> Assainissement des éclusées Planification stratégique

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

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

> Assainissement des éclusées Planification stratégique

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

Publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEV
Berne, 2012

Valeur juridique de la présente publication
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».

Impressum

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

Auteurs
Peter Baumann, Limnex; Arthur Kirchhofer, WFN;
Ueli Schälchli, Flussbau AG

Accompagnement de l'OFEV
Manfred Kummer, Rémy Estoppey, Martin Huber Gysi

Référence bibliographique
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.

Graphisme, mise en page
Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Photo de couverture
OFEV/AURA 2011

Téléchargement au format PDF
www.bafu.admin.ch/uv-1203-f
(il n'existe pas de version imprimée)

Cette publication est également disponible en allemand et italien.

© OFEV 2012

> Table des matières

Abstracts **5**
Avant-propos **7**
Résumé **8**
Introduction **9**

1 Point de départ **11**
1.1 But, destinataires et structure du module 11
1.2 Bases légales 14
1.3 Champ d'application – définition des éclusées 15
1.4 Origine des éclusées – le rôle de la force hydraulique pour la stabilité du réseau électrique 17
1.5 Evaluation des éclusées – approches existantes 18
1.6 Planification et mise en œuvre de mesures destinées à réduire les effets négatifs des éclusées (résumé) 20

2 Détermination des atteintes graves **22**
2.1 Résumé 22
2.2 Elimination des installations n'exigeant pas d'assainissement 23
2.2.1 Rapport débit d'éclusée / débit plancher inférieur à 1,5: 1 24
2.2.2 Issue de secours pour les effets à l'évidence négligeables 26
2.3 Raccourci en cas d'atteintes manifestement graves 27
2.4 Appréciation sommaire 28
2.4.1 Les indicateurs de l'appréciation sommaire 29
2.4.2 Champ d'application de l'appréciation sommaire 30
2.4.3 Etude d'un tronçon de référence 32
2.4.4 Détermination des atteintes graves au moyen de l'appréciation sommaire 33
2.5 Evaluation approfondie 36
2.5.1 Les indicateurs de l'évaluation approfondie 36
2.5.2 Champ d'application de l'évaluation approfondie 37
2.5.3 Détermination des atteintes graves au moyen de l'évaluation approfondie 40

3 Rapport intermédiaire **41**
3.1 Liste des centrales hydroélectriques susceptibles de provoquer des variations de débit 41
3.2 Indications concernant les atteintes graves 43
3.3 Potentiel écologique et degré de gravité des atteintes 44
3.4 Mesures d'assainissement envisageables et probables 45
3.5 Centrales hydroélectriques présentant des circonstances particulières 47

4 Planification jusqu'en 2014 **48**
4.1 Liste définitive des centrales hydroélectriques à assainir 48
4.2 Planification des mesures d'assainissement 49
4.2.1 Type et ampleur des mesures d'assainissement 49
4.2.2 Détermination des mesures d'assainissement à mettre en œuvre 50
4.3 Coordination des mesures au niveau du bassin versant 52
4.4 Centrales hydroélectriques présentant des circonstances particulières 53

5 Aperçu de la planification qui incombera aux détenteurs (phase 2) et du contrôle d'efficacité **54**

Annexe **56**
A1 Bases légales 56
A2 Bases théoriques de la méthode d'analyse et d'appréciation 59
A3 Morphologie naturelle et état le plus sensible 67
A4 Choix des sites à étudier et des tronçons de référence 69
A5 Volume du bassin de compensation – estimation approximative 73
A6 Planification cantonale – exigences minimales de l'OFEV 76
A7 Indicateurs de l'évaluation approfondie 78

Bibliographie **119**
Répertoires **124**

> Abstracts

The current module of the implementation guide on «revitalisation of water courses» outlines a procedure for meeting the requirements of water protection legislation in relation to hydropeaking. It describes the individual planning steps and primarily addresses the strategic planning which must be developed by the cantons by 2014. Appropriate assessment methods for evaluating the sections of watercourses impacted by hydropeaking are described in detail. It also clarifies any remediation obligation on the hydropower plant causing the hydropeaking and the extent of the measures.

Keywords:
Hydropeaking,
Water protection legislation,
Cantonal planning,
Hydropower,
Watercourses

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

Stichwörter:
Schwall/Sunk,
Gewässerschutzgesetz,
Kantonale Planung,
Wasserkraftnutzung,
Fliessgewässer

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 de la planification, il traite avant tout de la planification stratégique que tous les cantons doivent achever jusqu'à fin 2014. Il ne détaille pas seulement les méthodes d'analyse permettant d'évaluer les tronçons de cours d'eau qui subissent des atteintes dues aux éclusées, mais explique également comment décider si une centrale hydroélectrique fonctionnant par éclusées doit être assainie et comment déterminer l'étendue de mesures requises.

Mots-clés:
éclusées,
loi sur la protection des eaux,
planification cantonale,
exploitation de la force hydraulique,
cours d'eau

Il presente modulo dell'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque» illustra un procedimento adeguato che consente di soddisfare i requisiti posti dalla legislazione sulla protezione delle acque nell'ambito dei deflussi discontinui. Descrive le singole fasi di pianificazione, trattando in primo luogo la pianificazione strategica che i Cantoni devono elaborare entro il 2014. Vengono poi presentati in dettaglio metodi di analisi appropriati per la valutazione dei tratti di corsi d'acqua pregiudicati da deflussi disco tinui come pure per la determinazione dell'eventuale obbligo di risanamento di detti deflussi da parte delle centrali idroelettriche in questione e dell'entità delle misure necessarie.

Parole chiave:
flusso discontinuo,
legge sulla protezione delle acque,
pianificazione cantonale,
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.

Consacrées à la renaturation, les révisions de la loi et de l'ordonnance sur la protection des eaux, entrées en vigueur respectivement le 1er janvier et le 1er juin 2011, 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 préservation et à la promotion 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 de la législation sur l'environnement 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 la planification stratégique de l'assainissement des éclusées. Il explique comment recenser et évaluer les atteintes existantes provoquées par des variations soudaines du débit dans un cours d'eau, et comment déterminer l'obligation d'assainir ainsi que le type des mesures à prendre au niveau des centrales hydroélectriques en cause.

L'OFEV tient à remercier tous ceux qui ont contribué activement à l'élaboration de la présente publication, en particulier les membres du groupe de travail, qui n'ont pas ménagé leurs efforts pour trouver des solutions réalisables.

Willy Geiger
Sous-directeur
Office fédéral de l'environnement
(OFEV)

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

> Résumé

En tant que module de l'aide à l'exécution *Renaturation des eaux*, la présente publication décrit une manière de procéder efficace pour répondre aux exigences de la législation sur la protection des eaux dans le domaine des éclusées. Les indications pratiques qu'elle contient permettent en effet aux cantons et aux détenteurs de centrales hydroélectriques de planifier les mesures requises, et à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) d'évaluer les plans ainsi établis.

Suivant le plus souvent la chronologie des diverses étapes de la planification, le module renvoie régulièrement au délai fixé pour la réalisation des divers travaux et s'articule autour de la phase 1 de la planification, soit celle que les cantons doivent achever d'ici à fin 2014. Jusque-là, chaque canton doit recenser toutes les installations engendrant des éclusées qui sont sises sur son territoire, identifier celles qui doivent être assainies et déterminer le type de mesures à prendre et dans quel délai. Dans la mesure du possible, le canton doit également estimer l'ampleur approximative des mesures requises afin d'atténuer les éclusées. Le présent module fournit des instructions aussi complètes et précises que possible pour mener à bien cette première étape des travaux. En annexe, les spécialistes trouveront en outre des explications détaillées concernant les méthodes d'analyse et d'évaluation à appliquer. Ces méthodes permettent non seulement de recenser les atteintes que les éclusées font subir aux cours d'eau, mais aussi d'appliquer une procédure uniforme pour évaluer les centrales hydroélectriques de Suisse qui provoquent des éclusées. L'approche pragmatique du module tient compte des délais très brefs fixés par la loi pour établir la planification stratégique ainsi que des coûts élevés à prévoir, tout en fournissant les moyens de traiter les situations complexes. Voilà pourquoi ce module distingue clairement les divers niveaux d'intervention des étapes de planification et qu'il prend autant que possible en considération les données et les fondements méthodologiques existants.

Le module donne par ailleurs un bref aperçu de la phase 2 de la mise en œuvre de la législation, à savoir l'étude et la réalisation du projet par les exploitants, et du contrôle de l'efficacité des mesures appliquées.

> 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 fédérale 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 1er janvier 2011, ces modifications décidées par le Parlement portent sur la renaturation des eaux. Elles définissent deux orientations principales:

- Encourager les **revitalisations** (rétablissement, par des travaux de construction, des fonctions naturelles d'eaux superficielles endiguées, corrigées, couvertes ou mises sous terre), et garantir un **espace réservé aux eaux** avec exploitation extensive de cet espace.
- **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.

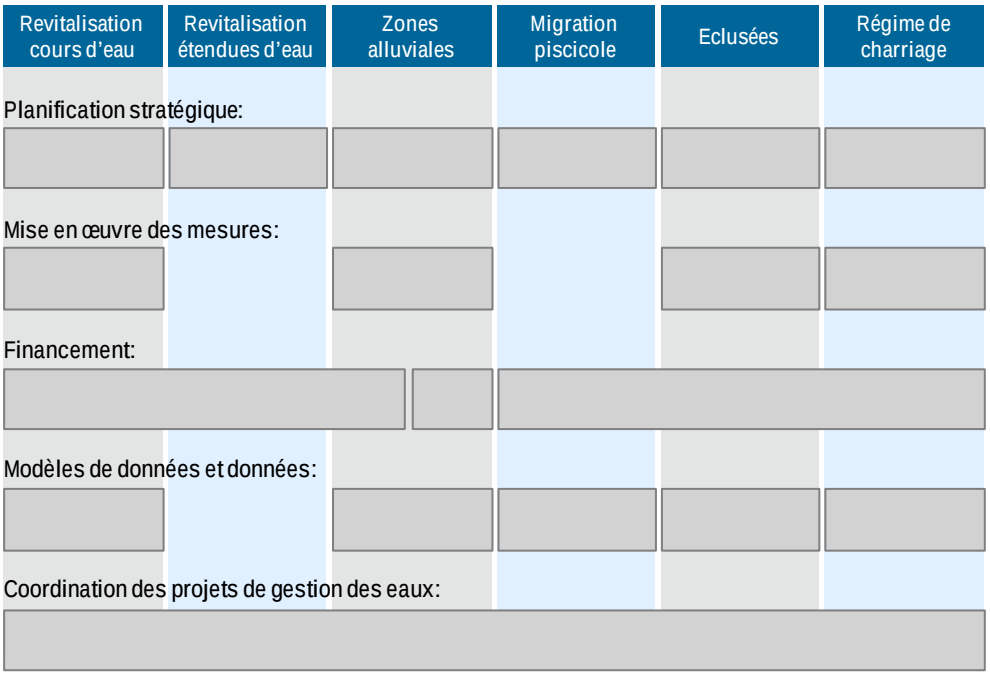
Les modifications du 11 décembre 2009 de la loi sur la protection des eaux ont nécessité notamment que l'on adapte l'ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201) en conséquence. L'OEaux révisée est entrée en vigueur le 1er juin 2011.

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. Cette dernière 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. Cette aide à l'exécution comporte divers modules, consacrés à la planification stratégique, à la mise en œuvre des mesures, au financement, aux modèles de données, aux exigences applicables aux données en vertu de la loi sur la géoinformation, ainsi qu'un module dépassant le cadre thématique de la renaturation, consacré à la coordination des projets touchant à la gestion des eaux (cf. tableau ci-dessous).

Structure de l'aide à l'exécution «Renaturation des eaux»

Les modules existants peuvent être consultés sur le site de l'OFEV:
www.bafu.admin.ch/execution-renaturation



Le présent module «Assainissement des éclusées – Planification stratégique» indique aux cantons comment recenser, dans le cadre de leur planification stratégique, les atteintes graves engendrées sur leur territoire par des variations subites et artificielles du débit d'un cours d'eau (art. 39a LEaux), comment déterminer leur obligation à les assainir et comment spécifier le type de mesures à prendre et dans quel délai les réaliser.

Planification stratégique
Eclusées

1 > Point de départ

1.1 But, destinataires et structure du module

But et structure du module

Le présent module a pour but de présenter une méthode pratique permettant de répondre aux exigences de la LEaux et de l'OEaux dans le domaine des éclusées. Voici le détail de ses objectifs:

- Mettre à disposition des éléments pratiques, afin d'aider les cantons et les détenteurs de centrales hydroélectriques pour les planifications requises dans le domaine des éclusées, et de permettre à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) d'évaluer ces planifications. Une méthode transparente et applicable pour toutes les instances concernées a ainsi été recherchée.
- Présenter une méthode d'analyse et d'appréciation permettant de relever, aussi précisément que possible et indépendamment des autres interventions anthropiques, les atteintes aux cours d'eau dues aux éclusées. Une telle méthode permet aussi de traiter de la manière la plus uniforme possible les centrales hydroélectriques générant des éclusées en Suisse. Elle contribue ainsi à garantir l'égalité du droit, mais aussi à mettre en œuvre de manière optimale les moyens disponibles pour atténuer les effets négatifs des éclusées.
- Contribuer à l'adoption d'une approche pragmatique qui tienne compte, d'une part, de la brièveté des délais légaux fixés pour la planification et, d'autre part, des coûts souvent très élevés des mesures à réaliser. Pour qu'il soit possible, malgré ces deux contraintes, d'effectuer des évaluations sérieuses et de proposer des mesures efficaces, le niveau d'analyse des différentes phases de planification est échelonné dans la présente méthode, et de plus cette méthode utilise le plus possible des données ou des méthodologies existantes.
- Décrire les méthodes d'analyse et d'appréciation avec une précision et une clarté suffisantes pour que des spécialistes puissent les appliquer sans explications complémentaires. Cette aide à l'exécution doit ainsi permettre aux cantons de lancer sans attendre les travaux de la première phase de planification.

La figure 1 offre une vue schématique des diverses phases et étapes de planification traitées dans le présent module.

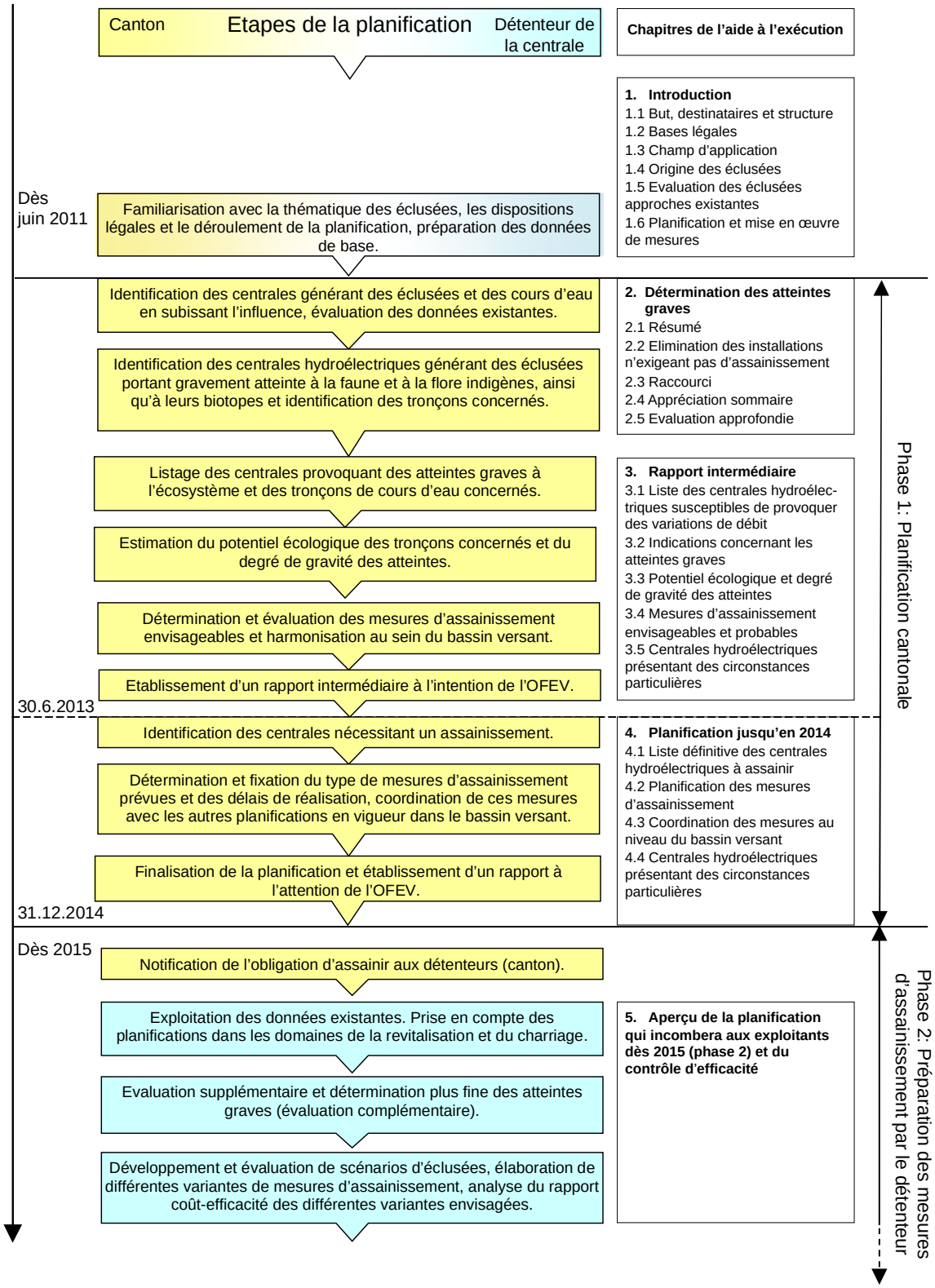
Le module possède une structure chronologique, car il aborde successivement les diverses étapes de la planification (fig. 1). Seul le chapitre 2.5, qui traite de l'évaluation approfondie, ne respecte pas l'ordre chronologique. Contrairement à ce que suggère la figure 1, la plupart des cantons ne pourront pas achever cette évaluation avant d'établir le rapport intermédiaire, c'est-à-dire avant le 30 juin 2013. Les résultats de l'évaluation ne figureront en général que dans le rapport final de la planification, que les cantons doivent achever jusqu'au 31 décembre 2014, voire jusqu'à une date ultérieure dans le cas de situations complexes (présence de plusieurs centrales dans le même bassin versant).

Le chapitre 1.2 du module explicite les nouvelles dispositions légales portant sur les éclusées, tandis que le chapitre 1.3 spécifie leur champ d'application. Le chapitre 1.4 explique ensuite l'origine des éclusées, tandis que le chapitre 1.5 présente quelques approches appliquées de nos jours pour les évaluer. Enfin, le chapitre 1.6 résume le déroulement de l'ensemble du processus de planification et de mise en œuvre (y compris les phases qui ne sont pas traitées dans ce document) et indique les instances impliquées (offices et détenteurs de centrales).

Ce module traite en priorité la première phase de la planification cantonale. Au cours de cette phase, le canton doit recenser toutes les installations engendrant des éclusées sises sur son territoire, identifier celles devant être assainies, déterminer le type de mesures à prendre et fixer leur délai de réalisation. Dans la mesure du possible, le canton doit également estimer approximativement l'envergure de ces mesures.

Le présent module fournit une marche à suivre aussi exhaustive et détaillée que possible pour mener à bien cette première phase (chap. 2 à 4).

Fig. 1 > Succession des diverses phases et étapes de la planification et de la mise en œuvre dans le domaine des éclusées, avec les chapitres correspondants du module



Le chapitre 5 donne, dans la mesure du possible, un bref aperçu de la phase 2 de planification, soit celle qui incombe aux détenteurs d'installations, et du contrôle d'efficacité (cf. fig. 3). Après l'annexe, suit une bibliographie détaillée ainsi qu'un glossaire explicitant les termes spécialisés les plus importants.

Le présent module s'adresse avant tout aux cantons, mais aussi aux exploitants d'installations qui génèrent des éclusées et que le canton aura classées parmi celles à assainir. Ces exploitants seront conviés à participer dès la première phase de planification sommaire des mesures visant à atténuer les éclusées.

L'annexe A6 comprend des aide-mémoire qui répertorient les exigences minimales de l'OFEV à remplir par la planification cantonale.

Par souci de clarté, certaines bases théoriques de la méthode d'analyse et d'appréciation, de même que la description détaillée des divers indicateurs, sont réunies en annexe. Ces éléments font partie intégrante de la démarche décrite ici et doivent donc être pris en compte lors de sa mise en œuvre.

1.2 Bases légales

Objectif d'assainissement, délai de 20 ans pour assainir

La loi sur la protection des eaux (LEaux) contraint les détenteurs de centrales hydroélectriques à prendre des mesures constructives 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. A 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), 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. La formulation exacte des dispositions de la LEaux et de l'OEaux concernant les éclusées figure en annexe A1.

Les mesures destinées à atténuer les effets des éclusées doivent être coordonnées au niveau du bassin versant, tout en tenant compte des aspects suivants: degré de gravité des atteintes, potentiel écologique du cours d'eau, proportionnalité des coûts, intérêts de la protection contre les crues et objectifs de la politique énergétique en matière de promotion des énergies renouvelables (art. 39a, al. 2 et 3, LEaux). Dans le cas d'un cours d'eau proche de l'état naturel, la détermination du potentiel écologique se fonde sur l'importance écologique des eaux dans leur état actuel; dans le cas d'un cours d'eau ayant subi des atteintes, sur 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. 33a OEaux).

L'art. 83a LEaux fixe un délai de vingt ans dès l'entrée en vigueur de la révision de la LEaux pour assainir, conformément aux exigences de l'art. 39a LEaux, les installations existantes générant des éclusées. Ce délai échoit le 31 décembre 2030. Les cantons doivent planifier les mesures d'assainissement requises conformément à l'art. 83b

LEaux et fixer les délais pour leur réalisation. Ils doivent remettre leur planification à la Confédération jusqu'à fin 2014 et lui présenter tous les quatre ans un rapport sur les mesures mises en œuvre. L'art. 41f OEaux et l'annexe 4a, ch. 1 et 2, OEaux précisent le contenu et les modalités de la planification des mesures d'assainissement. Jusqu'au 30 juin 2013, les cantons doivent ainsi remettre à l'OFEV un rapport intermédiaire indiquant notamment les centrales pour lesquelles des mesures s'imposent et contenant également des informations concernant les mesures à mettre en œuvre. La mise en œuvre des mesures prévues est spécifiée dans l'art. 41g OEaux. Celui-ci exige en particulier que les détenteurs de centrales devant assainir leurs installations étudient différentes variantes de mesures d'assainissement et que l'autorité cantonale consulte l'OFEV avant de rendre sa décision concernant le projet d'assainissement.

1.3 Champ d'application – définition des éclusées

Définition et caractéristiques

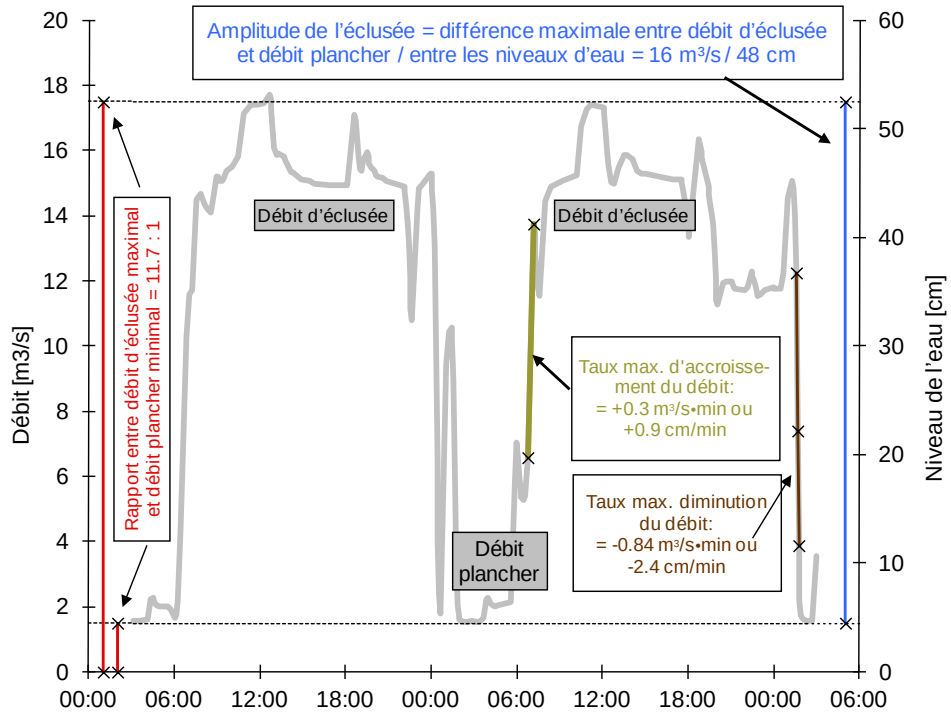
L'exploitation par éclusées ou, plus simplement, les éclusées désignent des variations quotidiennes plus ou moins grandes du débit d'un cours d'eau, occasionnées par des centrales hydroélectriques fonctionnant par intermittence. Leur origine est la suivante: lorsque la demande en courant est élevée, la centrale turbine un débit d'eau important et la restitution de cette eau accroît le débit en aval (débit d'éclusée). Lorsque la demande est faible – le plus souvent pendant la nuit, en fin de semaine et les jours fériés – le débit turbiné, et par conséquent le débit du cours d'eau en aval de la restitution, sont réduits au minimum (débit plancher). Outre le débit d'éclusée et le débit plancher, les principales caractéristiques (paramètres) d'un régime d'éclusées sont: le rapport entre ces deux débits, l'amplitude de l'éclusée et la vitesse maximale (taux) à laquelle le niveau de l'eau monte et descend (fig. 2).

Les variations de débit dues à des éclusées sont avant tout causées par les centrales à accumulation, qui stockent l'eau dans une retenue pendant une période plus ou moins longue (allant de quelques jours à plusieurs mois) pour turbiner ensuite, de manière concentrée dans le temps, de grandes quantités d'eau lorsque la demande en courant est forte. Les dispositions de la LEaux sur les éclusées concernent toutefois expressément aussi les centrales au fil de l'eau «situées sur de grandes rivières qui, même en ne modifiant que peu le niveau du réservoir à accumulation, provoquent également de grandes variations du débit en aval de la centrale» (CEATE-E 2008). De telles variations de débit issues de centrales au fil de l'eau sont parfois aussi désignées par le terme de «houle» de manière à les distinguer, par leur nom, des éclusées issues des centrales à accumulation, qui sont plus fréquentes.

Le rapport de la CEATE-E (2008) ne définit comme étant des éclusées que les variations de débit régulières et de courte durée qui résultent directement des variations quotidiennes «ordinaires» du débit exploité par une centrale hydroélectrique. Ainsi, même des installations ne disposant que d'une retenue relativement petite (réservoir hebdomadaire, p. ex.) peuvent provoquer des éclusées. Il s'agira par ailleurs de déterminer au cas par cas si des installations encore plus modestes, tels des moulins ou des scieries avec étang-réservoir, engendrent également des éclusées. Selon la CEATE-E (2008), les installations de ce type occasionnant des «variations problématiques du débit» devraient être examinées.

Fig. 2 > Principaux paramètres d'un régime d'éclusées, illustrés au moyen des courbes de débit et de niveau d'un cours d'eau à éclusées typique

Illustration tirée de Baumann et Klaus (2003), adaptée. Ces paramètres ont été établis à partir de données mesurées à intervalles de ≤10 minutes.



Ne sont pas considérées comme éclusées au sens de l'art. 39a LEaux toutes les autres variations anthropiques du débit, telles les variations journalières non occasionnées par l'exploitation d'une centrale hydroélectrique. Il peut par exemple s'agir du déversement de l'effluent d'une station d'épuration, qui s'écoule également en grandes quantités à certaines heures de la journée. Les variations de débit ainsi engendrées n'égalent guère celles provoquées par une centrale. Ne sont pas non plus considérées comme éclusées les pointes de débit que les centrales ne produisent qu'occasionnellement (lors du curage ou du dessablage du bassin de retenue, d'arrêts d'urgence, d'une simple démonstration de petites centrales en fin de semaine, etc.).

Ne sont enfin pas considérées comme éclusées les variations naturelles et régulières du débit dues à la fonte des neiges et des glaciers à la belle saison, et dont l'amplitude est parfois considérable dans les torrents de montagne et d'altitude. Il arrive également que des pointes de débit irrégulières, dues le plus souvent à des crues, atteignent des valeurs supérieures à celles des éclusées. Ces variations sont toutefois nettement plus rares et, la plupart du temps, beaucoup moins soudaines, surtout pour ce qui est de la décrue.

Selon les explications de la CEATE-E (2008), les nouvelles dispositions concernant les éclusées inscrites dans la LEaux et dans l'OEaux ne sont valables que pour la restitution d'eau turbinée dans un cours d'eau, non pour leur restitution directe dans un lac (exemple 1).

Exemple 1: déversement direct dans un lac

La Suisse ne compte que quelques rares centrales hydroélectriques restituant directement l'eau turbinée en la déversant dans un lac. Parmi elles figure la centrale de Verbano, près de Brissago sur le lac Majeur. Cette centrale turbine l'eau du bassin de compensation de Palagnedra – alimenté par divers prélèvements situés dans la vallée de la Maggia, eux-mêmes turbinés à différents niveaux – avant de la déverser directement dans le lac. Tout au long de son parcours, l'eau motrice emprunte des galeries ou des conduites forcées, sans jamais se déverser dans un cours d'eau. Les dispositions de la LEaux concernant les éclusées ne s'appliquent donc de prime abord pas à cette installation hydroélectrique étendue.

1.4 Origine des éclusées – le rôle de la force hydraulique pour la stabilité du réseau électrique

Origine et importance pour l'approvisionnement électrique

Pour garantir la stabilité d'un réseau électrique, la puissance injectée doit correspondre aux besoins des consommateurs à un moment donné. Ces réseaux présentent en effet la particularité physique de ne pas pouvoir stocker l'énergie. De faibles différences entre puissance injectée et consommée modifient la fréquence sur le réseau, mais des écarts plus importants peuvent provoquer des pannes. Il est actuellement impossible d'influer sur les besoins des consommateurs («consommation de courant»), qui dépendent du rythme journalier des activités dans l'industrie, les transports et les ménages.

Au cours de la journée, la consommation passe par des pics le matin et en fin d'après-midi, alors que la demande de courant chute durant la nuit. En Suisse, l'électricité provient à 38 % de centrales nucléaires, à 6 % d'agents thermiques conventionnels et autres (nouvelles énergies renouvelables), à 24 % de centrales au fil de l'eau et à 32 % de centrales à accumulation (statistique suisse de l'électricité 2010). Les centrales nucléaires et les centrales au fil de l'eau produisent ce que l'on appelle la charge de base (énergie en ruban) et ne sont pas en mesure d'adapter la puissance injectée à la consommation. Les seuls types de centrales en Suisse qui sont à même d'adapter rapidement la production à la demande sont les centrales à accumulation et les centrales à pompage-turbinage. (Le recours à des centrales à gaz permettrait également de couvrir les pics de consommation, mais ces centrales émettent des quantités considérables de CO_2.) Lorsque la consommation de courant augmente le matin, les centrales à accumulation doivent turbiner davantage d'eau et en restituent donc de plus grandes quantités dans le cours d'eau, provoquant une hausse du débit. C'est l'éclusée. Durant la nuit, la demande des consommateurs (industrie, transports et ménages) diminue à tel point que les centrales produisant la charge de base (centrales nucléaires et centrales au fil de l'eau) suffisent à la couvrir. Les centrales à accumulation ralentissent leur production, voire l'arrêtent totalement, diminuant ainsi le débit dans le cours d'eau. Seule la régulation de la puissance assurée par les centrales à accumulation garantit la fiabilité du réseau électrique.

1.5 Evaluation des éclusées – approches existantes

Paramètres

Il est possible de recourir à différents paramètres hydrologiques pour décrire le type et l'ampleur des modifications de débit générées par l'exploitation par éclusées. Outre ceux présentés dans la figure 2, toute une série d'autres indicateurs ont été proposés (Meile et al. 2005, 2011).

Certains de ces paramètres servent également à estimer ou à évaluer les effets écologiques présumés d'une exploitation par éclusées. Il s'agit en premier lieu du rapport entre débit d'éclusée et débit plancher et des taux de montée et de descente du niveau d'eau lors des éclusées. Jusqu'ici, ces évaluations ne reposaient toutefois que sur des cas relativement mal étudiés et, même parmi ces cas, les classements résultants divergeaient considérablement (Baumann et Klaus 2003, Limnex 2004, Meile et al. 2005). Sur la base des connaissances actuelles, évaluer les atteintes portées par les éclusées à l'écologie des eaux en se fondant uniquement sur des paramètres hydrologiques est donc encore lié à de grandes incertitudes.

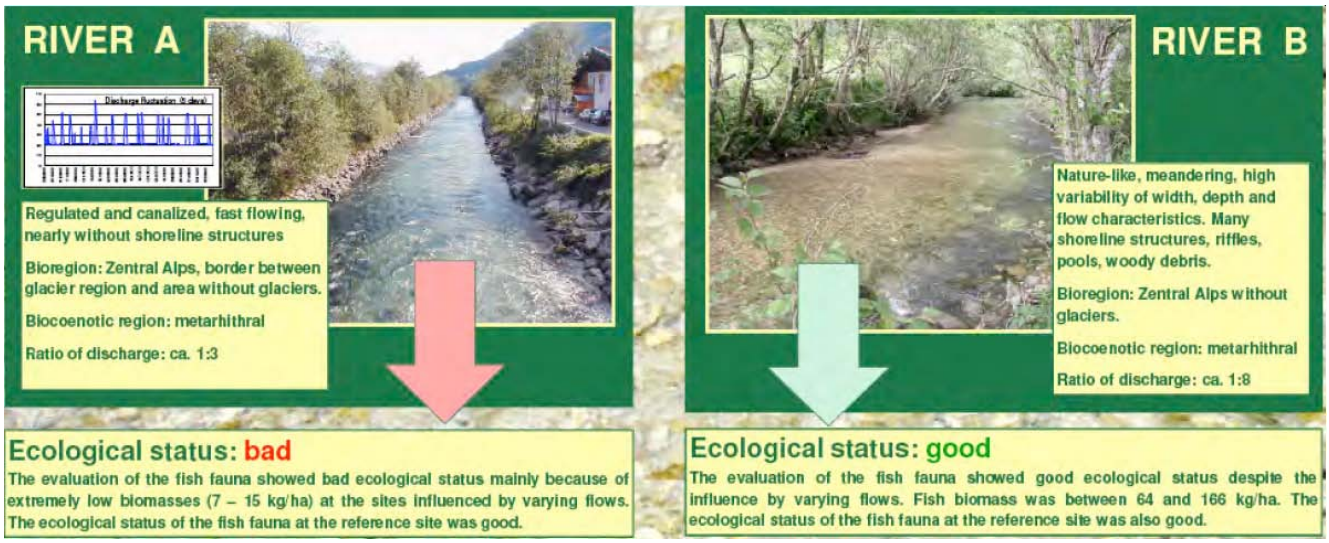
Une appréciation hydrologique représente toutefois souvent un complément utile à l'évaluation écologique des eaux, car les paramètres hydrologiques peuvent être calculés aisément et dès lors transposés sans problème à d'autres régimes d'écoulement actuels. Pour nombre d'indicateurs écologiques, comme la fréquence ou la biomasse de divers organismes, une telle transposition (extrapolation) crée par contre de grandes difficultés ou s'avère totalement impossible.

En Suisse, le module Hydrologie – régime d'écoulement (en bref HYDMOD) niveau R (région) du Système modulaire gradué (SMG) propose une méthode d'évaluation du phénomène des éclusées, ceci uniquement à l'aide de critères hydrologiques (Pfaundler et al. 2011). Cette méthode consiste principalement à identifier et à évaluer le rapport entre débit d'éclusée et débit plancher (pour déterminer l'intensité de l'impulsion d'éclusée), et le rapport entre le débit d'éclusée et le débit annuel moyen dans un état non altéré (pour connaître le stress hydraulique provoqué par le débit d'éclusée). Ce calcul tient par ailleurs compte des facteurs de correction que sont le taux de modification du niveau d'eau entre débit d'éclusée et débit plancher, ainsi que de la superficie du bassin versant, ces paramètres exerçant toutefois une influence moins grande sur le résultat final (chap. 2.2.1).

