	Obstacle à la migration	Allongement du tronçon à débit résiduel	Charrage	... éventuelles autres atteintes	Rivières du fond des vallées (éclusées de forte amplitude)	Rivières du fond des vallées (éclusées de faible amplitude)	Affluent dans une vallée principale	Cours d’eau des vallées latérales		
		Mesures de construction				Autres exploitations potentielles				Atteintes écologiques potentielles				Adéquation géographique							
Mesures visant à instaurer un hydrogramme écologique	Bassin de rétention	✓					✓		!							✓	×	×	✓		
	Caverne de rétention	○					○		!							×	✓	×	✓		
	Bassin polyvalent*	○	✓	✓	✓		✓		!	!		!	!			✓	○	×	×		
	Dérivation vers un lac**	✓	✓	○							!		!	!		×	×	○	○		
	Dérivation vers un cours d’eau plus grand**		✓	○							!		!	!		×	×	○	○		
Mesures visant à réduire l’impact des éclusees dans le cours d’eau	Lit parallèle avec débit permanent			○	○	○										✓	○	○	○		
	Modification de l’écoulement***					○										✓	✓	✓	✓		
	Brise-lames, structures, piège à substrat					○										×	✓	✓	✓		
	Niches pour les poissons					○										○	○	○	○		
	... autres mesures possibles																				
* Pour atténuer p. ex. les éclusees d’une centrale au fil de l’eau (cf. projet SYNERGIE, Heller et Schleiss 2008)		✓ Possible ○ À vérifier								! Condition-cadre à respecter **** Écologie du cours d’eau ou du plan d’eau vers lequel l’éclusee est dérivée.								✓ Possible ○ À vérifier × Inappropriée			
** Galerie ou canal.																					
*** Instream River Training (Werdenberg et al. 2012)																					

et la durabilité de ces aménagements morphologiques, qu’il vaut mieux laisser évoluer naturellement plutôt que de les contraindre. Lors de la réalisation de ces mesures, il faut veiller à ce qu’elles ne risquent pas de se muer en pièges, en particulier pour les juvéniles, lorsque le niveau de l’eau descend.

Des adaptations de grande envergure de la morphologie, au sens de la « Revitalisation des cours d’eau – Planification stratégique » (Göggel 2012), ne sont pas à proprement parler des mesures d’assainissement des éclusées. Comme elles modifient l’état morphologique prévisible, elles interviennent aussi dans la définition des valeurs cibles pour les paramètres hydrologiques des éclusées. Soulignons notamment que d’importants aménagements de la morphologie du cours d’eau peuvent atténuer les crêtes de l’hydrogramme grâce à la rétention dynamique, qui s’accroît au fil de l’écoulement (Stranner 1996, Meile et al. 2008 ; cf. annexe F). Cet effet d’atténuation se limite toutefois aux taux de variation du débit et du niveau d’eau, ainsi qu’aux éclusées brèves et de volume réduit (Hauer et al. 2013).

Combinaison de mesures visant à atténuer les éclusées et à améliorer la morphologie

Selon la situation, il peut être indiqué d’associer mesures de construction de nature morphologique et mesures de construction visant à créer une restitution ciblée du débit turbiné. Les études détaillées réalisées sur le Rhin alpin, par exemple, le prouvent de manière irréfutable sur le plan quantitatif (ezb et al. 2012). D’autres travaux soulignent la nécessité d’une revalorisation morphologique, combinée avec une amélioration du régime d’écoulement (AquaPlus 2013, Baumann et al. 2012, Schweizer et al. 2013 (1) – (4)).

Ne pas engendrer de nouvelles atteintes

L’étude de mesures de construction doit veiller à ne pas provoquer de nouvelles atteintes graves ou des atteintes supplémentaires, à l’exemple de celles mentionnées dans le tableau E1 (impact sur l’écologie d’un lac à proximité du déversement, nouveaux obstacles à la migration des poissons, perturbation du charriage, allongement du tronçon à débit résiduel, etc.). Ces atteintes potentielles, de même que les possibles conflits et le risque de porter atteinte à des écosystèmes et à des paysages dignes de

protection (objets IFP, zones alluviales et zones marécageuses, p. ex.), doivent être pris en compte lors du choix de la mesure la plus appropriée (cf. 4.3). Il convient en outre de prendre en considération de possibles conséquences néfastes sur le charriage et la protection contre les crues.

1.2 Mesures d’exploitation

Du point de vue écologique, des mesures d’exploitation peuvent produire le même effet que les mesures de construction qui visent à ralentir la restitution du débit turbiné. Les mesures d’exploitation envisageables sont : i) accroissement du débit plancher, ii) réduction du débit d’éclusée, iii) diminution du taux de montée et de descente du niveau d’eau, iv) réduction du nombre d’éclusées, v) création d’éclusées anticipées et vi) exploitation anticyclique de plusieurs centrales successives.

Conditions techniques

Les composantes techniques de la centrale hydroélectrique fixent les limites des mesures d’exploitation. Celles-ci peuvent être envisagées si les commandes électromécaniques de la centrale permettent de ralentir le démarrage et l’arrêt des turbines et/ou d’accroître le débit plancher ou de diminuer le débit d’éclusée. La réalisation de ces conditions dépend du type et du nombre de turbines, ainsi que du débit équipé.

Si ces conditions ne sont pas réunies, l’application de mesures d’exploitation peut être précédée par la réalisation de mesures techniques, comme l’installation d’une turbine de dotation ou le renouvellement de certaines composantes de la centrale.

Les mesures d’exploitation constituent parfois une bonne solution

Les mesures d’exploitation peuvent s’avérer judicieuses dans certains cas particuliers. Voici quelques exemples de ce genre de situations : i) lorsque le coefficient énergétique (kWh/m^3) d’une installation hydraulique est faible, ii) selon le parc d’installations du détenteur et selon sa production (énergie de ruban, énergie de pointe, prestation de services système), iii) à condition que plusieurs détenteurs de centrales coopèrent, iv) lorsque, de toute évidence, la place manque pour des mesures de construction.

2 Pilotage des mesures

Le pilotage des mesures (réglage du vidage d’un bassin de rétention, p. ex.) vise à modifier directement les hydrogrammes dans le tronçon à éclusées.

Pilotage des mesures : quatre principes

Le pilotage des mesures respecte les quatre principes ci-après :

1. Il vise les déficits et les causes liées aux éclusées, dans la mesure où il modifie les paramètres hydrologiques correspondants de l’hydrogramme d’éclusée.
2. Il est spécifique à chaque cours d’eau, c’est-à-dire que le pilotage n’intervient pas sur la base de rapports fixes entre débit d’éclusée et débit plancher, mais selon les objectifs formulés pour le cours d’eau concerné et les valeurs cibles des paramètres hydrologiques (cf. 3.4 et annexe D).
3. Il respecte les variations des exigences écologiques des indicateurs biotiques au cours de l’année (pilotage saisonnier en fonction de l’espèce indicatrice et du stade de développement des individus). La mesure concernée sera donc au besoin pilotée différemment chaque saison.

4. Le pilotage intervient de telle sorte que les conditions hydrologiques requises, selon l’annexe D, soient remplies au mieux.

Gestion de volumes de rétention

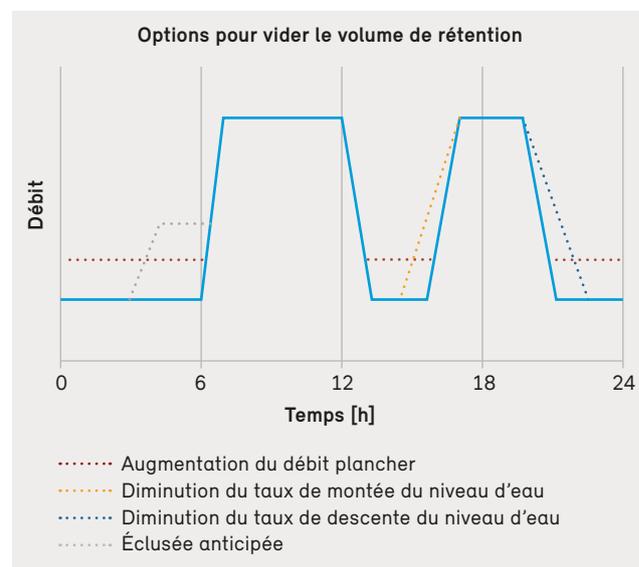
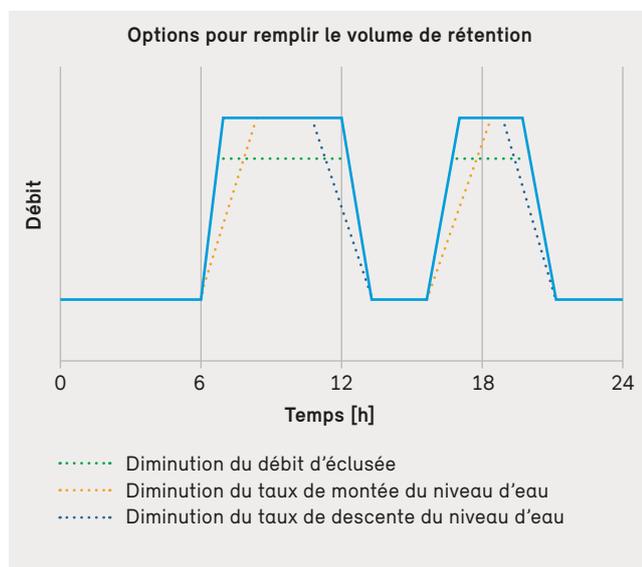
La gestion d’un volume de rétention, tel un bassin, offre des possibilités multiples. Elle permet d’adapter le pilotage à chaque situation spécifique, mais augmente ainsi son degré de complexité.

Les paramètres utilisés pour piloter le remplissage du volume de rétention comprennent en principe le taux d’accroissement du débit, le débit d’éclusée et le taux de diminution du débit (fig. E1, à gauche). Quant aux paramètres servant à piloter le vidage de ce volume, il s’agit du taux de diminution du débit, du débit plancher et du taux d’accroissement du débit (fig. E1, à droite).

Les phases durant lesquelles le débit monte et descend offrent un intérêt particulier pour le pilotage, car elles peuvent servir aussi bien à remplir qu’à vider le volume de rétention. Compte tenu des limites imposées par le niveau minimal et le niveau maximal du bassin ainsi que par l’équation de continuité, les modèles de pilotage peuvent être combinés et optimisés comme indiqué dans la figure E1.

Fig. E1

Options pour remplir et vider un volume de rétention.



Le vidage d’un volume de rétention peut également intervenir dans le cadre d’une éclusée anticipée (fig. E1, à droite). Il s’agit d’un cas particulier de vidage, qui intervient pendant que le débit augmente. Une éclusée anticipée peut être utile pour offrir la possibilité aux organismes benthiques et aux poissons de se retirer dans des zones à l’abri du courant, soit en s’enfouissant dans le substrat soit en trouvant refuge dans des structures morphologiques, et de réduire la charge hydraulique que subit le fond du lit durant la montée du niveau d’eau. Pour produire l’effet escompté, une éclusée anticipée est en général dimensionnée sur la base de tests de dérive (indicateur F1, annexe C).

Prise en compte de la morphologie

Le pilotage des mesures tient compte de la morphologie des tronçons concernés, car les valeurs cibles des paramètres hydrologiques sont définies en fonction du cours d’eau. Il peut de plus prendre en considération les particularités ci-après :

- Valeurs seuils du rapport entre la profondeur de l’eau et la largeur inondée ou la superficie du tronçon représentatif (Schweizer et al. 2013 (1)–(4), Hauer et al. 2014).
- Valeurs seuils évitant de rompre la connectivité avec des habitats de grande valeur, des affluents, des bras latéraux, etc.

Exemple: Le volume d’un bassin de rétention peut être spécialement prévu pour correspondre à la phase de diminution du débit, qui constitue le facteur déterminant de l’échouage en raison de la géométrie du lit du cours d’eau.

Optimisation saisonnière

Le pilotage des mesures doit être optimisé selon la saison, en fonction des déficits et des causes observées, ainsi que des valeurs cibles définies. À cet effet, il est possible de tenir compte des aspects ci-après :

- Processus importants (conditions de frai, mise à sec et stabilité des frayères, dérive et échouage du macrozoobenthos et de poissons).
- Débits provenant des parties amont du bassin versant (affluents).
- Utilisation du volume de rétention à d’autres fins (irrigation, accumulation par pompage, etc.).

Le tableau E2 présente quelques-uns des principaux processus qui peuvent porter gravement atteinte à l’écologie des eaux au cours des saisons. La période cruciale dépend de l’espèce indicatrice considérée et du stade de développement de ses individus, ainsi que du cours d’eau lui-même (tab. E3). La définition de conditions hydrologiques requises selon l’annexe D (tableau récapitulatif – partie III) vise à optimiser les mesures en fonction des saisons.

Exemple: La gestion d’un bassin de rétention varie selon la saison. En automne et en hiver, elle vise à garantir au mieux des conditions de frai acceptables, à éviter la mise à sec du frai et à préserver la stabilité des frayères. Au printemps et en été, elle s’attache à réduire au mieux la dérive et l’échouage du macrozoobenthos et des juvéniles.

Tab. E2

Quelques-uns des principaux processus pouvant porter atteinte à l’écologie des eaux au cours des saisons.

(MZB = macrozoobenthos).

Saison	Processus	Débit plancher	Montée du niveau d’eau	Début d’éclusée	Descente du niveau d’eau
Printemps	Échouage et dérive d’alevins et de MZB	(X)*	X	X	X
Été	Dérive de juvéniles et de MZB (échouage)**	(X)*	X	X	(X)
Automne	Conditions de frai	X		X	
Hiver	Dérive de MZB; stabilité des frayères	X	X	X	

* Le débit minimal contribue à déterminer l’étendue de la zone de marnage.

** Le risque d’échouage est plus faible en été, car les juvéniles possèdent une capacité de nage légèrement meilleure.

3 Définition d’hydrogrammes représentatifs

Rôle des hydrogrammes dans l’élaboration de mesures d’assainissement

Lors de l’élaboration de mesures d’assainissement, le choix et l’utilisation d’hydrogrammes représentatifs jouent un rôle à plus d’un titre :

- Lors de l’analyse des déficits et des causes (cf. 3.2 et 3.3) : les hydrogrammes attribués aux déficits observés dans le cours d’eau sont déterminants.
- Lors de la formulation des objectifs (cf. 3.4.), c’est-à-dire pour fixer les valeurs cibles des paramètres hydrologiques d’hydrogrammes écologiques et pour définir les conditions hydrologiques requises.
- Lors de l’évaluation de l’effet écologique de mesures d’assainissement dans le cours d’eau (bassins de rétention de différents volumes, p. ex.).
- Lors de l’utilisation de kits d’analyse (indicateur P3*, annexe C) : sont alors déterminants les hydrogrammes qui préexistent dans le cours d’eau durant les analyses.
- Lors de l’identification et de la prise en considération d’éventuelles modifications d’exploitation, du marché et du climat.

Caractéristiques des hydrogrammes

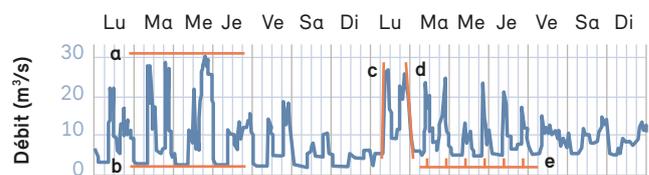
Un hydrogramme comportant des éclusées peut être décrit à l’aide des paramètres hydrologiques (fig. E2) suivants :

- Débit d’éclusée (= débit maximal journalier).
- Débit plancher (= débit minimal journalier).
- Taux d’augmentation du débit, converti à l’aide de la relation entre niveau et débit pour fournir le taux de montée du niveau d’eau.
- Taux de diminution du débit, converti à l’aide de la relation entre niveau et débit pour fournir le taux de descente du niveau d’eau.
- Le nombre d’éclusées quotidiennes (au besoin).

Fig. E2

Hydrogramme présentant des éclusées caractérisées à l’aide des paramètres hydrologiques

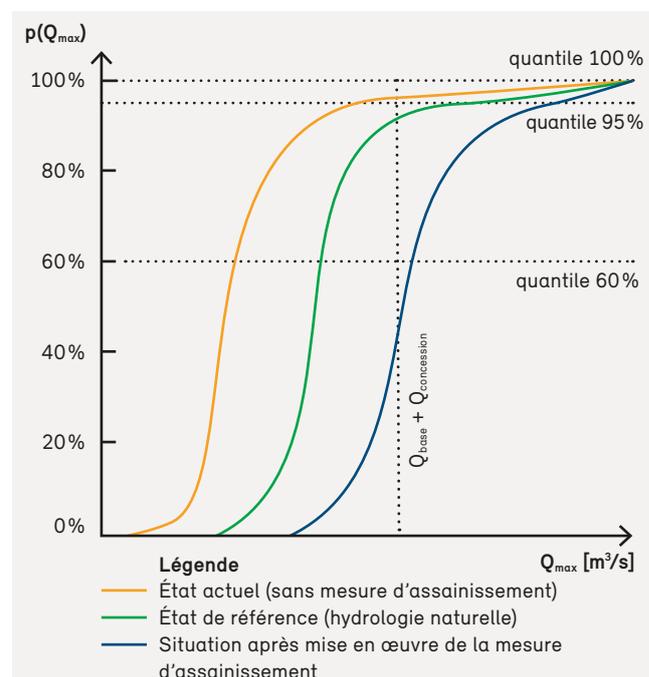
(tiré de Bruder et al. 2012). a : débit d’éclusée, b : débit plancher, c : taux d’augmentation du débit ou de montée du niveau d’eau, d : taux de diminution du débit ou de descente du niveau d’eau, e : nombre d’éclusées.