Dans HYDMOD, les règles de classement, c'est-à-dire les critères utilisés pour attribuer les cours d'eau étudiés à une classe d'état donnée, se fondent aussi en dernière analyse sur des réflexions écologiques (Pfaundler et al. 2011), car l'hydrologie ne permet pas, à elle seule, de formuler des exigences sur le degré de naturalité d'un régime d'écoulement. L'hydrologie constitue donc ici une sorte d'instrument permettant à la fois de mieux saisir et de simplifier grandement les observations écologiques, souvent fort imprécises, et les prévisions qui en découlent (encore moins précises). Le recours à ces critères uniformes et applicables à une grande variété de situations a toutefois son prix: une moins bonne résolution (différenciation) dans les cas particuliers. Il existe ainsi des cas où la biocénose aquatique mériterait un classement nettement meilleur que ne le laissent supposer les seuls paramètres hydrologiques (exemple 2).

Exemple 2: Appréciation hydrologique et écologique

Dans l'Etat de Salzbourg, en Autriche, Petz-Glechner et Petz (2006) ont étudié les peuplements piscicoles de deux tronçons soumis à un régime d'éclusées, et situés dans des cours d'eau différents mais de même typologie. Sur le tronçon A («River A»), fortement canalisé, le rapport débit d'éclusée/débit plancher était de 3:1 environ, rapport considéré comme écologiquement supportable, du moins dans des cours d'eau petits à moyens (fig. 5). L'état écologique de ce tronçon, évalué sur la base du peuplement piscicole, s'est pourtant avéré fortement perturbé («bad», à gauche ci-dessous). A l'inverse, dans le tronçon à morphologie proche de l'état naturel («River B»), où le rapport débit d'éclusée/débit plancher était nettement plus élevé (8:1), les scientifiques ont recensé un peuplement piscicole relativement bon, tant du point de vue qualitatif que quantitatif («good», à droite ci-dessous). La morphologie plus naturelle du tronçon B explique un tel écart entre observations hydrologiques et écologiques. En effet, la berge richement structurée permet, également lors d'éclusées, l'apparition de nombreuses zones épargnées par le courant (refuges hydrauliques). Illustrations tirées de Petz-Glechner et Petz (2006).



La morphologie des eaux constitue l'un des principaux facteurs de détermination des effets d'un régime d'éclusées (Baumann & Klaus 2003, Schweizer et al. 2009). A l'instar de l'exemple 2, quelques études approfondies concernant des cas en Suisse ont établi que des tronçons offrant une structure morphologique variée présentaient un meilleur état écologique que des tronçons canalisés et monotones soumis au même régime d'éclusées (ARGE Trübung Alpenrhein, 2001, p. ex.). L'influence potentiellement positive d'une morphologie naturelle diminue toutefois avec l'accroissement des effets des éclusées (Limnex 2007). Des revalorisations morphologiques (revitalisations) permettent donc dans une certaine mesure d'atténuer les atteintes dues aux éclusées. De telles mesures peuvent être prévues pour compléter les mesures constructives ou d'exploitation (ordonnées à la demande du détenteur). Il importe toutefois de

se rappeler, d'une part, que la surface des zones mises à sec durant le débit plancher est plus grande dans les tronçons naturels ou proches de l'état naturel. D'autre part, soulignons que, sur des tronçons à la morphologie fortement dégradée, des mesures destinées à atténuer les effets des éclusées ne suffisent pas toujours à atteindre l'objectif visé (l'annexe A2-3 contient des explications détaillées à ce sujet).

1.6 Planification et mise en œuvre de mesures destinées à réduire les effets négatifs des éclusées (résumé)

Planification et mise en œuvre

La planification et la mise en œuvre de mesures dans le domaine des éclusées, conformément à la LEaux et à l'OEaux, peuvent être subdivisées en quatre phases comme suit (fig. 3):

- La phase 1 comprend la planification cantonale de l'assainissement des installations existantes, à réaliser jusqu'au 31 décembre 2014. Elle est régie par l'art. 83b, al. 1 et 2, LEaux et par l'art. 41f OEaux, y compris l'annexe correspondante 4a qui définit les deux étapes de la planification. Au terme de chacune de ces étapes, le canton remet un rapport à l'OFEV.
- Dans la phase 2, le canton se fonde sur la planification établie et sur l'avis de l'OFEV pour notifier l'obligation d'assainir les installations concernées. En vertu de l'art. 41g, al. 2, OEaux, les détenteurs des installations à assainir doivent alors étudier diverses variantes de mesures.
- Au cours de la phase 2 toujours, le canton détermine, pour chaque installation, les mesures les plus favorables (variante optimale) parmi celles qui lui ont été soumises et charge du détenteur de préparer le projet de construction correspondant (et, selon l'envergure du projet, de réaliser une étude d'impact sur l'environnement). L'autorité cantonale consulte à nouveau l'OFEV (art. 41g, al. 2, OEaux) et l'OFEN (art. 5, al. 3, LFH) avant de se prononcer définitivement sur le projet.
- Durant la phase 3, les détenteurs peuvent présenter leurs demandes de financement des mesures d'assainissement (art. 17d, al. 1, de l'ordonnance du 7 décembre 1998 sur l'énergie, OEne, RS 730.01), puis réaliser les mesures prévues une fois le financement assuré. Selon l'art. 83a LEaux, cette phase de réalisation doit être achevée au plus tard fin 2030.
- Au cours de la dernière phase, la phase 4, le détenteur doit, conformément à l'art. 41g, al. 3, OEaux, vérifier l'efficacité des mesures prises (contrôle d'efficacité).

Fig. 3 > Planification des mesures d'assainissement des éclusées

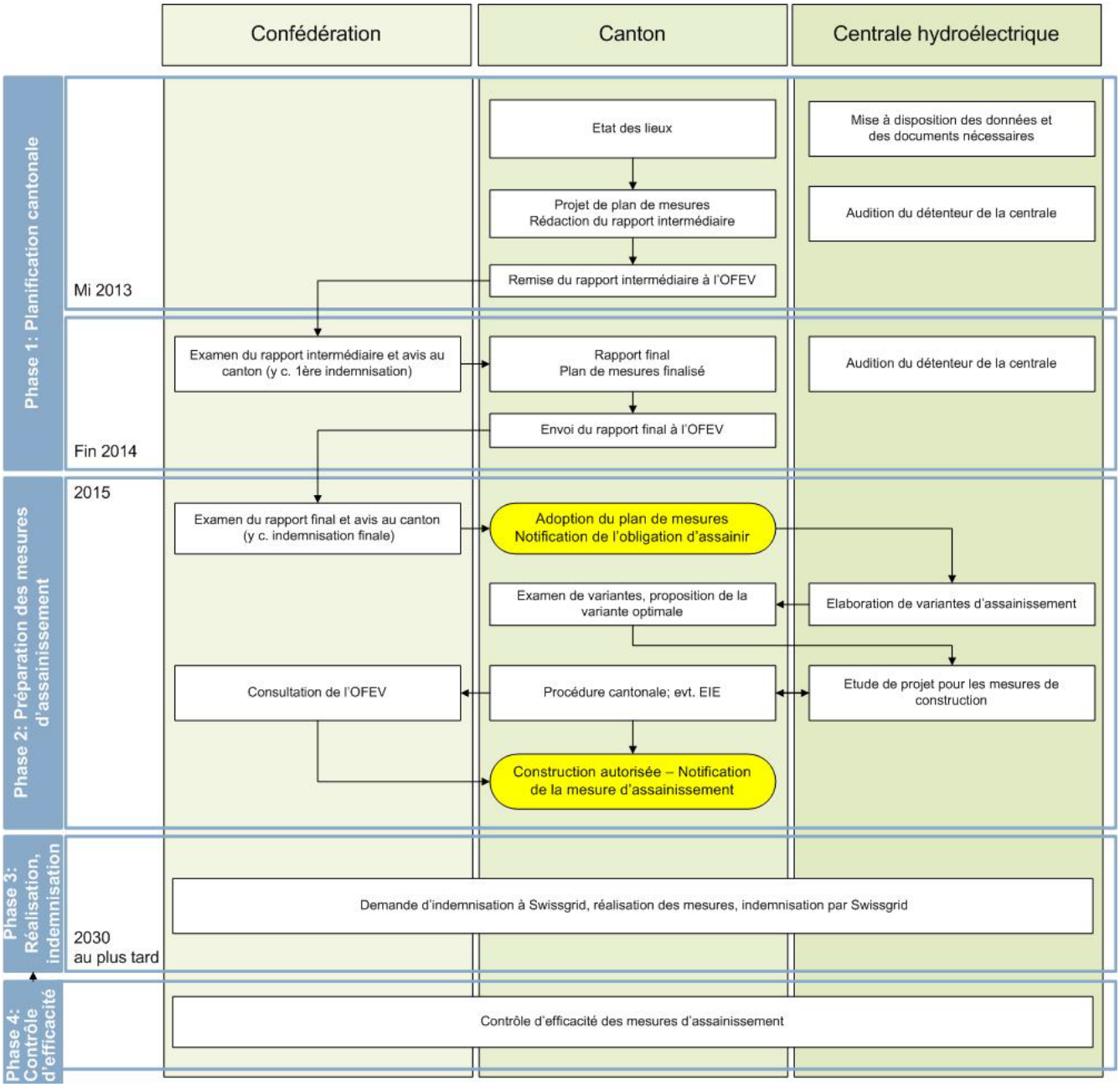


Illustration tirée de OFEV, 2011a

2 > Détermination des atteintes graves

2.1 Résumé

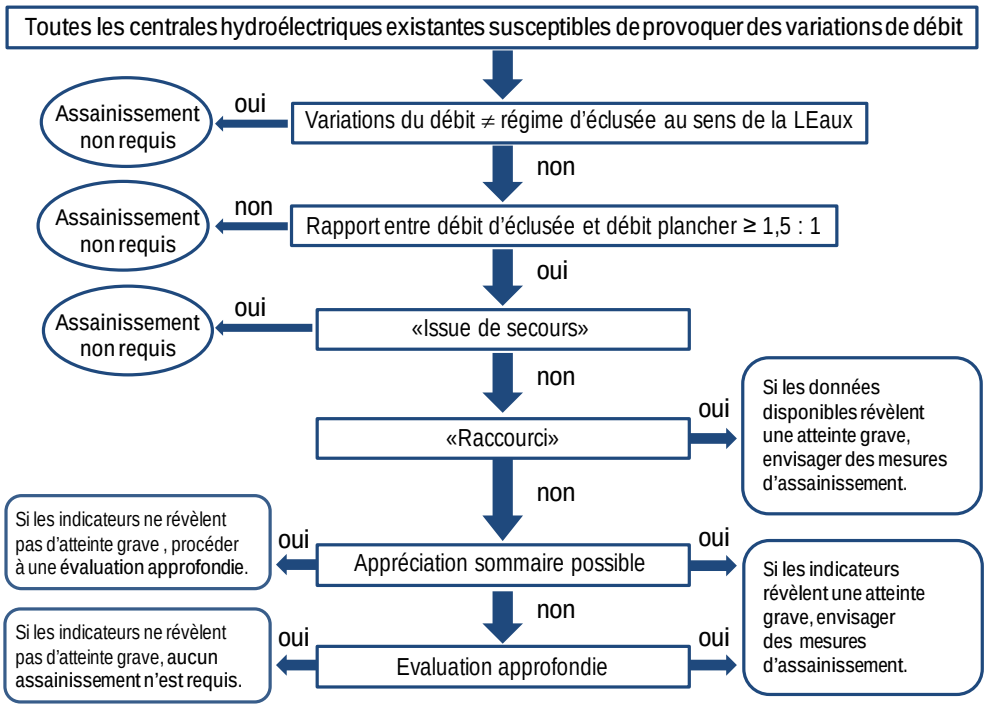
L'une des principales tâches de la planification cantonale consiste à identifier les centrales provoquant des variations artificielles du débit (éclusées) et portant *gravement atteinte* à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes au sens de l'art. 39a LEaux, de même que les tronçons de cours d'eau soumis à de telles variations. Les mesures d'assainissement à prendre au niveau des centrales concernées doivent en principe atténuer suffisamment ces variations de débit pour que les atteintes résiduelles ne présentent plus aucune gravité (assainissement conforme à l'art. 83a LEaux). Les centrales ne provoquant pas d'atteinte grave ne devront pas être assainies.

La figure 4 illustre la démarche à suivre pour déterminer les atteintes graves. Elle permet, par la même occasion, d'identifier les sites où un assainissement s'impose et ceux où aucun assainissement n'est requis.

Quand assainir?
Détermination du besoin d'assainir

Fig. 4 > Détermination, dans le cadre de la planification cantonale, des atteintes graves provoquées par les éclusées

Les trois dernières étapes («raccourci», «appréciation sommaire» et «évaluation approfondie») sont détaillées dans la fig. 6.



Au début de la planification, il importe de prendre en compte toutes les installations susceptibles de provoquer des éclusées et tous les tronçons de cours d'eau éventuellement soumis à un régime d'éclusées (chap. 3.1). Dans un premier temps (fig. 4), on exclut ensuite de cette liste, souvent encore relativement longue, les cas pour lesquels les variations du débit ne sont pas dues à des éclusées au sens de la loi, car le débit ne varie par exemple que rarement (chap. 1.3).

Ces cas ne sont pas à prendre en considération et le canton peut, d'emblée et de son propre chef, les exclure du reste de la procédure.

Le fait que des éclusées n'influencent qu'un tronçon de cours d'eau très court *ne signifie pas* que l'on soit en présence d'un cas négligeable, car même de petits tronçons de cours d'eau peuvent remplir d'importantes fonctions écologiques. Il appartiendra aux spécialistes participant aux travaux de planification de se prononcer au cas par cas sur l'importance des tronçons concernés et au canton de justifier ensuite cette décision.

En présence de variations de débit ne correspondant pas à la définition d'éclusées au sens de la loi, mais engendrant néanmoins des effets écologiques problématiques, il importe de vérifier si ces variations ne sont pas soumises à une autre réglementation (celle régissant le curage ou le dessablage de bassin de retenue, p. ex.; voir Gerster et Rey 1994, Limnex 2005).

Le canton peut ensuite examiner les autres installations sises sur son territoire, et pour lesquelles il est compétent, en appliquant la procédure uniformisée présentée ci-après. Au cours des étapes ultérieures (fig. 4), il déterminera de manière aussi simple que possible, les cas dans lesquels on n'observe manifestement aucune atteinte grave et où aucun assainissement n'est donc requis (rapport débit d'éclusée/débit plancher, issue de secours), et les cas où même un examen rapide révèle l'existence évidente d'atteintes graves et où un assainissement s'impose (raccourci ou appréciation sommaire). Ces cas seront traités plus en détail dans les chapitres 2.2, 2.3 et 2.4.

Dans les cas où il n'est pas possible, de manière simple, d'établir à coup sûr la nécessité d'assainir une centrale, il s'agira de réaliser une évaluation approfondie (chap. 2.5).

2.2 Elimination des installations n'exigeant pas d'assainissement

Afin d'éliminer les installations ne devant à coup sûr pas être assainies, on doit tout d'abord considérer le rapport débit d'éclusée/débit plancher. Dans certains cas, le canton peut en outre emprunter une «issue de secours» (fig. 4; chap. 2.2.2).

2.2.1 Rapport débit d'éclusée / débit plancher inférieur à 1,5: 1

Atteintes non significatives

Selon l'art. 41e, let. a, OEaux, les éclusées n'engendrent pas d'atteinte grave au sens de l'art. 39a, al. 1, LEaux lorsque le rapport débit d'éclusée/débit plancher est inférieur à 1,5:1.

Evaluation avec HYDMOD

La figure 5 illustre pour quelle raison la limite inférieure absolue du rapport débit d'éclusée/débit plancher a été fixée à 1,5:1. Pour apprécier le phénomène d'éclusée, le module Hydrologie du Système modulaire gradué (HYDMOD; chap. 1.5) définit deux valeurs indicatrices, qui englobent chacune plusieurs facteurs différents. La valeur indicatrice figurant sur l'axe des abscisses, appelée «intensité de l'impulsion», est définie par le rapport débit d'éclusée/débit plancher ($V_{é/p}$). Selon la valeur atteinte par la seconde valeur indicatrice, appelée «stress hydraulique» et indiquée sur l'axe des ordonnées, l'état hydrologique du tronçon étudié sera encore considéré comme bon (classe 2, signalée par le couleur verte) lorsque l'intensité de l'impulsion présente une valeur située entre 3,0 et 1,3 environ. Un tronçon sera normalement rangé dans cette classe d'état lorsque le rapport d'éclusée ($V_{é/p}$), considéré seul, demeure inférieur au rapport 1,5:1 (cf. fig. A2, annexe A2-2). Un tel tronçon peut être éliminé sans autres de la suite des investigations, puisque l'on peut considérer qu'il ne subit pas d'atteinte grave.

Fig. 5 > Classes d'état servant à apprécier le phénomène d'éclusée dans HYDMOD

L'axe des abscisses indique le rapport débit d'éclusée/débit plancher (Vé/p) corrigé par un facteur correspondant au taux de modification du niveau d'eau (KTN,é/p). L'axe des ordonnées indique la seconde valeur déterminante, à savoir le rapport entre débit d'éclusée et débit annuel moyen de l'état de référence (Qéclusée/MQr) corrigé par un facteur tenant compte de la taille du bassin versant (kBV). La couleur à l'intersection des deux valeurs indique la classe d'état du tronçon étudié.

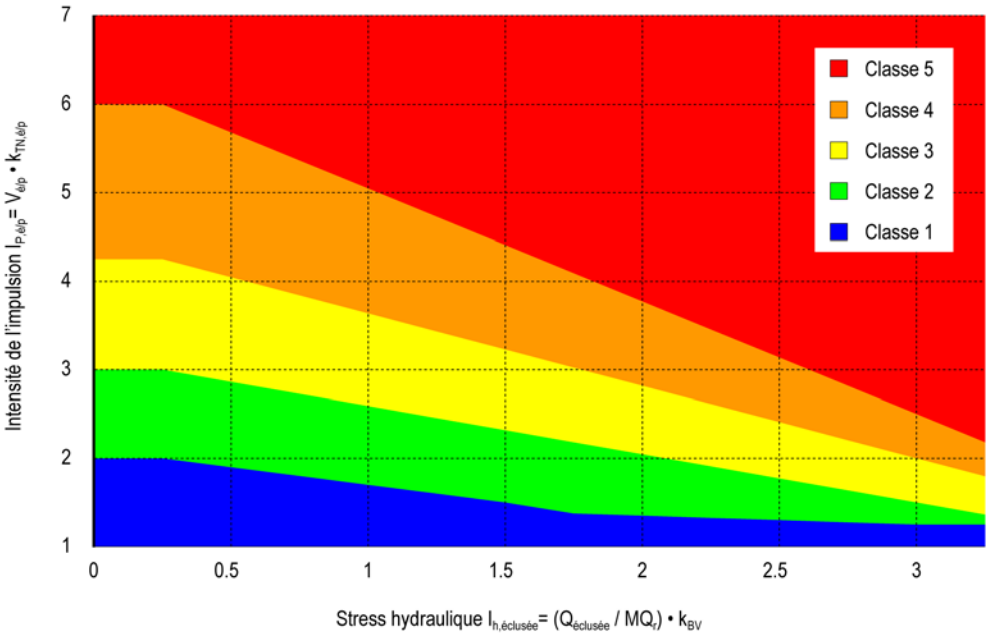


Illustration tirée de Pfaundler et al. (2011)

Le rapport entre débit d'éclusée et débit plancher que l'art. 41e, let. a, OEaux définit comme étant un critère déterminant correspond donc *uniquement* au rapport entre ces deux débits ($V_{s/s}$, sans aucune correction). Pour connaître ce rapport, il ne suffit pas de le déterminer en utilisant la figure 5, mais il faut aussi le calculer en suivant strictement les instructions du chapitre 3.7.3 du module Hydrologie du SMG (Pfaundler et al. 2011).

Lors de l'appréciation du phénomène d'éclusées selon HYDMOD, on peut néanmoins ignorer divers phénomènes revêtant une certaine importance écologique, tels des pointes de débit d'éclusées inhabituellement élevées ou des débits planchers exceptionnellement bas durant les fêtes de Noël. La limite absolue pour le rapport débit d'éclusée/débit plancher étant fixée à 1,5:1, soit une valeur faible, ces phénomènes isolés ne modifient pas fondamentalement le résultat final de l'appréciation.

Il va de soi que les variations de débit provoquées par une centrale donnée devront être mesurées et appréciées là où leur effet est maximal, soit en principe immédiatement en aval du point de restitution des eaux motrices. Plus loin en aval, l'effet de l'éclusée sera sans doute moindre, car l'atténuation naturelle de la crête de l'éclusée et l'arrivée d'affluents latéraux diminuent notablement le rapport débit d'éclusée/débit plancher. Sachant que cette réduction existe, on peut cependant aussi affirmer ce qui suit: si le rapport débit d'éclusée/débit plancher est supérieur à 1,5:1 à quelque distance de la centrale, on peut supposer que cette valeur limite est également dépassée à proximité immédiate de l'installation, pour autant que le tronçon séparant la centrale du point d'observation ne reçoive pas une autre restitution d'eau ou des affluents soumis à un régime d'éclusées susceptibles d'accroître l'amplitude des variations du débit.

Si les débits enregistrés par une station de mesure relativement proche ne permettent pas de cerner l'effet d'une centrale hydroélectrique, le module Hydrologie du SMG propose deux possibilités pour déterminer le rapport débit d'éclusée/débit plancher:

- Possibilité de calcul 1: extrapoler les débits mesurés par la station hydrométrique la plus proche en aval de la centrale, en remontant le cours d'eau jusqu'à la centrale. Une telle extrapolation n'est possible que si aucune autre atteinte anthropique ne modifie le régime d'écoulement dans le bassin intermédiaire et si les autres conditions définies dans HYDMOD sont remplies. Ces conditions et la méthode d'extrapolation sont décrites dans l'annexe 4 de HYDMOD (Pfaundler et al. 2011).
- Possibilité de calcul 2: le calcul se fonde sur les données d'exploitation, comme décrit dans le chapitre 3.7.3 de HYDMOD (Pfaundler et al. 2011).

Relevons que le calcul fondé sur les données d'exploitation fournit un rapport débit d'éclusée/débit plancher plus défavorable que le calcul basé sur des relevés de mesures.

Lorsque plusieurs centrales se succèdent sur le même cours d'eau, il faut calculer la part de chacune d'entre elles dans le rapport final entre débit d'éclusée et débit plancher soit en utilisant les données d'exploitation soit en recourant à une modélisation des débits dans l'ensemble du bassin versant (annexe A4). C'est en effet le seul moyen de déterminer et d'évaluer le rapport débit d'éclusée/débit plancher pour chacune de ces centrales.

Dans le module Hydrologie du SMG, il est supposé que le débit d'éclusée comme le débit plancher peuvent être déterminés de manière fiable à partir des relevés de mesures ou des données d'exploitation. Dans le cas de petites centrales, qui peuvent également provoquer des variations de débit du type éclusées (chap. 1.3), des données suffisantes peuvent faire défaut (p. ex. parce qu'une partie indéterminée du débit résiduel s'infiltre dans le tronçon de débit résiduel avant le point de restitution) pour calculer le débit plancher. Dans de tels cas, il faut commencer par réunir les données manquantes avant de procéder à l'évaluation. Pour déterminer le débit plancher, il importe, par analogie avec les exigences de HYDMOD, de considérer au moins 10 semaines avec des conditions d'étiage, et d'obtenir un hydrogramme complet pour ces 10 semaines ou de procéder à 10 mesures ponctuelles du débit durant cette période.

Lorsque le rapport entre débit d'éclusée et débit plancher établi selon cette méthode est inférieur à 1,5:1, on peut d'emblée considérer que le tronçon en question ne subit pas d'atteinte du tout, ou alors une atteinte insignifiante. Les installations hydroélectriques à l'origine des variations de débit n'ont donc pas besoin d'être assainies et il n'est pas nécessaire de les étudier plus avant. Dans la pratique, ce type de cas devrait être assez fréquent parmi les centrales au fil de l'eau qui ne provoquent que des variations minimes du débit en turbinant l'eau de leur retenue.

2.2.2 Issue de secours pour les effets à l'évidence négligeables

Cas particuliers

Il peut arriver qu'un cours d'eau ou une installation doivent en théorie figurer dans le plan d'assainissement (parce que le rapport débit d'éclusée/débit plancher est supérieur à 1,5:1), mais que cette inscription s'avère manifestement contraire à l'esprit du législateur (ex. 3). Le canton peut alors emprunter une issue dite de secours, qui consiste pour lui à expliquer dans son rapport intermédiaire (chap. 3.2) pourquoi aucune obligation d'assainir n'existe à coup sûr dans le cas en question. Si l'OFEV partage l'avis du canton, cette option permet d'exclure les cas particuliers de la procédure en renonçant à toute investigation complémentaire.

Exemple 3: L'issue de secours

Les centrales au fil de l'eau qui restituent, sans les modifier, des éclusées provoquées plus en amont sont un exemple de cas où l'existence d'un rapport débit d'éclusée/débit plancher supérieur à 1,5:1 ne signale pas nécessairement un besoin d'assainissement. En aval de telles installations, le rapport déterminé conformément au module Hydrologie du SMG peut dépasser largement la valeur limite. Il ne serait toutefois pas conforme au sens de la loi d'exiger que ces centrales atténuent des éclusées auxquelles elles ne contribuent pas activement.

2.3 Raccourci en cas d'atteintes manifestement graves

Raccourci

Dans quelques cas, le canton peut considérer les atteintes constatées comme graves sans avoir eu recours aux indicateurs de l'appréciation sommaire. A cet effet, il peut emprunter un raccourci, qui est le pendant de l'issue de secours (fig. 4; ex. 4). Emprunter un tel raccourci n'est envisageable que lorsque des données existantes prouvent clairement qu'on est en présence d'une atteinte grave. Des campagnes de pêche entreprises par l'inspection cantonale de la pêche ou par des particuliers (dans le cadre d'études d'impact sur l'environnement, p. ex.) peuvent par exemple indiquer que le peuplement piscicole d'un tronçon à éclusées se distingue par une composition non typique de l'ichtyofaune, une mauvaise structure de la population des espèces indicatrices, une faible densité piscicole et l'absence presque complète de frai naturel. Sur la base de ces constats, l'évaluation des indicateurs P1 (module Poissons du SMG) et P4 (Reproduction de l'ichtyofaune) débouche sur une appréciation négative, de sorte que le tronçon étudié doit être considéré comme gravement atteint (chap. 2.4.4). Tout comme dans le cas de l'appréciation sommaire, il faut prouver, lorsque l'on emprunte le raccourci, que les conditions préalables à l'utilisation des indicateurs concernés sont remplies (chap. 2.4.2) ou que l'on dispose d'un tronçon de référence approprié (chap. 2.4.3).

Pour emprunter le raccourci, il est possible de prouver l'existence d'une atteinte grave sans utiliser les indicateurs mentionnés. Dans tous les cas, les justifications fournies doivent toutefois se fonder sur l'art. 41e, let. b, OEaux et doivent pouvoir être vérifiées.

Si le canton constate l'existence d'une atteinte grave en empruntant le raccourci, il doit également s'en expliquer auprès des détenteurs des centrales hydroélectriques. Si l'OFEV ne s'oppose pas à cette appréciation (dans le cadre d'une consultation préalable ou lors de l'évaluation du rapport intermédiaire), l'obligation d'assainir peut être notifiée au terme de cette procédure abrégée.

Voici trois procédures qui s'appliquent alors:

- Le rapport intermédiaire établi dans le cadre de la planification cantonale et adressé à l'OFEV devra également expliquer pourquoi des atteintes graves ont été constatées dans le cas d'installations pour lesquelles on s'est contenté d'une procédure abrégée. Ce rapport devra au moins indiquer le *type* de mesures à envisager ou à privilégier en toute probabilité afin d'atténuer les éclusées (chap. 3.4). Il devra également fournir les indications requises concernant le potentiel écologique et le degré de gravité de l'atteinte (chap. 3.3).
- L'*ampleur* nécessaire des mesures destinées à atténuer les éclusées ne pourra être estimée qu'au terme de l'analyse et de l'appréciation des indicateurs correspondants (chap. 3.4; fig. 6);
- Les indicateurs de l'appréciation sommaire que le raccourci «contourne» devront être analysés et appréciés au cours de la phase 2, soit durant la préparation des mesures par le détenteur (chap. 5).

Exemple 4: Cas où le raccourci est envisageable

Le Rhin alpin tout comme le Rhône ont fait l'objet de nombreuses études traitant en détail de l'effet des éclusées. Les résultats de ces études fournissent les valeurs de certains ou au mieux de la plupart des indicateurs de l'appréciation sommaire. Sur le Rhin alpin, les relevés ont, de plus, été réalisés pour la majorité des morphologies existantes (allant de la zone alluviale de Mastrils, proche de l'état naturel, au tronçon international, canalisé). Dans le Rhône, pratiquement tout le tronçon à éclusées est aujourd'hui canalisé, de sorte que les relevés de l'état actuel ne rendent compte que de l'effet des éclusées sur ce type de morphologie (artificielle; ex. A1, annexe A2-1). Il n'en reste pas moins possible, dans une certaine mesure, de prévoir les effets que les éclusées engendreraient sur des tronçons revitalisés du Rhône, puisqu'ils ont fait l'objet de modélisations dans le cadre d'études passées (Pellaud 2007). Pour les deux fleuves, on a de même une idée assez claire de l'ampleur des mesures nécessaires du point de vue écologique pour atténuer les éclusées (Pellaud 2007, Schälchli et al. 2003). Sur le Rhin alpin, une étude visant à préciser cette idée est d'ailleurs actuellement en cours.

2.4 Appréciation sommaire

Appréciation sommaire

Par analogie avec l'étape permettant d'éliminer les cas ne présentant de toute évidence aucune nécessité d'assainissement, l'appréciation sommaire sert à identifier de manière aussi simple que possible les cas où un assainissement s'impose à coup sûr. Cette appréciation ne peut toutefois se fonder uniquement sur le rapport débit d'éclusée/débit plancher et recourt donc à plusieurs indicateurs, en majorité biologiques (chap. 2.4.1). De grands écarts pouvant apparaître entre les résultats d'une évaluation hydrologique et ceux d'une évaluation écologique (ex. 2, p. 19), il serait en effet par trop hasardeux de considérer uniquement les caractéristiques hydrologiques pour identifier les installations devant manifestement être assainies.

Les indicateurs retenus pour identifier ces installations comprennent quelques paramètres biologiques et deux paramètres abiotiques, qu'il est possible de mesurer de manière relativement simple et rapide. C'est la raison pour laquelle cette étape est appelée appréciation sommaire. Cette appréciation ne peut cependant relever que les atteintes manifestes. Seule une évaluation approfondie est en effet à même d'identifier l'ampleur effective des atteintes dans des cas moins évidents et de déterminer si ces atteintes sont graves (chap. 2.5).

L'annexe A2 décrit quelques-unes des bases théoriques qui sous-tendent la méthode d'analyse et d'appréciation appliquée ici. Il est utile d'en tenir compte pour bien comprendre l'appréciation sommaire.

2.4.1 Les indicateurs de l'appréciation sommaire

Indicateurs

Les indicateurs de l'appréciation sommaire couvrent une large palette de caractéristiques pouvant être influencées par une exploitation par éclusées. Les voici:

- L'indicateur **P1** (module Poissons du SMG) correspond à la méthode d'appréciation définie par Schager et Peter (2004) et comprend diverses caractéristiques concernant l'écologie de la faune piscicole, telles la composition et la diversité de l'ichtyofaune, la reproduction naturelle, la structure de population de l'espèce principale de poisson, ainsi que les anomalies et les déformations des poissons.
- L'indicateur **P4** (reproduction des poissons) complète l'indicateur P1 en analysant et en appréciant la densité d'alevins des principales espèces piscicoles au moment où ils émergent des sédiments.
- L'indicateur **P5** (productivité piscicole) sert à estimer la capacité théorique du rendement piscicole du cours d'eau au moyen de plusieurs facteurs d'influence.
- L'indicateur **B1** (biomasse du macrozoobenthos) étudie la quantité d'invertébrés présents sur ainsi que dans le fond du lit et encore visibles à l'œil nu (macro-invertébrés). B1 est également l'un des facteurs d'influence pris en considération dans l'appréciation de l'indicateur P5.
- L'indicateur **B2** (module Macrozoobenthos du SMG) apprécie la faune d'invertébrés du fond du lit en utilisant l'«indice biologique» suisse (IBCH) selon la méthode définie par Stucki (2010). Les échantillons prélevés pour analyser l'indicateur B2 servent également à mesurer les autres indicateurs benthiques.
- L'indicateur **B4** (familles d'insectes EPT) utilise le nombre de familles d'éphéméroptères, des plécoptères et des trichoptères présentes sur le site étudié comme mesure de la diversité des organismes aquatiques particulièrement sensibles.
- L'indicateur **H1** (colmatage) évalue le colmatage du lit au moyen de la concentration de matières en suspension lors de l'éclusée.
- L'indicateur **D1** (débit minimal) vérifie si le débit plancher respecte les exigences définies par la LEaux pour les débits résiduels.

A l'aide de ces indicateurs, il est possible de déterminer si la faune indigène (biocénose animale) et ses biotopes subissent des atteintes graves au sens de l'art. 39a, al. 1, LEaux et de l'art. 41e OEaux. La flore indigène (biocénose végétale), également mentionnée dans ces dispositions légales, réagit en général moins ou, du moins, de manière moins perceptible à des variations hydrologiques (Hering et al. 2006, Baumann & Langhans 2010). Les végétaux supérieurs, ou macrophytes, qui seraient sans doute les mieux à même de servir d'indicateurs végétaux pour les éclusées, sont totalement absents dans la plupart des tronçons à éclusées. On part donc de l'hypothèse que les exigences des organismes animaux relativement sensibles couvrent également les exigences des biocénoses végétales.

La plupart des indicateurs *biologiques* utilisés dans l'appréciation sommaire *ne peuvent pas* être convertis dans le but d'évaluer d'autres morphologies que celle des tronçons considérés. A l'inverse, l'indicateur biologique P5 et l'indicateur abiotique H1 (colmatage) possèdent une échelle de classement pour toutes les structures morphologiques (même celles n'existant pas actuellement), alors que l'appréciation de l'autre indicateur abiotique D1 (débit minimal) est indépendante pas de la morphologie.

Les fiches figurant en annexe A7 du présent module d'aide à l'exécution donnent une description détaillée de chacun des indicateurs utilisés et expliquent comment les analyser et les apprécier.

2.4.2 Champ d'application de l'appréciation sommaire

Champ d'application

L'appréciation sommaire consiste en général à analyser et à apprécier tous les indicateurs énumérés au chapitre 2.4.1 selon la méthode décrite dans l'annexe A7 (fig. 6).

Des études écologiques approfondies, réalisées sur mandat de la Confédération, des cantons ou des détenteurs, existent déjà pour certains tronçons à éclusées, situés notamment sur de grands cours d'eau alpins. Selon les modalités et l'envergure de ces études, leurs résultats peuvent servir à déterminer les atteintes existantes, ce qui simplifie grandement les travaux de planification des cantons:

- Dans les cas exceptionnels où une atteinte grave peut être prouvée sans équivoque sur la base de données existantes, le canton peut emprunter un raccourci dans la procédure et renoncer totalement à analyser et à apprécier les indicateurs (chap. 2.3; fig. 6).
- Même lorsque le raccourci 'se révèle impraticable, il est souvent possible de déterminer et d'évaluer les indicateurs de l'appréciation sommaire directement sur la base des données existantes, moyennant quelques investigations complémentaires, voire aucune. Si des données requises manquent pour certains indicateurs, il convient de les collecter pour pouvoir réaliser l'appréciation sommaire.

Les spécialistes devront déterminer au cas par cas si les données existantes permettent d'apprécier les indicateurs prévus. On ne tient par exemple compte des données issues d'études remontant à plus de dix ans que si elles sont absolument fiables du point de vue actuel et si des paramètres importants n'ont pas changé depuis leur réalisation. L'appréciation de chaque indicateur doit préciser sur quelles données elle se fonde.

Comme les indicateurs de l'appréciation sommaire correspondent à une sélection de méthodes relativement simples, ils ne sont pas spécialement axés sur les éclusées, cette remarque valant en particulier pour les indicateurs biologiques. Certains d'entre eux sont plutôt des indicateurs globaux, qui expriment non seulement l'effet hydrologique de l'exploitation par éclusées, mais aussi l'influence d'autres facteurs abiotiques. Selon les *Idées directrices – Cours d'eau suisses* (OFEFP/OFEG 2003), ces autres facteurs d'influence déterminants comprennent avant tout la morphologie du cours d'eau et la qualité de l'eau.

L'indicateur global B2 (module Macrozoobenthos du SMG) dépend ainsi souvent plus de la qualité de l'eau que du régime d'éclusées (Limnex 2007). Il a néanmoins été inclus dans la méthode présentée ici, car ce prélèvement standardisé d'échantillons fournit des données de bases uniformisées pour l'évaluation d'autres indicateurs benthiques. Les autres indicateurs globaux sont les indicateurs P1, P4, B1 et B4.