La description de l’indicateur D2 de l’annexe C contient des détails concernant les paramètres hydrologiques. Pour pouvoir représenter les diverses valeurs des éclusées durant une période donnée, les différents paramètres peuvent être décrits par une distribution des fréquences ou une fréquence cumulée de respectivement chaque valeur maximale journalière (débit d’éclusée, taux de montée du niveau d’eau) et de chaque valeur minimale journalière (débit plancher, taux de descente du niveau d’eau ; fig. E3).

Fig. E3

Fréquence cumulée dans le cas du débit d’éclusée Q_{max} .



Le modèle illustré dans la figure E3 convient également pour représenter l’état actuel et l’état de référence au regard de l’hydrologie et de comparer l’effet de la mesure d’assainissement sur les paramètres hydrologiques. Il est possible de préciser les informations mentionnées en leur ajoutant les éléments qui suivent :

- Fréquence cumulée du débit plancher : le débit Q_{347} de l’état de référence décrit la situation d’étiage dans des conditions hydrologiques naturelles et fournit ainsi des indications sur le débit plancher.
- Fréquence cumulée du taux de descente du niveau d’eau : les valeurs seuils de l’indicateur P2* Échouage de poissons fournissent des indications qui conduisent à une première estimation du taux de descente du niveau d’eau.
- Fréquence cumulée du débit d’éclusée : la comparaison des valeurs observées avec le débit d’éclusée théorique maximal (qui tient donc compte du débit équipé prévu par la concession et qui est égal à $Q_{base} + Q_{concession}$) apporte des informations sur la situation actuelle du marché par rapport à la concession.

Évaluation d’indicateurs à l’aide d’hydrogrammes

À l’aide des fréquences cumulées (quantiles), il est possible de construire des hydrogrammes représentatifs de l’état actuel et de l’état après assainissement, comme cela a été fait pour l’étude du bassin de rétention des

KWO (Schweizer et al. 2013 (1) – (4)). Les hydrogrammes avec et sans mesures d’assainissement servent les buts suivants :

- Déterminer la classe d’état de l’indicateur D2 Paramètres hydrologiques.
- Déterminer la classe d’état des indicateurs sensibles aux éclusées et prévisibles (indicateurs principaux).
- Permettre le cas échéant une évaluation qualitative des autres indicateurs, grâce aux estimations d’un spécialiste, à des raisonnements par analogie, etc.

Périodes déterminantes

Les cours d’eau qui subissent l’influence des éclusées en Suisse appartiennent le plus souvent à la zone à truites, même si les grandes rivières alpines présentent parfois des pentes ne dépassant pas 1 à 2 ‰. Les indicateurs sont en général évalués durant le régime d’écoulement hivernal, car c’est à cette saison que les débits et les niveaux s’écartent le plus de l’état naturel. Selon les déficits observés et le type de cours d’eau, il importe cependant de décider de cas en cas si d’autres périodes doivent être considérées. Il s’agit en particulier de tenir compte des périodes où les déficits sont les plus grands par rapport aux exigences de l’espèce piscicole indicatrice. Les déficits pour les juvéniles et le macrozoobenthos, ainsi qu’en matière de température (cf. indicateur Q1*, annexe C) peuvent en effet jouer un rôle décisif même durant l’été.

Tab. E3

Données indicatives des saisons à prendre en considération pour les espèces piscicoles indicatrices.

Les mois sont indiqués à titre indicatif et doivent absolument être confirmés pour chaque cours d’eau étudié.

	Domaines dans lesquels des déficits sont observés		
	Frai	Développement du frai*	Échouage (stade larvaire à 0+)
Cours d’eau alpins	Truite : oct. à déc.	Truite : jusqu’en mars-mai env.	de mars-mai jusqu’en sept./oct.
Cours d’eau périalpins	Truite : nov./déc.	Truite : jusqu’à mars/avril env.	de mars/avril jusqu’en sept./oct.
Cours d’eau du Plateau	Truite : nov. à janv. Ombre : mars Barbeau : avril/mai	Truite : jusqu’en fév./mars env. Ombre : jusqu’en mai env. Barbeau : à partir de 15 jours après le frai	Indépendamment de l’espèce : de l’éclosion jusqu’en sept./oct.
Cours d’eau du Jura	Truite : déc./janv. Ombre : mars Barbeau : avril/mai	Truite : jusqu’en mars/avril Ombre : jusqu’en mai env. Barbeau : à partir de 15 jours après le frai	Indépendamment de l’espèce : de l’éclosion jusqu’en oct.

* En moyenne, le développement du frai dure 450 degrés-jours chez les truites fario et lacustre, 200 degrés-jours chez l’ombre et environ 130 à 160 degrés-jours chez le barbeau.

En ce qui concerne les poissons, les exigences englobent d’une part le frai, le développement du frai et l’échouage, mais d’autre part aussi les habitats disponibles pour les juvéniles, aux différents stades de leur développement. Compte tenu des stades de développement des poissons, nous proposons les périodes ci-après (tab. E3) à titre indicatif, ces données étant à confirmer pour chaque cours d’eau considéré.

Prise en compte de l’exploitation, du marché et du climat

La prise en compte de l’exploitation, du marché et du climat dans les hydrogrammes a pour but d’inclure les évolutions futures, sur la base des connaissances actuelles, dans le dimensionnement de mesures.

Dans le contexte actuel, il est pratiquement impossible de prévoir l’évolution de l’exploitation, du marché et du climat à moyen terme. Le plus logique consiste donc à baser l’élaboration des mesures sur les hydrogrammes des cinq à dix dernières années (conformément à l’art. 41f, al. 2, OEaux). Ces considérations ne devraient toutefois pas empêcher le détenteur d’une centrale de s’interroger sur l’évolution de l’exploitation, du marché et du climat et d’inclure dans ses travaux, notamment à titre de comparaison, les hydrogrammes qui considèrent le débit équipé de concession.

Voici la démarche proposée :

- Le détenteur présente les hydrogrammes des cinq à dix dernières années.
- Il propose les hydrogrammes (à partir de la centrale) sur lesquels se fondera l’élaboration des mesures d’assainissement.
- Si les hydrogrammes observés et proposés diffèrent considérablement, il explique les différences et les justifie.

Prise en compte des prestations de services système (SDL)

Ces dernières années, nombre de grandes centrales à accumulation ont adapté leur production aux besoins des prestations de services système (SDL). Il existe par ailleurs quelques cas de centrales, qui disposent certes d’un réservoir d’accumulation, mais qui sont gérées

pratiquement comme des centrales au fil de l’eau. Leur production est ainsi plus régulière et elles ne turbinent pas le débit de concession ou très rarement. Au stade actuel, il est impossible de prévoir durant combien de temps et sous quelle forme le marché des SDL se maintiendra. Toujours est-il que si l’on se fonde sur ce régime de fonctionnement, les mesures d’assainissement risquent d’être sous-dimensionnées. Il importe donc de tenir compte également d’un hydrogramme représentatif du mode d’exploitation futur. Elles risquent par ailleurs d’être surdimensionnées, si elles sont prévues pour remédier à une future atteinte potentielle, dont la réalisation demeure toutefois incertaine. Ces risques doivent être examinés et gérés selon les spécificités de chaque cas.

4 Bibliographie

- AquaPlus 2013. Sanierung Schwall-Sunk Engelberger Aa – Kraftwerke Wolfenschiessen und Dallenwil, Stans: 71 p.
- Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012. Assainissement des éclusées – Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1203: 127 p.
- Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk, Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf: 92 p.
- Bruder A., Schweizer S., Vollenweider S., Tonolla D. und Meile T. 2012. Schwall und Sunk: Auswirkungen auf die Gewässerökologie und mögliche Sanierungsmassnahmen. Wasser Energie Luft 104(4): 257 – 264.
- ezb, limnex, sje. 2012. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile Arbeitspaket 5: Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Grösse des Schwalleinflusses am Alpenrhein. IRKA: 185 p.
- Göggel W. 2012. Revitalisation des cours d’eau. Planification stratégique. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1208: 43 p.
- Hauer C., Schober B., Habersack H. 2013. Impact analysis of river morphology and roughness variability on hydropeaking based on numerical modelling. Hydrological Processes 27: 2209 – 2224.
- Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. Earth Surface Processes and Landforms 39: 1622 – 1641.
- Heller P., Schleiss A. 2008. Aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples: résolution du marnage artificiel et bénéfiques écologiques, énergétiques et sociaux. Wasser Energie Luft 100: 101–108.
- Meile T., Boillat J.L., Schleiss A. 2008. Dämpfende Wirkung von grossmaßstäblichen Uferrauheiten auf Schwall- und Sunkerscheinungen in Flüssen. WasserWirtschaft 12: 18–24.
- OFEV 2016. Assainissement écologique des centrales hydrauliques existantes – Financement des mesures requises. Un module de l’aide à l’exécution Renaturation des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. L’environnement pratique n° 1634: 51 p.
- Ribi J.M., Boillat J.L., Peter A., Schleiss A. 2001. Refuges à poissons aménagés dans les berges de rivières soumises aux éclusées. Wasser Energie Luft 108: 320–326.
- Schneider L., Speerli J. 2014. Schlussbericht Modellversuche OptiFlux – Strukturverbesserungen in Talflüssen. 63 p.
- Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K. 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft 105: 191 – 199.
- Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105: 200 – 207.
- Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M., Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105: 269 – 276.
- Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105: 277 – 287.

Stranner H. 1996. Schwallwellen im Unterwasser von Spitzenkraftwerken und deren Reduktion durch flussbauliche Massnahmen. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Nr. 20. Technische Universität, Graz: 124 p.

Werdenberg N., Meile T., Steiner R. 2012. Strömungslenkung an der unteren Taverna. Neue Wege im naturnahen Flussbau. Aqua & Gas 4: 12 – 17.

Widmann W. 2008. Schwallreduzierung durch Zwischenbecken bei Speicherkraftwerken, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 60: 65 – 72.

Annexe F – Modélisation des habitats

1 De la nécessité de modéliser

Pour choisir la mesure d’assainissement la plus appropriée, la seule étude des paramètres hydrologiques ne suffit généralement pas. Il est le plus souvent nécessaire de prévoir l’état écologique d’un cours d’eau après assainissement en recourant à des modèles d’habitats, en utilisant des séries de données appropriées et en tenant compte des processus dynamiques.

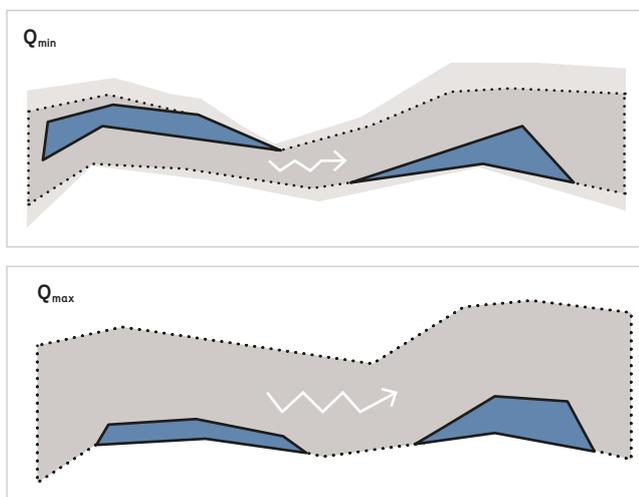
Des modèles hydrauliques bidimensionnels permettent par exemple de calculer la profondeur de l’eau et la vitesse d’écoulement, ainsi que la stabilité des substrats pour différents débits et morphologies, le tout pour chaque cellule du modèle spécialement conçu pour le cours d’eau concerné. Dans un deuxième temps, les résultats purement hydrologiques, morphologiques et hydrauliques de la modélisation peuvent être mis en relation avec les exigences biotiques des poissons ou du macrozoobenthos (en recourant aux courbes de préférence, à l’avis d’un spécialiste, etc. ; cf. indicateurs B5 et P6, annexe C).

Dans cette étape de la modélisation des habitats, l’habitabilité est indiquée sous la forme de l’indice de qualité de l’habitat (IQH, habitat suitability index), dont la valeur se situe entre 0 (= inadéquat ou inhabitable) et 1 (= habitabilité optimale). Lors d’études portant sur les éclusées, il est recommandé d’identifier par exemple des habitats permanents, qui offrent une habitabilité minimale même durant les éclusées et dont l’IQH est supérieur à une valeur limite à définir ($IQH > IQH_{lim}$, où IQH_{lim} est p. ex. égal à 0,5 ; cf. fig. F1 et Hauer et al. 2014).

Fig. F1

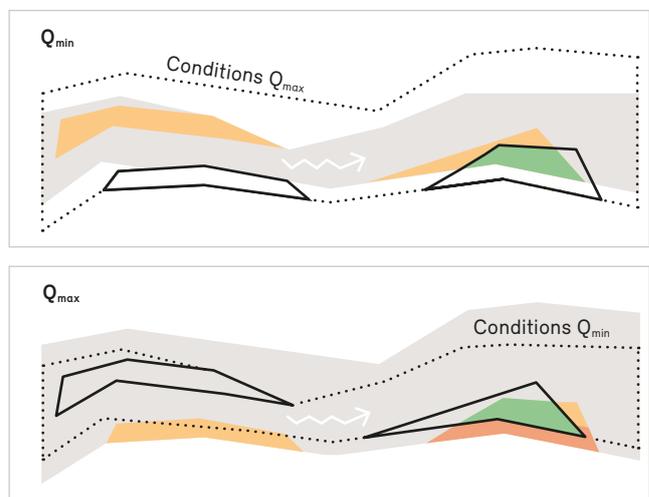
Détermination schématique des conditions d’habitat stationnaires (a) et dynamiques (b) pour Q_{max} et Q_{min} dans un tronçon à étudier fictif (tiré de Bieri et al. 2013). IQH : indice de qualité de l’habitat ; H : profondeur de l’eau.

a) Conditions stationnaires



— Profondeur de l’eau suffisant $H > H_{lim}$
 ■ Habitat de grande qualité écologique $IHQ < IHQ_{lim}$

b) Conditions dynamiques



■ Habitat permanent $IQH(Q_{min}) \text{ et } IQH(Q_{max}) > IQH_{lim}$
 ■ Habitat non permanent $IQH(Q_{min}) \text{ ou } IQH(Q_{max}) > IQH_{lim}$
 ■ Habitat mis à sec $IQH(Q_{max}) > IQH_{lim} ; H(Q_{min}) > H_{lim}$

2 Choix du modèle et exigences relatives aux données de base

2.1 Choix du modèle

2.1.1 Modèles hydrauliques

Le choix du modèle dépend en particulier des quatre paramètres ci-après :

1. Morphologie (lit canalisé, structuré, ramifié).
2. Échelle des processus (degré de détail à représenter).
3. Importance de la composante verticale de la vitesse d’écoulement.
4. Phénomènes à modéliser : processus évolutifs (montée et descente de l’éclusée) ou état ponctuel (pic de débit, débit plancher).

Les modèles hydrauliques se distinguent en particulier par leurs dimensions spatiales (uni-, bi- et tridimensionnels) et temporelles (stationnaire = indépendant du temps ; non stationnaire = dépendant du temps).

Rousselot et al. 2012 fournissent des remarques générales concernant les modèles hydrauliques numériques et leur application.

Nombre de dimensions spatiales

Le nombre des dimensions spatiales retenues pour la modélisation dépend avant tout de la complexité de la morphologie. Plus elle est complexe, plus il est essentiel de recourir à un modèle pluridimensionnel :

- Les modèles hydrauliques unidimensionnels peuvent suffire pour des cours d’eau au tracé monotone, voire au lit légèrement structuré (canal, etc.), ainsi que pour des processus se déroulant à grande échelle, comme le charriage, les surfaces inondées à la géométrie simple, etc.
- Les modèles hydrauliques bidimensionnels sont en général recommandés pour des cours d’eau au lit moyennement à fortement structuré ou ramifié (bancs alternés, plusieurs bras, etc.), ainsi que pour des processus se déroulant à petite échelle, les profondeurs locales, les vitesses d’écoulement, les surfaces inondées à la géométrie complexe.