Le recours aux indicateurs globaux peut en théorie conduire à diagnostiquer, pour un tronçon à éclusées donné, une atteinte causée en réalité non pas par les éclusées mais par une structure morphologique peu naturelle du cours d'eau ou par une qualité de l'eau insuffisante. Afin d'éviter ce genre d'erreur, l'utilisation des indicateurs globaux doit respecter les exigences suivantes:

- La qualité de l'eau dans le tronçon étudié doit répondre aux exigences de l'OEaux régissant la concentration de nutriments et de polluants. On rencontre le plus souvent un régime d'éclusées dans les cours d'eau de taille moyenne à grande, c'est-à-dire des cours d'eau pour la plupart desquels les cantons possèdent des résultats d'analyses chimiques ou les valeurs d'indicateurs biologique de la qualité l'eau. Parmi les indicateurs biologiques appropriés, mentionnons par exemple les diatomées (Hürlimann & Niederhauser 2007). Si les valeurs récentes font état d'une qualité insuffisante, on ne peut pas attribuer sans autre aux éclusées les atteintes identifiées à l'aide de ces indicateurs. Dans ce cas, l'appréciation sommaire est insuffisante et il faut procéder à une évaluation approfondie (chap. 2.5). Si des résultats d'analyses récentes ne sont pas disponibles pour le tronçon considéré, le canton peut réaliser ces analyses parallèlement à l'appréciation sommaire ou alors il doit, en règle générale, procéder à l'évaluation approfondie. Les cas où il est possible d'étudier un tronçon de référence présentant une qualité de l'eau similaire mais ne subissant pas l'effet d'éclusées (chap. 2.4.3) constituent la seule exception à cette règle.
- Des atteintes morphologiques, notamment la canalisation du lit et l'endiguement des berges, peuvent avoir des effets biologiques similaires aux éclusées. Pour éviter que ces atteintes ne faussent les résultats, on ne peut recourir à l'appréciation sommaire que si le tronçon à éclusées comporte encore des portions possédant une morphologie naturelle ou proche de l'état naturel. Les portions de cours d'eau, ou les morphologies, offrant la plus grande diversité 'se révèlent normalement les plus sensibles aux effets des éclusées (annexe A3). Cette règle dite de l'état le plus sensible, à appliquer pour déterminer les atteintes graves, est explicitement préconisée par l'OFEV (OFEV, 2011a) et décrite dans l'annexe A2-3. Pour les besoins de l'évaluation sommaire, il est possible de définir la morphologie la plus sensible en se fondant sur les relevés écomorphologiques selon la méthode du SMG (niveau R; Hütte & Niederhauser 1998), qui ont été réalisés dans presque toute la Suisse (Zeh, Weissmann et al. 2009). On peut alors considérer comme naturels ou peu atteints (donc proches de l'état naturel) les tronçons de cours d'eau marqués en bleu ou en vert, dont on sait par ailleurs qu'ils ne souffrent pas d'un gros déficit de charriage. S'il n'existe aucun tronçon à éclusées présentant ces qualités, rien ne permet d'exclure l'influence négative de la morphologie. Il s'agit alors en règle générale de procéder à une évaluation approfondie, car une appréciation sommaire n'est pas envisageable. Seuls les cas où il est possible d'étudier un tronçon de référence similaire mais sans 'éclusées constituent une exception à cette règle (chap. 2.4.3). Il n'est par ailleurs pas possible d'indiquer la longueur minimale que doit mesurer un tronçon offrant une morphologie naturelle ou proche de l'état naturel pour qu'il soit pris en compte. L'annexe A3 fournit toutefois quelques indications permettant de la déterminer.
  Les atteintes existantes peuvent être attribuées au régime des éclusées uniquement dans les portions de tronçons à éclusées suffisamment longs présentant à la fois un état naturel ou proche de l'état naturel et une qualité de l'eau suffisante. Ces conditions sont par exemple réunies dans la zone alluviale de Mastrils sur le Rhin alpin (ex. 5) et la zone alluviale de Rhäzüns sur le Rhin postérieur.

Exemple 5: Les structures morphologiques naturelles et actuelles du Rhin alpin

Au début du XIX^{e} siècle, soit avant les grandes corrections des eaux, le tronçon du Rhin alpin reliant Reichenau au lac de Constance (93 km environ) présentait un tracé ramifié sur environ 71 km (76 %), un tracé sinueux ou en méandres sur 13 km environ (14 %) et un tracé rectiligne sur 9 km environ (10 %) (Eberstaller et al. 1997, Pottgiesser et al. 2004).

Certains méandres du fleuve ayant été «coupés», ce tronçon est actuellement légèrement plus court et principalement rectiligne (sur 47 km env. ou 51 %) ou marqué par la présence de bancs de gravier alternés (sur 44 km env. ou 47 %). La zone alluviale de Mastrils (3 km ou 3 %) constitue le seul tronçon ramifié du lit. Alors qu'elle est largement répandue aujourd'hui, la morphologie avec bancs de gravier alternés n'existait pas du tout ou sur quelques rares tronçons seulement dans le Rhin naturel.

On rencontre encore la morphologie ramifiée, caractéristique du Rhin alpin à l'état naturel, dans la zone alluviale de Mastrils, qui a d'ailleurs fait l'objet de nombreuses études approfondies (ex. 4, p. 28). Sur le Rhin alpin, tous les indicateurs de l'appréciation sommaire peuvent donc être utilisés sans restriction.

Importance de la morphologie

Même si un cours d'eau possède un tronçon à la morphologie naturelle et permettant donc de procéder aux analyses, il convient d'étudier les autres morphologies en présence (tronçons caractérisés par des bancs de gravier alternés, tronçons canalisés, etc.). Chaque morphologie «réagit» en effet à sa manière aux éclusées, de sorte qu'il est impossible d'estimer la réaction spécifique dans chaque cas sans l'étudier de plus près. Par ailleurs, le tronçon immédiatement en aval d'une centrale hydroélectrique, où l'effet des éclusées est maximal, doit toujours être étudié, quelle que soit sa morphologie. L'annexe A4 explique comment sélectionner les sites d'étude dans différentes situations.

2.4.3 Etude d'un tronçon de référence

Tronçons de référence

Parallèlement au tronçon à éclusées, il convient, dans la mesure du possible, d'étudier et d'apprécier, sur le même cours d'eau, un tronçon de référence ne subissant aucune influence hydrologique et présentant des caractéristiques similaires (qualité de l'eau et morphologie). On peut alors considérer que les différences observées entre tronçon à éclusées et tronçon de référence sont à mettre sur le compte des éclusées. Le plus souvent, de tels tronçons de référence n'existent toutefois pas. Voici pourquoi:

- Les prises d'eau sont tellement éloignées du point de restitution que le tronçon en amont des prises diffère trop du tronçon à éclusées.
- Les tronçons sis en aval, jusqu'au point de restitution, sont des tronçons à débit résiduel qui subissent donc aussi une influence hydrologique, qui est simplement d'un type différent. Le tronçon à débit résiduel (jusqu'au point de restitution) peut cependant servir de tronçon de référence si le bassin versant intermédiaire est assez grand pour recréer des débits suffisamment élevés et dynamiques.

Il appartient aux spécialistes participant aux travaux de déterminer au cas par cas si un tronçon de référence approprié est disponible ou non. Si les conditions énumérées au chapitre 2.4.2 sont remplies, on peut également recourir à l'appréciation sommaire *en l'absence* de tronçon de référence.

2.4.4 Détermination des atteintes graves au moyen de l'appréciation sommaire

Evaluation

Dans le cas où les conditions décrites ci-dessus sont remplies, les atteintes dues aux éclusées doivent être considérées comme graves si l'appréciation sommaire débouche sur l'un des résultats suivants:

- au moins un indicateur révèle un mauvais état (couleur rouge), ou
- au moins deux indicateurs révèlent un état médiocre (orange), ou
- au moins trois indicateurs révèlent un état moyen (jaune), ou
- un indicateur révèle un état médiocre et deux autres indicateurs un état moyen.

Si le nombre d'indicateurs témoignant d'un état insatisfaisant ne dépasse pas les limites fixées ci-dessus, ou est nul, il n'est pas possible de conclure à une atteinte grave, ni de l'exclure. La même remarque s'applique lorsqu'un doute subsiste quant à la fiabilité de l'analyse et de l'appréciation (relevés sur le terrain effectués dans des conditions défavorables, p. ex.). Dans ces cas, il faut procéder à l'évaluation approfondie avant de rendre une décision définitive quant à l'obligation d'assainir. Lors de cette évaluation, il est conseillé de reprendre les indicateurs de l'appréciation sommaire et, si possible, de les réévaluer également (chap. 2.5.2).

Lorsqu'au contraire un nombre suffisant d'indicateurs révèlent un état moyen, médiocre ou mauvais au cours de l'appréciation sommaire, l'atteinte causée par l'installation étudiée peut d'emblée être considérée comme grave. Dans un tel cas, le canton peut renoncer à l'évaluation approfondie et commencer la planification des mesures destinées à atténuer les éclusées. Les résultats de l'appréciation sommaire permettent avant tout de cerner le type des mesures à prendre. Pour estimer, même approximativement, l'ampleur requise des mesures, il convient, en plus de l'analyse sommaire, d'analyser et d'apprécier des indicateurs complémentaires (chap. 3.4; fig. 6).

Les indicateurs de l'évaluation approfondie qui ne figurent pas parmi les indicateurs de l'appréciation sommaire et qui n'ont pas été examinés à titre complémentaire par le canton, doivent absolument être pris en compte au cours de la phase 2 de la planification par les détenteurs des centrales. De plus, les résultats de l'appréciation sommaire devront également être vérifiés et confirmés lors de l'évaluation approfondie, en analysant et évaluant si possible une nouvelle fois les indicateurs inclus dans l'appréciation sommaire (chap. 2.5).

Lorsqu'un tronçon soumis à éclusées ne remplit pas les conditions requises pour une appréciation sommaire (voir plus haut) et lorsqu'il s'avère impossible d'étudier en parallèle un tronçon de référence non soumis à éclusées, il s'agira de procéder à une évaluation approfondie complète, dont plusieurs indicateurs pourront être transposés à d'autres morphologies que celles disponibles (chap. 2.5).

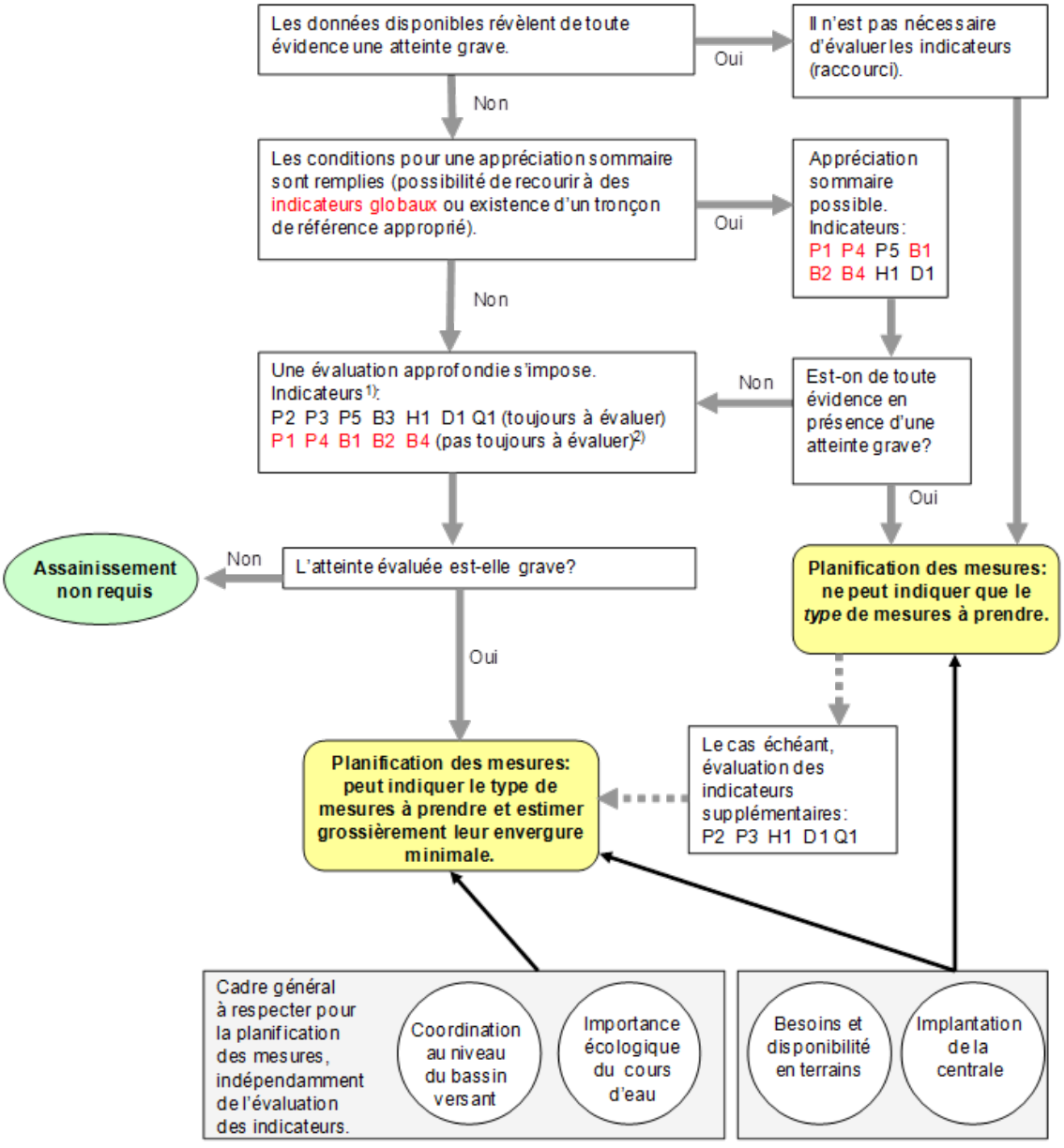
En présence de situations complexes où plusieurs centrales exploitant par éclusées se succèdent sur le même cours d'eau, l'appréciation sommaire ne permet pas de tirer des conclusions, ou alors seulement des conclusions très limitées (annexe A4). Cette appréciation n'englobe en effet pas les indicateurs plus difficiles à analyser qui permettent de répartir approximativement les atteintes entre plusieurs installations (ex. 6). Dans de tels cas, seule une évaluation approfondie permet en général de parvenir à cet objectif.

Exemple 6: Cas ne se prêtant pas à une appréciation sommaire

Prenons la centrale A d'une installation à accumulation, située relativement loin en aval sur une rivière dont le cours compte plusieurs autres usines fonctionnant par éclusées. La centrale A accroît le débit d'éclusée maximal, qui avoisinait déjà 80 m³/s en amont, d'encore 25 m³/s au plus. Si le cours d'eau, aussi bien en amont qu'en aval de la centrale A, subit une atteinte grave, l'appréciation sommaire ne permettra pas de savoir si cette centrale doit aussi être assainie. Seule une évaluation approfondie, basée sur les indicateurs appropriés, permettra de déterminer si la centrale A provoquerait encore une atteinte grave une fois que toutes les centrales en amont seront assainies conformément aux exigences légales.

Fig. 6 > Déroulement possible de la planification et des analyses, avec les divers indicateurs à évaluer ainsi que le détail des trois étapes («raccourci», «appréciation sommaire» et «évaluation approfondie»)

Les indicateurs globaux (en rouge) ne peuvent être utilisés sans réserve qu'à certaines conditions (chap. 2.4.2).



[1] Lors de l'évaluation approfondie, il n'est pas indispensable d'analyser à nouveau les indicateurs déjà inclus dans l'appréciation sommaire, mais il est néanmoins recommandé de les considérer à nouveau (chap. 2.5.2).

[2] Les indicateurs globaux seront aussi étudiés lors de l'évaluation approfondie. On ne pourra toutefois les évaluer que si les conditions spécifiées sont remplies.

2.5 Evaluation approfondie

Evaluation approfondie

Les premières étapes de la planification cantonale ont permis d'éliminer les installations qui ne requièrent sûrement pas d'assainissement (chap. 2.1 et 2.2). Les étapes suivantes (l'appréciation sommaire ou le raccourci) ont, quant à elles, servi à identifier les installations qui devront certainement être assainies (chap. 2.3 et 2.4).

Toutes les installations restantes incluses dans la planification cantonale devront faire l'objet d'une évaluation approfondie conformément aux modalités décrites ci-après. La figure 6 présente en résumé dans quels cas et comment il convient de recourir à une telle évaluation.

L'annexe A2 explique quelques-unes des principales bases théoriques des méthodes d'analyse et d'appréciation appliquées. Il convient d'en tenir compte pour comprendre l'évaluation approfondie.

2.5.1 Les indicateurs de l'évaluation approfondie

Indicateurs

L'évaluation approfondie sert à déterminer si la faune et la flore indigènes et leurs biotopes subissent ou non des atteintes graves au sens de l'art. 39a, al. 1, LEaux. Cette évaluation est réalisée essentiellement au moyen d'indicateurs rendant compte de la taille, de la composition et de la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station, conformément à l'art. 41e, let. b, OEaux. Tout comme dans l'appréciation sommaire, les plantes, c'est-à-dire la biocénose végétale, ne possèdent pas ici leurs propres indicateurs, car elles sont en général moins sensibles à des modifications hydrologiques que les poissons ou les macroinvertébrés (chap. 2.4.1). L'évaluation approfondie part donc de l'hypothèse que les organismes végétaux ne subissent aucune atteinte grave lorsque les indicateurs concernant les groupes faunistiques des poissons et du macrozoobenthos, ainsi que le milieu naturel aquatique, révèlent un état suffisant du cours d'eau.

Une partie des indicateurs de l'évaluation approfondie sont également utilisés dans l'appréciation sommaire et ont déjà été présentés au chapitre 2.4.1 Les autres indicateurs supplémentaires intervenant dans l'évaluation approfondie sont les suivants (fig. 6):

- L'indicateur P2 (échouage) détermine, en se fondant avant tout sur des calculs hydrauliques, quelles surfaces sont mises à sec lors de la diminution du débit et à quelle vitesse la mise à sec à lieu, ainsi que le risque d'échouage résultant pour les poissons. Des relevés sont réalisés sur le terrain pour compléter et confirmer les calculs. Ils servent aussi à documenter les agglomérats visibles d'invertébrés échoués.
- L'indicateur P3 (frayères) recourt à des modélisations unidimensionnelles ou bidimensionnelles (selon la morphologie du cours d'eau) pour déterminer la taille potentielle des frayères qui ne se retrouvent pas à sec durant le débit plancher et ne sont pas érodées par le débit d'éclusée. Au moyen de prélèvements d'alevins des principales espèces de poissons, l'indicateur P4, utilisé à titre d'indicateur global dans l'appréciation sommaire, permet de vérifier et de confirmer ces calculs.

- L'indicateur B3 (zonation longitudinale du macrozoobenthos) évalue dans quelle mesure la faune invertébrée correspond au type de zone biocénotique. Pour connaître sa valeur, on peut utiliser les mêmes échantillons que pour les autres indicateurs benthiques, mais en déterminant les macroinvertébrés plus précisément.
- L'indicateur Q1 (température de l'eau) évalue, sur la base de séries de mesures portant sur une année au moins, les modifications soudaines que les éclusées font subir à la température de l'eau.

Des fiches décrivant les divers indicateurs (annexe A7) fournissent une description détaillée de chaque indicateur ainsi que des informations pratiques pour les analyser et les évaluer.

2.5.2 Champ d'application de l'évaluation approfondie

Limites de l'évaluation approfondie

L'évaluation approfondie consiste à analyser tous les indicateurs disponibles selon la méthode décrite dans l'annexe A2 Les indicateurs P2, P3, P5, B3, H1, D1 et Q1 peuvent être appliqués indépendamment de la qualité de l'eau et de la morphologie, c'est-à-dire utilisés dans tous les cas à étudier, de sorte que l'on obtient une vue d'ensemble plus étayée que dans l'appréciation sommaire (tab. 1).

L'évaluation approfondie inclut également les indicateurs dits «globaux». L'analyse de ces indicateurs s'impose en effet, car certains d'entre eux comprennent des données de base nécessaires pour d'autres indicateurs qu'il s'agit d'étudier dans tous les cas (B1 pour P5), ou parce qu'ils sont utilisés pour vérifier et confirmer d'autres indicateurs (P4 pour P3; annexe A7).

Les indicateurs globaux ne sont toutefois utilisables que de manière restreinte dans l'évaluation même. On *ne peut pas* en effet les évaluer dans les cas où les conditions requises ne sont pas remplies et où l'on n'a donc pas pu procéder à une appréciation sommaire. Lorsque le canton a opté d'emblée pour une évaluation approfondie, sans avoir réalisé auparavant une appréciation sommaire, il 'doit commencer par vérifier la validité des indicateurs globaux suivant les exigences décrites au chapitre 2.4.2. Dans le cadre de l'évaluation approfondie, ces indicateurs ne peuvent également entrer en ligne de compte que si les concentrations de nutriments et de polluants ne dépassent pas les limites légales et s'il est possible d'étudier l'effet des éclusées dans un tronçon présentant une morphologie naturelle ou proche de l'état naturel. L'utilisation de ces indicateurs est aussi possible si les études requises peuvent être menées sur un tronçon de référence non soumis aux éclusées, mais présentant une qualité de l'eau et une morphologie similaires (chap. 2.4.3).

Lorsque l'appréciation sommaire ne révèle pas d'atteinte grave, le canton est tenu de procéder à une évaluation approfondie (fig. 6). Dans de tels cas, il est alors recommandé de vérifier une fois encore les indicateurs globaux. Cette vérification permet d'accroître la fiabilité des données, une précaution conseillée dans les cas ambigus, notamment pour les indicateurs biologiques. On s'assure ainsi que l'appréciation tient compte des variations naturelles, parfois importantes, des peuplements d'organismes et de leur composition.

Tab. 1 > Indicateurs utilisés pour l'appréciation sommaire et l'évaluation approfondie, ainsi que pour estimer l'ampleur des mesures destinées à atténuer les éclusées (tab. 2)

Indicateurs	Appréciation sommaire	Evaluation approfondie	Ampleur des mesures d'assainissement
Globaux = P1, P4, B1, B2, B4	Analyse toujours possible. Appréciation seulement sur des tronçons présentant une morphologie et une qualité de l'eau proches de l'état naturel («transposition» impossible à d'autres situations que les situations réelles).		Non significatif
P5	Utilisation toujours possible (analyse et appréciation), car l'appréciation tient compte de la qualité de l'eau et de la morphologie.		Non significatif
H1	Utilisation toujours possible, car cet indicateur n'est pas lié à la qualité de l'eau et que l'évaluation tient compte de la morphologie.		Significatif
D1	Utilisation toujours possible, car cet indicateur n'est lié ni à la qualité de l'eau ni à la morphologie du cours d'eau.		Significatif
P2, P3	Non inclus dans l'appréciation sommaire.	Utilisation toujours possible, car vraiment spécifiques aux éclusées.	Significatif
Q1	Non inclus dans l'appréciation sommaire.	Utilisation toujours possible, car vraiment spécifiques aux éclusées.	Significatif
B3	Non inclus dans l'appréciation sommaire.	Utilisation en général possible, car assez spécifique aux éclusées.	Non significatif

Au cours de l'évaluation approfondie, on peut également utiliser autant que possible les études existantes pour déterminer la valeur des indicateurs à analyser (chap. 2.4.2).

Etat prévisible

Contrairement à l'appréciation sommaire, l'évaluation approfondie ne porte pas seulement sur l'état actuel, mais également sur l'état dit «prévisible». Ce dernier comprend principalement les modifications prévues sur la base des connaissances actuelles et qui seront portées à la morphologie du cours d'eau et/ou à la qualité des eaux d'ici à l'expiration du délai de réalisation des mesures destinées à atténuer les éclusées, soit jusqu'à fin 2030 (annexe A2-1). Des modifications hydrologiques peuvent aussi être prises en compte dans cet état dans les cas suivants.

- L'agrandissement d'une centrale est prévu 'd'ici à 2030 et qu'à cette occasion le débit turbiné (donc le débit d'éclusée maximum possible) est augmenté. Conformément à l'art. 41f, al. 2, let. e, OEaux, le détenteur doit en informer le canton.
- La concession d'une centrale doit être renouvelée durant cette période et ce renouvellement nécessite, selon les art. 31 à 33 LEaux, un accroissement des débits résiduels (donc du débit plancher; voir l'indicateur D1, annexe A7).

Dans beaucoup de tronçons à éclusées, principalement dans les cours d'eau alpins, la qualité de l'eau correspond 'déjà aux exigences légales et ne devrait pas subir de modification décisive dans un avenir proche. De plus, les modifications prévues sont sans doute souvent difficiles à estimer sur la base des données actuelles.

Ces vingt prochaines années, des mesures de revitalisation (élargissement du lit, p. ex.) ainsi que l'assainissement du régime de charriage vont revaloriser divers tronçons à éclusées. Pour certains de ces tronçons, les mesures prévues sont déjà connues, de sorte que l'on peut se faire une idée assez précise de l'état prévisible. A titre d'exemple, nous pouvons mentionner le Rhône valaisan (ex. A1, annexe A2-1). Dans beaucoup d'autres cas, les mesures de revitalisation ne seront fixées qu'au terme des vastes

travaux de planification que les cantons doivent réaliser dans les domaines de la revitalisation et du régime de charriage, conformément aux nouvelles dispositions de la LEaux et de l'OEaux. Ces planifications cantonales doivent être achevées d'ici au 31 décembre 2014, à l'instar de la planification stratégique visant à assainir les éclusées. Des données de base importantes pour définir l'état morphologique prévisible de tronçons soumis à éclusée ne seront donc disponibles que lorsque les travaux de planification cantonale tireront à leur fin.

Si la morphologie d'un tronçon à éclusées change entre l'état actuel et l'état prévisible, on peut en principe distinguer deux possibilités:

- Soit les morphologies qui domineront dans l'état prévisible, après réalisation des mesures de revitalisation, existent 'déjà dans certaines portions du tronçon à éclusée. Tous les indicateurs peuvent alors être analysés et appréciés pour ce type de morphologies, car celles-ci sont représentatives de l'état prévisible. Une appréciation fiable des indicateurs globaux ne sera toutefois possible que sur les sites présentant aujourd'hui une morphologie naturelle ou proche de l'état naturel sur un tronçon suffisamment long. Comme dans le cas de l'appréciation sommaire, l'existence de tels tronçons peut être déterminée sur la base du classement écomorphologique (chap. 2.4.2). Dans le cas du Rhin alpin, le tronçon à morphologie naturelle situé au niveau de la zone alluviale de Mastrils permet de réaliser une évaluation exhaustive de tous les indicateurs (ex. 5, p. 32).
- Soit les morphologies escomptées n'existent pas encore, comme sur le tracé du Rhône (ex. A1, annexe A2-1). Il n'est alors pas possible d'apprécier l'état prévisible à l'aide des indicateurs globaux, mais uniquement en recourant à d'autres indicateurs, qui ne dépendent pas de la morphologie ou que des modélisations permettent de transposer à d'autres morphologies (fig. 6; tab. 1).

Lorsqu'aucune portion du cours d'eau ne présente, dans la situation actuelle ou dans une situation prévisible, une morphologie un tant soit peu proche de l'état naturel (parce que les mesures de revitalisation ne prévoient que des élargissements modestes du lit, p. ex.), il faudrait définir également à quoi ressembleraient les morphologies naturelles, afin de mieux pouvoir classer les résultats (annexe A3). Le présent module ne fournit toutefois pas une méthode permettant de calculer et d'apprécier les indicateurs qui conviendraient (théoriquement) pour évaluer ces morphologies naturelles.

Comme dans l'appréciation sommaire, il convient d'étudier en plus du tronçon à éclusées lui-même 'des tronçons de référence, aux caractéristiques similaires mais ne subissant pas d'influence hydrologique, et pour autant que ces tronçons existent. On considérera alors que les différences entre tronçon à éclusées et tronçon de référence sont dues aux éclusées (chap. 2.4.3).

Dans les situations complexes, où plusieurs centrales se succèdent sur le même cours d'eau (annexe A4), on ne peut pas analyser et apprécier les effets d'une seule centrale située loin en aval indépendamment des effets engendrés par les centrales en amont. Dans de tels cas, il est utile d'entreprendre une modélisation des débits sur l'ensemble du bassin versant (annexe A4). Lorsqu'il faut étudier plusieurs centrales hydroélectriques en même temps, on se trouve en outre dans des circonstances particulières au sens

de l'annexe 4a OEaux, et le délai prévu pour l'achèvement de la planification peut-être reporté au-delà de 2014 (chap. 4.4).

2.5.3 Détermination des atteintes graves au moyen de l'évaluation approfondie

Evaluation

A ce stade, les différents indicateurs requis pour déterminer l'état actuel et l'état prévisible ont été analysés et, dans la mesure du possible, évalués (chap. 2.5.2).

Ces évaluations ont permis de définir les atteintes existantes au même titre que l'appréciation sommaire (chap. 2.4.4). Les atteintes dues aux éclusées devront être considérées comme graves si l'évaluation approfondie de l'état actuel *ou* de l'état prévisible débouche sur l'un des résultats ci-après:

- au moins un indicateur révèle un mauvais état (couleur rouge), ou
- au moins deux indicateurs révèlent un état médiocre (orange), ou
- au moins trois indicateurs révèlent un état moyen (jaune), ou
- un indicateur révèle un état médiocre et deux autres indicateurs un état moyen.

Si le nombre d'indicateurs témoignant d'un état insatisfaisant ne dépasse pas les limites fixées ci-dessus, ou est nul, on n'est pas en présence d'une atteinte grave.

Puisque le nombre d'indicateurs pouvant être étudiés dans l'état prévisible sera souvent moins grand que pour l'état actuel, les indicateurs susceptibles de témoigner d'une atteinte dans l'état prévisible seront également moins nombreux. Par ailleurs, le nombre d'indicateurs «insuffisants» pour l'état prévisible peut effectivement changer. Lorsqu'un indicateur donné peut être analysé aussi bien dans l'état actuel que dans l'état prévisible, il convient de n'utiliser que la valeur de cet indicateur dans l'état prévisible pour déterminer le degré de gravité de l'atteinte. Dans les autres cas, il faut prendre en compte les appréciations disponibles, quel que soit l'état qu'elles reflètent.

Si, compte tenu des conditions définies, les résultats obtenus ne font pas état d'une atteinte grave, ni dans l'état actuel ni dans l'état prévisible, l'installation considérée ne nécessite pas d'assainissement et peut être exclue du reste de la procédure (fig. 4 et fig. 6). Si l'évaluation approfondie révèle au contraire l'existence d'une atteinte grave, le canton doit commencer la planification de mesures destinées à atténuer les éclusées (chap. 4.2).

Qualité des bases d'appréciation

Lorsque l'appréciation – indépendamment de son résultat – soulève des doutes, le canton peut ordonner une nouvelle étude des indicateurs peu fiables, voire de tous les indicateurs de l'évaluation approfondie. La nécessité de recommencer les analyses représente une circonstance particulière au sens de l'annexe 4a OEaux, et le canton peut remettre les indications requises à l'OFEV après le délai fixé par la loi (chap. 3.5 et 4.4).

Lors de l'appréciation complémentaire, entreprise dans la planification incombant au détenteur (phase 2), les indicateurs de l'évaluation approfondie sont repris et évalués une nouvelle fois (chap. 5). Cela permet de prendre en considération les variations naturelles parfois considérables observées au sein des peuplements et de la composition des organismes, et d'étayer encore les résultats.

3 > Rapport intermédiaire

Exigences à remplir pour le rapport intermédiaire

Le canton remet à l'OFEV d'ici au 30 juin 2013 un rapport intermédiaire portant sur les premières étapes de sa planification. Ce rapport contient les indications spécifiées dans l'annexe 4a, ch. 2, al. 1, OEaux.

L'annexe A6 énumère les diverses exigences minimales de l'OFEV quant au rapport intermédiaire et les documents à joindre à ce rapport.

3.1 Liste des centrales hydroélectriques susceptibles de provoquer des variations de débit

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 1, let. a, OEaux, le rapport intermédiaire comprend

> *la liste, pour chaque bassin versant, des centrales hydroélectriques existantes susceptibles de provoquer des variations de débit (centrales à accumulation et centrales en rivière).*

Le canton commence donc ses travaux de planification en recensant, sur son territoire, toutes les centrales hydroélectriques qui fonctionnent par éclusées, ainsi que les cours d'eau présentant des variations artificielles de débit. Ces deux informations sont complémentaires, car une centrale fonctionnant par éclusées dans le canton B peut restituer l'eau turbinée dans un cours d'eau subissant déjà l'effet d'éclusées provoquées par des centrales sises en amont, dans le canton A (annexe A4). Dans un tel cas, le canton B ne recensera pas les centrales en amont (qui ne relèvent pas de sa compétence), mais uniquement l'effet des éclusées à la frontière cantonale au titre d'atteinte existante «préalable».

La compétence cantonale pour une centrale donnée dépend en général de l'emplacement de cette centrale (plus précisément des coordonnées géographiques du bâtiment des machines) et non pas du siège juridique de la société détentrice. Les emplacements de toutes les centrales, classées par canton, figure dans la Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse (SAHE, OFEN 2011), également accessible via le système d'information suisse des eaux (GEWISS; *http://gewiss.admin.ch*). Ce répertoire est mis à jour chaque année.

En ce qui concerne les centrales situées sur la frontière nationale, les compétences sont régies par des dispositions spéciales (voir p. ex. OFEV 2011a, Limnex 2001). C'est en effet la Confédération qui octroie les droits d'eau sur les tronçons touchant la frontière nationale. A ce titre, il lui incombe également d'appliquer la législation sur la pêche et sur la protection des eaux aux centrales concessionnaires frontalières et d'ordonner le cas échéant leur assainissement. La planification des assainissements requis incombe aux cantons sur le territoire desquels se trouvent les centrales, qui l'établissent en consultant la Confédération.

Le rapport intermédiaire doit comprendre une liste de toutes les installations et tronçons de cours d'eau que le canton a jugés pertinents lors d'une première étape (fig. 4). Il s'agit de tous les cas où l'on est en présence d'éclusées au sens de la loi (chap. 2.1). Selon le rapport de la CEATE-E (2008), cette liste doit également comprendre expressément les centrales en rivière (chap. 1.3) et les tronçons qu'elles influencent.

La Suisse ne dispose pas d'un registre national uniforme et exhaustif recensant toutes les centrales provoquant des variations de débit assimilables à des éclusées. Les cantons ont donc tout intérêt à consulter plusieurs sources pour établir une liste aussi complète que possible.

Registres et informations sur l'exploitation par éclusées

Voici les documents (dans l'ordre de leur parution) répertoriés jusqu'à présent à l'échelle nationale concernant les centrales fonctionnant par éclusées ou les tronçons de cours d'eau subissant l'effet d'éclusées:

- OFEE (1973): Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse au 1er janvier 1973, éditée par l'Office fédéral de l'économie des eaux, Berne. Cette édition contient des données sur le type et la taille de bassin d'accumulation, données n'apparaissant plus dans les éditions ultérieures.
- Limnex (2001): Schwall/Sunk-Betrieb in schweizerischen Fliessgewässern. Etude des données disponibles sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage, division Protection des eaux et pêche, Berne (*www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=fr*).
- Margot et al. (2010): Influence sur les cours d'eau des aménagements hydroélectriques ($\geq$ 300 kW) et de la régularisation des lacs. Atlas hydrologique de la Suisse (HADES), publié par l'Office fédéral de l'environnement, division Hydrologie, Berne, planche 5.3.
- Balmer, M. A.: Nachhaltigkeitsbezogene Typologisierung der schweizerischen Wasserkraftanlagen – GIS-basierte Clusteranalyse und Anwendung in einem Erfahrungskurvenmodell. Thèse en préparation, EPF Zurich.

Aucun de ces répertoires n'est complet. En effet, ils ne mentionnent en général pas les variations de débit, pour la plupart minimes, provoquées par les retenues de centrales au fil de l'eau, ni les petites à très petites centrales ou les petits cours d'eau.

Nous recommandons dès lors 'de puiser d'emblée dans d'autres sources d'information, qui fournissent des indications plus détaillées pour chaque canton. Mentionnons en particulier:

- les données des stations cantonales de mesure des débits et autres données de bases hydrologiques des services cantonaux spécialisés;
- les cartes et les registres cantonaux des droits d'eau;
- les connaissances et l'expérience des spécialistes des services cantonaux en charge de la protection des eaux, de la pêche et de l'énergie, des employés des centrales et des membres de sociétés locales de pêche et sections des associations de protection de l'environnement.