- Les modèles hydrauliques tridimensionnels sont complexes de par leur conception et exigent une capacité de calcul relativement élevée. Ils ne sont dès lors pas recommandés pour modéliser des éclusées à grande échelle. Ils sont néanmoins fort utiles pour décrire des processus très locaux, qui se déroulent à très petite échelle, telle la circulation du courant dans les affouillements et sur la crête des épis, où la composante verticale de la vitesse d’écoulement revêt une grande importance par rapport à la composante horizontale.

Selon le logiciel utilisé, il est également possible de combiner des modèles de diverses dimensions. Il importe de veiller à la résolution et au maillage du modèle, ainsi qu’à la synchronisation lors de l’utilisation de plusieurs modèles.

Dimension spatiale : stationnaire ou non stationnaire ?

Si les modèles stationnaires exigent moins de travail et de capacités de calcul que les modèles non stationnaires, ils ne tiennent toutefois pas compte de l’évolution dans le temps. Il est recommandé d’utiliser des modèles non stationnaires pour examiner des problématiques telles que la rétention dynamique (atténuation ou renforcement de l’éclusée), le déplacement temporel et spatial des éclusées produites par différentes centrales ou le début du mouvement du substrat sous l’effet du frottement. De tels modèles ont par exemple été utilisés pour la Linth, le Rhône et la Sarine dans le cadre de la planification stratégique cantonale.

2.2 Modélisations des habitats

Les résultats des modélisations hydrauliques servent de base aux modélisations des habitats. On distingue ici deux types de modèles :

- Les modèles univariés, qui considèrent les préférences en matière d’habitat en fonction d’un paramètre, puis procèdent à des recoupements. Exemple : On commence par évaluer l’habitabilité sur la base des diverses courbes de préférence, puis on détermine une habitabilité globale.
- Les modèles multivariés, qui considèrent les préférences en matière d’habitat en fonction de plusieurs

paramètres. Exemple : approches basées sur une règle (y compris la logique floue) ou régression multivariée. L’interaction entre les paramètres est prise en compte.

Le modèle à utiliser sera choisi par les spécialistes sur la base des données disponibles et des exigences du cas considéré.

La modélisation des habitats fournit en général une habitabilité dont la valeur se situe entre 0 et 1, et qui est déterminée pour plusieurs débits. Une éventuelle interprétation peut se fonder sur la modification et le déplacement de l’habitat au fil de temps.

Dans les analyses consacrées aux éclusées, ce sont surtout l’échouage de poissons et la dérive, de même que les atteintes subies par les frayères, qui revêtent une importance particulière. Des modèles récents, plus sophistiqués, permettent d’étudier directement ces phénomènes et d’identifier les risques (à l’instar de l’habitabilité). De tels modèles considèrent des exigences ou des tolérances quant à des grandeurs susceptibles de varier dans le temps, telles les vitesses de descente du niveau d’eau, les contraintes d’entraînement maximales et les vitesses d’écoulement dans les zones peu profondes (Schneider et Noack 2009, ezb et al. 2012a).

2.3 Exigences relatives aux données de base

Données de base des modèles hydrauliques

Le tableau F1 énumère les données fondamentales requises pour toute modélisation hydraulique, indépendamment des indicateurs. Les exigences à remplir par les indicateurs pour l’établissement de prévisions sont spécifiées dans les fiches des indicateurs (annexe C) et des informations concernant les hydrogrammes figurent à l’annexe E.

Tab. F1

Données de base des modèles hydrauliques.

Utilisation	Données de base	1D	2D
Topographie	Modèle numérique du terrain (MNT)		X
	Données collectées à l’aide d’un scanner laser – résolution $\leq 0,5 - 1$ m		X
	Relevés du fond du lit (sur le terrain)	X	X
	Relevés de profils transversaux	X	
Coefficient de rugosité	Cartographie du substrat	X	X
	Répartition granulométrique	X	X
Calibrage	Limite de l’eau (codage temporel)	X	X
	Orthophotos/vues aériennes (avec date et heure des prises de vue)	X	X
	Vitesses d’écoulement, profondeurs de l’eau		
	Surfaces de l’eau (calculée à partir des relevés)	X	

Recenser la répartition granulométrique

Connaître la répartition granulométrique de la couche inférieure est essentiel pour déterminer les coefficients de rugosité, ainsi que pour évaluer le recours au modèle. Le relevé peut être établi grâce à des échantillonnages en ligne (Fehr 1987) ou à l’aide de l’instrument Basegrain (www.basement.ethz.ch/download/tools/basegrain.html). L’utilisation de modèles bidimensionnels convient en particulier pour des granulométries allant jusqu’à d_{90} à 0,2 m de profondeur. Des chenaux à répartition granulométrique grossière affichent en général une forte pente et une structure de gros blocs, de même que des systèmes de rampes (**step-pool**). Dans les cas particuliers, des modélisations bidimensionnelles sont également possibles pour des substrats grossiers, en particulier lorsque la résolution des relevés est faible et que le calibrage utilise le niveau de l’eau.

3 Exemples pratiques

Des exemples de modélisations des habitats pour différentes espèces de poissons et différents stades de développement figurent dans les publications ci-après : ezb et al. (2012a, 2012b, 2012c, 2012d) pour le Rhin alpin ; Limnex (2012), Schneider (2012), Bieri et al. (2013) et

Person et al. (2013) pour l’Aar du Hasli ; Zurwerra et Bur (2009) pour la Sarine.

Une modélisation des habitats du macrozoobenthos dans des tronçons à éclusées n’a jusqu’ici été entreprise que dans deux cours d’eau : le Rhinalpin, en parallèle à la modélisation des habitats des poissons (www.alpenrhein.net), et dans l’Aar du Hasli (Tanno 2012, Tanno et al. 2013).

4 Bibliographie

Bieri M., Person E., Peter A., Schleiss A. 2013. Beurteilung von Massnahmen zur Reduktion von Schwall und Sunk – Fallbeispiel Hasliaare. *Wasser Energie Luft* 105 : 95 – 102.

ezb, sje, limnex. 2012a. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Habitatmodellierung, Biotische Grundlagen und Methodik. IRKA : 54 p.

ezb, sje, limnex. 2012b. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Ergebnisse Habitatmodellierung, Schlussfolgerungen und Empfehlungen. IRKA : 57 p.

ezb, limnex, sje. 2012c. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Arbeitspaket 5: Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Größe des Schwalleinflusses am Alpenrhein. IRKA : 185 p.

ezb, limnex, sje 2012d. Alpenrhein D6 : Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Arbeitspaket 2: Adaptierung der Präferenzkurven, Definition von Eingangsparametern für die Habitatmodellierung. IRKA : 123 p.

Fehr R. 1987. Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. Mitteilung Nr. 92, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). EPFZ, Zurich : 137 p.

Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown

trout during hydropeaking. *Earth Surface Processes and Landforms* 39 : 1622 – 1641.

Limnex. 2012. Schwall-Sunk Bewertung der KWO-Zentralen in Innertkirchen. Bewertung des Ist-Zustandes und Varianten zur Bewertung eines zukünftigen Zustandes nach Realisierung des Ausbauprojektes «KWO plus». Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG : 124 p.

Person E. 2013. Impact of hydropeaking on fish and their habitat. Thèse de doctorat. EPFL, Lausanne : 151 p.

Rousselot P., Vetsch D., Fäh R. 2012. Modélisation numérique des cours d’eau. In : Recueil de fiches sur l’aménagement et l’écologie des eaux. Office fédéral de l’environnement, Berne. Fiche 7 : 8 p.

Schneider M. 2012. Casimir-Modellierungen zur Ermittlung der Indikatoren F2 und F3 in drei schwallbeeinflussten Strecken der Hasliaare für den Ist-Zustand und weitere Szenarien. Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG : 45 p.

Schneider M., Noack M. 2009. Untersuchung der Gefährdung von Jungfischen durch Sunkereignisse mit Hilfe eines Habitatsimulationsmodells. *Wasser Energie Luft* 2/2009 : 115 – 120.

Tanno D. 2012 : Physical habitat modeling for the assessment of macroinvertebrate response to hydropeaking. Master Thesis, University of Zurich and Eawag : 66 p.

Tanno D., Schweizer S., Robinson C.T. 2013. Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Makroinvertebraten anhand von physikalischen Habitatmodellen. *Wasser Energie Luft* 105 : 288 – 295.

Zurwerra A., Bur M. 2009. Abschätzung der Schäden an Fischen und Nährtieren in einer Schwall-Sunk Strecke der Saane (Freiburg, Schweiz). *Wasser Energie Luft* 4/2009 : 288 – 295.

Annexes G – Exigences relatives aux documents à établir à chaque étape

Selon l’art. 41g, al. 1, OEaux, les détenteurs de centrales hydroélectriques qui doivent prendre des mesures afin d’éliminer ou de prévenir des atteintes graves dues aux éclusées sont tenus d’étudier diverses variantes de mesures d’assainissement. Le détenteur doit consigner les résultats de ces études, de même que l’évaluation des mesures, et présenter le dossier établi au canton (à l’OFEN dans le cas de centrales internationales) sous la forme appropriée. De son côté, le canton doit transmettre ces documents, avec son évaluation (préavis), pour consultation à l’OFEV, avant d’ordonner un assainissement ou d’accorder un permis de construire (fig. 2).

Les explications ci-après ont pour but d’aider les détenteurs de centrales hydroélectriques à remettre les résultats des travaux et l’évaluation des mesures à l’autorité cantonale sous une forme appropriée. Il s’agit le plus souvent d’un rapport, qui comprend les géodonnées utilisées. La partie I présente les exigences générales relatives aux documents, tandis que les parties II, III et IV présentent les documents à transmettre pour les trois grandes étapes (définition des objectifs, étude de variantes et choix des mesures d’assainissement et suivi des résultats fig. 3).

Partie I Exigences générales relatives aux documents à remettre

- Intégralité du dossier**
 - Le dossier devrait remplir au moins les exigences des parties II, III et IV.
 - Tous les documents de base et études utilisés doivent être référencés, pour pouvoir être le cas échéant mis à la disposition du canton ou de l’OFEV.
- Transparence de la démarche**
 - Les documents fournis doivent permettre de retracer intégralement le choix des mesures dont l’étude sera poursuivie (dans le cadre de la définition des objectifs ; cf. chap. 3) et de la mesure la

plus appropriée (au terme de l’étude de variantes et du choix des mesures d’assainissement ; cf. chap. 4).

- Le respect de la marche à suivre prévue dans le présent module (cf. chap. 2) est documenté, les écarts éventuels sont mentionnés et clairement motivés.
- Format et lisibilité de cartes, de schémas et de plans**
 - Les cartes sont fournies à une échelle (normalement l’échelle 1:25 000 et 1:10 000) et dans un format qui donnent une bonne vue d’ensemble. Autrement dit, les cartes doivent être imprimées sur papier et les géodonnées pertinentes fournies sous forme électronique. Le géocodage des données numérisées peut se faire soit sur la base du réseau hydrographique de la Confédération à l’échelle 1:25 000 (réseau hydrographique gwn25 du modèle numérique Vector25⁴), soit des réseaux hydrographiques cantonaux à des échelles plus grandes.
 - L’échelle et le mode de présentation des vues schématiques (pour la présélection des mesures, cf. 3.5) et des plans de situation (pour le dimensionnement préalable des mesures, cf. 4.2) doivent permettre de repérer aisément les principales bases de décision.

Partie II Définition des objectifs (chap. 3)

Selon les recommandations du présent module, les documents à remettre dans le cadre de la définition des objectifs (étape 1, chap. 3) comporteront au moins les indications ci-après.

4 <https://shop.swisstopo.admin.ch/fr/products/maps/national/vector/smv25>

II.1 Situation initiale

- Type de projet**
 - Assainissement d’une ou plusieurs installations existantes.
 - Projet(s) d’agrandissement.
 - Nouvelle(s) installations(s).
- Décisions antérieures**
 - Notification(s) de l’obligation d’assainir basée sur le plan stratégique cantonal.
 - Éventuelles décisions pertinentes de l’autorité compétente concernant la construction ou l’agrandissement de la ou des centrales.

II.2 Bassin versant

- Centrales hydroélectriques dans le bassin versant**
 - Désignation des centrales du bassin versant qui sont tenues de coordonner leurs mesures visant les éclusées (cf. 2.4).
 - Les indications requises selon les points II.3 à II.8 ci-après (centrale, cours d’eau, etc.) doivent être fournies pour chacune des centrales concernées.
- Organismes dans le bassin versant**
 - Brève description de l’organisme commun chargé de coordonner le projet dans le bassin versant, avec mention des responsables.
 - Dans le cas de bassins versants s’étendant sur plusieurs cantons, informations sur l’organisme institué entre les cantons.
- Carte de situation**
 - Périmètre du bassin versant considéré.
 - Réseau hydrographique concerné.
 - Emplacement des centrales hydroélectriques, des prises d’eau, des restitutions d’eau, des retenues (cf. II.3).
 - Tronçons de cours d’eau subissant l’effet d’éclusées (cf. II.4).
 - Emplacement des variantes de mesures envisagées (cf. II.6).

II.3 Centrale(s) hydroélectrique(s)

- Détenteur de la ou des centrales**
 - Nom et adresse du détenteur (concessionnaire).
- Centrale**
 - Nom de la centrale.
 - Numéro SAHE et/ou canton.
- Brève description de l’installation dans son état actuel (« état actuel »)**

Type d’installation

- Centrale à accumulation, centrale au fil de l’eau, centrale à pompage-turbinage ou autre.

Turbines

- Débit équipé total.
- Nombre de turbines par groupe.
- Type de turbine par groupe.
- Débit par turbine.
- Durée de démarrage et d’arrêt de chaque turbine/groupe.

Centrales hydroélectriques, prises d’eau, restitutions d’eau, retenues

- Coordonnées X/Y.
- Altitude.

II.4 Cours d’eau

- Données de base pour l’élaboration des mesures**
 - Définition et caractéristiques des secteurs de cours d’eau déterminants et des tronçons à étudier (selon l’annexe B), qui se distinguent par leurs spécificités morphologiques et hydrauliques.
 - Résultats de l’évaluation réalisée selon le Système modulaire gradué pour chaque secteur important, compte tenu du tableau 1 de la figure D1 (Fiche de suivi, annexe D).
 - Brève description, pour chaque secteur déterminant du cours d’eau, des autres mesures de protection des eaux, ne visant pas les éclusées, qui sont appliquées, à l’étude ou prévues (revitalisations, protection contre les crues, rétablissement de la libre migration des poissons et du

régime de charriage, garantie de débits résiduels convenables) et d’autres projets pouvant exercer une influence sur les mesures d’assainissement (construction de nouvelles installations hydrauliques, p. ex.). Ces données peuvent être fournies sur la base des tableaux 2 et 3 de la figure D1 (Fiche de suivi, annexe D).

- Définition et description des hydrogrammes représentatifs de l’état actuel selon l’annexe E.

Déficits et causes identifiés dans l’état actuel (état actuel)

- Déficit dus aux éclusées et leurs causes (pts 3.2 et 3.3)
- Déficit non engendrés par les éclusées et leurs causes.
- Explication et justification, compte tenu des parties I et II du tableau récapitulatif de l’annexe D (fig. D2 et D3; un tableau par tronçon déterminant); conclusions du plan stratégique cantonal.

II.5 Objectifs

Objectifs propres à l’écologie des eaux

- Description des objectifs sous forme de classes d’état (cf. 3.4) pour les indicateurs (principaux) pouvant faire l’objet de prévisions, selon l’annexe C.

Objectifs définis pour l’hydrogramme

- Description des objectifs sous forme de valeurs cibles des paramètres hydrologiques et des conditions hydrologiques requises qui en découlent selon l’indicateur D2 (annexe C) et la partie III du tableau récapitulatif de l’annexe D (fig. D4).
- Définition et description des hydrogrammes représentatifs de l’état futur selon l’annexe E.

II.6 Présélection des mesures

Liste de toutes les mesures envisageables

- Brève description, avec schéma, de chaque mesure.
- Estimation sommaire des coûts de chaque mesure (cf. 3.5).

Présélection des mesures à étudier plus avant

- Résultats de l’évaluation sommaire des mesures (aspects techniques, cours d’eau et bassin versant) et de l’analyse sommaire coût/utilité selon la figure 9 (cf. 3.5).

II.7 Concertation entre le détenteur de la centrale et l’autorité cantonale

- Indications concernant d’éventuels accords ou discussions avec les autorités cantonales concernant les mesures d’assainissement dont l’étude doit être poursuivie et d’autres éventuelles exigences et conditions fixées pour l’étude de variantes selon le chapitre 4 (cf. 3.6).

II.8 Participation et coordination

- Documents retraçant l’implication des principaux acteurs et d’autres milieux concernés (détenteur de la centrale, canton, Confédération, spécialistes, propriétaires de terrains, ONG, etc.) et description de la manière dont leurs préoccupations ont été prises en compte (cf. 3.6).
- Coordination avec d’autres mesures de protection des eaux qui ne visent pas les éclusées (cf. II.4 plus haut et cf. 3.6 du présent module): liste des autres mesures et projets réalisés, à l’étude et prévus dans le bassin versant du cours d’eau à éclusées, qui sont coordonnés par le canton et qui devraient être pris en compte dans l’étude de variantes.