L'obligation de faire figurer dans le rapport non seulement les centrales hydroélectriques, mais aussi certains tronçons de cours d'eau, facilite l'évaluation, en particulier dans les cas suivants:

- Lorsque, sur des tronçons de cours d'eau où se succèdent un grand nombre de centrales, les stations de mesure existantes ne révèlent aucune variation de débit ou seulement des variations faibles (rapport débit d'éclusée/débit plancher nettement inférieur à 1,5:1), il ne sera plus nécessaire d'étudier séparément chaque centrale sise en amont. Si le rapport débit d'éclusée/débit plancher enregistré par une station de mesure est toutefois égal ou supérieur à la valeur limite, il conviendra de vérifier laquelle des centrales en amont provoque ces variations de débit et quelle est l'amplitude de ces dernières directement en aval de la centrale.
- Lorsque, dans des situations complexes, les effets de plusieurs ou d'un grand nombre de centrales fonctionnant par éclusées se superposent dans un même bassin versant, il est possible d'utiliser les données fournies par les stations de mesure existantes pour étudier l'effet des éclusées sur les tronçons concernés. Dans ce genre de situations particulières, répartir la responsabilité de cet effet entre les diverses centrales prend par contre souvent beaucoup plus de temps (chap. 3.5).

3.2 Indications concernant les atteintes graves

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 1, let. b, OEaux, le rapport intermédiaire doit comprendre

Représentation cartographique

- *des indications sur les centrales hydroélectriques portant gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par les éclusées qu'elles provoquent, de même que sur les tronçons de cours d'eau concernés.*

A ce stade, il faut commencer par énumérer tous les cas présentant certes un régime d'éclusées au sens de l'art. 39a LEaux, mais ayant néanmoins été exclus de la procédure et à qui l'obligation d'assainir ne s'applique pas, soit parce que le rapport débit d'éclusée/débit plancher est inférieur à 1,5:1 (chap. 2.2.1), soit parce qu'ils ont été traités via l'«issue de secours». Si le canton a recouru à l'issue de secours (chap. 2.2.2), il doit motiver clairement sa décision.

La liste devra également comprendre les centrales dont l'évaluation approfondie a clairement démontré qu'elles ne provoquent aucune atteinte grave et qui ont été définitivement classées parmi les installations ne nécessitant pas d'assainissement (chap. 2.3). Ces conclusions doivent être dûment justifiées.

Sur une carte, on indiquera enfin tous les tronçons à éclusées et toutes les installations fonctionnant par éclusées dont on sait, soit sur la base de l'appréciation sommaire soit parce que le canton leur a fait emprunter le raccourci, qu'elles portent à l'évidence gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes (chap. 2.3 et 2.4). De même, il convient d'ores et déjà d'indiquer ici les centrales pour lesquelles des études menées dans le cadre de l'évaluation approfondie ont établi qu'elles sont à l'origine d'atteintes graves (chap. 2.5). Le rapport intermédiaire doit expliciter clairement les résultats et spécifier comment on a constaté la nécessité d'assainir (données de

base utilisées, résultats de l'appréciation sommaire). Si le canton a emprunté l'issue de secours (chap. 2.3), il doit dûment motiver sa décision.

Pour terminer, il convient d'indiquer encore les cas (tronçons et installations) où l'appréciation sommaire ne suffit pas pour évaluer le degré de gravité des atteintes et qui n'ont pas encore pu faire l'objet d'une évaluation approfondie.

3.3 Potentiel écologique et degré de gravité des atteintes

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 1, let. c, OEaux, le rapport intermédiaire doit comprendre

> *une évaluation du potentiel écologique des tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves et du degré de gravité de ces atteintes*.

Potentiel écologique

A ce stade précoce de la procédure, le potentiel écologique ne peut être estimé qu'approximativement. Conformément à l'art. 33a OEaux, ce potentiel résulte, pour les cours d'eau à l'état naturel, de l'importance écologique des eaux dans leur état actuel et, pour les cours d'eau subissant déjà une atteinte, de l'importance écologique que les eaux pourraient revêtir après réparation des atteintes nuisibles causées par l'homme, dans la mesure impliquant des coûts proportionnés. Pour l'appréciation de l'importance écologique actuelle d'un cours d'eau, il s'agit de tenir compte de différents critères, dont: présence d'un site inscrit dans un inventaire national et cantonal, présence d'habitats d'espèces menacées ou prioritaires, possibilité d'un développement dynamique propre au cours d'eau, emplacement dans le réseau hydrographique ou rôle marquant dans le paysage (pour les détails, cf. OFEV, 2011b). Quant à la possible importance future d'un cours d'eau, on peut la déterminer soit sur la base de l'état d'un tronçon de référence (s'il en existe un), soit en se fondant sur les premières informations disponibles concernant l'état prévisible ou un objectif probable de développement (annexe A2-1). Ces informations peuvent provenir par les données disponibles fournies par les planifications stratégiques menées parallèlement dans les domaines de la revitalisation et du charriage, voire par la détermination de morphologies naturelles (annexe A3).

Gravité de l'atteinte

A l'inverse, la gravité de l'atteinte doit être déterminée avec précision. Que ce soit dans l'appréciation sommaire ou dans l'évaluation approfondie, elle peut être directement identifiée par le nombre d'indicateurs révélant un état des eaux moyen, médiocre ou mauvais (couleurs jaune à rouge; annexe A2-2). Dans le cas d'installations pour lesquelles le canton a opté pour le raccourci (chap. 2.3), il faut plutôt partir de l'hypothèse que les atteintes sont importantes.

Le module Hydrologie du SMG (HYDMOD) peut également fournir des données permettant d'évaluer la gravité des atteintes. Ainsi, on peut se fonder sur le simple rapport débit d'éclusée/débit plancher qui a été calculé dans le but de pouvoir écarter les installations ne présentant à coup sûr aucune nécessité d'assainissement (chap. 2.2). Mais on peut aussi recourir à une appréciation complète du phénomène d'éclusée, avec détermination de la classe d'état du tronçon (Pfaundler et al. 2011; voir fig. 5).

3.4 Mesures d'assainissement envisageables et probables

Mesures d'assainissement possibles

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 1, let. d, OEaux, le rapport intermédiaire doit comprendre

> *pour chaque centrale hydroélectrique portant gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par les éclusées qu'elle provoque: les mesures d'assainissement envisageables, leur évaluation et les mesures qui devront probablement être prises, de même que les indications sur leur coordination dans l'ensemble du bassin versant.*

Pour pouvoir, dès ce stade précoce de la planification, déterminer les mesures réalisables à même d'atténuer les éclusées et, mieux encore, pouvoir aussi choisir les mesures à privilégier, il faut inclure les détenteurs dans les travaux. Il convient notamment de vérifier si l'implantation de l'installation impose le cas échéant un certain type de mesures. La loi (art. 39a, al. 1, LEaux) prévoit en premier lieu des mesures constructives et en deuxième lieu, des mesures d'exploitation, mais uniquement sur demande du détenteur. Pour cette raison, des mesures d'exploitation doivent être examinées uniquement si le détenteur en fait la demande. Dans le cas des mesures constructives, il est possible d'estimer suffisamment tôt la surface de terrain nécessaire et d'établir si un tel terrain est disponible à proximité de l'installation (fig. 6). Dans ces diverses réflexions, il s'agit en outre d'accorder une place appropriée aux intérêts de protection de la nature et du paysage (chap. 4.2.2).

Mesures envisageables pour atténuer les éclusées

Selon Meile et al. (2005), on peut envisager les mesures constructives (c) ou d'exploitation (e) ci-après pour atténuer les éclusées provoquées par les centrales hydroélectriques (excepté les mesures touchant à la morphologie des cours d'eau):

> Mesures constructives
- déverser directement l'éclusée (eau turbinée) dans un lac (c);
- dériver l'éclusée dans une galerie ou un canal séparés (c);
- aménager des bassins ou des cavernes relativement grands afin de réduire l'amplitude des éclusées (c);
- aménager des bassins plus petits destinés à amortir les gradients de débits (taux de montée et de descente du niveau d'eau lors des éclusées) (c).

> Mesures d'exploitation (uniquement sur demande du détenteur)
- accroître le débit minimum (débit plancher) en aval du bassin d'accumulation ou de la centrale (e);
- réduire le débit maximum (débit d'éclusée) en réduisant la production de courant (e);
- diminuer les taux de montée et de descente du niveau d'eau en ralentissant le démarrage et l'arrêt des turbines ou en procédant par paliers (e);
- recourir à l'exploitation anticyclique de plusieurs centrales successives (e).

Parmi les mesures constructives, il ne s'agit pas seulement d'étudier de manière approfondie la possibilité de réaliser un bassin de compensation, mais d'envisager d'emblée

d'autres solutions. Ces dernières peuvent également comprendre des combinaisons novatrices permettant d'exploiter des synergies complémentaires. Voici quelques exemples:

- Bassins à plusieurs usages, servant non seulement à atténuer les éclusées, mais contribuant aussi à la protection contre les crues, aux activités de loisirs, à la production de courant, voire à d'autres aspects de la protection ou de l'utilisation (EPFL 2007).
- Utilisation simultanée de bassins de compensation à des fins d'accumulation et de pompage, comme le prévoit expressément l'art. 39a, al. 4, LEaux, sans avoir à modifier la concession. A titre d'exemple, mentionnons le bassin de compensation de Tierfehd dans la vallée de la Linth (AXPO 2006).
- Dérivation de l'éclusée dans une conduite sous pression et turbinage de cette eau dans une centrale supplémentaire (fonctionnant à éclusées). La centrale de Chlus que Repower (2010) prévoit dans le Bas-Prättigau en est un exemple.

Selon l'OFEV (2011a), il faut partir d'emblée d'une palette de mesures aussi large que possible, sans exclure les mesures d'exploitation, ces dernières ne pouvant toutefois, en vertu de l'art. 39a, al. 1, LEaux, être envisagées qu'à la demande du détenteur. Parmi les mesures ainsi sélectionnées, il faut commencer par retenir celles qui apparaissent envisageables, c'est-à-dire réalisables dans le cas considéré. L'implantation de l'installation jouant aussi un rôle dans cette décision, les détenteurs devraient être inclus dès le départ dans les travaux de planification.

Si le canton a identifié la nécessité d'assainir une installation en se fondant uniquement sur les indicateurs relativement peu précis de l'appréciation sommaire, ou avec le raccourci encore plus simplifié (chap. 2.3), tout ce qu'il peut faire, à ce stade de la planification, c'est fournir des indications concernant *le type probable des mesures d'assainissement* (fig. 6). En outre, dans certains cas, ces indications ne seront même pas définitives; c'est notamment le cas lorsqu'une mesure ne peut atteindre son objectif que si elle dépasse une ampleur minimale, et qu'il est impossible de déterminer cette ampleur à partir des données rudimentaires issues de l'appréciation sommaire ou du raccourci. Voici un exemple: dans une situation donnée, il est possible d'établir relativement tôt que la mesure à privilégier consistera à construire un bassin de compensation, cependant aucune décision définitive ne pourra être prise sur la faisabilité de cette mesure tant que le volume du bassin n'aura pas été calculé ou estimé approximativement.

Dans de tels cas, le canton peut, dans le cadre de sa planification, analyser et évaluer d'autres indicateurs (P2, P3, H1, D1 et Q1; fig. 6), qui permettront de définir plus précisément le type des mesures et, jusqu'à un certain point, de déterminer leur envergure (chap. 4.2). Sinon, l'envergure nécessaire de la mesure (tel le volume d'un bassin de compensation) sera seulement fixée au cours de la phase 2, c'est-à-dire dans le cadre de la planification des mesures par le détenteur (chap. 5).

Coordination au niveau du bassin versant

Au cours de la première phase de planification, la possibilité de coordonner les mesures au niveau du bassin versant est également restreinte, surtout dans les grands bassins versants comptant de nombreux aménagements hydroélectriques fonctionnant par éclu-

sées. En général, une évaluation approfondie complète s'impose alors pour savoir à quel point chacune des centrales porte atteinte aux eaux et quelles mesures s'avèrent envisageables et judicieuses pour chacune d'entre elles. Dans certains cas, il est toutefois possible d'établir, dès les premières étapes de la planification, que plusieurs centrales situées dans un bassin versant provoquent sans doute des atteintes graves, même considérées séparément (p. ex. sur la base des données existantes ou du rapport débit d'éclusée/débit plancher calculé à partir des données d'exploitation conformément à HYDMOD). Dans de tels cas, on peut commencer à harmoniser les mesures envisageables dans le bassin versant (même si on ne peut pas encore les quantifier avec précision). Lorsque le bassin versant s'étend sur plusieurs cantons (fig. A7, annexe A4), il convient dès ce stade de coordonner la planification entre les cantons.

Les chapitres 4.2 et 4.3 fournissent des indications plus détaillées sur la planification des mesures et sur leur harmonisation au niveau du bassin versant.

3.5 Centrales hydroélectriques présentant des circonstances particulières

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 1, let. e, OEaux, le rapport intermédiaire doit comprendre

Données insuffisantes

> *pour les centrales hydroélectriques dans le cas desquelles les mesures d'assainissement, qui devront probablement être prises en vertu de la let. d, ne peuvent pas encore être fixées en raison de circonstances particulières: un délai au terme duquel les indications visées à la let. d seront remises à l'OFEV.*

Selon l'annexe 4a, ch. 1, OEaux, des circonstances particulières existent principalement lorsqu'il s'agit d'examiner des situations complexes comprenant plusieurs centrales fonctionnant par éclusées situées sur le même cours d'eau. D'autres raisons peuvent toutefois justifier une prolongation du délai, par exemple lorsque les études menées dans le cadre de l'évaluation approfondie s'avèrent insuffisamment fiables ou significatives, et qu'il faut les recommencer (chap. 2.5.3).

4 > Planification jusqu'en 2014

Le canton doit remettre à l'OFEV d'ici au 31 décembre 2014 un rapport sur les résultats de sa planification. Ce rapport contient les indications spécifiées dans l'annexe 4a, ch. 2, al. 2, OEaux.

Exigences quant à la planification cantonale

L'annexe A6 énumère les exigences minimales de l'OFEV quant au rapport sur la planification cantonale et les documents à joindre à ce rapport.

4.1 Liste définitive des centrales hydroélectriques à assainir

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 2, let. a, OEaux, le rapport sur la planification cantonale doit comprendre

Qui doit assainisir?
Où faut-il assainir?

> *une liste des centrales hydroélectriques dont les détenteurs doivent prendre des mesures 'pour éliminer les atteintes graves portées à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par les éclusées (…)*

Dans son rapport, le canton doit énumérer, en les faisant également figurer sur une carte, toutes les installations qui doivent manifestement être assainies. Cette liste devra aussi reprendre les installations pour lesquelles l'appréciation sommaire avait révélé qu'elles provoquaient une atteinte grave et qui figuraient déjà à ce titre dans le rapport intermédiaire (chap. 3.2).

Représentation cartographique

Le canton doit soumettre à une évaluation approfondie les centrales hydroélectriques et les tronçons de cours d'eau n'ayant pas pu être éliminés de la procédure à un stade précoce (chap. 2.2) ou ayant été classés parmi les installations devant manifestement être assainies (chap. 2.3 et 2.4, fig. 4). Cette évaluation permet de déterminer quelles installations et quels tronçons provoquent ou subissent des atteintes graves au sens de l'art. 41e OEaux (chap. 2.5). Conformément à l'art. 39a, al. 1, LEaux, les détenteurs des centrales hydroélectriques concernées sont tenus de prendre des mesures pour éliminer les atteintes graves (mesures d'assainissement, chap. 4.2).

En s'appuyant sur le chapitre 2 et l'annexe A2, le canton doit expliquer comment il a mené l'évaluation approfondie et à quel résultat il a abouti (utilisation de données existantes, études réalisées par le canton lui-même, appréciation des indicateurs, raisons ayant conduit à renoncer à certains indicateurs).

4.2 Planification des mesures d'assainissement

Type et délai des mesures d'assainissement

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 2, let. a, OEaux, le rapport sur la planification cantonale doit en outre compléter la liste des installations à assainir en spécifiant

> *(…) [les] mesures d'assainissement prévues et [les] délais fixés pour leur planification et leur réalisation; les délais sont fixés selon l'urgence de l'assainissement.*

Le canton élabore une planification sommaire des mesures concrètes destinées à atténuer les éclusées. En vertu de l'art. 39a, al. 1, LEaux, ces mesures sont en général des mesures constructives, car les mesures d'exploitation ne peuvent être ordonnées qu'à la demande du détenteur. Lors de la planification de ces mesures d'assainissement, il s'agit principalement de tirer au clair les deux points suivants:

a) De quelle manière et dans quelle mesure faut-il atténuer l'exploitation par éclusées pour supprimer les atteintes graves existantes?
b) Quelles mesures, réalisables dans le cas considéré, permettront d'obtenir l'atténuation requise?

Si ces deux points se succèdent dans la planification, il est néanmoins possible de les traiter séparément au début. Le choix des mesures permettant d'atténuer les éclusées peut même commencer avant que l'on ne connaisse exactement les atteintes existantes.

4.2.1 Type et ampleur des mesures d'assainissement

Analyse du déficit

Au point a), le type et l'ampleur des atteintes existantes sont déterminés à partir de l'appréciation des divers indicateurs (analyse du déficit). Plus les indicateurs de l'évaluation approfondie sont nombreux à témoigner d'une atteinte grave ou très grave, plus l'effet des éclusées devra être considéré comme important, et plus il faudra donc s'efforcer de l'atténuer. L'analyse doit par ailleurs prendre en compte le nombre d'indicateurs ayant effectivement permis d'apprécier l'état actuel et l'état prévisible (chap. 2.5.2).

Le recours à HYDMOD peut fournir d'autres données de base pour évaluer le degré de gravité de l'atteinte (chap. 3.3).

L'évaluation approfondie indique également, jusqu'à un certain point, de quelle manière et sur la base de quels paramètres (fig. 2) il convient d'atténuer les éclusées. Le tab. 2 ci-après présente les indicateurs fournissant des informations utiles sur les paramètres importants caractérisant les éclusées. Un exemple de l'utilisation pratique de l'indicateur P3 pour définir un débit d'éclusée écologiquement supportable dans la Linth glaronnaise est donné par Kirchhofer et Breitenstein (2008).

Tab. 2 > Utilisation possible des indicateurs de l'évaluation approfondie pour estimer approximativement l'atténuation à obtenir à partir de quelques paramètres caractéristiques des éclusées

Caractéristiques des éclusées	Indicateur	Lien entre indicateur et caractéristique	Application pratique
Niveau de l'eau durant le débit d'éclusée et durant le débit plancher (amplitude de l'éclusée)	P3 Frayères	Diminuer le débit d'éclusée ou accroître le débit plancher (donc réduire l'amplitude de l'éclusée) a pour conséquence d'augmenter la taille des frayères propices à la reproduction des poissons. En effet, le charriage est ainsi réduit durant l'éclusée et les surfaces mises à sec moins étendues durant le débit plancher.	Modifier progressivement les débits plancher et d'éclusée jusqu'à ce que l'indicateur P3 (établi par calcul) ne révèle plus d'atteinte grave.
Niveau de l'eau durant le débit d'éclusée et durant le débit plancher (amplitude de l'éclusée), taux de montée et de descente du niveau d'eau	Q1 Température de l'eau	Les variations de température entre le débit d'éclusée et le débit plancher (et vice-versa) sont d'autant plus grandes que le débit monte plus haut ou descend plus bas et que la transition est rapide.	L'amplitude ou les taux de variation entre le débit d'éclusée et le débit plancher sont réduits (par calcul de dilution) jusqu'à ce que les paramètres de température correspondent à l'indicateur Q1.
Niveau de l'eau durant le débit d'éclusée et taux de montée du niveau d'eau	H1 Colmatage	Diminuer le niveau de l'eau durant le débit d'éclusée et le taux de montée du niveau d'eau réduit la remise en suspension des matières déposées sur le fond du lit. La turbidité sera alors plus faible et le colmatage réduit.	La concentration maximale de matières en suspension découle de l'évaluation de l'indicateur H1. A partir de là, on n'obtient qu'une estimation grossière du niveau de l'eau durant l'éclusée et du taux de montée du niveau d'eau (Schälchli et al. 2003, Limnex 2010, OIKOS 2011).
Niveau de l'eau durant le débit plancher	D1 Débit minimal	L'indicateur montre une atteinte grave lorsque le débit plancher à partir de la centrale ne répond pas aux exigences des art. 31 à 33 LEaux.	Le débit plancher est fixé après la restitution (centrale) au niveau requis par les art. 31 à 33 LEaux.
Taux d'abaissement du niveau d'eau	P2 Echouage (calcul)	Ralentir l'abaissement du niveau d'eau ou de la diminution du débit (c'est-à-dire prolonger la transition entre débit d'éclusée et débit plancher) diminue le risque d'échouage pour les poissons et les macro-invertébrés.	Il convient de ralentir l'abaissement du niveau de l'eau jusqu'à ce que l'indicateur P2 (établi par calcul) ne révèle plus d'atteinte grave.

A ce stade de la planification, on ne peut qu'estimer comment et à quel point il faudra atténuer le régime d'éclusées. Ce n'est qu'au cours de la phase 2 de la planification, qui incombera dès 2015 aux détenteurs (chap. 5), que l'on déterminera plus précisément les déficits existants et que l'on établira une planification détaillée des mesures sur la base de modélisations élaborées pour différents scénarios de débits.

4.2.2 Détermination des mesures d'assainissement à mettre en œuvre

Type des mesures d'assainissement

Au point b), il importe tout d'abord de délimiter le type de mesures envisageables dans un cas concret donné. Le chapitre 3.4 indique différents types de mesures destinées à atténuer les éclusées, que le canton peut prendre en considération dans sa planification.

A la demande des détenteurs, il est possible d'appliquer une mesure d'exploitation en lieu et place d'une mesure constructive. Une telle mesure consiste par exemple, pour le détenteur d'une centrale, à compenser les variations de débit provoquées par une centrale sise en amont par une gestion anticyclique du réservoir d'accumulation. Les autres mesures d'exploitation envisageables vont de l'optimisation du fonctionnement d'une série de centrales successives à la modification complète du mode d'exploitation (p. ex. passage d'une production de pointe à une production en continu). Des exemples récents de la planification de telles mesures existent notamment sur la Reuss, dans le

canton d'Uri (Misurio 2010, Werlen 2011), ou sur l'Aabach, dans le canton de Zurich (Entegra 2011).

Conflits et synergies

Dans nombre de cas, les mesures constructives constitueront cependant les mesures prioritaires, voire les seules envisageables. La plupart d'entre elles passent par l'aménagement de nouveaux ouvrages dans le paysage (bassins de compensation, canaux de dérivation, nouveaux paliers de turbinage, etc.). Les variantes souterraines (cavernes de compensation, galeries de dérivation, p. ex.), qui économisent de la place, sont en général beaucoup plus coûteuses. La disponibilité de terrains appropriés à proximité d'une centrale et les besoins en terrains requis par certaines mesures restreindront dès lors souvent le choix des mesures constructives qui pourront réellement être envisagées et étudiées plus en détail (fig. 6).

Lors de l'élaboration des mesures constructives d'assainissement, il importe donc de vérifier suffisamment tôt si des conflits ou des synergies sont à prévoir (protection de la nature, du paysage et du patrimoine, agriculture, forêt, activités récréatives, possibilité d'accumulation par pompage). Cette vérification doit notamment s'appuyer sur les réglementations et les instruments de l'aménagement du territoire (plans sectoriels, d'affectation et de zones).

Dans des situations complexes, où plusieurs centrales se succèdent sur le même cours d'eau, il convient de coordonner d'emblée la planification des mesures à l'échelle du bassin versant. Il est alors préférable de commencer la planification par la centrale située le plus en amont, puis de l'étendre progressivement aux installations suivantes. C'est la seule manière de garantir que les effets des mesures d'atténuation prises en amont seront déjà connus au moment de la planification concernant les centrales en aval, et qu'ils pourront donc y être intégrés.

Finalement, toutes les installations prises isolément ou considérées ensemble et sises sur territoire cantonal, devraient être assainies au point qu'aucun tronçon à éclusées ne subisse plus d'atteinte écologique.

Si l'état d'un cours d'eau à éclusées est tout juste conforme à la législation à l'endroit où il quitte le territoire cantonal, et qu'une ou plusieurs centrales fonctionnant par éclusées sont sises sur ce même cours d'eau dans le canton suivant, ce dernier n'a guère de marge de manœuvre pour agir. Afin que les exigences légales soient respectées sur ce tronçon également, les centrales du deuxième canton devraient donc compenser les éclusées. Pour éviter une répartition aussi unilatérale de l'obligation d'assainir, la planification des mesures d'assainissement dans un bassin versant s'étendant sur plusieurs cantons devra d'emblée être coordonnée non seulement au sein de chaque canton, mais aussi, en vertu de l'art. 46, al. 1, OEaux, entre les divers cantons concernés. On peut ainsi envisager de doter une centrale située en amont d'un bassin de compensation plus grand que nécessaire, afin de permettre à la centrale suivante (que le manque de place empêche de s'équiper d'un bassin de compensation suffisant) de fonctionner moyennant une atténuation plus faible. Une autre mesure consisterait par exemple à dériver le débit d'éclusée d'une centrale sise en amont vers la prochaine centrale en aval, où les eaux turbinées des deux centrales pourraient être stockées provisoirement dans un bassin de compensation commun.

Lorsque l'on privilégie l'aménagement d'un bassin (ou d'une caverne souterraine) de compensation 'pour atténuer les éclusées, la taille de l'ouvrage choisi peut être évaluée grossièrement au moyen d'une approximation itérative facile à réaliser (annexe A5). Les données nécessaires pour cette estimation découlent des résultats de l'évaluation approfondie, mais principalement des paramètres suivants: amplitude des éclusées, taux de descente du niveau d'eau ou taux de diminution du débit (tab. 2).

Après avoir déterminé approximativement les mesures d'assainissement envisageables et efficaces et, dans les situations complexes, après avoir coordonné ces mesures à l'échelle du bassin versant, le canton fixe l'ordre dans lequel les diverses installations devront être assainies, de même que les délais de planification et de réalisation des mesures. Pour ce faire, il se fonde surtout sur l'importance écologique des cours d'eau concernés (fig. 6). Cette définition des priorités ne constitue pas une pesée des intérêts, car elle n'a aucune incidence sur les mesures déjà arrêtées. Cette étape consiste en effet uniquement à déterminer l'urgence des divers assainissements du point de vue écologique et à fixer ensuite un délai d'assainissement pour chaque installation.

Pour estimer la valeur écologique des cours d'eau, le canton peut se fonder sur sa stratégie cantonale de protection et d'utilisation, dans la mesure où il en possède une. Si tel n'est pas le cas, les recommandations de la Confédération en la matière (OFEV, OFEN, ARE 2011) peuvent servir de directives.

4.3 Coordination des mesures au niveau du bassin versant

Coordination au niveau du bassin versant

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 2, let. b, OEaux, le rapport sur la planification cantonale doit comprendre

> *des indications sur la coordination des mesures d'assainissement prévues dans le bassin versant du cours d'eau concerné avec d'autres mesures destinées à protéger les biotopes naturels et à assurer la protection contre les crues*.

Selon l'OFEV 2011a:, ces indications concernent un large éventail de mesures pouvant également exercer une influence sur l'état écologique et la fonctionnalité écologique du cours d'eau. Les mesures destinées à protéger les milieux naturels comprennent en premier lieu la revitalisation des eaux, ainsi que le rétablissement du régime de charriage et de la connectivité longitudinale. Dans ces trois domaines, les cantons seront en effet appelés, ces prochaines années, à planifier des mesures d'assainissement en parallèle à la planification dans le domaine des éclusées.

La coordination avec la protection contre les crues doit être assurée en collaboration avec les services cantonaux compétents à ce sujet.

Le module Coordination des activités de gestion des eaux, que l'OFEV publie en 2012 et qui fait partie intégrante de l'aide à l'exécution *Renaturation des eaux*, contient des instructions générales sur la coordination des mesures entre les divers domaines et à l'échelle du bassin versant.

Pour les bassins versants s'étendant sur plusieurs cantons (fig. A7, annexe A4), la coordination doit également être assurée au plan intercantonal (art. 46 OEaux).

4.4 Centrales hydroélectriques présentant des circonstances particulières

Données insuffisantes, décision d'assainir encore impossible à prendre

Selon l'annexe 4a, ch. 2, al. 2, let. c, OEaux, le rapport sur la planification cantonale doit comprendre

> *pour les centrales hydroélectriques dans le cas desquelles les mesures d'assainissement à prendre ne peuvent pas encore être fixées en raison de circonstances particulières: un délai au terme duquel le canton déterminera si des mesures d'assainissement s'imposent et, le cas échéant, lesquelles et dans quel délai elles devront être planifiées et réalisées*.

Un délai de planification plus long s'impose notamment pour les situations complexes, dans lesquelles plusieurs centrales sont réparties dans un grand bassin versant ou même sur plusieurs cantons. Conformément à l'art. 39a, al. 3, LEaux, les mesures doivent alors être coordonnées à l'échelle du bassin versant. C'est la raison pour laquelle les cantons ne seront parfois pas en mesure de fournir toutes les indications requises 'pour fin 2014.

D'autres raisons pourront aussi justifier un retard dans la planification: si l'analyse des indicateurs de l'évaluation approfondie ne débouche pas sur des résultats plausibles, il faudra par exemple recommencer les travaux l'année suivante (chap. 2.5.3).

Dans la plan de mesures, à remettre à l'OFEV 'd'ici au 31 décembre 2014, le canton devra expliquer pourquoi il n'est pas encore en mesure de fournir les indications requises et indiquer le délai au terme duquel il aura déterminé si des mesures d'assainissement s'imposent et, le cas échéant, les mesures à prendre et dans quel délai elles devront être réalisées.

5 > Aperçu de la planification qui incombera aux détenteurs (phase 2) et du contrôle d'efficacité

Planification détaillée par les détenteurs

L'OFEV examine le rapport sur la planification cantonale, de même que les centrales à assainir mentionnées dans ce rapport et les mesures prévues pour atténuer les éclusées – pour autant que le canton ait pu les fixer dans le délai imparti. Si l'office approuve le rapport, le canton ordonne dès 2015 l'assainissement des installations concernées et charge les détenteurs concernés de poursuivre la planification des mesures destinées à atténuer les éclusées (fig. 1). Selon l'art. 41g, al. 1, OEaux, les détenteurs sont donc aussi explicitement tenus d'élaborer et d'examiner plusieurs variantes de mesures d'assainissement. Cette étape marque le début de la phase 2 de la planification, phase ne faisant pas l'objet de la présente aide à l'exécution. Dans ce qui suit, quelques idées et propositions, mais aussi des questions encore en suspens concernant le déroulement de la phase 2, sont présentées brièvement, telles qu'elles sont apparues lors du développement de la méthode de la phase 1.

Au cours de la phase 2, les détenteurs doivent procéder à une appréciation complémentaire. Ils doivent tout d'abord commencer par l'évaluation approfondie complète, si celle-ci n'a pas encore été réalisée au cours de la planification cantonale (chap. 2.5). Cependant, même si le canton a déjà réalisé une évaluation approfondie, il est recommandé d'analyser une nouvelle fois au moins certains indicateurs, dans le but d'étayer les résultats (chap. 2.5.3).

L'évaluation complémentaire va intentionnellement un peu plus loin que l'évaluation fondamentale, car elle comprend l'évaluation d'indicateurs supplémentaires et l'appréciation du nouvel état des objectifs de développement. Elle permet ainsi d'appréhender avec davantage de précision encore le degré de gravité des atteintes constatées et le potentiel écologique du tronçon concerné, soit deux facteurs jugés déterminants pour la planification des mesures selon l'art. 39a, al. 2, LEaux. L'annexe A2-1 définit et explique les objectifs de développement à atteindre.

Contrairement aux indicateurs de l'évaluation approfondie (chap. 2.5.1), les nouveaux indicateurs utilisés pour l'évaluation complémentaire doivent moins servir à étudier les principales caractéristiques des biocénoses et des milieux naturels influencées sur le long terme, qu'à identifier les changements que le régime d'éclusées engendre directement à court terme (tab. A2, annexe A2-3). Voici quelques exemples d'autres indicateurs, abiotiques ou biologiques, pouvant entrer en ligne de compte: modifications de la concentration des matières en suspension (turbidité) et de la concentration de nutriments et de polluants (qualité de l'eau) pendant l'éclusée, ou dérive des macroinvertébrés. Ces indicateurs supplémentaires devront toutefois être mis au point au cours de l'évaluation méthodologique de la phase 2.

Etude de variantes

Au terme de l'évaluation complémentaire, les détenteurs devront, en vertu de l'art. 41g, al. 1, OEaux, élaborer et examiner diverses variantes de mesures d'assainissement. Ce travail consiste à étudier et à comparer l'efficacité (écologique) et les coûts de diverses combinaisons de mesures, voire de mesures de différentes ampleurs (bassins de compensation de tailles différentes, p. ex.). Ces études porteront inévitablement sur des régimes ou des scénarios d'écoulement n'existant pas encore et par conséquent impossibles à analyser dans la nature.

Essais d'éclusées

Les «essais d'éclusées» permettent de pallier cette impossibilité. De tels essais consistent, en aval de l'installation étudiée, à reproduire durant quelques heures en général, voire pendant une journée au maximum, des courbes de débits d'éclusées. Toutefois, ces essais ne permettent d'observer et d'étudier que des effets à court terme, comme par exemple la dérive des invertébrés durant l'éclusée, l'échouage d'organismes lorsque l'écoulement atteint le débit plancher ou les effets directs des éclusées sur la température de l'eau et sur la concentration de matières en suspension (Limnex 2006, 2009, OIKOS 2010). Ils ne permettent en aucun cas de mesurer les atteintes que les biocénoses et les milieux naturels subissent sur le long terme. Cette remarque vaut notamment pour les altérations de la taille, de la composition et de la diversité des biocénoses végétales et animales typiques de la station, citées à l'art. 41e, let. b, OEaux.

Soulignons en outre que les essais d'éclusées ne peuvent être réalisés que sur les tronçons existants, présentant une morphologie donnée, et qu'il s'avère en général impossible de transposer les résultats à d'autres morphologies (chap. 2.4.2).

Modélisation

Un autre moyen d'étudier et de comparer non seulement des scénarios fictifs, mais également des morphologies inexistantes à ce jour, consiste à calculer les modifications biologiques ayant lieu à long terme et ne pouvant être mesurées directement. A cet effet, on peut appliquer des approches pragmatiques relativement simples, comme celles prévues pour les indicateurs P2, P3, H1 et Q1 (annexe A7), qui interviennent dans l'évaluation approfondie. Mais on peut aussi recourir à des modèles hydrauliques et écologiques beaucoup plus complexes, dont l'élaboration et l'utilisation exigent un travail plus conséquent. Quant à savoir lequel des modèles existants convient le mieux pour planifier en détail les mesures d'atténuation des éclusées ou s'il convient de mettre au point de nouveaux modèles, mieux adaptés au phénomène des éclusées, les spécialistes en débattent encore.

Contrôle d'efficacité obligatoire

Lorsque les mesures destinées à atténuer les éclusées sont achevées, l'art. 41g, al. 3, OEaux exige que les détenteurs de centrales hydroélectriques vérifient l'efficacité de ces mesures sur ordre de l'autorité compétente. Ce contrôle d'efficacité constitue la quatrième et dernière phase de l'exécution de la législation (fig. 3) et ne fait pas l'objet du présent module. Nous pensons toutefois utile de recommander dès à présent de baser ce contrôle sur les mêmes indicateurs que ceux qui auront été évalués et appréciés lors de la planification stratégique par les cantons (phase 1) et au cours de la planification par les détenteurs (phase 2). Il sera ainsi possible de comparer facilement les résultats des études et des analyses entreprises avant et après la mise en œuvre des mesures destinées à atténuer les éclusées.

> Annexe

A1 Bases légales

Tab. A1 > Nouvelles dispositions régissant les éclusées inscrites dans la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) et dans l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)

LEaux	Titre et contenu de la disposition légale
Art. 39a al. 1	Eclusées Les détenteurs de centrales hydroélectriques prennent des mesures de construction pour empêcher ou éliminer les atteintes graves que les 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. A 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 62c al. 1	Planification de l'assainissement des éclusées et du régime de charriage Dans les limites des crédits accordés, la Confédération alloue aux cantons des indemnités pour la planification visée à l'art. 83*b*, pour autant que cette dernière lui soit soumise le 31 décembre 2014 au plus tard.
Art. 62c al. 2	Les indemnités se montent à 35 % des coûts imputables.
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. 39*a* et 43*a* dans un délai de 20 ans à compter de l'entrée en vigueur de la présente disposition.

OEaux	Titre et contenu de la disposition d'exécution
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.
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. 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.
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. 1, de 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.