Partie III Étude de variantes et choix des mesures d’assainissement (chap. 4)

Selon les recommandations du présent module, les documents qui concernent l’étude de variantes et le choix des mesures d’assainissement (étape 2, chap. 4) doivent comprendre au moins les indications ci-après.

III.1 Variantes de mesures et effets escomptés

Description des mesures d’assainissement

- Description des mesures étudiées (cf. 4.2).

- Faisabilité technique avec dimensionnement préliminaire des principales parties d’ouvrage et plans d’ensemble correspondants.
- Terrain requis, y compris pour l’entreposage définitif des matériaux d’excavation.
- Influence de la mesure d’assainissement sur l’exploitation.
- Coût de chaque mesure selon 4.3.1.
- Clé de répartition des coûts (projet) pour les cas particuliers, comme les installations polyvalentes et les projets d’agrandissement (cf. 4.5), et lors de la prise en compte de mesures de protection des eaux ne visant pas les éclusées (cf. 4.4).

État prévisible après assainissement

- Informations concernant les indicateurs, les modélisations, les outils et les méthodes utilisées pour établir les prévisions (cf. 4.2).
- Détermination de l’état prévisible après application de la mesure d’assainissement et description de cet état pour chaque indicateur, chaque secteur de cours d’eau et chaque mesure, conformément aux directives du point 4.2 et selon la partie gauche du tableau 2 (utilisé comme modèle).

Réalisation des objectifs

- Détermination et description du degré de réalisation des objectifs et de l’effet global de la mesure conformément aux directives du point 4.2 et selon la partie droite et inférieure du tableau 2 (utilisé comme modèle).

III.2 Choix des mesures d’assainissement

Analyse coût/utilité

- Analyse coût/utilité selon les directives du point 4.3.1 et l’exemple de la figure 10.
- Indications concernant l’analyse de sensibilité.

Choix de la mesure d’assainissement

- Indication de la meilleure variante choisie (mesure la plus appropriée).
- Justification du choix compte tenu des autres critères selon les directives du point 4.3, assortie des explications requises, en particulier concernant l’évaluation globale selon le tableau 3.

- Précisions aux indications concernant la coordination avec d’autres mesures de protection des eaux non liées aux éclusées (cf. II.7 plus haut et 4.4 du présent module).

III.3 Mise en œuvre

Calendrier

- Calendrier de la mise en œuvre selon les instructions cantonales.

Partie IV Suivi des résultats (chap. 5)

Selon les recommandations du présent module, les documents qui concernent le suivi des résultats doivent comprendre au moins les indications ci-après.

Données de base pour le suivi des résultats

- Indications sur l’état actuel (soit les principales informations sous II.4).
- Indications sur l’état cible (soit les principales informations sous II.5).
- Indications sur l’état prévisible pour la mesure choisie (soit les principales informations sous III.1 et III.2).

Description du programme destiné à contrôler l’efficacité

- Indicateurs utilisés (annexe C, fig. C1).
- Programme d’analyse prévu (lieu, période, méthodes, etc.; cf. 5.4).
- Calendrier et échéancier des études et analyses.
- Estimation des coûts.

Coordination avec d’autres mesures

- Informations concernant la coordination entre l’évaluation des effets de mesures d’assainissement des éclusées et l’évaluation des effets d’autres mesures de protection des eaux (cf. 5.4).

Annexe H – Glossaire et abréviations

Analyse de sensibilité

Étude de la variation d’un résultat en cas de modification de certains paramètres. Dans le cas de mesures destinées à atténuer les éclusées, elle porte par exemple sur le paramètre « coûts ».

Analyse des causes

Analyse des causes à l’origine des déficits recensés.

Analyse des déficits

Examen des atteintes subies par les milieux aquatiques.

Bassin de rétention

Également appelé bassin de compensation. Volume ouvert qui sert à stocker de l’eau pour atténuer les variations du débit en amont ou en aval d’une centrale hydroélectrique.

Carottage-congélation (freeze-coring)

Prélèvement d’échantillons dans le fond du lit d’un cours d’eau à l’aide de tubes dans lequel est injecté de l’azote liquide ou du dioxyde de carbone (l’eau est ainsi congelée).

Caverne de rétention

Bassin de rétention souterrain.

Centrale à accumulation

Centrale hydroélectrique qui stocke l’eau pendant plusieurs jours, voire plusieurs mois, dans des bassins d’accumulation ou des lacs de retenue, afin de la turbiner par intermittence, lorsque la demande de courant est forte. La restitution de l’eau turbinée engendre des éclusées.

Centrale de dérivation

Centrale qui turbine l’eau déjà turbinée par une centrale située en amont et qui transforme souvent un tronçon à éclusées en un tronçon à débit résiduel. Pour être efficace, la centrale de dérivation doit être optimisée pour atténuer les éclusées et non la production énergétique.

Charriage

Matières solides d’un diamètre supérieur à 2 mm environ (pierres, gravier, sable) que le courant déplace sur le fond du lit en les faisant rouler, glisser ou sauter.

Colmatage

Diminution de la perméabilité du sol due à l’apport de sédiments fins. On distingue le colmatage interne (dans lequel des particules en suspension pénètrent dans le fond du lit) et le colmatage externe (qui désigne le dépôt de matières fines sur le fond du lit).

Débit d’éclusée

Débit s’écoulant dans le cours d’eau en aval de la restitution durant le fonctionnement de la centrale hydroélectrique. Il se compose du débit turbiné et du débit présent dans le cours d’eau en amont de la centrale (débit naturel ou résiduel).

Débit de référence

Débit qui correspond au régime d’écoulement naturel (Q347 ou Q182, p. ex.).

Débit équipé

Débit maximal (d’eau d’exploitation) qu’une centrale hydroélectrique peut exploiter (turbiner).

Débit plancher

Débit s’écoulant dans le cours d’eau en aval de la restitution lorsque la centrale hydroélectrique ne fonctionne pas. Il correspond au débit présent dans le cours d’eau en amont de la centrale (débit naturel ou résiduel).

Débit résiduel

Débit qui subsiste dans un cours d’eau après un ou plusieurs prélèvements (art. 4, let. k, LEaux).

Dérivation directe

Dérivation de l’eau turbinée dans une galerie ou un canal, qui la déverse directement dans un cours d’eau plus grand ou dans une étendue d’eau, sans restitution dans le cours d’eau d’origine.

Dérive

Phénomène dans lequel des organismes aquatiques sont emportés (dérive passive) ou se laissent emporter (dérive active) par le courant.

Eau d’exploitation

Eau turbinée dans une centrale hydroélectrique.

(Éco)morphologie

Structure spatiale, aspect extérieur d’un cours d’eau. Elle comprend le tracé, la largeur, la nature des rives et du fond du lit, etc.

Effet global/degré de réalisation global

Effet qu’une mesure produit dans le milieu aquatique. Il s’agit d’une agrégation des effets produits sur chaque indicateur dans le tronçon considéré.

EPT

Groupe de familles d’insectes réunissant les éphéméroptères, les plécoptères et les trichoptères, dont les larves se développent dans l’eau et qui constituent de bons indicateurs de la qualité des eaux ou des cours d’eau.

Espèce indicatrice

Espèce piscicole ou macrozoobenthique typique d’une certaine région.

État actuel

État constaté actuellement, situation initiale.

État de référence

État que présente un cours d’eau peu ou pas influencé, du moins en ce qui concerne le domaine considéré (l’hydrologie, p. ex.). Un tel cours d’eau est naturel ou proche de l’état naturel et peut dès lors servir de base de mesure ou de référence pour évaluer des tronçons subissant des influences.

État prévisible

État que devraient présenter les eaux après réalisation d’une mesure d’assainissement.

Évaluation des effets

Étape du suivi qui vérifie si la mesure réalisée procure l’effet recherché.

Exploitation par éclusées

On parle également de « régime d’éclusées ». Variations régulières du débit au cours de la journée, produites par la présence de centrales hydroélectriques fonctionnant par intermittence.

Fonction de valeur

Fonction servant à évaluer les indicateurs (relevés sur le terrain et résultats de modélisations) et à répartir les données entre classes d’état.

Frai

Processus de reproduction des poissons (ponte des œufs par la femelle et leur fécondation par le mâle) ou œufs de poissons fécondés.

Habitabilité/adéquation de l’habitat

Capacité d’un site à servir d’habitat à certaines espèces de poissons ou d’organismes macrozoobenthiques.

HYDMOD

Module Hydrologie du Système modulaire gradué des méthodes d’analyse et d’appréciation des cours d’eau (Pfaundler et al. 2011).

Hydrogramme

Graphique représentant la variation temporelle des débits ou des niveaux d’eau.

Indicateur

Grandeur mesurée ou calculée utilisée pour évaluer l’état des cours d’eau.

Indicateurs globaux

Indicateurs qui ne sont pas sensibles uniquement aux éclusées.

Indicateurs principaux

Indicateurs sensibles aux éclusées et qui permettent de prévoir leurs effets avec une bonne précision.

Indicateurs sensibles aux éclusées

Indicateurs qui réagissent aux éclusées, mais dont les connaissances actuelles ne permettent pas de prédire les valeurs avec une précision suffisante.

Indicateurs supplémentaires

Indicateurs qui, dans l’état actuel des connaissances, ne sont pas particulièrement sensibles aux éclusées, mais qui peuvent parfois fournir des informations supplémentaires sur l’état des milieux aquatiques.

Indice de qualité de l’habitat

De l’anglais habitat suitability index, indice qui exprime l’aptitude d’un habitat à accueillir une certaine espèce d’organismes.

Installations polyvalentes

Installations qui ne servent pas uniquement à assainir les éclusées (centrales de dérivation, bassins de compensation également utilisés pour l’accumulation par pompage, etc.)

Interstitiel

Système de cavités (pores ou interstices) qui se situe à la limite entre fond du lit et nappe d’eau souterraine.

Kit d’analyse

Kit comprenant un ou plusieurs tests, à réaliser directement dans l’eau et à même de fournir des informations sur l’atteinte due aux éclusées. Voir par exemple l’indicateur F3* présenté dans l’annexe C.

LEaux

Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (RS 814.20).

LEne

Loi du 26 juin 1998 sur l’énergie (RS 730.0).

LFSP

Loi fédérale du 21 juin 1991 sur la pêche (RS 923.0).

Matières en suspension

Matières solides d’un diamètre inférieur à 2mm environ (sable, limon, argile) qui sont emportées par les turbulences en raison de leur faible vitesse de sédimentation et qui sont transportées en suspension dans l’eau sur de longues distances.

Meilleure variante

La mesure qui est considérée comme la meilleure à mettre en œuvre.

Modélisation des habitats

Modèle numérique qui utilise des grandeurs physiques (profondeur de l’eau et vitesse d’écoulement) ainsi que les courbes de préférence pour prévoir la capacité d’un

tronçon de cours d’eau à servir d’habitat à certaines espèces piscicoles ou macrozoobenthiques.

MZB

Macrozoobenthos

Nouvelle installation

Nouvelle centrale hydroélectrique.

Objectif général

Élimination des atteintes graves (en cas d’assainissement) ou prévention d’atteintes graves (dans le cas de nouvelles installations).

Objectifs concrets

Se réfèrent à la classe d’état que les divers indicateurs biotiques et abiotiques doivent atteindre pour que des atteintes soient éliminées ou évitées.

OEaux

Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (RS 814.201).

OEné

Ordonnance du 7 décembre 1998 sur l’énergie (RS 730.01).

OFEN

Office fédéral de l’énergie.

OFEV

Office fédéral de l’environnement (auparavant OFEFP).

ONG

Organisation non gouvernementale sans but lucratif.

Paramètres hydrologiques

Paramètres de l’hydrogramme des éclusées (débit d’éclusée, débit plancher, taux de montée du niveau d’eau, taux de descente du niveau d’eau).

Plan stratégique

Plan établi par les cantons en application de l’art. 83b LEaux.

Point de restitution

Emplacement où l’eau turbinée par une centrale hydroélectrique est restituée au cours d’eau.

Potentiel écologique

Le potentiel écologique d’un cours d’eau proche de l’état naturel correspond à son importance écologique dans son état actuel. Dans le cas d’un cours d’eau qui est loin de l’état naturel, le potentiel écologique correspond à l’importance écologique que celui-ci pourrait revêtir s’il présentait un état de référence théorique après renaturation, c’est-à-dire après réparation des atteintes nuisibles causées par l’homme, dans une mesure impliquant des coûts proportionnés (art. 33a OEaux).

Prestations de services système (SDL)

Services garantissant un approvisionnement en électricité sûr et continu. Ils assurent en permanence l’équilibre entre production et consommation. Dans le cadre des SDL, une centrale hydroélectrique s’engage à intervenir rapidement (en quelques secondes ou minutes) pour remédier à un excédent ou à un déficit de courant dans le réseau.

Prise d’eau

Ouvrage destiné à prélever de l’eau dans une rivière pour l’amener à la centrale hydroélectrique. Les types de prises d’eau les plus courants sont l’ouvrage de retenue et la prise d’eau tyrolienne (équipée de grilles horizontales).

Projet d’agrandissement

Projet visant à agrandir une centrale hydroélectrique existante ou à accroître sa puissance.

Quantile

Valeur seuil qui définit une partie d’un ensemble de données (pour la même variable). Un quantile indique combien de valeurs se situent au-dessus ou au-dessous d’une certaine limite. (Les quantiles de multiples du centième sont appelés centiles). Le centile 95 % correspond par exemple au seuil auquel sont inférieures 95 % de toutes les valeurs considérées.

Rapport débit d’écluse/débit plancher

Rapport entre le débit d’écluse maximal et le débit plancher minimal.

Régime d’écoulement

Comportement hydrologique d’un cours d’eau au cours de l’année. Il dépend principalement du climat régnant dans le bassin versant.

Revitalisation

Rétablissement, grâce à des travaux d’aménagement, des fonctions naturelles d’un cours d’eau superficiel endigué, corrigé, recouvert ou mis sous terre (art. 4, let. m, LEaux).

Rhéophile

Espèce piscicole ou macrozoobenthique qui aime le courant.

Secteur de cours d’eau

Portion d’un cours d’eau présentant une homogénéité sur les plans morphologique, hydraulique et hydrologique.

Site étudié

Emplacement sur un cours d’eau ou une étendue d’eau où l’on procède à des relevés et à des analyses pour évaluer les différents indicateurs.

SMG

Système modulaire gradué. Ensemble de méthodes standardisées mises au point par la Confédération pour analyser et apprécier les cours d’eau selon différents aspects (modules) et à différentes échelles (niveaux).

Stagnophile

Espèce piscicole ou macrozoobenthique qui aime les eaux calmes.

Suivi de la mise en œuvre

Démarche destinée à vérifier la mise en œuvre d’une mesure.

Suivi des résultats

Instrument servant à vérifier l’efficacité d’une mesure. Il comprend le suivi de la mise en œuvre et l’évaluation des effets.

Swissgrid

Société nationale suisse pour l’exploitation du réseau (de distribution d’électricité).

Taux de descente du niveau d’eau

Vitesse à laquelle le niveau d’eau descend après l’écluse (en cm/min). On utilise également le taux de diminution du débit (en m³/s par min).

Taux de montée du niveau d’eau

Vitesse à laquelle le niveau d’eau monte pendant l’éclusee (en cm/min). On utilise également le taux d’accroissement du débit (en m³/s par min).

Taux de variation du niveau d’eau

Voir taux de montée et de descente du niveau d’eau.

Taxon

Unité systématique d’organismes. Les espèces macrozoobenthiques stagnophiles, par exemple, forment un taxon.

Tronçon à débit résiduel

Tronçon de cours d’eau situé entre la prise d’eau, destinée à alimenter une centrale hydroélectrique, et le point de restitution (parfois aussi appelé « tronçon court-circuité »).

Tronçon de référence

Tronçon de cours d’eau naturel ou proche de l’état naturel.

Turbidité

Diminution de la transparence de l’eau provoquée par une augmentation de la quantité de matières en suspension.

Valeurs cibles

Valeurs limites des paramètres hydrologiques, associées à un quantile à respecter, qui sont en interaction avec les indicateurs.

Volume de rétention

Volume destiné à stocker de l’eau afin d’atténuer les éclusées.

Zonation longitudinale

Phénomène naturel de distribution des espèces qui permet de vérifier que la composition de la biocénose animale d’un cours d’eau est typique de la station (cf. indicateur B3 du module « Planification stratégique »).

Zone biocénotique

Zone occupée par une biocénose spécifique (une biocénose étant une communauté de diverses espèces d’organismes qui occupe un site délimité).

Zone de marnage

Zone du lit d’un cours d’eau qui est inondée durant le débit d’éclusee et mise à sec durant le débit plancher.