LEaux	Titre et contenu de la disposition légale
Art. 83b al. 1	Planification et rapport Les cantons planifient les mesures visées à l'art. 83*a* 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. Les cantons remettent leur planification à la Confédération le 31 décembre 2014 au plus tard.
Art. 83b al. 2	Ils présentent tous les quatre ans à la Confédération un rapport sur les mesures mises en œuvre.
Art. 83b al. 3	Planification et rapport Les cantons planifient les mesures visées à l'art. 83*a* 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.

OEaux	Titre et contenu de la disposition d'exécution
Art 41 f al. 1	Planification des mesures d'assainissement des éclusées Les cantons remettent à l'OFEV la planification des mesures destinées à assainir les centrales hydroélectriques provoquant un régime d'éclusées, élaborée selon les étapes décrites dans l'annexe 4a, ch. 2.
Art 41 f al. 2	Les détenteurs de centrales hydroélectriques sont tenus d'ouvrir l'accès de leurs installations à l'autorité compétente et de lui fournir les renseignements requis, en particulier les indications suivantes: a. les coordonnées et la désignation des différentes parties de l'installation; b. les débits du cours d'eau concerné mesurés à intervalles de 15 minutes au maximum (hydrogramme) au cours des cinq dernières années; en l'absence de telles données, l'hydrogramme peut être calculé à partir de données sur la production de la centrale et le débit du cours d'eau; c. les mesures réalisées et prévues afin de réduire l'effet des éclusées; d. les résultats d'études disponibles sur les effets des éclusées; e. les travaux de construction et les mesures d'exploitation prévues pour modifier l'installation.
	Planification des mesures d'assainissement des éclusées Les cantons remettent à l'OFEV la planification des mesures destinées à assainir les centrales hydroélectriques provoquant un régime d'éclusées, élaborée selon les étapes décrites dans l'annexe 4a, ch. 2.

Le tableau A1 ci-dessus contient les nouvelles dispositions régissant les éclusées introduites dans la loi et dans l'ordonnance sur la protection des eaux (LEaux et OEaux). Dans la mesure du possible, les dispositions d'exécution de l'OEaux ont été placées en regard de l'article correspondant de la LEaux. Les dispositions d'exécution précisent deux notions clés de la nouvelle réglementation: l'art. 41e OEaux définit à partir de quelle limite les éclusées engendrent des atteintes graves au sens de l'art. 39a, al. 1, LEaux et l'art. 33a OEaux définit le potentiel écologique mentionné à l'art. 39a, al. 2, LEaux.

Le tableau A1 ne contient pas les dispositions régissant les étapes de la planification cantonale des mesures d'assainissement des éclusées, qui figurent dans l'annexe 4a OEaux et auxquelles renvoie l'art. 41f, al. 1. Voici les étapes que les cantons sont tenus de suivre jusqu'à fin 2014:

A1-1 **Définition**

Des circonstances particulières existent en particulier, lorsque:

a) plusieurs installations provoquent des atteintes graves dans le même bassin versant, et que
b) la part des atteintes graves ne peut pas encore être attribuée aux différentes installations.

A1-2 **Etapes de la planification visant à assainir les éclusées**

[1] Les cantons remettent le premier rapport intermédiaire à l'OEFV le 30 juin 2013 au plus tard. Ce rapport comprend:
a) la liste, pour chaque bassin versant, des centrales hydroélectriques existantes susceptibles de provoquer des variations de débit (centrales à accumulation et centrales en rivière);
b) des indications sur les centrales hydroélectriques portant gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par les éclusées qu'elles provoquent, de même que sur les tronçons de cours d'eau concernés;
c) une évaluation du potentiel écologique des tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves et du degré de gravité de ces atteintes;
d) pour chaque centrale hydroélectrique portant gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par les éclusées qu'elle provoque: les mesures d'assainissement envisageables, leur évaluation et les mesures qui devront probablement être prises, de même que des indications sur leur coordination dans l'ensemble du bassin versant;
e) pour les centrales hydroélectriques dans le cas desquelles les mesures d'assainissement qui devront probablement être prises en vertu de la let. d ne peuvent pas encore être fixées en raison de circonstances particulières: un délai au terme duquel les indications selon la let. d seront remises à l'OFEV.

[2] Ils remettent la planification adoptée à l'OFEV le 31 décembre 2014 au plus tard. Celle-ci comprend:
a) une liste des centrales hydroélectriques dont les détenteurs doivent prendre des mesures afin d'éliminer les atteintes graves portées à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par des éclusées, de même que la spécification des mesures d'assainissement prévues et des délais fixés pour leur planification et leur réalisation; les délais sont fixés selon l'urgence de l'assainissement;
b) des indications sur la coordination des mesures d'assainissement prévues dans le bassin versant du cours d'eau concerné avec d'autres mesures destinées à protéger les biotopes naturels et à assurer la protection contre les crues;
c) pour les centrales hydroélectriques dans le cas desquelles les mesures d'assainissement à prendre ne peuvent pas encore être fixées en raison de circonstances particulières: un délai au terme duquel le canton déterminera si des mesures d'assainissement s'imposent et, le cas échéant, lesquelles et dans quel délai elles devront être planifiées et réalisées.

A2 Bases théoriques de la méthode d'analyse et d'appréciation

A2-1 Etat à évaluer, état de référence et potentiel écologique

Etat à évaluer et état de référence

Lors de la mise en œuvre des dispositions régissant les éclusées, les trois états temporels ci-après jouent un rôle essentiel (fig. A1):

- L'état actuel, parfois aussi appelé état initial. Cet état, qui peut être directement relevé, sert de base pour évaluer les atteintes graves dues aux éclusées dans le cadre de l'appréciation sommaire (chap. 2.4), de l'évaluation approfondie (chap. 2.5) et, sans doute aussi, de l'évaluation complémentaire par les détenteurs des ouvrages au cours de la phase 2 (chap. 5).
- L'état prévisible (également état souhaité ou état cible) tient compte de toutes les modifications pouvant être apportées à l'état du cours d'eau d'ici à 2030, sauf une éventuelle atténuation des éclusées. Ces modifications comprendront le plus souvent des transformations de la morphologie (revitalisations, élargissements, etc.; ex. A1), mais pourront également correspondre à un changement de la qualité de l'eau ayant un impact sur l'écologie du cours d'eau (réduction des concentrations de micropolluants ou réchauffement de l'eau en été en raison de l'évolution du climat, p. ex.). L'échéance fixée à fin 2030 signifie que toutes les mesures requises au sens de l'art. 83a LEaux dans le but d'atténuer les éclusées devront être réalisées d'ici-là. L'état prévisible étant relativement bien connu, il est en principe mesurable, chiffrable et évaluable. Il est par ailleurs pris en compte dans l'évaluation approfondie et dans l'évaluation complémentaire, mais pas dans l'appréciation sommaire.
- L'objectif de développement au sens de l'art. 33a OEaux correspond à l'état «après réparation des atteintes nuisibles causées par l'homme, dans une mesure impliquant des coûts proportionnés». Cet état peut également servir de modèle ou être considéré comme état atteignable avec des moyens réalistes. Puisque nul ne peut affirmer aujourd'hui à quel moment cet objectif sera atteint, il est impossible de déterminer et de chiffrer l'état correspondant, de sorte qu'il ne pourra être apprécié que dans le cadre de la phase 2 de la planification (chap. 5).

L'état naturel (que l'on ne rencontre pratiquement plus et qui appartient donc au passé) doit également entrer en ligne de compte, car il indique la taille, la composition et la diversité des communautés végétales et animales typiques de la station (biocénoses). L'art. 39a, al. 1, LEaux et l'art. 41e, let. b, OEaux exigent que l'exploitation par éclusées ne porte pas préjudice à ces biocénoses typiques de la station. Ce faisant, ces dispositions renvoient indirectement à un état de référence naturel ou du moins proche de l'état naturel.

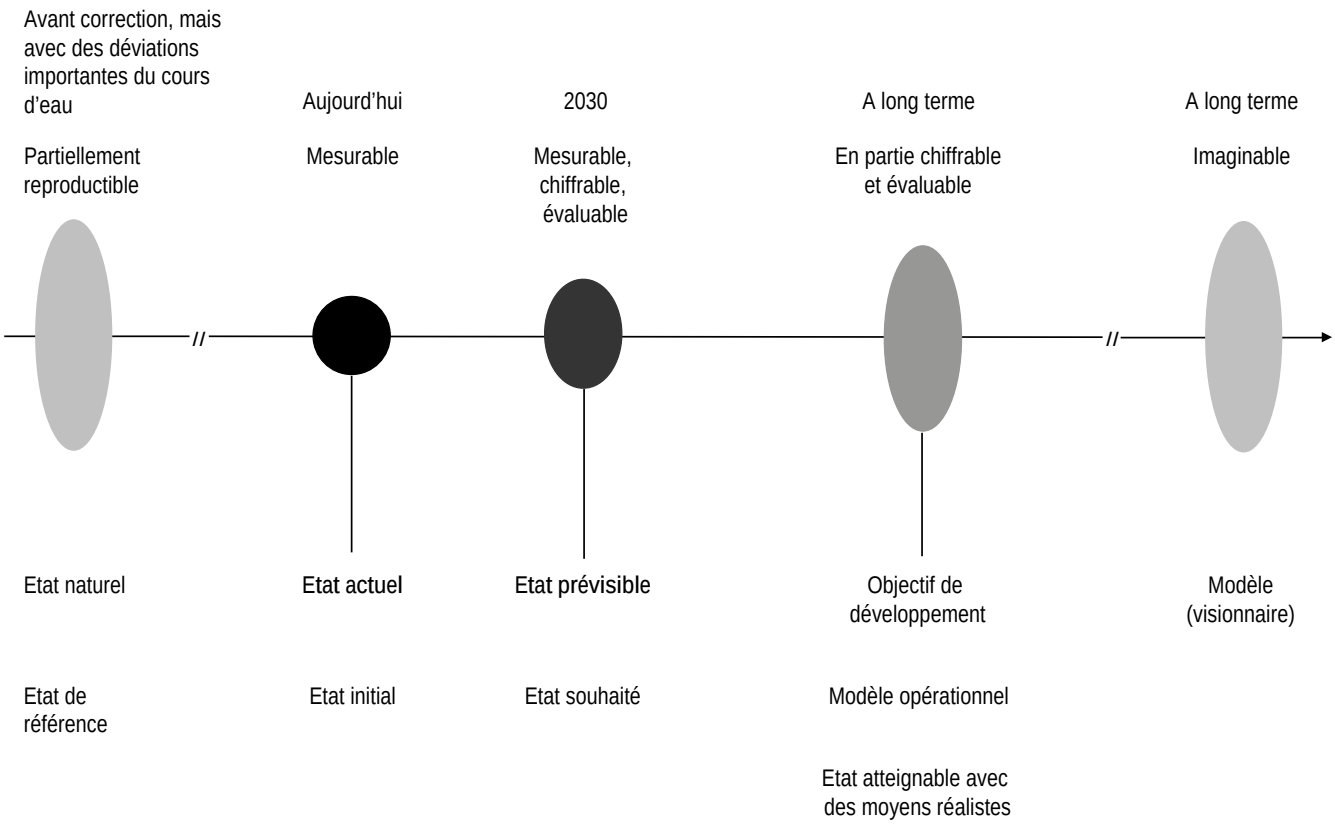
L'état correspondant au modèle visionnaire situé à l'extrémité de l'axe du temps, c'est-à-dire dans un avenir très éloigné (et inconnu), est très difficile à déterminer et la méthode présentée ici n'en tient pas compte et ne l'évalue pas. Le modèle visionnaire est cependant souvent très proche de l'état naturel, mais ne comporte pas les limites («avec des moyens réalistes») à prendre en compte dans le modèle effectif.

Potentiel écologique

Selon l'art. 39a, al. 2, LEaux, le potentiel écologique est, avec les autres critères mentionnés dans cette disposition, un paramètre déterminant pour la planification des mesures d'assainissement. Lors de la détermination du potentiel écologique, l'art. 33a OEaux exige explicitement que l'importance écologique du cours d'eau soit considérée dans deux états indiqués dans la figure A1: dans l'état actuel et dans un hypothétique état futur, tel qu'il se présentera après réparation des atteintes nuisibles causées par l'homme, dans une mesure impliquant des coûts proportionnés (objectif de développement). L'état prévisible, qui se situe à mi-chemin du point de vue temporel, est englobé implicitement dans ces considérations.

Fig. A1 > Définition de différents états du cours d'eau au fil du temps (de gauche à droite)

Les états évalués à l'aide de la présente méthode sont indiqués en caractères gras.



Exemple A1: Etat actuel et état prévisible du Rhône

A la hauteur de Riddes, le tronçon à éclusées du Rhône est encore sévèrement canalisé (état actuel, à gauche ci-dessous). La 3e correction du Rhône, qui doit s'achever d'ici à 2030, prévoit toutefois de doubler la largeur du lit du fleuve dans cette zone (et dans d'autres régions aussi; état prévisible, à droite ci-dessous). Il incombe au canton d'apprécier si d'autres modifications, outre les transformations morphologiques, sont prévisibles sur ce tronçon. Il convient donc de soumettre aussi bien l'état actuel que l'état prévisible à une évaluation approfondie.

A2-2

Classes d'état et atteintes graves

Classes d'état

Les valeurs des indicateurs utilisés pour l'appréciation sommaire (chap. 2.4) et l'évaluation approfondie (chap. 2.5) sont en principe rangées dans le classement à cinq niveaux, le plus fréquemment utilisé dans les méthodes du système modulaire gradué (fig. A2). Dans le cas de l'indicateur P2, on ne peut toutefois distinguer que trois niveaux et pour l'indicateur D1 deux seulement.

Fig. A2 > Classes d'état et couleurs utilisées dans le système modulaire gradué

Evaluation	Etat	Atteinte	Objectif
	excellent	aucune	atteint
	bon	faible	atteint
	moyen	notable	non atteint
	médiocre	prononcée	non atteint
	mauvais	très prononcée	non atteint

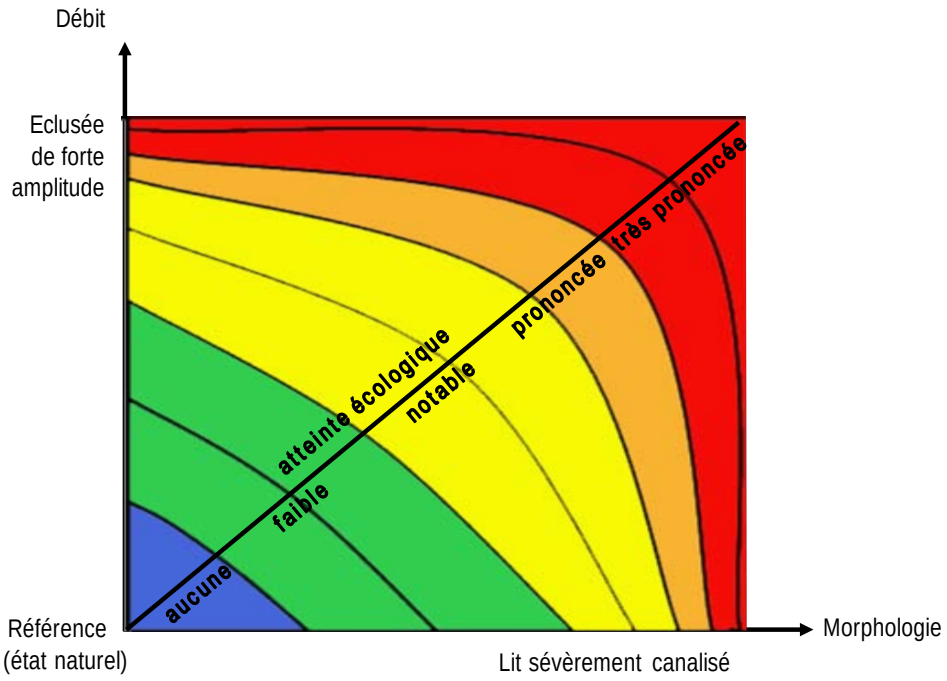
Illustration tirée de Baumann et Langhans (2010) et complétée

La description des indicateurs à l'annexe 7 fournit les critères d'appréciation et de classement pour chacun des indicateurs utilisés dans la méthode décrite ici.

Meile et al. (2005) et Limnex (2007) ont représenté ces classes d'état en fonction des deux principaux facteurs d'influence abiotiques, à savoir le débit (dans le cas qui nous intéresse, plus spécialement l'effet des éclusées) et la morphologie (fig. A3; cf. aussi ex. A2). Sur un axe vertical, ce diagramme combinant morphologie et débit devrait en réalité aussi prendre en compte un troisième facteur, la qualité de l'eau (chap. 2.4.2). Dans les tronçons à éclusées, la qualité de l'eau revêt cependant une importance nettement moindre que le débit ou la morphologie, de sorte que nous avons renoncé à l'inclure dans la représentation par souci de clarté.

Fig. A3 > L'état du cours d'eau compte tenu de l'effet des éclusées (débit) et de la morphologie

Illustration adaptée de Limnex (2007).



Atteintes graves

En vertu de l'art. 39a, al. 1, LEaux, un assainissement s'impose lorsque le régime d'éclusées porte des atteintes graves à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes. Une atteinte est considérée comme *grave* lorsqu'elle altère les caractéristiques du cours d'eau (elle le «dénature»), cette altération présentant une certaine ampleur et une certaine tendance. L'exploitation par éclusée modifie en premier lieu le régime d'écoulement, effet qui se répercute ensuite notamment sur des caractéristiques biologiques. Voici des exemples de ce genre d'altérations écologiques:

> Sous l'effet des éclusées, la biocénose qui était à l'origine associée à la portion du cours d'eau connue sous le nom d'hyporhithron (zone à ombre) se rhithralise, c'est-à-dire qu'elle tend à présenter les caractéristiques de zones situées plus en amont. La

biocénose correspond donc aujourd'hui à celle d'une zone à truite (épirhithron à métarhithron) et le cours d'eau n'offre plus guère de conditions propices à l'ombre, qui était pourtant l'espèce principale.

> A quelques exceptions près, dues au réchauffement provoqué par des épisodes de foehn, un cours d'eau alpin se caractérisait durant la saison froide par un débit constamment faible (débit d'étiage). Le charriage de matériaux fins était donc minime à cette période. Le régime d'éclusée trouble désormais ce «repos du fond du lit»: les éclusées charrient pratiquement chaque jour des matériaux fins qui roulent sur le fond du lit dans les secteurs assez calmes ou sont emportés par le courant dans les zones plus turbulentes.

Dans la pratique, on étudie l'état des eaux et vérifie le respect des exigences légales à l'aide d'une série d'indicateurs (annexe A7). On admet qu'une atteinte est grave lorsque l'état du cours d'eau s'inscrit dans les classes d'état moyen (couleur jaune) ou médiocre à mauvais (orange à rouge) selon le système de classement du SMG (fig. A2). Si l'état du cours d'eau est très bon (bleu) ou bon (vert), toutes les exigences légales sont remplies dans le domaine considéré et l'on n'est pas en présence d'une atteinte grave.

A2-3 Le rôle de la morphologie

Le rôle de la morphologie

Dans certains tronçons à éclusées, on rencontre des portions qui diffèrent beaucoup de par leur morphologie, certaines présentant encore un état naturel ou proche de l'état naturel (ex. 5). D'autres tronçons à éclusées sont au contraire presque entièrement canalisés (ex. A1). Outre les dispositions régissant les éclusées, la loi sur la protection des eaux fixe désormais aussi des exigences prévoyant la revitalisation des eaux et le rétablissement du régime de charriage. Les planifications stratégiques dans ces deux domaines sont élaborées en parallèle aux plans d'assainissement des éclusées. Nombre de cours d'eau auront dès lors été plus ou moins revalorisés, en particulier sur le plan écomorphologique, avant la mise en service des mesures destinées à atténuer les éclusées. Si ces mesures ne sont conçues que pour la morphologie actuelle (le cas échéant, un cours d'eau au lit entièrement canalisé), elles risquent, au pire, de s'avérer totalement inefficaces pour un état morphologique futur. En effet, si les altérations (ou effets néfastes) mentionnées à l'art. 41e, let. b, OEaux dépendent toujours de la morphologie, cette relation peut varier du tout au tout (tab. A2). Si une morphologie naturelle tend à accentuer certains de ces effets néfastes ou les déficits écologiques qu'ils engendrent (tel l'échouage de poissons), elle en compense toutefois d'autres (érosion des frayères ou dérive d'animaux aquatiques, p. ex.). D'autres altérations, telle la modification de la température de l'eau, dépendent moins, voire pas du tout, de la morphologie.

Il est de ce fait indispensable d'évaluer les atteintes causées par les éclusées non seulement pour l'état actuel du cours d'eau, mais aussi pour les états ou les morphologies qu'il présentera à l'avenir (annexe A2-1). Dans le cadre de l'évaluation approfondie, il s'agit avant tout de l'état prévisible (chap. 2.5). L'évaluation complémentaire, qui incombera ensuite aux détenteurs des ouvrages, devrait de plus porter sur l'état prévu selon l'objectif plus lointain (chap. 5).

L'annexe A3 décrit les morphologies dont il faut tenir compte pour différents types de cours d'eau.

Tab. A2 > Relation entre la morphologie des cours d'eau et les atteintes typiques causées par les éclusées ou les déficits écologiques qu'elles engendrent

Le tableau indique la probabilité d'un déficit pour une morphologie donnée, «+» correspondant à improbable et «+++» à très probable.

Déficit écologique typique	Morphologie du cours d'eau		
	Lit rectiligne	Lit à bancs de gravier alternés	Lit ramifié
Déplacements réguliers de portions du fond du lit durant le débit d'éclusée ($Q_{éclusée}$)	+++	++	+
Mise à sec périodique de diverses portions du fond du lit et, par conséquent, échouage de poissons et d'invertébrés pendant le débit plancher	+	+/++	+++
Accentuation de la dérive d'invertébrés durant l'accroissement du débit	+++	++	+/++
Modification soudaine de la température de l'eau	+++	+++	+++
Modification soudaine de la turbidité	+++	+++	+++

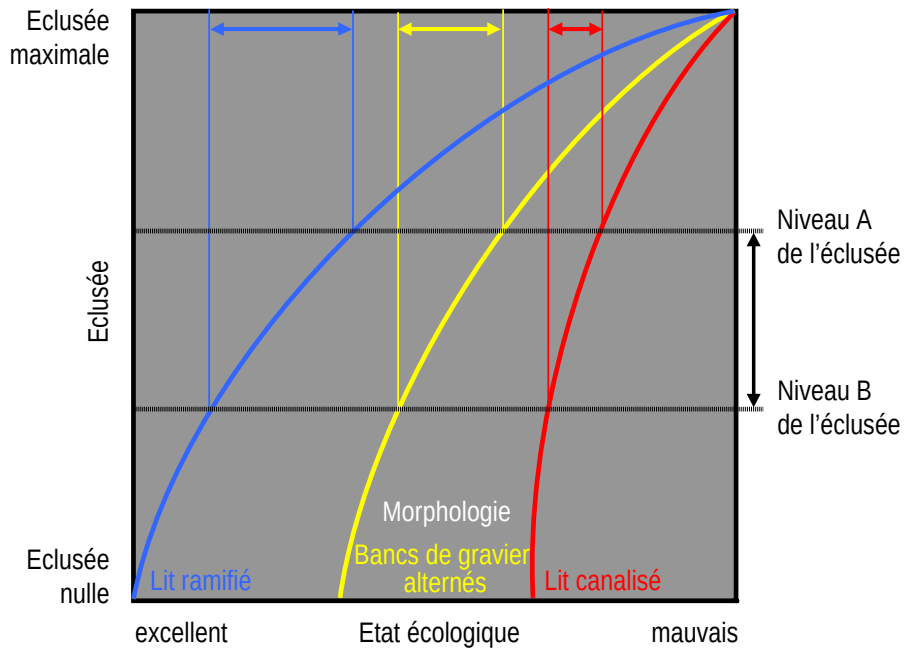
Tableau tiré de Schweizer et al. 2009

Lorsqu'un cours d'eau présente aujourd'hui, ou présentera à l'avenir, différents types de morphologie, l'OFEV 2011a: exige expressément que l'effet des éclusées soit également évalué pour la morphologie qui réagit le plus à cet effet. Ce principe dit de l'état le plus sensible pouvant donner lieu à des erreurs d'interprétation, nous l'expliquons plus en détail ci-après.

La figure A4 illustre le principe de l'état le plus sensible en prenant les trois principaux types de morphologie (lit ramifié, lit à bancs de gravier alternés et lit canalisé). L'annexe 3 décrit ensuite comment déterminer l'état le plus sensible.

Fig. A4 > Principe de l'état le plus sensible

Explications contenues dans le texte.



Lorsqu'on accroît l'éclusée engendrée par une centrale hydraulique pour la faire passer du niveau B au niveau A, la dégradation de l'état écologique ou de la fonctionnalité écologique (ce qui revient au même) est la plus nette dans le tronçon à lit ramifié et la moins prononcée dans le tronçon à lit canalisé. A l'inverse, une atténuation de l'éclusée, qui l'abaisse du niveau A au niveau B, engendrera aussi le plus grand avantage écologique dans le tronçon à la morphologie la plus variée, soit le tronçon à lit ramifié. Un élément revêt ici une importance décisive: l'état écologique du tronçon à lit ramifié s'avère souvent bien meilleur, même sous l'effet d'une forte éclusée (niveau A), que celui des autres tronçons, même si ceux-ci sont soumis à une éclusée plus faible (niveau B). Il peut aussi arriver (comme l'illustre la fig. A4) que le tronçon à lit canalisé présente une moins bonne qualité écologique, même en l'absence d'éclusées, que le tronçon à lit ramifié soumis à une éclusée importante (niveau A; cf. ex. 2).

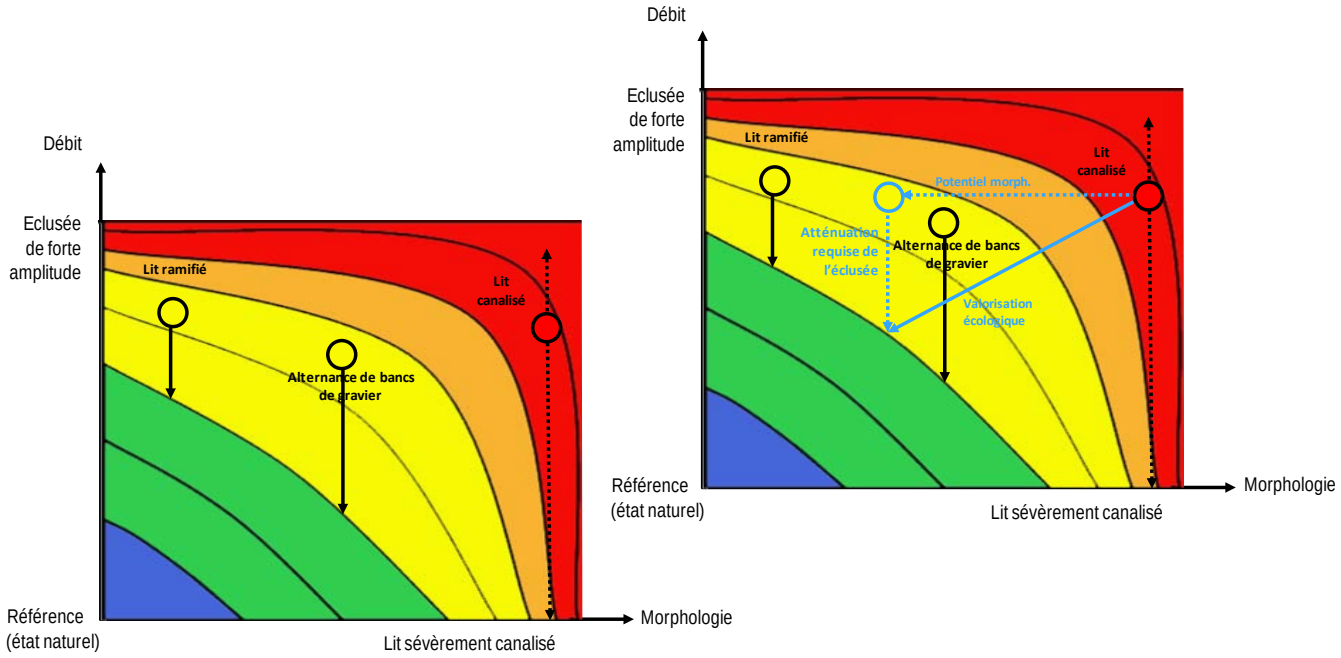
La figure A4 illustre ce principe de manière très générale, on ne peut donc pas la transposer telle quelle à un cours d'eau précis.

L'exemple A2 souligne également l'influence que la morphologie peut exercer sur l'effet des éclusées et donc sur la planification de mesures servant à les atténuer.

Exemple A2:
Influence potentielle de la morphologie sur les mesures destinées à atténuer les éclusées

Dans un cours d'eau à éclusées, on étudie trois tronçons présentant des morphologies différentes: un tronçon canalisé, un tronçon à bancs de graviers alternés et un tronçon à chenal ramifié (annexe A3). On reporte ces trois tronçons dans le graphique mettant en rapport morphologie et débit (annexe A2-2) selon les résultats concrets d'études écologiques (graphique ci-dessous à gauche). Dans cet exemple, les trois tronçons subissent une atteinte notable à forte. Les flèches verticales orientées vers le bas indiquent dans quelle mesure il faudrait améliorer les conditions d'écoulement pour que le tronçon concerné présente un état à peine suffisant. Pour parvenir à ce résultat, il faudrait de toute évidence atténuer nettement plus l'éclusée dans le tronçon à bancs de gravier alternés que dans le tronçon à lit ramifié, constat qui correspond bien au principe de l'état le plus sensible (fig. A4). Dans le tronçon canalisé, la morphologie est si gravement dégradée, que même la suppression de tous les effets de l'éclusée ne permettrait pas au cours d'eau de retrouver une qualité suffisante.

Le graphique ci-dessous à droite indique par ailleurs ce qu'il adviendrait du tronçon canalisé après sa revalorisation morphologique. Un accroissement de la diversité morphologique améliore la qualité du cours d'eau, même sans intervention au niveau des éclusées. Si une revitalisation exploitait tout le potentiel morphologique de ce tronçon, des mesures d'atténuation des éclusées lui permettraient de retrouver un bon état écologique.



A3 Morphologie naturelle et état le plus sensible

Morphologie naturelle

On qualifie ici de naturel ou de proche de l'état naturel l'état, difficile à situer dans le temps, qui caractérisait nos cours d'eau avant leur correction (raccourcissement et rectification du tracé, aménagement des berges et du lit, construction de seuils artificiels, etc.), mais après la déviation des grands cours d'eau vers le lac le plus proche (fig. A1).

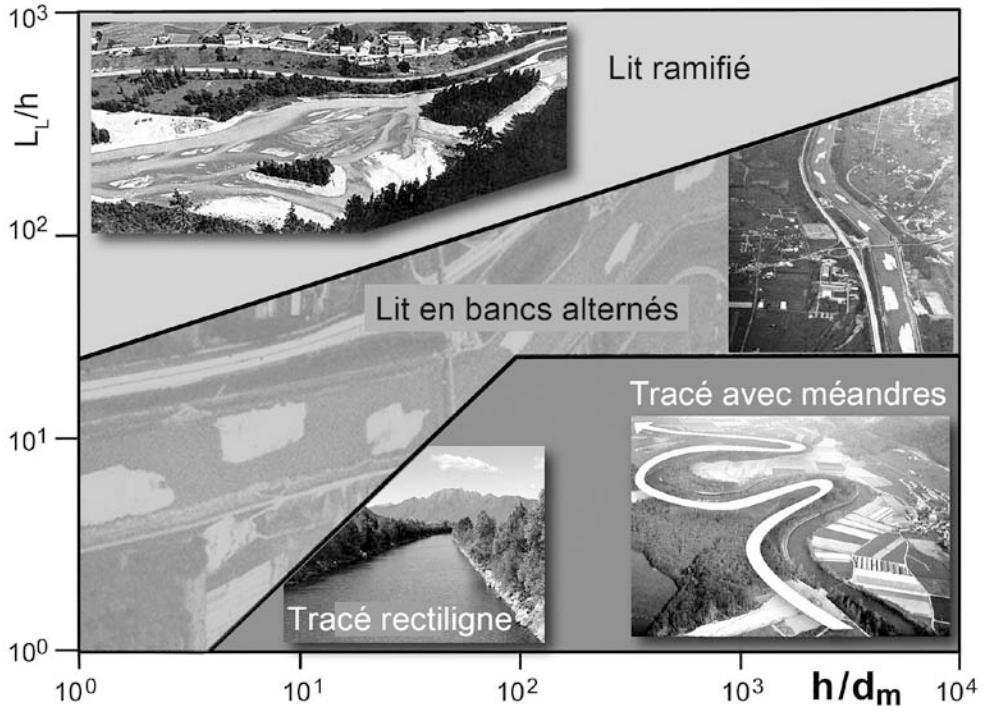
Quelques paramètres hydrologiques simples permettent de déterminer la morphologie qui caractérisait le cours d'eau dans son état naturel (fig. A5). Ces paramètres comprennent la largeur du lit (L_L), la profondeur moyenne de l'eau (h) et la granulométrie typique (d_m). La détermination de la morphologie escomptée ou naturelle, telle qu'elle est décrite dans Marti et Bezzola (2004), est réalisée pour un débit à même de structurer le fond du lit (env. Q_2).

Il est souvent possible de reconstituer, en partie du moins, la morphologie naturelle à partir de documents anciens tels des descriptions ou des cartes, ainsi qu'en étudiant des cours d'eau similaires restés à l'état naturel.

Nombre de tronçons à éclusées, surtout les plus longs d'entre eux, ne présentent pas une seule morphologie, mais plusieurs (ex. 5). Parmi ces morphologies, ce sont en général les plus diversifiées qui sont les plus sensibles à l'effet des éclusées (fig. A4). C'est donc elles qu'il convient de prendre en compte lors de l'appréciation (chap. 2.4.2). Il n'est cependant pas possible de fixer une longueur minimale du tronçon de cours d'eau présentant une morphologie naturelle ou proche de l'état naturel à considérer. Le tronçon considéré devrait toutefois être suffisamment long pour être à même, en l'absence d'atteintes dues aux éclusées, de remplir les fonctions écologiques importantes du cours d'eau (une bonne reproduction naturelle de certaines espèces de poissons, p. ex.) qui ne sont autrement pratiquement plus assurées par celui-ci.

Fig. A5 > Morphologie escomptée d'un cours d'eau en fonction de la largeur relative du lit (ordonnées = L_L/h) et de la profondeur moyenne d'écoulement (abscisses = h/d_m; diagramme de da Silva)

Illustration tirée de Marti et Bezzola (2004), reproduite avec l'autorisation du VAW.



Plus le tronçon présentant une morphologie naturelle ou l'état le plus sensible est court, plus il subira l'influence de la morphologie des tronçons sis immédiatement en amont et en aval («effet de propagation»; DRL 2008; Kail et Hering 2009).

La «longueur de l'onde» peut fournir des éléments pour déterminer la longueur minimale d'un tronçon naturel au proche de l'état naturel. Utilisée en morphologie des eaux, cette grandeur désigne la longueur que doit mesurer un tronçon de cours d'eau pour que sa morphologie naturelle (selon la fig. A5) puisse s'y créer (Zeller 1965, Mangelsdorf et Scheurmann 1980, Jäggi 1983). Par ailleurs, si l'on considèrenon seulement les critères purement morphologiques mais aussi les effets de lisière jouant un rôle écologique (c'est-à-dire l'effet de propagation), la longueur de l'onde équivaut à environ 10 à 20 fois la largeur moyenne du cours d'eau. Les études existantes sur l'écologie des eaux (Weber et al. 2009, p. ex.) ne fournissent toutefois que des indications partielles sur la manière de déterminer cette longueur minimale.

A4 Choix des sites à étudier et des tronçons de référence

Choix des sites à étudier

Pour déterminer l'obligation d'assainir, il importe de choisir les sites du cours d'eau à éclusées qu'il faudra analyser et apprécier. Les figures A6 et A7 indiquent l'emplacement des sites à étudier dans les cas d'une situation simple et d'une situation complexe.

Dans la situation la plus simple que l'on puisse imaginer, une centrale fonctionnant par éclusées restitue l'eau turbinée dans un cours d'eau qui finit par se jeter dans un lac (ex. A3). Selon la longueur et le type de tronçon à éclusées, on peut alors se contenter d'étudier les sites répartis comme suit:

- immédiatement en aval de la restitution, où l'effet de l'éclusée est maximal;
- plus en aval, dans la mesure où l'effet de l'éclusée subit jusque-là une modification notable (sous l'influence de la distance d'écoulement ou d'affluents latéraux);
- le cas échéant, dans un tronçon à la morphologie différente (lit ramifié, p. ex.) ou dans une zone alluviale inscrite dans un inventaire.

Exemple A3: La situation simple de l'Aubonne

L'Aubonne, petit cours d'eau vaudois, fournit un bon exemple de situation simple: après la centrale hydroélectrique, la rivière suit un tronçon à éclusées de 3 km à peine avant de se jeter dans le lac Léman. Sur ce tronçon, l'Aubonne ne reçoit aucun affluent notable, mais traverse une zone alluviale d'importance nationale dans son delta (objet IFP n° 1210). Cette dernière portion du tronçon à éclusées présente une morphologie plus diversifiée que les portions plus en amont, toutes canalisées. Pour analyser et apprécier l'effet des éclusées, il convient dès lors de choisir deux sites: un premier peu après la centrale et un second, possédant une morphologie aussi naturelle que possible, dans la zone alluviale (cf. Limnex 2007).

Dans les situations plus complexes, il faut prévoir un nombre de sites sensiblement plus grand pour être en mesure d'analyser et d'apprécier les effets des éclusées et toutes leurs manifestations. Outre les sites mentionnés ci-dessus pour les situations simples, il faut en prévoir d'autres encore aux emplacements suivants:

- avant et après chaque apport d'eaux turbinées provenant d'autres centrales fonctionnant par éclusées sur le cours d'eau considéré;
- avant et après le confluent de deux cours d'eau à éclusées;
- sur le tronçon à éclusées en présence d'interventions de faibles dimensions, telle la dérivation d'une partie du débit d'éclusée vers des centrales au fil de l'eau (exemple A4);
- le cas échéant, à la frontière cantonale.

Exemple A4: Centrales au fil de l'eau sur la Linth

Le tronçon à éclusées de la Linth glaronnaise compte beaucoup de dérivations qui amènent l'eau vers des centrales assez anciennes, appartenant le plus souvent à des usines textiles. L'exploitation de ces centrales au fil de l'eau diminue les éclusées qu'une grande centrale située en amont provoque dans les tronçons à débit résiduel correspondants, dont la longueur peut atteindre quelques kilomètres. Selon le débit équipé des centrales au fil de l'eau, cette réduction équivaut à quelques m³/s, mais peut atteindre jusqu'à 12 m³/s. Durant le débit plancher, ces centrales abaissent toutefois massivement le débit, car la dotation de leurs tronçons à débit résiduel est minime, voire nulle. Au final, les rapports entre débit d'éclusées et débit plancher sont nettement plus grands dans ces tronçons de dérivation que dans les tronçons qui subissent «seulement» l'influence de la centrale en amont (Limnex 2006). Il est dès lors indispensable d'analyser et d'apprécier également les régimes d'éclusées secondaires, en aval des centrales au fil de l'eau, les travaux devant porter sur deux ou trois sites représentatifs dans les tronçons de dérivation.

Jusqu'à leur embouchure dans le lac de Constance, les Rhin antérieur, postérieur et alpin forment ensemble un système d'une complexité extrême. Dans la partie suisse de ce bassin versant, on dénombre treize lacs d'accumulation et bassins de compensation relativement grands, ainsi qu'une dizaine de centrales fonctionnant par éclusées (deux centrales se jouxtant ou se faisant face en trois endroits; Limnex, 2001; Margot et al. 2010). La plupart de ces installations relèvent de la compétence du canton des Grisons. Une centrale, sise à la frontière nationale, relève toutefois de la Confédération et une autre centrale génératrice d'éclusées, installée plus bas, sur le Rhin alpin, se trouve sur le territoire du canton de Saint-Gall. Plus en aval encore, le débit du fleuve subit l'influence de plusieurs centrales situées dans les bassins versants du canal latéral liechtensteinois et de l'Ill, à l'extrémité du Vorarlberg autrichien. Ces dernières centrales ne sont pas régies par le droit suisse, mais par la directive-cadre sur l'eau de l'Union européenne.

Afin de sélectionner judicieusement les sites à étudier dans des tronçons à éclusées relativement longs, on doit être en mesure d'estimer la propagation des éclusées dans le cours d'eau. Cette propagation ne pouvant être déterminée de manière générale, on doit lui consacrer une étude spécifique dans chaque cours d'eau. Une éclusée peut très bien se faire sentir 20 à 50 km plus en aval, mais, à une telle distance, elle est en général nettement atténuée (Baumann et Klaus 2003). Dans l'Aar du Hasli, l'hydrogramme de l'éclusée demeure pourtant pratiquement inchangé tout au long des quelque 12 km du tronçon à éclusées, entièrement canalisé, qui relie Meiringen au lac de Brienz (Limnex 2009). Dans la portion glaronnaise de la Linth, il arrive même que l'éclusée s'accroisse dans le tronçon de plus de 20 km qui s'étire jusqu'à Mollis (Limnex 2006).

Dans les tronçons où des bancs de gravier alternés ou des épis diversifient la morphologie, les variations de débit sont atténuées plus rapidement (Limnex 2010). Cette remarque vaut surtout pour les taux de montée et de descente du débit et du niveau d'eau, car le débit d'éclusée maximal (niveau de l'eau durant le débit d'éclusée) ne commence à diminuer qu'au bout d'une distance relativement longue. On parvient relativement

bien à représenter l'évolution hydraulique des éclusées dans des cours d'eau présentant des morphologies différentes (Stranner 1996).

Dans les situations complexes, où de nombreuses centrales fonctionnant par éclusées sont implantées sur un cours d'eau dont la morphologie varie, il est recommandé de recourir à une modélisation des débits. Celle-ci permet en effet non seulement de calculer l'influence de chacune des centrales sur le régime des débits au cours de la journée, mais aussi la propagation de la crête de l'éclusée dans le bras principal du cours d'eau. A l'EPF de Lausanne, on élabore actuellement un modèle de calcul de ce genre dans le cadre d'une thèse consacrée à l'Aar du Hasli (Bieri et Schleiss 2011).

L'appréciation sommaire (chap. 2.4.3) tout comme l'évaluation approfondie (chap. 2.5.2) doivent inclure l'étude de tronçons de référence non soumis à l'effet des éclusées, si de tels tronçons existent. Ces tronçons sont indiqués dans la figure A7, qui illustre l'emplacement des sites à étudier dans une situation complexe.

Fig. A6 > Emplacements des sites à étudier dans une situation simple

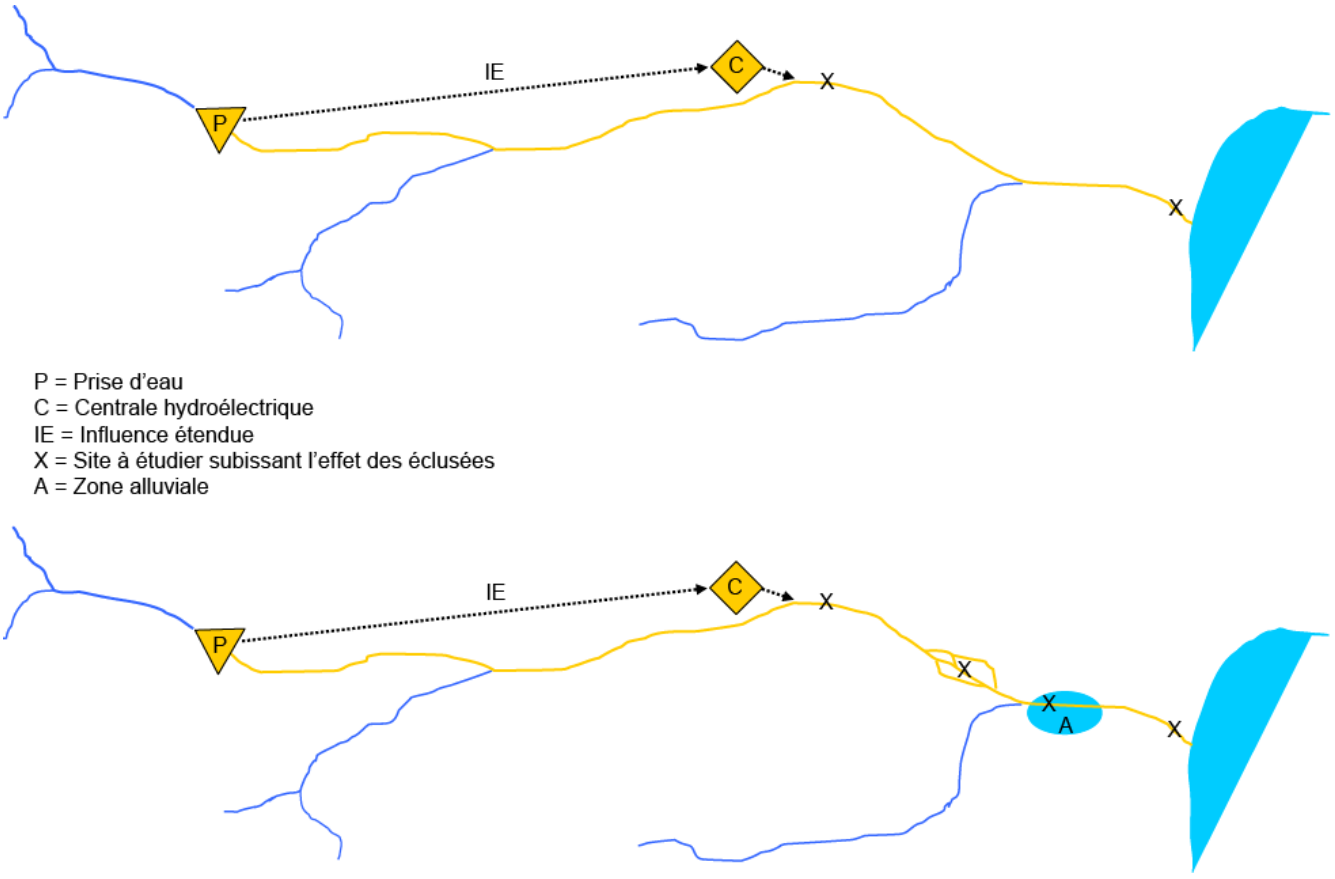
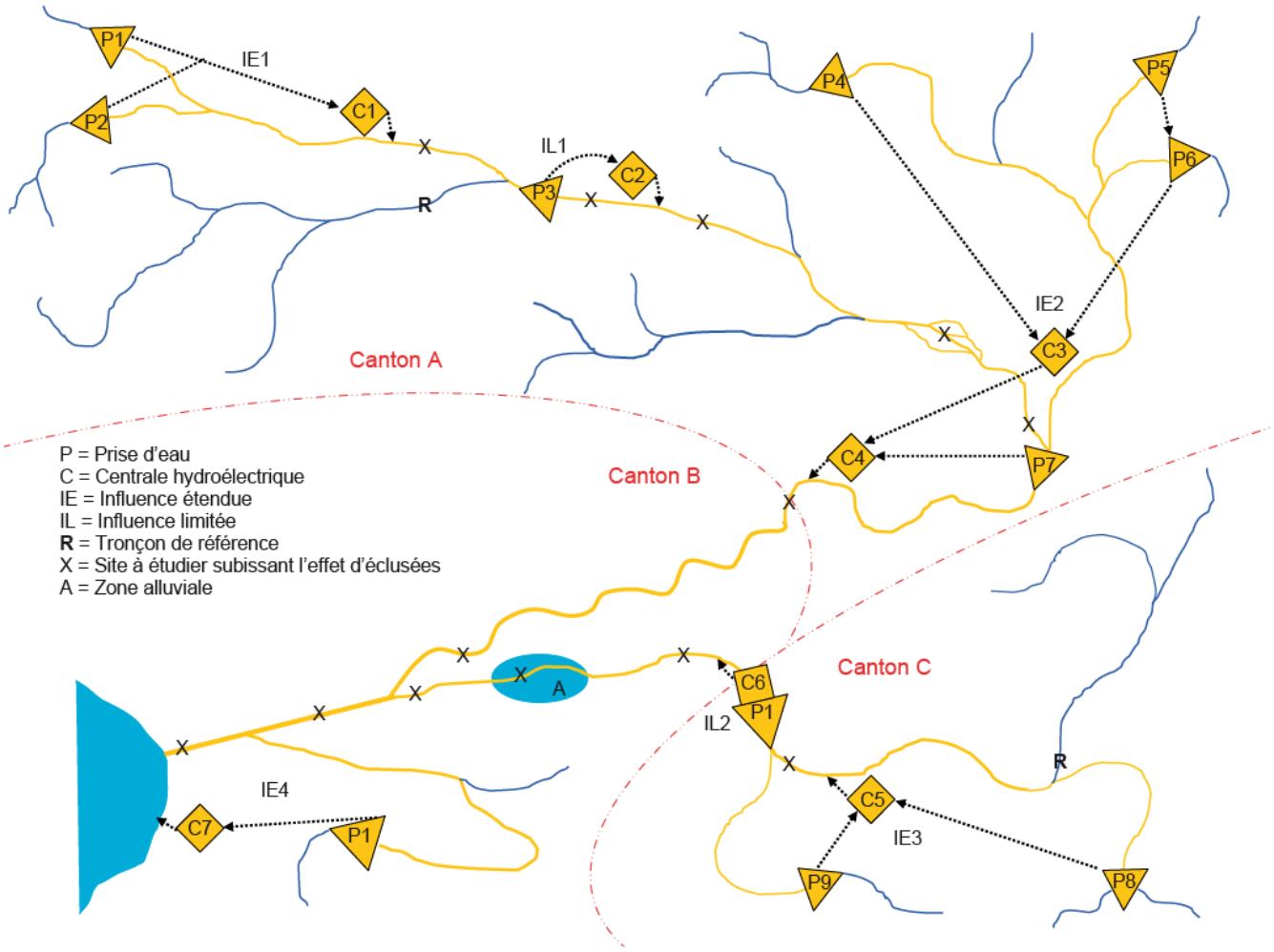


Fig. A7 > Emplacements des sites à étudier dans une situation complexe



A5 Volume du bassin de compensation – estimation approximative

Volume du bassin de compensationn

Un bassin de compensation sert à stocker une partie de l'eau turbinée afin d'atténuer les pointes d'éclusées, ainsi que pour accroître le débit plancher.

Compte tenu du régime d'éclusées existant, il convient de dimensionner et d'exploiter le bassin de compensation de manière à assurer que

1. le débit du cours d'eau ne dépassera jamais le débit d'éclusée maximal prédéfini;
2. le taux de diminution de l'éclusée (exprimée par une valeur négative) ne descendra pas au-dessous de la limite fixée;
3. le débit du cours d'eau ne descendra pas au-dessous d'un débit plancher à définir.

La démarche décrite ci-après sert à donner une estimation approximative du volume de compensation requis. Dans le cadre d'une étude de projet, il conviendra de procéder à des investigations plus précises.

Voici les données nécessaires pour procéder à l'estimation:

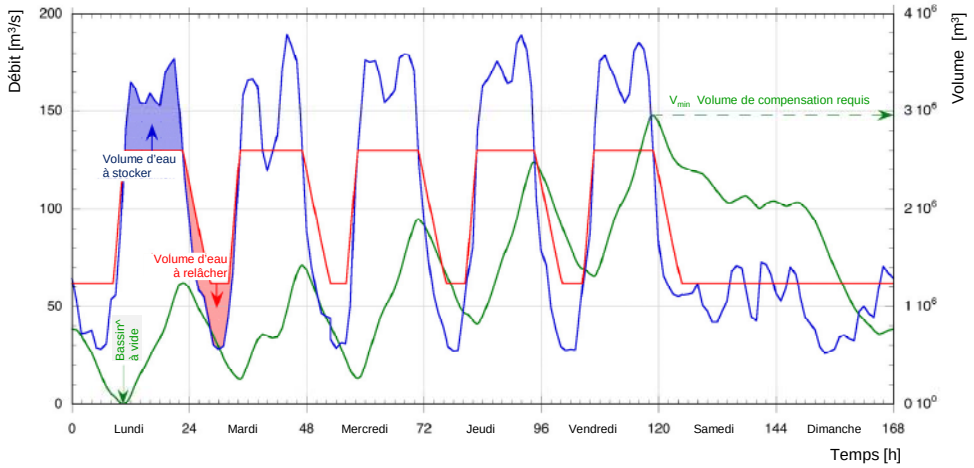
1. hydrogramme hebdomadaire caractéristique, avec des éclusées hivernales bien marquées;
2. hydrogrammes typiques des fêtes de fin d'année (20 déc.–10 janv.);
3. débit d'éclusée maximal admissible [m³/s];
4. taux minimum de diminution du débit [m³/s/min];
5. débit plancher minimal [m³/s] selon la concession ou la décision d'assainissement.

Pour déterminer le volume de compensation requis, il convient de procéder en deux temps:

> **Volet 1:** Calcul du volume du bassin et du débit plancher
Le calcul doit tenir compte de la compensation hebdomadaire et cette procédure, itérative, comprend les étapes suivantes:
- *Etape 1:* Fixer un débit plancher compte tenu du paramètre 5 et, le cas échéant, d'autres données (indicateur D1, annexe A7).
- *Etape 2:* Calculer les courbes de remplissage et de vidage du bassin pour l'hydrogramme hebdomadaire compte tenu des paramètres 3, 4 et 5. La période de calcul commence le lundi au début de l'éclusée ($Q > Q_{plancher}$) et prend fin une semaine plus tard (le lundi suivant à la même heure).
- *Etape 3:* Il faut répéter les étapes 1 et 2 jusqu'à ce que le bassin soit entièrement vide au terme de l'hydrogramme hebdomadaire. Lorsque cette condition est remplie, on connaît le débit plancher de la compensation hebdomadaire.
Il importe par ailleurs de veiller à ce que le bassin soit toujours partiellement rempli (ou vide) durant la semaine.
- *Etape 4:* Le volume de stockage requis (V_{min}) pour assurer la compensation hebdomadaire correspond au volume maximum atteint par la courbe définitive de remplissage et de vidage du bassin. Il est recommandé de lui ajouter une marge de sécurité de 20 % (V_{CH}: volume de la compensation hebdomadaire).

La figure A8 donne un exemple de ces calculs. Le lundi matin, aux alentours de 10 heures, le bassin est vide. Si le débit excède le débit d'éclusée maximal admissible, on atténue les pics de l'hydrogramme en retenant de l'eau dans le bassin (surface bleue) et la courbe de remplissage (en vert) monte. A l'inverse, lorsque le débit d'éclusée diminue, on relâche une partie de l'eau accumulée dans le bassin afin de ralentir la diminution du débit d'éclusée et d'augmenter le débit plancher (surface rouge), et la courbe de remplissage du bassin descend. Les jours ouvrables, la quantité d'eau retenue est plus grande que la quantité d'eau relâchée, de sorte que le bassin se remplit jusqu'au vendredi soir (la courbe atteint son maximum). Cette valeur maximale indique le volume minimal de stockage que doit offrir le bassin (V_{min}). Durant le weekend, jusqu'au lundi matin, toute l'eau du bassin est restituée au cours d'eau afin d'augmenter le débit plancher et la courbe de remplissage du bassin revient à zéro.

Fig. A8 > Estimation du volume d'un bassin de compensation pour une centrale fonctionnant par éclusées



> **Volet 2:** Gestion du bassin de compensation et exploitation de la centrale durant les fêtes de fin d'année

Les fêtes de fin d'année peuvent exercer une influence déterminante sur le débit plancher minimal. Selon le jour de la semaine sur lequel tombe Noël ou Nouvel An, le bassin de compensation sera plein, partiellement rempli ou vide au début de la période des fêtes. L'exploitation de la centrale durant et entre ces jours fériés joue également un rôle.

L'analyse des hydrogrammes des fêtes de fin d'année montre ceci: vu la variabilité annuelle du calendrier et la variabilité de la production de courant, il est impossible de disposer de données uniformes pour déterminer le débit plancher minimal et le volume du bassin de compensation correspondant. Si Noël ou Nouvel An (25 décembre ou 1er janvier) tombent un lundi, il faut au moins doubler le volume de compensation déterminé au cours des étapes 1 à 4, tandis qu'il ne sera pas nécessaire d'augmenter le volume du bassin dans le cas le plus favorable.

On obtient ainsi une fourchette, dans laquelle se situe le volume du bassin de compensation (V_{BC}):

$$V_{CH} \leq V_{BC} \leq (2\ldots3) \times V_{min}$$

Du point de vue de l'écologie des eaux, il importe de garantir que le niveau de l'eau en période de débit plancher minimal ne descende pas plus de 18 cm au-dessous du niveau que l'eau atteignant durant le frai (débit plancher en novembre et en décembre). Si cette condition est remplie, les frayères où des œufs ont été déposés lorsque la profondeur de l'eau mesurait 20 cm en période de débit plancher, ne seront pas mises à sec. Le débit plancher étant plus élevé en novembre et en décembre qu'au cœur de l'hiver, la marge de manœuvre est minime.

Voici les mesures que l'on peut envisager pour éviter que le débit plancher ne descende trop bas durant les fêtes de fin d'année:

1. Construire un bassin de compensation suffisamment grand.
2. Veiller à ce qu'en période de frai (novembre et décembre) le débit plancher corresponde au débit de la compensation hebdomadaire (étape 3). Cette solution n'est envisageable que dans le cas d'une exploitation par pompage-turbinage.
3. Turbiner de l'eau accumulée lorsque le bassin de compensation est vide pour éviter que le niveau de l'eau descende de plus de 18 cm au-dessous de son niveau pendant le débit plancher de la compensation hebdomadaire.

Les mesures 2 et 3 touchent au régime d'exploitation de la centrale. La mesure 3 provoque un manque à gagner (production de courant alors que l'offre est excédentaire). Il est possible de déterminer les mesures optimales à mettre en œuvre pour garantir un débit plancher suffisant durant les fêtes de fin d'année en recourant à des calculs de rentabilité qui mettent en rapport les coûts supplémentaires engendrés par la construction d'un bassin de compensation plus grand et les dédommagements perçus pour un éventuel abaissement de la production.

A6 Planification cantonale – exigences minimales de l'OFEV

Rapport intermédiaire à remettre d'ici fin juin 2013 – exigences minimales	
Annexe 4a, ch. 2, al. 1, OEaux	Documents à remettre par le canton
a) Liste, pour chaque bassin versant, des centrales hydroélectriques existantes susceptibles de provoquer des variations de débit (centrales à accumulation et centrales en rivière).	• Nom et emplacement de la centrale. • Cours d'eau concerné. • Coordonnées des parties d'installation à l'origine des éclusées observées dans le cours d'eau.
b) Indications sur les centrales hydroélectriques portant gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par les éclusées qu'elles provoquent, de même que sur les tronçons de cours d'eau concernés. Commentaire: Quand considère-t-on qu'une atteinte est «grave»? Installations qui provoquent des variations de débit où le débit d'éclusée est au moins 1,5 fois supérieur au débit plancher (art. 41e, let. a, OEaux) et qui altèrent la taille, la composition et la diversité des biocénoses végétales et animales, 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 ou la variation non admissible de la température de l'eau (art. 41e, let. b, OEaux).	Installations ne provoquant pas d'atteinte grave (chap. 2.2): • Information sur les centrales éliminées de la procédure, car le rapport débit d'éclusée/débit plancher est inférieur à 1,5:1 (calcul de ce rapport). • Motivations concernant les cas où les atteintes ont été jugées manifestement négligeables (chap. 2.2.2). • Preuves établies pour chaque indicateur sur la base des valeurs mesurées (chap. 2.5.3). Installations provoquant des atteintes graves (chap. 2.3, 2.4 et 2.5): Preuve de l'existence d'«atteintes graves» à l'aide des critères présentés aux chapitres 2.4.3, 2.4.4 et 2.5.3. Informations obtenues auprès du détenteur de chaque centrale devant être assainie (art. 41f OEaux): • Preuve, documents à l'appui, de l'existence d'atteintes graves. • Travaux de construction et mesures d'exploitation prévue pour modifier l'installation.
c) Evaluation du potentiel écologique des tronçons de cours d'eau subissant des atteintes graves et du degré de gravité de ces atteintes.	Première évaluation/premier classement du potentiel écologique au sens de l'art. 33a OEaux (chap. 3.3; annexe A2-1). Appréciation du degré de gravité sur la base des classes d'état «mauvais», «médiocre» et «moyen» (chap. 2.4.4 et 2.5.3; annexe A2-2).
d) Pour chaque centrale hydroélectrique portant gravement atteinte à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par les éclusées qu'elle provoque: les mesures d'assainissement envisageables, leur évaluation et les mesures qui devront probablement être prises, de même que des indications sur leur coordination dans l'ensemble du bassin versant.	• Mesures d'assainissement envisageables. • Faisabilité de ces mesures. • Coût des mesures envisagées. • Avantages écologiques. • Mesures qui devront probablement être prises. • Le détenteur de la centrale a-t-il été invité à participer aux travaux? • A-t-on coordonné les mesures au niveau du bassin versant? (Lorsque plusieurs centrales sont implantées dans le bassin versant, p. ex.)
e) Pour les centrales hydroélectriques dans le cas desquelles les mesures d'assainissement qui devront probablement être prises en vertu de la let. d ne peuvent pas encore être fixées en raison de circonstances particulières: un délai au terme duquel les indications selon la let. d seront remises à l'OFEV.	Raison dûment motivée du recours à cette exception. Délai au terme duquel les indications requises seront remises à l'OFEV.

Planification définitive à adopter d'ici fin 2014 – exigences minimales	
Annexe 4a, ch. 2, al. 2, OEaux	Documents à remettre par le canton
a) Liste des centrales hydroélectriques dont les détenteurs doivent prendre des mesures afin d'éliminer les atteintes graves portées à la faune et à la flore indigènes et à leurs biotopes par des éclusées, de même que la spécification des mesures d'assainissement prévues et des délais fixés pour leur planification et leur réalisation. Les délais sont fixés selon l'urgence de l'assainissement.	Liste définitive apurée avec les indications figurant dans le rapport intermédiaire. Mesures d'assainissement à mettre en œuvre. Indications complémentaires: délais de planification et de réalisation. L'urgence découle du degré de gravité des atteintes et du potentiel écologique du cours d'eau concerné.
b) Indications sur la coordination des mesures d'assainissement prévues dans le bassin versant du cours d'eau concerné avec d'autres mesures destinées à protéger les biotopes naturels et à assurer la protection contre les crues.	Indications concernant la coordination avec les planifications dans les domaines suivants: • revitalisation des eaux (art. 41d OEaux), • assainissement du régime de charriage (art. 42b OEaux), • migration piscicole (art. 9b OLFP), de même qu'avec les mesures de protection des eaux souterraines et contre les crues, de même qu'avec d'autres mesures destinées à protéger des biotopes naturels. La coordination sera au besoin assurée par delà les frontières cantonales.
c) Pour les centrales hydroélectriques dans le cas desquelles les mesures d'assainissement à prendre ne peuvent pas encore être fixées en raison de circonstances particulières: un délai au terme duquel le canton déterminera si des mesures d'assainissement s'imposent et, le cas échéant, lesquelles et dans quel délai elles devront être planifiées et réalisées.	Raison dûment motivée du recours à cette exception. Délai au terme duquel le canton déterminera si des mesures d'assainissement s'imposent et, le cas échéant, lesquelles et dans quel délai elles devront être planifiées et réalisées.
Planifications cantonales – indemnités allouées par la Confédération	
Art. 62c LEaux	Documents à remettre par le canton
[1] Dans les limites des crédits accordés, la Confédération alloue aux cantons des indemnités pour la planification visée à l'art. 83b, pour autant que cette dernière lui soit soumise le 31 décembre 2014 au plus tard. [2] Les indemnités se montent à 35 % des coûts imputables.	Liste transparente des coûts de la planification et des coûts effectifs que le canton y a consacrés. Les indemnités en question peuvent être versées pour les travaux de planification réalisés, après remise du rapport intermédiaire ou après remise du plan d'assainissement adopté. Il n'est en principe pas nécessaire que l'OFEV garantisse au préalable le versement de ces indemnités.

A7 Indicateurs de l'évaluation approfondie

Les indicateurs présentés dans cette annexe, de même que leurs évaluations, ont été sélectionnés sur la base d'une longue expérience de l'étude de cours d'eau subissant l'influence d'éclusées. Ils ont ensuite été adaptés à la méthode appliquée (chap. 1.1) ou spécialement conçus pour ses besoins. Ils comprennent des indicateurs qui sont plus ou moins spécialement destinés à évaluer les éclusées, de sorte que leur champ d'application varie en conséquence (chap. 2.4 et 2.5).

On peut donc partir de l'hypothèse qu'une évaluation utilisant ces indicateurs correspond aux connaissances les plus récentes sur les éclusées (state of the art). Dans le même temps, ces connaissances présentent encore de nombreuses lacunes. Il reste donc indispensable de mener des études et des recherches d'envergure afin de mieux comprendre et apprécier les conséquences des éclusées (Young et al. 2011, p. ex.).

Nous recommandons en conséquence d'analyser sans cesse les expériences engrangées dans le cadre de la planification cantonale sur l'application de la présente méthode d'étude et d'évaluation. Sur la base de ces analyses, il sera possible d'adapter les indicateurs au terme de la phase 1, lorsque les planifications cantonales seront achevées, pour les appliquer ensuite au cours de la phase 2, lorsqu'il incombera aux détenteurs des ouvrages de planifier les mesures à prendre.

A7-1

Module Poissons du SMG – Indicateur P1

Bases théoriques

L'ichtyofaune qui peuple un cours d'eau forme une biocénose caractéristique des conditions locales, ces dernières étant définies par la taille et la pente du cours d'eau, ainsi que par l'altitude et la température de l'eau. On peut par ailleurs subdiviser les cours d'eau en zones biocénotiques, chacune étant caractérisée par une espèce piscicole principale et des espèces accompagnatrices (Huet 1949).

Dans des conditions écologiques naturelles, la répartition des classes d'âge de la population d'une espèce piscicole forme une pyramide. Une dégradation des conditions, en particulier lorsque la reproduction naturelle est perturbée, modifie en général la structure des âges en réduisant (plus ou moins fortement) la part des juvéniles.

Le système modulaire gradué (SMG) de la Confédération, qui définit des méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, comprend un module Poissons, qui permet d'évaluer la communauté piscicole à l'aide de quatre paramètres (Schager et Peter 2004):

- composition de l'ichtyofaune et dominance des espèces,
- structure de la population des espèces indicatrices,
- densité des populations d'espèces indicatrices,
- déformations et anomalies.

Collecte des données

La méthode de collecte des données est décrite en détail dans le module Poissons du système modulaire gradué (Schager et Peter 2004). Elle est toutefois limitée aux cours d'eau de faible profondeur. Pour les cours d'eau plus grands, il importe donc de recourir à d'autres méthodes ou de réunir les informations sur le peuplement piscicole en exploitant d'autres sources (études, rapports d'études d'impact sur l'environnement, statistiques des captures, etc.).

Traitement des données et présentation des résultats

Le données doivent être traitées et les résultats présentés conformément au module Poissons du SMG (Schager et Peter, 2004).

Evaluation

Pour évaluer l'état de l'ichtyofaune, le module Poissons du SMG prévoit une échelle de notation comprenant cinq classes (Schager et Peter, 2004).

Ouvrages mentionnés

Huet M. 1949: Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweiz. Z. Hydrol. 11: 332–351.

Schager E., Peter A. 2004: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau En Suisse. Poissons – niveau R (région). OFEFP, L'environnement pratique, Informations concernant la protection des eaux n° 44, 1–63.

A7-2

Echouage de poissons – Indicateur P2

Bases théoriques

L'échouage de poissons et d'invertébrés peut contribuer à réduire sensiblement la population piscicole. D'une part, il provoque la mort des animaux échoués (mortalité accrue de certaines classes d'âge); d'autre part, il décime des invertébrés, réduisant ainsi la biomasse d'organismes servant de nourriture aux poissons et donc la productivité piscicole du cours d'eau. La diminution du débit après l'éclusée fait surtout des victimes parmi les juvéniles (classes d'âge 0+ et 1+), les poissons plus grands étant mieux à même de suivre la baisse du niveau d'eau (Halleraket et al. 2003). Le comptage direct d'individus échoués étant par trop hasardeux – selon Saltveit et al. (2001), une partie des poissons se réfugient en effet dans les sédiments – nous proposons de baser essentiellement cet indicateur sur des calculs hydrauliques et de vérifier leur validité par des prélèvements sur le terrain.

L'échouage dépend principalement de la largeur et de la morphologie de la zone de marnage. Par ailleurs, la vitesse à laquelle le niveau d'eau descend, durant la phase où le débit diminue pour retrouver sa valeur plancher après l'éclusée, détermine si les organismes auront suffisamment de temps pour fuir vers des eaux plus profondes

Pour évaluer l'effet des éclusées sur l'écologie des eaux, il convient de procéder à des calculs hydrauliques pour les cours d'eau concernés. Les observations sur le terrain servent à confirmer ces calculs. La méthode proposée a été mise en œuvre sur plusieurs cours d'eau subissant l'influence d'une exploitation par éclusées (Zurwerra et Bur 2009).

Collecte des données

Les calculs hydrauliques fournissent des données sur les caractéristiques suivantes:

- profils en travers et rapports entre niveau et débit à titre de données de base (fig. A9);
- largeur de la zone de marnage (déterminée à partir de calculs de la surface du lit mouillé et de données sur la ligne d'eau lors du débit plancher et du débit d'éclusée);
- taux de descente du niveau d'eau et surfaces mises à sec lorsque le débit d'éclusée décroît;
- cuvettes et dépressions mises à sec durant le débit plancher (où les poissons risquent d'être piégés).

Ces calculs doivent être réalisés dans tout le cours d'eau soumis au régime d'éclusées ou sur des tronçons caractéristiques de ce cours d'eau. On peut se contenter d'étudier uniquement certains tronçons du cours d'eau, s'il est possible de transposer les résultats obtenus aux tronçons non étudiés avec une précision suffisante.

Les calculs hydrauliques sont entrepris pour les débits d'éclusée et les débits planchers déterminants, ainsi qu'à des moments donnés ou pour des intervalles donnés durant le passage du débit d'éclusée au débit plancher.

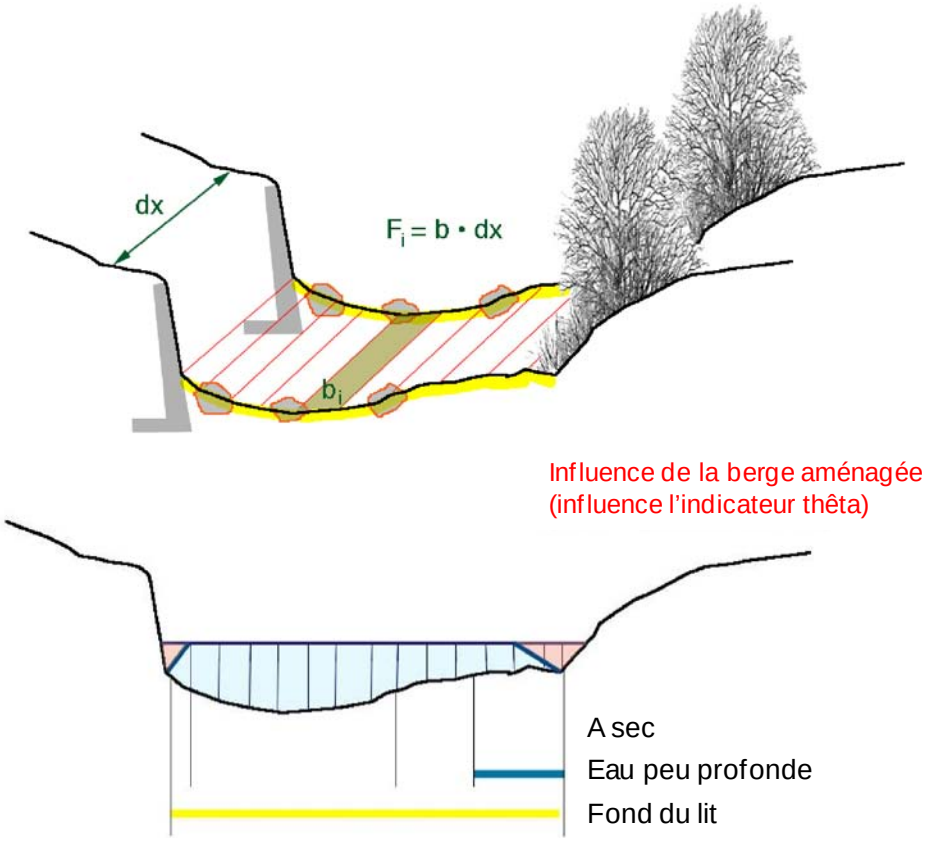
Méthodologie

La méthode à appliquer et les données de base à recueillir se fondent sur la morphologie, la longueur et l'importance écologique du cours d'eau étudié (fig. A10).

> Nous recommandons de recourir à des calculs hydrauliques bidimensionnels dans les cas suivants:
  – cours d'eau au lit ramifié,
  – longs cours d'eau d'une certaine importance écologique, avec de grands bancs de gravier et un profil en long présentant des paliers.
> Nous recommandons de recourir à des calculs hydrauliques unidimensionnels (calculs de courbes de remous) dans le cas ci-après:
  – cours d'eau courts à longs présentant une morphologie monotone à structurée.

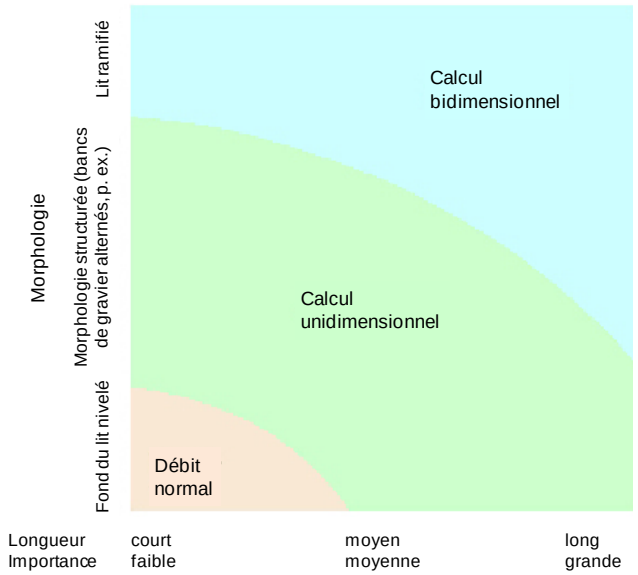
Des calculs usuels du débit suffisent pour des cours d'eau courts et canalisés dont le fond du lit est nivelé.

Fig. A9 > Relevés de profils en travers, avec rapport entre niveau et débit et subdivision en bandes longitudinales afin de calculer les surfaces mises à sec



Abegg 2006

Fig. A10 > Méthode recommandée, fonction de la morphologie, de la longueur et de l'importance écologique du cours d'eau



Une validation sur le terrain permet de vérifier la plausibilité des surfaces calculées. Lorsque l'éclusée est faible et en période d'étiage, on en profite pour compter le nombre des poissons échoués. Pour se rendre sur le terrain, il convient d'une part de choisir une période à laquelle il est possible d'observer de jeunes poissons. Dans les cours d'eau à truites, la période propice se situe entre fin mars et fin juin, dans les cours d'eau à ombres, entre fin avril et mi-mai, et, dans les cours d'eau à barbeaux, de juillet à août. Lors de ces comptages, il faut aussi tenir compte des températures saisonnières et de l'altitude. D'autre part, il a également été établi que l'échouage de truites et de jeunes saumons est plus fréquent en hiver, lorsque les températures sont basses et que l'activité des poissons est ralentie, qu'en été (Saltveit et al. 2001). Il paraît donc judicieux de procéder à deux comptages, à des saisons différentes. Il est par ailleurs utile de constituer une documentation photographique pour les tronçons dont on a établi les profils en travers.

Lors de ces visites sur le terrain, il faut également photographier les amas visibles d'invertébrés échoués (larves de plécoptères, p. ex.).

Traitement des données et présentation des résultats

Voici les travaux à réaliser pour évaluer l'ampleur de l'effet d'échouage:

1. Représenter la zone de marnage (plan de situation et profils).
   Déterminer, pour chaque tronçon (à distinguer au besoin en fonction de la morphologie), les surfaces mouillées lors du débit plancher et lors du débit d'éclusée et prendre des photographies de la situation sur place.
2. Représenter la ligne d'eau (plan de situation et profils) à différents moments et pour différents débits durant l'abaissement du débit.
   Déterminer l'inclinaison de la berge et des bancs de gravier, afin de disposer des données nécessaires pour évaluer le taux de déplacement latéral de la surface d'eau.

3. Représenter les limites de la zone de marnage aux endroits où les poissons peuvent rester piégés.
4. Déterminer les taux de descente du niveau d'eau pour divers intervalles de temps.
5. Compter le nombre de poissons échoués par 100 m de surface étudiée.

Pour les calculs unidimensionnels, le tracé de la ligne d'eau doit être déterminé pour différents débits entre les profils en travers, à l'aide de relevés sur le terrain ou de photos aériennes.

Evaluation

Pour évaluer les données sur l'échouage, il faut évaluer les résultats des différents calculs séparément puis les agréger. Les paramètres utilisés ne permettent cependant qu'un classement approximatif dans trois classes. La zone de marnage (surface mise à sec durant le débit plancher) est déterminée en proportion de toute la surface du fond du lit qui est inondée durant le débit d'éclusée.

Evaluation	Etat	Critère: pourcentage des surfaces mises à sec
	excellent	< 10 %
	bon	10–30 %
	moyen–mauvais	> 30 %

En ce qui concerne la vitesse de diminution du débit, on peut fixer des valeurs limites en s'appuyant sur les ouvrages spécialisés traitant de ce domaine (p. ex. Saltveit et al. 2001, Halleraker et al. 2003, Irvine et al. 2009; voir aussi Limnex 2004). En fonction de la morphologie, il s'agira toutefois de prendre en compte la descente du niveau d'eau seulement lorsque la profondeur de l'eau est inférieure à 20 cm. Dans les eaux plus profondes, les poissons ont en effet suffisamment de temps pour se mettre à l'abri. L'évaluation doit être entreprise sur la base de mesures du niveau très fréquentes (l'intervalle entre deux mesures se situant entre 5 et 10 minutes).

Evaluation	Etat	Critère: vitesse de diminution du débit
	excellent	< 0,3 cm/min
	bon	0,3–0,5 cm/min
	moyen–mauvais	> 0,5 cm/min

Lors de la validation des calculs sur le terrain, on compte et on évalue le nombre de poissons échoués par mètre linéaire de surface observée en période d'étiage et dès que le débit retrouve sa valeur plancher après l'éclusée:

Evaluation	Etat	Critère: nombre de poissons échoués / 100 m
	excellent	0
	bon	1–5
	moyen–mauvais	> 5

Si deux de ces trois paramètres témoignent d'un état moyen à mauvais (rouge), l'indicateur P2 doit être considéré comme étant rouge.

Ouvrages mentionnés

Abegg J. 2006: Linth, Linthal bis Schwanden – Auswirkungen des Schwallbetriebs auf den Geschiebehaushalt. Bericht im Auftrag der Direktion für Landwirtschaft, Wald und Umwelt – Baudirektion des Kantons Glarus und der Kraftwerke Linth Limmern AG: 1–51.

Halleraker J.H., Saltveit S.J., Harry 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 Res. Applic. 19: 589–603.

Irvine R.L., Oussoren T., Baxter J.S., Schmidt D.C. 2009: The effects of flow reduction rates on fish stranding in British Columbi, Canada. River Research and Applications 25: 409–415.

Limnex 2004: Möglichkeiten zur Regelung des Schwallbetriebes in der Schweiz. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–34.

Saltveit S.J., Halleraker 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 hydro peaking. Regulated Rivers: Research and Management 17: 609–622.

Zurwerra A., Bur M. 2009: Abschätzung der Schäden an Fischen und Nährtieren in einer Schwall-Sunk-Strecke der Saane (Freiburg, Schweiz). Wasser Energie Luft 101/4: 309–315.

A7-3

Frayères – Indicateur P3

Bases théoriques

Garantir la reproduction naturelle revêt une importance cruciale pour la préservation d'une population piscicole à même de se perpétuer. Des atteintes graves portées à l'habitat se répercutent le plus souvent directement sur la capacité de se reproduire des espèces en présence. La mise à sec de frayères, ou de matériaux charriés durant le développement du frai affecte directement le succès de reproduction. La reproduction et le succès de reproduction peuvent être déterminés à l'aide de deux paramètres, au moyen de calculs et par des relevés sur le terrain.

L'indicateur P1 fournit des informations sur la structure et la densité de la population des principales espèces piscicoles (état actuel) et l'indicateur P5 fournit une estimation théorique de la population piscicole escomptée (état cible = 3×RAH). Une hypothèse (prudente) de 300 œufs par femelle et les taux de survie du tableau A3 permettent d'estimer le nombre d'individus adultes que doit compter une population pour assurer sa pérennité.

Tab. A3 > Taux de survie des truites de rivière selon le stade de développement

Stade de développement	Taux de survie
oeuf-émergence	0,8
0–1	0,05
1–2	0,4
2–3	0,4
3–4	0,3
4–5	0,3

Balignières et Maisse 1999

Les besoins en surface pour le frai de la truite de rivière peut beaucoup varier et dépend de la morphologie ainsi que de la structure du cours d'eau. Lorsque la variété structurelle est faible ou absente, la truite de rivière, poisson très territorial, a besoin de nettement plus d'espace que si le cours d'eau est bien structuré. Les ouvrages spécialisés situent entre 2,3 et 9,3 m² l'espace dont une femelle génitrice a besoin pour frayer, tandis que les adultes nécessitent 12,5 à 16 m² par individu en dehors de la période de frai (Elliott 1994, Balignière et Maisse 1999, Schager et Peter 2002). Ces données et la biomasse des organismes servant de nourriture au poisson (indicateur B1) permettent d'estimer si la nourriture, l'espace à disposition des adultes ou la superficie des frayères limitent, dans l'état actuel, la population dans le tronçon étudié.

S'il apparaît que la superficie des frayères constitue un facteur limitatif dans l'état actuel, on peut du moins déterminer la surface théoriquement nécessaire (état cible). Ce faisant, il faut se rappeler que les frayères potentielles doivent sans cesse être mouillées (jamais mises à sec), que l'eau doit y présenter une profondeur minimale de 20 cm et que leur fond doit être fait d'un substrat stable (pas d'érosion) à granulométrie moyenne de 30 à 60 mm. Pour évaluer les frayères disponibles dans le cours d'eau concerné, on procède donc à des calculs hydrauliques et à des calculs mécaniques portant sur le charriage, qui fournissent les indications ci-après:

> surfaces au fond du lit où la profondeur de l'eau est suffisante (pendant le débit d'étiage ou le débit plancher) pour permettre le frai,
> surfaces au fond du lit qui sont recouvertes d'un substrat propice au frai,
> surfaces au fond du lit dotées d'un substrat stable (qui n'est pas mobilisé lors de l'éclusée).

Les calculs hydrauliques et les calculs mécaniques portant sur le charriage doivent être réalisés dans tout le cours d'eau soumis au régime d'éclusées ou sur des tronçons caractéristiques de ce cours d'eau. On peut se contenter d'étudier uniquement certains tronçons du cours d'eau, s'il est possible de transposer les résultats obtenus aux tronçons non étudiés avec une précision suffisante.

Ces calculs doivent être effectués pour un état de référence sans éclusées (régime d'écoulement naturel en hiver) aussi bien que pour un état influencé par des éclusées (en hiver). La comparaison des deux états permet de déterminer l'atteinte subie par les frayères.

La procédure présentée a été appliquée par Abegg (2007) et WFN (2007) lors de l'octroi d'une nouvelle concession à une centrale hydroélectrique.

Collecte des données

Méthodologie

La méthode à appliquer se fonde sur la morphologie, la longueur et l'importance écologique du cours d'eau étudié (fig. A10, indicateur P2).

> Nous recommandons de recourir à des calculs hydrauliques bidimensionnels dans les cas suivants:
  – cours d'eau au lit ramifié,
  – longs cours d'eau d'une certaine importance écologique, avec de grands bancs de gravier et un profil en long présentant des paliers.
> Nous recommandons de recourir à des calculs hydrauliques unidimensionnels (calculs de courbes de remous) dans le cas ci-après:
  – cours d'eau courts à longs présentant une morphologie monotone à structurée.

Des calculs usuels de débit suffisent pour des cours d'eau courts et canalisés dont le fond du lit est nivelé.

Calculs mécaniques portant sur le charriage

A partir des calculs hydrauliques, on calcule la contrainte d'entrainement (Θ), dépourvue de dimension, en tenant compte de la granulométrie moyenne des matériaux charriés (d_m). La valeur de dm est déterminée par prélèvement d'échantillons et conversion. Si Θ est inférieur à 0,05, le substrat est stable. Dans les autres cas, on doit supposer qu'il sera mobilisé par l'éclusée.

Dans les calculs bidimensionnels, Θ est calculé pour chaque cellule; dans les calculs unidimensionnels et les calculs du régime d'écoulement normal, Θ est déterminé sur les lignes du profil en travers.

Substrat

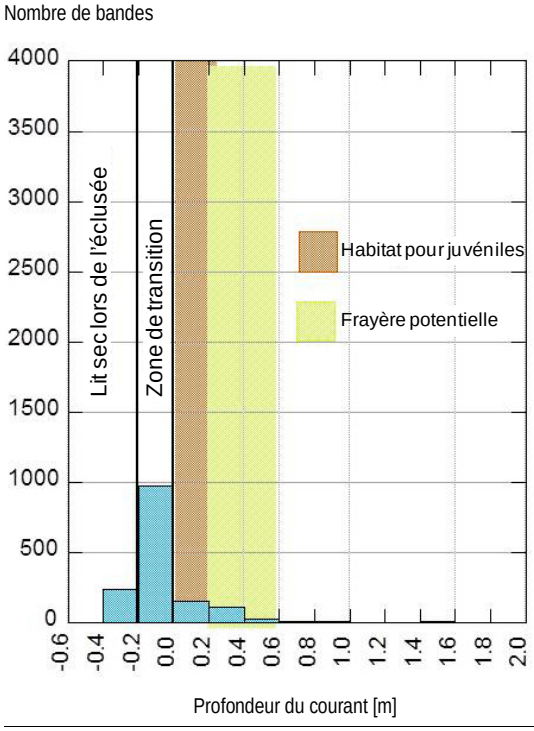
La composition du substrat doit être déterminée sur la base d'échantillons linéaires.

Les travaux à entreprendre pour évaluer les frayères sont les suivants:

1. Représenter et additionner les surfaces pouvant servir de frayère, l'eau y étant suffisamment profonde lors du débit d'étiage (état de référence) ou du débit plancher.
2. Représenter et additionner les surfaces dont le substrat présente la composition requise pour servir de frayère.
3. Représenter et additionner les surfaces où le substrat reste stable lors de l'état de référence ainsi que sous l'effet de l'éclusée provoquée par une centrale hydroélectrique.
4. Déterminer les recoupements entre les évaluations 1) à 3) pour l'état de référence et l'état lors d'une éclusée provoquée par une centrale hydroélectrique (fig. A11).
5. Comparer les valeurs obtenues sous 4) et les besoins en surface de la population de truites de rivière dans l'état actuel et l'état cible.

Fig. A11 > Somme du nombre de bandes dans le tronçon considéré (permettant de calculer la superficie) où le substrat est stable et qui présentent les caractéristiques d'une frayère potentielle, compte tenu du substrat, ou d'un habitat pour juvéniles, compte tenu de la profondeur de l'eau

Profondeur du courant lors de l'éclusée, Thêta$_{éclusée}$ < 0,05.



Abegg 2007

Evaluation

En comparant le besoin en espace de la population actuelle et de l'hypothétique population cible (état cible), on peut estimer le degré de gravité de l'atteinte que l'exploitation par éclusées porte au peuplement piscicole actuel.

Evaluation	Etat	Critère: besoin en espace rempli à raison de
	excellent	> 80 %
	bon	60–80 %
	moyen	40–60 %
	médiocre	20–40 %
	mauvais	< 20 %

Ouvrages mentionnés

Abegg J. 2007: Neukonzessionierung Kraftwerk Linth-Limmern Schwallbetrieb im Abschnitt Linthal – Schwanden. Bericht im Auftrag der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG, Baden: 1–35.

Balignière J.L., Maisse G. 1999: Biology and ecology of the Brown and Sea Trout. Springer Praxis Series in Aquaculture and Fisheries, Chichester: 286 S.

Elliott J.M. 1994: Quantitative Ecology and the Brown Trout. Oxford University Press, Oxford.

Schager E., Peter A. 2002: Bachforellensömmerlinge Phase I.I. Fischnetz Publikation, Projekt «Netzwerk Fischrückgang Schweiz», Teilprojekt 01/12: 1–218.

WFN 2007: Kraftwerksanlagen Linth-Limmern – Konzessionsprojekt 2006, Bericht zur Umweltverträglichkeit 1. Stufe, Fachbericht Gewässerökologie – Nachtrag Schwall-Sunk. Bericht im Auftrag der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG, Baden: 1–29.

A7-4 **Reproduction de l'ichtyofaune – Indicateur P4**

Bases théoriques

Les indicateurs P1, P2 et P3 donnent des informations sur la composition et la structure de la population piscicole, ainsi que sur l'espace dont a besoin l'espèce principale pour se reproduire. Etant donné que les cours d'eau où il faut étudier le phénomène des éclusées se trouvent le plus souvent dans des zones à truite de rivière et que les caractéristiques de cette espèce principale sont assez bien connues, nous nous limiterons ici à considérer la truite de rivière. Il est aussi possible d'adapter la méthode pour l'appliquer aux ombres en tant qu'espèce principale (dans les zones à ombre). Rappelons qu'il s'agit dans ce cas le plus souvent de rivières relativement grandes et que les relevés de l'écologie piscicole risquent donc de se heurter à des difficultés méthodologiques. Il faut surtout éviter que la gestion piscicole (rempoissonnement) ne biaise les résultats. Il s'agit donc de collecter les données sur le succès de reproduction dès que possible après l'éclosion des œufs ou, dans tous les cas, avant un éventuel lâcher de poissons.

Collecte des données

Pour la truite de rivière, le succès de la reproduction fera l'objet de relevés au moyen d'une pêche électrique réalisée à proximité des habitats susceptibles de convenir aux alevins, selon la méthode dite du «kick sampling» (Persat et Copp 1990). La pêche sera entreprise au printemps, dès que possible après l'émergence des alevins de la couche de gravier. L'indicateur P3 donnant la position et la taille approximative des frayères potentielles, les prélèvements peuvent se limiter aux tronçons situés à la hauteur ou en aval de ces frayères.

La période du frai et la durée d'incubation variant beaucoup avec la température, et différant donc grandement d'un cours d'eau à l'autre, il importe de prendre contact au préalable avec des connaisseurs du cours d'eau à étudier. Le garde-pêche cantonal connaît en principe bien les cours d'eau dont il est responsable et sera en mesure de répondre aux questions les concernant. De plus, il faut se renseigner sur un éventuel repeuplement avec des alevins ou des préestivaux de truite de rivière, de manière à procéder aux relevés auparavant.

Si aucun rempoissonnement n'est prévu dans le cours d'eau étudié, on peut également collecter les données à la fin de l'été, la pêche électrique devant alors être réalisée à titre de relevé semi-quantitatif conformément à l'indicateur P1.

Traitement des données et présentation des résultats

La densité des alevins de truite de rivière est calculée et présentée par point (CPUE = capture par unité d'effort). Lorsque les relevés sont effectués en été ou en automne, la densité d'estivaux est par contre établie par hectare de surface d'eau.

Les résultats ne nécessitent pas de présentation particulière.

Evaluation

Pour évaluer la densité des alevins de truite de rivière, il convient de se baser sur les données mesurées dans certains cours d'eau des cantons suivants: BE, BL, BS, FR, GL, GR et VD, qui ont fait l'objet de relevés dans le cadre de diverses études (rapports).

Pour évaluer les densités d'estivaux, nous nous fondons ici sur les résultats des études de Schager et Peter (2001/2002/2004) dans le module Poissons du système modulaire gradué.

Evaluation	Etat	CPUE	Critère: densité des estivaux de truite de rivière (n/ha)		
		alevins de truite de rivière	Alpes	Préalpes	Plateau / Jura
	excellent	> 1.0	> 400	> 2000	> 2500
	bon	0.6–1.0	300–400	1000–2000	1500–2500
	moyen	0.4–0.6	200–300	500–1000	1000–1500
	médiocre	0.1–0.4	100–200	250–500	250–1000
	mauvais	< 0.1	< 100	< 250	< 250

Pour interpréter les résultats, il faut impérativement tenir compte du régime effectif des débits durant le frai et l'incubation des espèces considérées (soit de novembre à avril pour la truite de rivière). Si le cours d'eau considéré ou les cours d'eau de référence similaires de la même région connaissent une forte crue, susceptible de déplacer les sédiments déposés sur le fond du lit (charriage), pendant cette période, le succès de la reproduction ne pourra pas être établi avec la fiabilité voulue.

Ouvrages mentionnés

I.G. Cowx (ed.): Developments in electric fishing. Fisching News Books: 197–209.

Schager E., Peter A. 2001/02: Bachforellen-sömmerlinge Phase I und Phase I.I. Fischnetz Publikation, Projekt «Netzwerk Fischrückgang Schweiz», Teilprojekte 00/12 und 01/12.

Schager E., Peter A. 2004: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Poissons – niveau R (région). OFEFP, L'environnement pratique, Informations concernant la protection des eaux n° 44: 1–63.

A7-5 **Productivité piscicole – Indicateur P5**

Bases théoriques

La capacité théorique de rendement piscicole désigne les «prises maximales au sein de populations piscicoles de composition idéale, dans des conditions d'exploitation optimales de la capacité naturelle de production […]» (Roth 1985). Elle est appelée rendement annuel à l'hectare (RAH). L'estimation du RAH se fonde sur de nombreuses études (Lassleben 1977, Roth 1966, Staub 1985) et a été appliquée à de nombreux cours d'eau dans le canton des Grisons (AJF-GR 2010). Après avoir été revue, la méthode a été systématiquement utilisée pour toutes les eaux soumises à patente du canton de Berne (Vuille 1997). Il est donc possible d'évaluer de manière relativement simple et sans grand effort la capacité de rendement biologique du tronçon d'un cours d'eau. Cette estimation tient compte de divers paramètres tels le débit, la zone piscicole, la température, les structures spatiales et la présence (quantité et qualité) d'organismes servant de nourriture.

$$RAH = 10 \times B_{mod} \times k1 \times k2 \times k3$$

B_{mod}: facteur de bonification modifié selon Vuille (1997). Il est établi à partir de la biomasse des invertébrés (g/m²) et corrigé par des facteurs permettant de tenir compte de la composition du peuplement d'invertébrés.
k1: facteur température
k2: facteur habitat
k3: facteur de zonation piscicole

Collecte des données

Les données requises pour calculer le facteur de bonification B sont collectées avec celles de l'indicateur B1. On doit alors appliquer l'échelle selon Roth (1966). La modification de B en fonction de la qualité des organismes servant de nourriture intervient selon Vuille (1997).

Le facteur température est calculé d'après Vuille (1997), sur la base de valeurs mesurées par la Confédération.

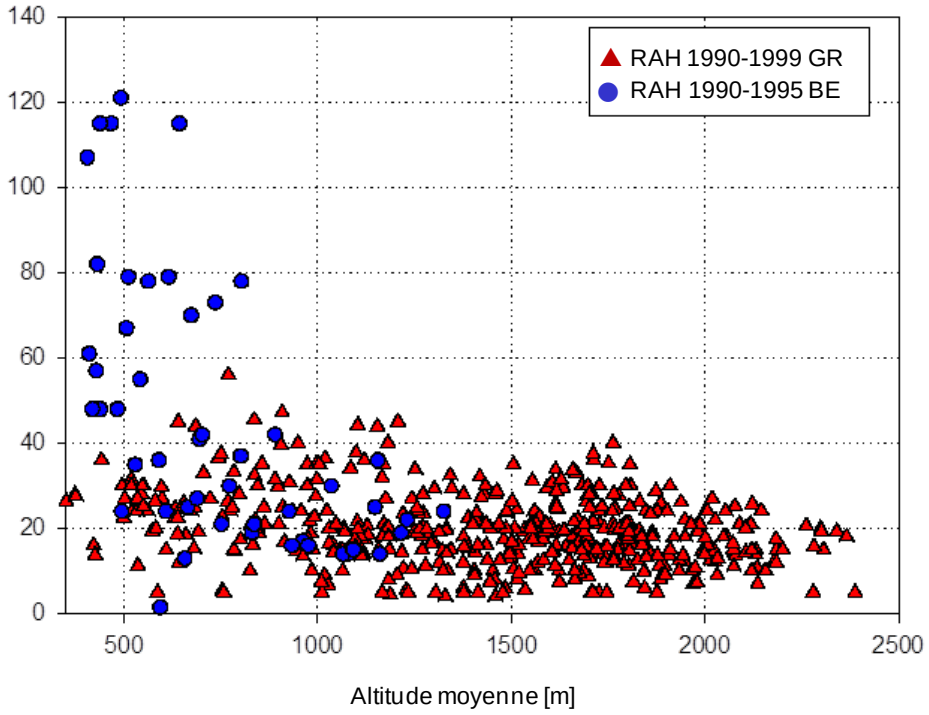
Le facteur habitat exige de se rendre sur le terrain afin de relever divers paramètres du cours d'eau: largeur, profondeur, conditions d'écoulement, composition du substrat, refuges pour les poissons, végétation riveraine et connectivité longitudinale. De plus, le débit fait l'objet d'une observation sur une période relativement longue (Vuille 1997).

La zone piscicole est déterminée à partir de la largeur et de la pente du cours d'eau (Huet 1949).

Traitement des données et présentation des résultats

On commence par estimer le RAH, avant de le comparer avec des valeurs de référence (Vuille, 1997 et base de données FJV-GR [Service de la chasse et de la pêche du canton des Grisons]). Cette comparaison tient compte de l'altitude moyenne et des conditions hydrologiques (fig. A12).

Fig. A12 > Relation entre le rendement piscicole annuel à l'hectare (RAH), selon une estimation théorique, et l'altitude moyenne des tronçons de cours d'eau étudiés



Evaluation

L'appréciation se fonde sur les données de bonification des eaux soumises à patente du canton de Berne (Vuille 1997) et la base de données de bonification du Service de la chasse et de la pêche du canton des Grisons.

Evaluation	Etat	Critère: rendement annuel à l'hectare (RAH)		
		Altitude < 500 m	Altitude 500–1000 m	Altitude >1000 m
	excellent	RHA ≥ 60 kg	RHA ≥ 40 kg	RHA ≥ 30 kg
	bon	60 kg > RHA ≥ 40 kg	40 kg > RHA ≥ 30 kg	30 kg > RHA ≥ 20 kg
	moyen	40 kg > RHA ≥ 30 kg	30 kg > RHA ≥ 20 kg	200 kg > RHA ≥ 10 kg
	médiocre	30 kg > RHA ≥ 20 kg	20 kg > RHA ≥ 10 kg	10 kg > RHA ≥ 5 kg
	mauvais	RHA < 20 kg	RHA < 10 kg	RHA < 5 kg

Ouvrages mentionnés

AJF-GR 2010: Datenbank zur Bonität der Fischgewässer. Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.

Huet M. 1949: Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweiz. Z. Hydrol. 11: 332–351.

Lassleben P. 1977: Das Schätzverfahren für Fischwasser nach Leger und Huet. Österr. Fisch., 28: 53–64

Roth H. 1966: Beurteilung der Ertragsfähigkeit von Fliessgewässern. Sonderdruck Schweiz. Fischereizeitung: 16 S.

Roth H. 1985: Calcul des dommages résultant de l'empoisonnement d'un cours d'eau. OFEFP, Les cahiers de la pêche n° 44: 3–40.

Staub E. 1985: Composition des classes d'âge dans des ruisseaux à truites. OFEFP, Les cahiers de la pêche n° 44: 41–62.

Vuille T. 1997: Ertragsvermögen der Patentgewässer im Kanton Bern. Bericht Fischereiinspektorat des Kantons Bern: 81 S.

A7-6

Biomasse du macrozoobenthos – Indicateur B1

Bases théoriques

La biomasse (poids humide ou poids des organismes frais) du macrozoobenthos diminue en général avec l'altitude. Jungwirth et al. (1980) et Dückelmann (2001) ont étudié de près l'évolution de la biomasse benthique en fonction de l'altitude dans les cours d'eau autrichiens et l'ont représentée à l'aide de courbes ou de secteurs.

Les effets de l'exploitation par éclusée se font souvent sentir davantage sur la quantité ou la fréquence des organismes invertébrés que sur leur qualité, c'est-à-dire la variété ou la composition des espèces (Baumann et Klaus 2003). Or l'art. 41e, let. b, OEaux spécifie que les éclusées portent gravement atteinte à la faune lorsque la taille de la biocénose animale typique de la station est altérée.

Nous déterminons ici la quantité de macrozoobenthos typique de la station en nous servant des valeurs cibles en fonction de l'altitude.

Collecte des données

La biomasse de macrozoobenthos peut être mesurée dans les mêmes échantillons semi-quantitatifs prélevés pour déterminer l'indicateur B2 (module Macrozoobenthos du SMG). Les échantillons sont donc de même prélevés selon la méthode décrite par Stucki (2010).

Traitement des données et présentation des résultats

Une fois le contenu d'un échantillon trié et les macroinvertébrés identifiés et comptés, tous les organismes d'un échantillon sont égouttés pendant un temps court sur un support absorbant (papier buvard), puis pesés au milligramme près à l'aide d'une balance de laboratoire (poids des organismes frais). Si l'on n'a trié qu'une partie de l'échantillon, il faut extrapoler le poids mesuré à l'échantillon total. On pèse toujours les larves de phryganes sans leur fourreau, mais les mollusques (gastéropodes aquatiques et bivalves) au contraire avec leur coquille.

Selon le module Macrozoobenthos du SMG, un échantillon standard comprend normalement huit échantillons partiels, qui doivent correspondre à une surface totale de 0,5 m² du lit (Stucki 2010). Le poids du macrozoobenthos frais contenu dans l'échantillon doit être rapporté à la surface unitaire de 1m² et donné en g/m².

La valeur cible de la biomasse en fonction de l'altitude est calculée comme suit d'après la formule de Jungwirth et al. (1980):

$$BM = \frac{1}{(0{,}000261 \times H) - 0{,}032}$$

BM = biomasse (poids des organismes frais) en g/m²;
H = altitude en m au-dessus de la mer

Les résultats ne nécessitent pas de présentation particulière.

Evaluation

La relation entre altitude et biomasse benthique établie par Jungwirth et al. (1980), telle qu'elle est utilisée ici, a été établie, à l'origine, pour des cours d'eau de Basse-Autriche. Selon les vastes travaux de Dückelmann (2001) portant sur toutes sortes de cours d'eau de l'écorégion des Alpes selon Illies (1978), cette relation se situe plutôt dans la portion inférieure des valeurs escomptées, en particulier lorsque l'altitude est inférieure à 1000 m. Les valeurs escomptées ou valeurs cibles sont donc fixées ici avec une grande prudence et seront naturellement dépassées dans nombre de cours d'eau.

Les valeurs cibles, autrichiennes, utilisées ici pour évaluer la biomasse du macrozoobenthos se fondent de plus en majorité sur des échantillons quantitatifs prélevés à l'aide d'instruments d'échantillonnage de type Surber ou Hess. Pour le présent indicateur, nous utilisons des échantillons semi-quantitatifs du macrozoobenthos (échantillonnage de multihabitats) prélevés au filet kicknet, pour lesquels la biomasse montre des valeurs légèrement inférieures aux valeurs escomptées en raison de la méthode de prélèvement (Wolfram Graf, explications fournies oralement). Cette sous-estimation de la biomasse benthique est assez bien compensée par le recours à la valeur cible de Jungwirth et al. (1980), légèrement plus basse.

La majeure partie de la Suisse appartenant à l'écorégion des Alpes, l'évaluation ci-après peut s'appliquer à la plupart des cours d'eau suisses (y compris ceux du versant sud des Alpes). Elle ne convient toutefois pas dans les cas ci-après, ou seulement de manière limitée:

- Les cours d'eau très productifs du Jura, qui fait déjà partie de l'écorégion des montagnes occidentales de hauteur moyenne et ne figure donc pas parmi les données établies pour l'Autriche. L'étude de données sur la biomasse mesurée dans les cours d'eau du Jura (cantons de Berne, du Jura et de Bâle-Campagne) aussi épargnés que possible par les activités humaines, a montré que ces valeurs s'écartent bien davantage de la relation entre altitude et biomasse que dans l'écorégion des Alpes.
- Les cours d'eau alpins très influencés par des glaciers, dont la biomasse benthique affiche souvent et naturellement des valeurs plutôt basses, car les conditions de vie y sont extrêmement difficiles, surtout durant le semestre d'été. On peut admettre que l'influence des glaciers est grande lorsqu'ils couvrent plus de 20 % du bassin versant (Füreder et al. 2002, Füreder 2007).

On ne peut donc pas évaluer l'indicateur B1 dans le cas de ces types de cours d'eau. Il peut malgré tout s'avérer nécessaire de déterminer la biomasse benthique pour calculer la productivité piscicole (indicateur P5).

Evaluation	Etat	Critère: biomasse effective en % de la biomasse cible
	excellent	> 80 % de la biomasse cible
	bon	> 60–80 % de la biomasse cible
	moyen	> 45–60 % de la biomasse cible
	médiocre	30–45 % de la biomasse cible
	mauvais	< 30 % de la biomasse cible

Ouvrages mentionnés

Baumann P., Klaus I. 2003: Conséquences écologiques des éclusées. Etude bibliographique. Informations concernant la pêche n° 75, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–112.

Dückelmann H. 2001: Seehöhen-Biomassen-Beziehung des Makrozoobenthos in österreichischen Fliessgewässern. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien, 1–81.

Füreder L., Vacha C., Amprosi K., Bühler S., Hansen, C.M.E., Moritz Ch. 2002: Reference conditions of alpine streams: Physical habitat and ecology. Water, Air and Soil Pollution: Focus 2: 275–294.

Füreder L. 2007: Life at the Edge: Habitat condition and Bottom Fauna of Alpine Running Waters. Internat. Rev. Hydrobiol. 92: 491–513.

Illies J. 1978: Limnofauna Europaea, 2. Auflage. Fischer Verlag, Stuttgart.

Jungwirth M., Moog O., Winkler H. 1980: Vergleichende Fischbestandsaufnahmen an elf niederösterreichischen Fliessgewässerstrecken. Jubiläumsschrift der Österreichischen Fischereigesellschaft, Wien, 81–104.

Stucki P. 2010: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos – niveau R (région). Office fédéral de l'environnement, L'environnement pratique n° 1026, 1–61.

A7-7

Module Macrozoobenthos du SMG – Indicateur B2

Bases théoriques

Le système modulaire gradué d'analyse et d'appréciation des cours d'eau comprend entre autres une méthode uniformisée pour évaluer le macrozoobenthos au niveau R (région). Cette méthode base l'appréciation sur l'indice IBCH, une version de l'IBGN (indice biologique global normalisé) français adaptée aux conditions suisses. Le macrozoobenthos fait l'objet d'un prélèvement semi-quantitatif au filet kicknet, puis l'échantillon est analysé en laboratoire au terme d'une procédure définie. Les invertébrés (macroinvertébrés) sont déterminés jusqu'au niveau de la famille ou du groupe taxonomique suivant. L'appréciation se fonde, d'une part, sur le nombre des familles ou des groupes d'invertébrés identifiés et, d'autre part, sur la présence de certaines familles ou de certains groupes indicateurs (∑t et GI; Stucki 2010).

Le nombre de familles ou de groupes fournit, dans une certaine mesure, également des informations sur la variété des biocénoses animales typiques de la station, au sens de l'art. 41e, let. b, OEaux.

Collecte des données

La méthode de prélèvement des échantillons et les périodes où il convient de procéder aux prélèvements sont décrites dans Stucki (2010). Cette méthode se limite cependant aux cours d'eau peu profonds. Il s'agit donc de l'adapter pour évaluer les grands cours d'eau. Comme l'ont par exemple montré des études menées sur le Rhin alpin, le macrozoobenthos ne colonise que très peu le chenal central, profond et inaccessible sans bateau même en périodes de basses eaux (ARGE Trübung Alpenrhein 2001). Voilà pourquoi Stucki (2010) estime que l'échantillonnage peut, dans ces cas, se limiter aux zones proches de la berge, qui restent inondées durant le débit plancher.

Traitement des données et présentation des résultats

Les échantillons sont étudiés selon les indications de Stucki (2010).

Les résultats n'exigent pas une présentation particulière.

Evaluation

La matrice servant à l'évaluation sur la base des paramètres ∑t et GI figure dans Stucki (2010).

Ouvrages mentionnés

ARGE Trübung Alpenrhein 2001: Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht, Fachberichte und Literaturstudie im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, Projektordner.

Stucki P. 2010: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos – niveau R (région). Office fédéral de l'environnement, L'environnement pratique n° 1026, 1–61.

A7-8

Zonation longitudinale du macrozoobenthos – Indicateur B3

Bases théoriques

De la source à l'embouchure d'un cours d'eau, plusieurs zones biocénotiques se succèdent naturellement, qui portent souvent le nom des principales espèces piscicoles qui les caractérisent (indicateur P1). On distingue approximativement le crénon (zone de la source), le rhithron (zone à truite et zone à ombre) et le potamon (zone à barbeau et à brème). Chacune de ces zones est à son tour subdivisée en deux ou trois zones plus petites, où le macrozoobenthos présente une composition plus ou moins typique (Moog 2002). Cette zonation longitudinale peut servir à vérifier que la composition de la biocénose animale est typique de la station au sens de l'art. 41e, let. b, OEaux.

Lorsque l'effet des éclusées est important, la succession naturelle des zones biocénotiques peut être perturbée. En général, la composition du macrozoobenthos se décale alors vers les zones plus en amont (phénomène appelé «rhithralisation»; Moog et Chovanec 2000, Céréghino et al. 2002).

Collecte des données

La zonation longitudinale du macrozoobenthos est déterminée à l'aide des échantillons semi-quantitatifs prélevés pour analyser l'indicateur B2 (module Macrozoobenthos du SMG). La méthode de prélèvement des échantillons et les périodes où il convient de procéder aux prélèvements suivent donc également les instructions de Stucki (2010).

Traitement des données et présentation des résultats

Pour commencer, on utilise les paramètres abiotiques largeur, pente et, éventuellement, température pour classer le cours d'eau à étudier dans la zone biocénotique correspondante (indicateur P1).

La zonation longitudinale basée sur le macrozoobenthos exige une identification plus précise des invertébrés dans l'échantillon du SMG que pour les autres indicateurs benthiques. Dans la mesure où l'analyse n'implique pas de recourir à des moyens disproportionnés, cette identification doit aller jusqu'au niveau de l'espèce ou, du moins, du genre. Pour les taxons dont l'identification s'avère suffisante, on peut procéder à la zonation longitudinale selon Moog (2002) et calculer selon Haag et Ofenböck (2003) un indice intégré de zonation longitudinale (IZL) pour l'ensemble de l'échantillon. A l'issue du calcul, chaque nombre entier entre 1 et 8 correspond à une zone du cours d'eau allant de l'eucrénon (= 1) à l'hypopotamon (= 8). Les deux zones suivantes, à savoir le litoral (= 9) et la zone profonde (= 10) désignent des zones d'eaux calmes et ne revêtent guère d'importance pour l'indicateur décrit ici.

Le programme autrichien ECOPROF permet de déterminer directement l'indice de zonation longitudinale à partir des données brutes de l'échantillon benthique *(www.ecoprof.at)*.

La classe de l'IZL est donnée à la décimale près et la zonation basée sur les paramètres abiotiques en unités entières, voire à la demi-unité près. Ces deux valeurs englobent donc également les passages entre les zones biocénotiques.

Les résultats n'exigent pas une présentation particulière.

Evaluation

Pour procéder à l'appréciation, on détermine les écarts entre l'indice de zonation longitudinale et les zones biocénotiques définies à partir de la largeur, de la pente et, le cas échéant, de la température de l'eau (valeur cible). L'IZL est indiqué à la décimale près, tandis que les zones biocénotiques sont données par paliers (nombres entiers; cf. Traitement des données et présentation des résultats) ou à la demi-unité près dans le cas de zones de transition entre deux zones biocénotiques.

Evaluation	Etat	Critère: écart par rapport à la valeur cible
	excellent	< ± 0,25 unité
	bon	± 0,25 bis < ± 0,5 unité
	moyen	± 0,5 bis < ± 0,75 unité
	médiocre	± 0,75 bis ± 1 unité
	mauvais	> 1 unité

Si l'écart se situe à la limite du domaine «admissible» (aux environs d'une demi-unité), on peut au besoin affiner le résultat à l'aide des nomogrammes présentés dans Marrer (1981). A cet effet, il faut non seulement disposer de données sur la largeur et la pente du cours d'eau, mais connaître également la température moyenne de l'eau pendant le mois le plus chaud et la distance qui sépare le point de prélèvement de la source. Selon Müller (2011), les résultats d'une détermination basée sur ces nomogrammes correspondent en général assez bien à ceux d'une identification basée sur la largeur et la pente.

Ouvrages mentionnés

Céréghino R., Cugny P., Lavandier P. 2002: Influence of intermittent hydropeaking on the longitudinal zonation patterns of benthic invertebrates in a mountain stream. Internat. Rev. Hydrobiol. 87, 47–60.

Marrer H. 1981: Vorschläge für Massnahmen im Interesse der Fischerei bei technischen Eingriffen in Gewässer. Veröffentlichung Nr. 40 des Bundesamtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereiinspektion, Bern, 1–79.

Moog O. (Ed.) 2002: Fauna Aquatica Austriaca, 2. Lieferung. Wasserwirtschaftskataster, herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Loseblattordner.

Moog O., Chovanec A. 2000: Assessing the ecological integrity of rivers: walking the line among ecological, political and administrative interests. Hydrobiologia 422/423, 99–109.

Moog O., Ofenböck T. 2003: Calculation of longitudinal zonation patterns. Fauna Aquatica Austriaca, Ergänzungen 2003. Wasserwirtschaftskataster, herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1–6.

Müller V. 2011: Erarbeitung eines anthropogen unbeeinflussten, typischen Jahresgangs der Wassertemperatur nach biozönotischen Regionen. Masterprojektarbeit für den Studiengang Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich, 1–58.

Stucki P. 2010: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos – niveau R (région). Office fédéral de l'environnement, L'environnement pratique n° 1026, 1–61.

A7-9

Familles d'insectes EPT – Indicateur B4

Bases théoriques

Les larves des éphéméroptères, des plécoptères et des trichoptères vivant dans l'eau sont plus sensibles que nombre d'autres organismes aquatiques à divers types d'atteintes que subit la qualité de l'eau ou du cours d'eau. Elles constituent dès lors de bons indicateurs de la fonctionnalité écologique d'un cours d'eau et servent donc souvent pour apprécier l'état des eaux. Il apparaît cependant que les familles EPT reflètent mieux les altérations hydromorphologiques anthropiques d'ordre général, que les effets spécifiques d'un régime d'éclusées (Bannhofer 2000, Hering et al. 2006).

L'appréciation au moyen des EPT utilise des indices très différents, comme le nombre des unités taxonomiques représentées (taxons EPT), la proportion des taxons EPT ou des individus EPT dans l'ensemble du macrozoobenthos, le rapport entre les taxons EPT et d'autres groupes d'invertébrés, etc. (Bannhofer 2000).

L'un de ces indices est le nombre de familles appartenant aux trois ordres considérés (nombre de familles EPT) identifiées dans un cours d'eau. Il fournit une estimation approximative de la variété des organismes sensibles. Etablir l'appartenance d'une larve à l'une des familles EPT n'exige pas un grand travail et ne pose en général aucune difficulté, même si les larves sont à un stade précoce. L'identification des familles EPT dépend donc moins de l'expérience de la personne chargée d'analyser l'échantillon et du temps à disposition, que la détermination du genre voire de l'espèce (telle que requise par exemple pour connaître le nombre des taxons EPT).

Dans une approche visant à modéliser les effets de diverses mesures d'atténuation des éclusées et d'aménagement des eaux sur la biocénose aquatique du Rhône, on a également utilisé le nombre des familles EPT comme indicateur écologique (Pellaud 2007).

Dans une certaine mesure, le nombre des familles EPT fournit par ailleurs une appréciation de la diversité de la biocénose animale typique de la station au sens de l'art. 41e, let. b, OEaux.

Collecte des données

Le nombre des familles EPT est déterminé dans les échantillons semi-quantitatifs également utilisés dans le cadre de l'appréciation sommaire pour l'indicateur B2 (module Macrozoobenthos du SMG). La méthode de prélèvement des échantillons et les périodes où il convient de procéder aux prélèvements suivent donc également les instructions de Stucki (2010).

Traitement des données et présentation des résultats

Le comptage des individus dans les échantillons et l'identification des organismes jusqu'au niveau de la famille est également entrepris pour l'analyse de l'indicateur B2 (module Macrozoobenthos du SMG) et suit donc les instructions de Stucki (2010).

Pour l'indicateur présenté ici, il importe de connaître le nombre de familles d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères représentées dans l'échantillon. Tout comme pour connaître la classe de variété (VT) dans le cas de l'indicateur B2, on compte tous les individus dont l'identification est suffisante, donc également les individus isolés.

Les résultats n'exigent pas de présentation particulière.

Evaluation

L'appréciation s'appuie en priorité sur des données recueillies pour le peuplement macrozoobenthique des cours d'eau de la Principauté du Liechtenstein et du canton de Vaud durant la période de février à avril (fig. A13). Ces données proviennent essentiellement de tronçons ne subissant aucune influence hydrologique, mais dont la qualité de l'eau varie considérablement. Le nombre des familles EPT y est très étroitement corrélé avec l'indice IBCH de l'indicateur B2.

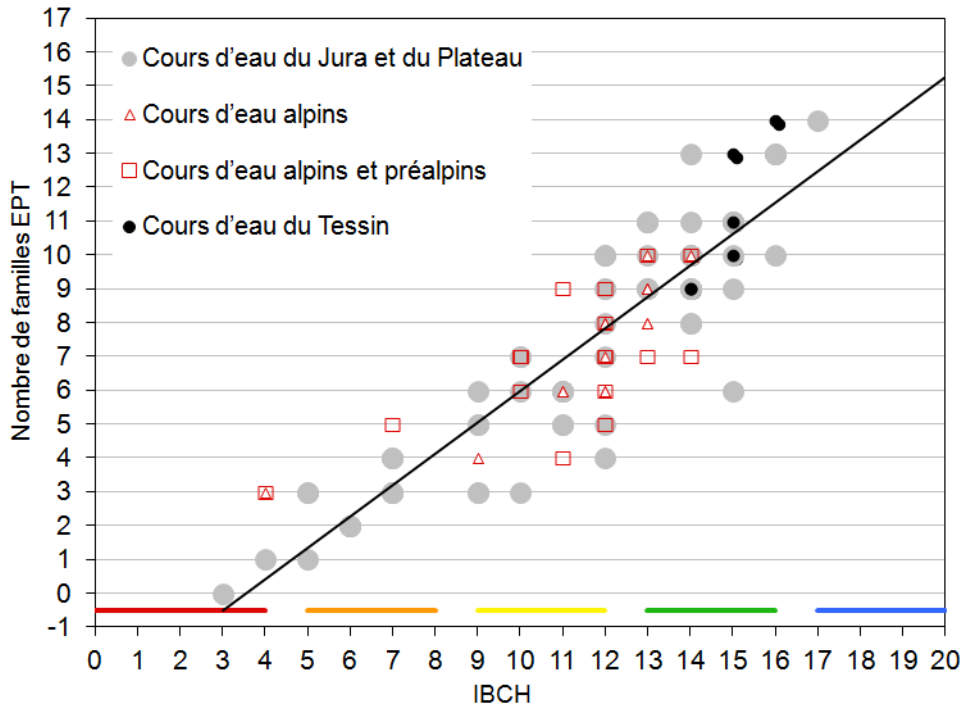
A titre de comparaison, la figure A13 contient également quelques données provenant de cours d'eau alpins et préalpins du versant nord des Alpes et du Tessin pour la période de mars à juin. Ces données révèlent une marge de dispersion. Nous partons donc de l'hypothèse que les cours d'eau suisses peuvent en principe être évalués selon la même échelle.

L'application de l'indicateur B4 sera sans doute restreinte dans le cas de cours d'eau fortement influencés par des glaciers, qui se distinguent souvent non seulement par une biomasse nettement moindre (cf. indicateur B1), mais aussi par un nombre nettement réduit de taxons de l'ensemble du macrozoobenthos et également, en conséquence, un nombre réduit de familles EPT (Füreder et al. 2002, Jacobsen et Dangles 2011).

Lorsque les éclusées engendrent un effet important, on observe aussi souvent une diminution du nombre des familles EPT, alors que l'IBCH, qui reflète avant tout la qualité de l'eau (Limnex 2007), ne révèle la plupart du temps aucune atteinte. Le nombre des familles EPT constitue donc un indicateur plus probant pour les tronçons à éclusées.

Fig. A13 > Nombre de familles EPT et IBCH selon l'indicateur B2 dans divers cours d'eau de Suisse et du Liechtenstein

Les couleurs sur l'axe des abscisses indiquent la classe d'état des divers cours d'eau (sur la base de l'IBCH, cf. Annexe A2–2).



A partir de la figure A13 et des appréciations, aisément comparables, de Bannholzer (2000), on peut établir que l'appréciation basée sur le nombre des familles EPT se présente comme suit:

Evaluation	Etat	Critère: nombre de familles EPT
	excellent	> 12 familles EPT
	bon	8–12 familles EPT
	moyen	5–7 familles EPT
	médiocre	2–4 familles EPT
	mauvais	< 2 familles EPT

Ouvrages mentionnés

Bannhofer G. 2000: Die Anwendung von EPT-Konzepten für die Charakteristik österreichischer Fliessgewässer. Dissertation, Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur, Universität für Bodenkultur, Wien, 1–211.

Füreder L., Vacha C., Amprosi K., Bühler S., Hansen, C.M.E., Moritz Ch. 2002: Reference conditions of alpine streams: Physical habitat and ecology. Water, Air and Soil Pollution: Focus 2: 275–294.

Hering D., Johnson R.K., Kramm S., Schmutz S., Szoszkiewicz K., Verdonschot P.F.M. 2006: Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. Freshw. Biol. 51: 1757–1785.

Jacobsen D., Dangles O. 2011: Environmental harshness and global richness patterns in glacier-fed streams. Global Ecol. Biogeogr. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00699.x.

Limnex 2007: Morphologie und Schwallbetrieb in Fliessgewässern. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Abteilung Wasser, Bern, 1–70.

Pellaud M. 2007: Ecological response of a multi-purpose river development project using macro-invertebrates richnesss and fish habitat value. Thèse No. 3807, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1–193.

Stucki P. 2010: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos – niveau R (région). Office fédéral de l'environnement, L'environnement pratique n° 1026, 1–61.

A7-10 **Colmatage interne – Indicateur H1**

Bases théoriques

Le colmatage interne du fond du lit d'un cours d'eau dépend essentiellement de la concentration de matières en suspension dans l'eau, de la contrainte d'entraînement, du gradient hydraulique du courant d'infiltration et de la composition du substrat. Le colmatage interne intervient en présence d'une certaine concentration de matières en suspension dans l'eau, d'infiltration des eaux de la rivière vers les eaux souterraines et de l'absence de colmatage externe.

Les éclusées provoquées par une centrale hydraulique augmentent la contrainte d'entraînement et le gradient hydraulique. Pour ce qui est des matières en suspension, ce sont en particulier les fortes variations (accroissement et diminution) du débit, mais aussi des débits d'éclusées constants, qui peuvent accroître nettement leur concentration par rapport à un état naturel. Ces trois facteurs augmentent le volume des particules fines qui pénètrent dans l'espace interstitiel du substrat et provoquent ainsi un colmatage interne plus prononcé que dans un tronçon non soumis à un régime d'éclusées. Les fines particules traversent la couche superficielle du substrat pour former un film assez fin juste au-dessous.

Plus le colmatage s'accentue, plus le courant qui circule à travers le substrat faiblit et réduit d'autant l'apport d'oxygène dans l'espace interstitiel. Un tel phénomène peut entraver la reproduction des poissons qui déposent leur frai dans le gravier qui tapisse le fond de la rivière.

Le succès de la reproduction des truites dépend par exemple du colmatage durant la saison froide. Indépendamment du régime d'écoulement, cette période est en général marquée par des débits relativement faibles. Seuls des épisodes de pluie ou de fonte des neiges sur des berges sensibles à l'érosion sont alors à même de provoquer une forte hausse de la turbidité dans le cours d'eau. Dans le milieu récepteur, une partie des matières en suspension se dépose sur le fond du lit dans les zones calmes, de sorte que la concentration des matières en suspension diminue dans la direction de l'écoulement (du moins en l'absence d'apports provenant d'affluents).

L'éclusée provoquée par une centrale hydroélectrique peut emporter les matières en suspension présentes dans l'eau pour les déposer plus loin ou remettre en suspension les sédiments fins déposés sur le fond du lit. Chaque éclusée peut ainsi provoquer une hausse de la concentration des matières en suspension.

Collecte des données

L'effet des éclusées sur le colmatage interne du fond du lit dépend de la concentration de matières en suspension dans l'eau avant et pendant l'éclusée au cœur de l'hiver (de mi-décembre à février, par temps froid).

<u>Relevés</u>
Les échantillons seront prélevés au fil du courant à l'aide d'un flacon en verre ou d'une sonde étalonnée. Le prélèvement doit être effectué depuis une berge longée par un courant puissant avec de fortes turbulences ou dans le courant principal.

Outre la concentration des matières en suspension, il convient d'enregistrer l'évolution de l'écoulement en mesurant le débit et le niveau de l'eau.

Périodes d'échantillonnage (fenêtres temporelles)
Il convient de prélever des échantillons horaires, de préférence le lundi de l'aube jusqu'au soir, les deux à trois premiers prélèvements devant intervenir avant le début de l'exploitation par éclusées. Il importe de vérifier que le détenteur de l'ouvrage ne prévoit aucun turbinage ni aucun curage à ce moment-là.

Points de prélèvement
Il faut choisir plusieurs points de prélèvement sur le tronçon à éclusées et dans la partie supérieure du tronçon de restitution, pour autant que celui-ci soit représentatif de l'état naturel.
L'évolution du débit doit être enregistrée à un point de prélèvement au moins.

Répétition des mesures
Deux campagnes de mesures au moins sont nécessaires. Selon les résultats, il faudra en mener encore une autre.

Traitement des données et présentation des résultats

Dans chaque échantillon, on mesurera la quantité totale de matières en suspension (MES) en milligrammes de matière sèche par litre (mg/l). Pour chaque point de prélèvement, il convient de représenter les résultats en relation avec l'évolution de l'écoulement (débit ou niveau de l'eau) et en fonction du temps.

A partir des données réunies, on détermine pour chaque site des concentrations représentatives de MES pour le débit plancher et pour le débit d'éclusée. Pour ce dernier débit, on considère en général les conditions qui règnent au début de l'éclusée (stade où la concentration de MES passe par son maximum).

Evaluation

L'évaluation peut se fonder sur les mesures de la concentration de matières en suspension réalisées dans le bassin versant du Rhin alpin et du Rhône, sur l'appréciation du succès de la reproduction des truites lacustres dans des boîtes de Vibert et sur les calculs du colmatage dans le Rhin alpin (ARGE Trübung Alpenrhein 2001, Schälchli, Abegg + Hunzinger 2007).

Les études menées sur le Rhin alpin ont permis d'établir une relation entre la concentration de matières en suspension durant l'éclusée et l'évolution du colmatage interne (durant le semestre hivernal; fig. A14). Le colmatage interne est mesuré à l'aide d'une échelle à quinze niveaux et réparti dans les cinq classes suivantes: (1) nul, (2) faible, (3) important, (4) fort et (5) intense (du bleu au rouge).

Lorsque le colmatage est nul, le succès de la reproduction est réputé très bon. Il est bon lorsque le colmatage est faible et minime (insuffisant) en cas de colmatage prononcé (niveau 6 et 7). A partir du niveau 8, le colmatage est tel que la reproduction n'est plus possible.

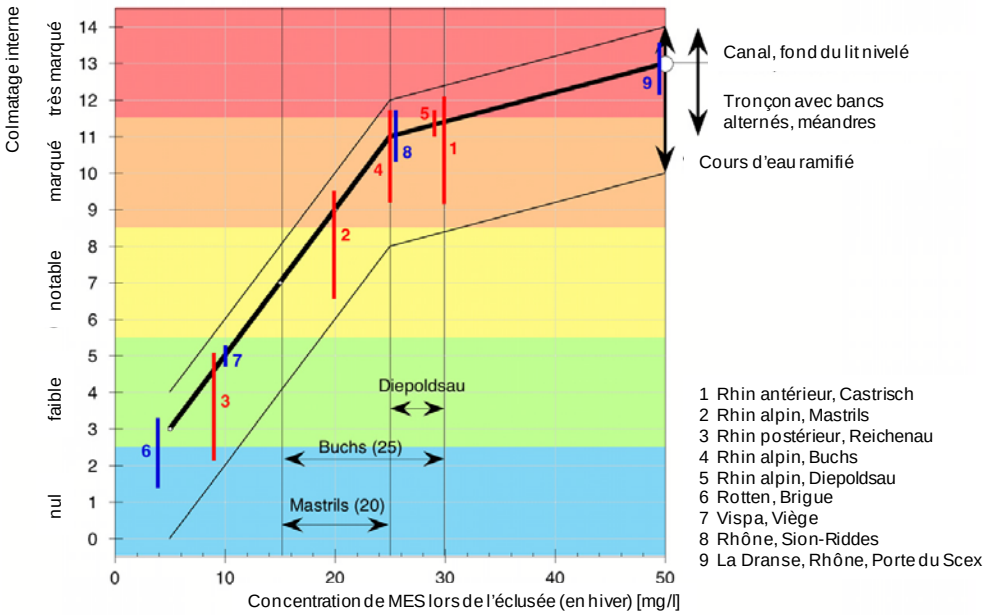
La relation entre concentration de matières en suspension lors de l'éclusée et le colmatage interne est représentée par une bande, qui permet de tenir compte de l'influence de la morphologie. Le colmatage est le plus intense dans les gués (partie supérieure de la bande), il est moyen dans les chenaux (partie centrale) et relativement faible dans les rapides (partie inférieure). Dans les tronçons canalisés, où le fond du lit est nivelé, le

degré de colmatage se situe entre prononcé et moyen. Par conséquent, il faut s'attendre à une plus grande variabilité du colmatage dans les tronçons ramifiés, où le colmatage sera faible par endroits, que dans les tronçons à bancs de gravier alternés et les tronçons canalisés.

Si les matières en suspension atteignent, pendant le débit d'étiage dans un tronçon à l'état naturel ou durant une période de débit plancher suffisamment longue, des concentrations susceptibles d'engendrer un colmatage prononcé, l'indicateur H1 ne permettra pas de conclure que le régime d'éclusées engendré par une centrale provoque une atteinte grave. La valeur limite avoisine 15 mg/l.

Dans la figure A14, les relevés effectués dans le Rhin antérieur, le Rhin postérieur et le Rhin alpin sont indiqués en rouge, ceux provenant du Rhône en bleu. On peut en conclure que l'on enregistrera tout au plus un colmatage minime dans le Rhin postérieur à la hauteur de Rhäzüns, le Rhône à la hauteur de Brig et la Viège à la hauteur de Viège, même si ces tronçons sont soumis à un régime d'éclusées. Relevons que les concentrations de matières en suspension pendant les éclusées proviennent de plusieurs campagnes de mesures pour le Rhin alpin, mais d'une seule campagne de mesures pour le Rhin antérieur, le Rhin postérieur et le Rhône. Dans ces derniers cas, d'autres relevés s'imposent pour compléter les données.

Fig. A14 > Evaluation du colmatage interne en fonction de la concentration de matières en suspension au début de l'éclusée, par un froid matin d'hiver



Ouvrages mentionnés

ARGE Trübung Alpenrhein 2001: Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht, Fachberichte und Literaturstudie im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, Projektordner.

Schälchli, Abegg + Hunzinger 2007: 3. Rhonekorrektion, Sachbereich Kolmation, Zwischenbericht 2. Situationsanalyse Trübung. Im Auftrag des Departements für Verkehr, Bau und Umwelt des Kantons Wallis.

A7-11

Débit minimal – Indicateur A1

Bases théoriques

Les art. 31 à 33 de la loi sur la protection des eaux (LEaux) régissent le calcul des débits résiduels à respecter dans les tronçons situés en aval des prélèvements de centrales hydroélectriques. Entrées en vigueur en 1992, ces dispositions s'appliquent à tout renouvellement d'une concession de droits d'eau. Les art. 80 à 83 LEaux prévoient que les prélèvements qui influencent sensiblement un cours d'eau doivent être assainis. Dans de tels cas, les débits résiduels sont en général fixés à un niveau plus bas qu'en application des art. 31 à 33 LEaux (fig. A15).

En aval de nombreuses centrales fonctionnant par éclusées, la portion de cours d'eau en amont du point de restitution est un tronçon à débit résiduel, qui devient un tronçon à éclusées aussitôt après la restitution. Le débit minimal qui s'écoule à la fin du tronçon à débit résiduel équivaut dès lors souvent au débit plancher du tronçon à éclusées, sauf dans deux cas de figure:

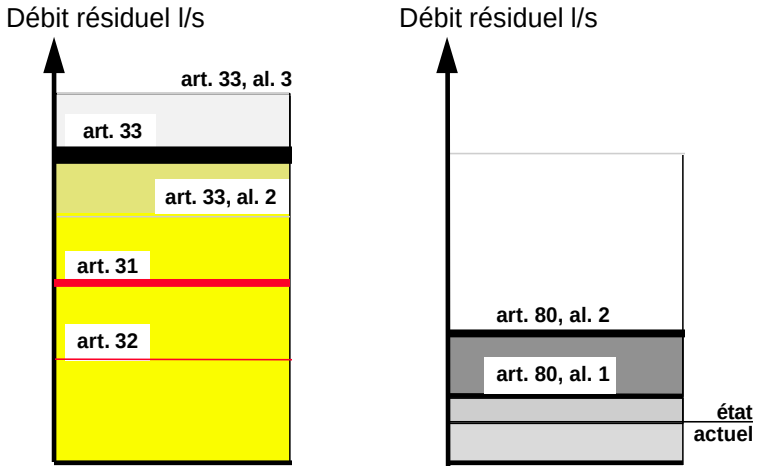
- les situations où l'eau turbinée n'est pas restituée dans le cours d'eau où elle a été prélevée (mais est dérivée vers une vallée voisine ou un cours d'eau plus important situé en aval, p. ex.);
- les centrales qui ne fonctionnent pas seulement par éclusées, mais également en continu (ce régime d'exploitation étant toutefois moins important), et dont le débit résiduel accroît donc constamment le débit plancher.

Le délai fixé pour l'assainissement des débits résiduels dans le cas de concessions échoit le 31 décembre 2012. Tous les cantons auront donc achevé ces travaux d'assainissement au moment où ils devront adopter la planification stratégique visant à assainir les éclusées (31 décembre 2014). A ce stade, tous les débits résiduels, et dès lors tous les débits planchers, devraient respecter au moins les exigences des art. 80 à 83 LEaux (fig. A15).

En vertu de l'art. 83a LEaux, les installations existantes doivent, après assainissement des éclusées, répondre aux mêmes exigences que les nouvelles installations. En d'autres termes, l'assainissement des éclusées doit consister à augmenter le débit plancher et à le fixer au niveau requis pour éviter les atteintes graves, indépendamment de l'assainissement du débit résiduel (donc que celui-ci ait ou non été adapté aux exigences applicables au renouvellement de la concession).

Des études réalisées sur le Ticino ont révélé que les effets du régime d'éclusées s'accentuent fortement lorsque le débit plancher descend au-dessous du débit résiduel au sens de l'art. 31 LEaux (OIKOS 2011).

Fig. A15 > Comparaison des normes à appliquer aux débits résiduels lors du renouvellement d'une concession selon les art. 31 à 33 (gauche) et dans le cas d'un assainissement au sens de l'art. 80 LEaux (droite)



source: OFEFP 1997

L'indicateur D1 sert à déterminer si le débit d'éclusées respecte un minimum fondé sur des données écologiques ou s'il est inférieur à ce minimum. Les exigences imposées à un débit plancher minimal s'inspirent de celles définies pour les débits résiduels dans les art. 31 à 33 LEaux. Souvent, ces exigences sont d'ores et déjà remplies, voire dépassées (Limnex 2007).

Collecte des données

Le débit plancher minimal correspond au débit résiduel au sens des art. 31 à 33 LEaux et il est déterminé selon la procédure habituellement suivie lors du renouvellement de concession des centrales hydroélectriques. L'indicateur décrit ici ne s'intéresse toutefois pas au débit résiduel en aval du prélèvement (début du tronçon à débit résiduel), mais au débit mesuré juste avant le point de restitution (fin du tronçon à débit résiduel). L'assainissement des éclusées n'anticipe *nullement* la procédure appliquée pour déterminer le débit résiduel (à partir du prélèvement).

La fixation du débit résiduel est expliquée en détail dans les instructions d'Estoppey et al. (2000). Vogel et al. (2004) présentent quant à eux les résultats d'un grand nombre de contrôles d'efficacité effectués dans des cours d'eau où le débit de dotation a été défini conformément aux exigences légales.

Traitement des données et présentation des résultats

Des traitements particuliers s'imposent pour deux situations dans lesquelles il faudrait, conformément à l'art. 31, al. 2, ou à l'art. 33, al. 3, LEaux, accroître (provisoirement du moins) le débit résiduel ou le débit plancher minimal:

> Pendant la période des fêtes de fin d'année (de Noël à Nouvel-An), le débit plancher minimal descend parfois nettement au-dessous du débit d'étiage habituellement enregistré durant la nuit ou le week-end («creux de Noël»). Cet abaissement temporaire du débit en deçà de la valeur minimale entrave surtout la reproduction naturelle des poissons et est en principe indésirable du point de vue écologique (Limnex 2007). L'annexe 5 examine comment la nécessité de pallier l'effet de jours fériés isolés peut influencer le dimensionnement de bassins de compensation. Un bassin de

compensation ne permettra sans doute que rarement de pallier les effets d'un «creux de Noël» de plusieurs jours, car les quantités d'eau, et donc le volume de stockage, requis pour maintenir le débit plancher à sa valeur normale, seraient disproportionnés (VAW et LCH 2006).

> La largeur ou la portion du lit qui reste mouillée en situation de débit plancher peut se révéler considérablement plus petite que durant l'éclusée ou en situation de débit naturel, en particulier dans les chenaux naturels ou proches de l'état naturel (Rupf, 1998, p. ex). Ce phénomène peut notamment avoir un impact sur les zones alluviales de cours d'eau dont la morphologie est proche de l'état naturel, car il empêche les organismes aussi bien aquatiques que terrestres de coloniser les vastes zones de marnage qui sont inondées durant l'éclusée, mais à sec durant le débit plancher (Zahner et Lutz 1988, Meile et al. 2005 et les ouvrages mentionnés; etc.). Or ces zones alluviales de cours d'eau comptent parmi les biotopes ou les biocénoses rares spécialement mentionnés à l'art. 31, al. 2, let. c, LEaux, car leur existence est liée directement ou indirectement à la nature et à la taille du cours d'eau, et dont la préservation exige le cas échéant de fixer le débit plancher à un niveau supérieur à celui du débit résiduel selon l'art. 31, al. 1, LEaux. L'augmentation du débit plancher doit être déterminée au cas par cas. Deux approches élaborées en Autriche peuvent servir ici de base à l'évaluation. La première de ces approches admet, tout comme l'indicateur P2, que l'état hydromorphologique est bon lorsque la superficie de l'espace mouillé durant le débit plancher équivaut à 80 % au moins de sa superficie durant l'éclusée (Mühlmann 2010). L'indicateur P2 recourt d'ailleurs à une approche similaire. Selon la seconde approche, le régime d'éclusées constitue une atteinte grave lorsque la surface irriguée durant le débit plancher équivaut à moins de 70 % de sa superficie pour un débit naturel (Greimel 2009).

Les résultats n'exigent pas de présentation particulière.

Evaluation

L'appréciation de l'indicateur D1 ne débouche pas sur cinq classes d'état, mais sur deux seulement. La raison en est simple: soit le débit résiduel remplit les exigences légales définies aux art. 30 à 33 LEaux, soit il ne les remplit pas, et rien ne saurait justifier l'existence d'états intermédiaires.

On procède à l'appréciation uniquement à partir du point de restitution (centrale) et, moyennant les restrictions mentionnées, sans tenir compte du degré d'assainissement du débit résiduel, c'est-à-dire indépendamment du fait qu'il aura été, au moment de la mise en service des mesures destinées à atténuer les éclusées, assaini conformément aux art. 30 à 33 LEaux (renouvellement de concession après l'entrée en vigueur de ces dispositions, au 1er novembre 1992) ou uniquement selon les exigences, moins strictes, des art. 80 à 83 LEaux.

Evaluation	Etat	Critère: débit résiduel selon les art. 30 à 33 Leaux
	bon	Exigences à atteindre remplies
	mauvais	Exigences à atteindre non remplies

Ouvrages mentionnés

Estoppey R., Kiefer B., Kummer M., Lagger S., Aschwanden H. 2000: Débits résiduels convenables – Comment les déterminer? L'environnement pratique n° 27/01, publié par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–140.

Greimel F. 2009: Ökologische Bewertung von Flussbaumassnahmen an der Raab. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien, 1–171.

Limnex 2007: Szenarien für eine ökologisch begründete Schwallminderung in den Flüssen Alpenrhein, Rhone, Linth und Doubs. Berichten zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Abteilung Wasser, Bern, 1–25.

Meile T., Fette M., Baumann P. 2005: Synthesebericht Schwall/Sunk. Eine Publikation des Rhone-Thur Projektes c/o Eawag, WSL, LCH.

Mühlmann H. 2010: Leitfaden zur hydromorphologischen Zustandserhebung von Fliessgewässern. Herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1–72.

OFEFP 1997: Prélèvements d'eau. Rapport d'assainissement – Assainissement selon art. 80, al. 1, de la loi sur la protection des eaux, Informations concernant la protection des eaux n° 25, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–51.

OIKOS 2010: Studio degli effetti delle varianzioni di portata indotti dalla regimazione idroelettrica lungo il fiume Ticino da Personico alla foce. Parametri relativi ai macroinvertebrati. Bericht im Auftrag des Ufficio della caccia e della pesca, Bellinzona, 1–91.

Rupf R. 1998: Ökomorphologie des Vorder- und Hinterrheins: Zustandsbewertung und Massnahmenvorschläge aus fischökologischer Sicht. Diplomarbeit am geographischen Institut der Universität Zürich, 1–86.

VAW, LCH 2006: Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk. Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich sowie des Laboratoire de Construction Hydrauliques an der EPF Lausanne im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden, 1–161.

Vogel U., Kirchhofer A., Breitenstein M. 2004: Débits résiduels – quel bénéfice pour les cours d'eau? Cahier de l'environnement n° 358, publié par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–139.

Zahner M., Lutz M. 1988: Untersuchungen zur Vegetation und Avifauna der Auen am Vorderrhein und Glenner. Jber. Natf. Ges. Graubünden 195: 31–77.

A7-12 **Température de l'eau – Indicateur Q1**

Bases théoriques

Les variations de la température de l'eau comptent parmi les effets du régime d'éclusées les plus souvent étudiés (Baumann et Klaus 2003). Parmi les causes possibles d'une atteinte grave provoquée par les éclusées, l'art. 41e, let. b, OEaux, mentionne donc explicitement la variation «non admissible» de la température de l'eau.

Les modifications soudaines de la température dues aux éclusées (*thermopeaking*, en anglais) ont fait l'objet d'études approfondies ces dernières années (Zolezzi et al. 2011, Carolli et al. 2011, etc.). En s'appuyant sur les données de base provenant de diverses sources, Dübendorfer et al. (2011) ont mis au point une méthode spécifique permettant d'évaluer les effets des éclusées, que nous pouvons reprendre telle quelle pour l'indicateur Q1.

Le texte et toutes les indications ci-après concernant l'indicateur Q1 sont tirés du rapport d'experts concernant le module température établi sur mandat de l'OFEV dans le cadre du système modulaire gradué de Dübendorfer et al. (2011).

Les variations de la température sont l'un des effets concomitants engendrés par les centrales hydroélectriques fonctionnant par éclusées et ont des conséquences néfastes pour les œufs de poissons et les alevins. En général, l'eau turbinée provenant des lacs de retenue réchauffe l'eau du cours d'eau en hiver et la refroidit en été (Meier et al. 2004, Bruno et al. 2009, Maiolini et al. 2010, Carolli et al. 2011, Zolezzi et al. 2011). On estime cependant que les modifications soudaines de la température dues aux éclusées sont plus graves du point de vue écologique que les variations saisonnières de la température de l'eau (Meile et al. 2005). Quant à la capacité des organismes aquatiques de s'adapter à des variations de la température, elle dépend avant tout de la température qui règne dans le cours d'eau avant le débit d'éclusée ou avant le débit plancher, température que l'on appelle également température d'acclimatation (Krejci et al. 2004).

Collecte des données

La définition des paramètres d'évaluation se réfère à des séries de mesures de la température portant sur cinq ans, l'intervalle entre deux mesures (ou «résolution temporelle») étant de 10 à 15 minutes et leur précision étant d'un dixième de degré. Les séries de mesures ayant une résolution ou une précision plus élevées doivent, avant le calcul des paramètres d'évaluation, être réduites à 10 minutes ou arrondies au 0,1° C. Selon les paramètres d'évaluation, il faut disposer de tous les relevés ponctuels ou des extrêmes journalières (valeurs maximale et minimale mesurées au cours d'une journée). Il convient d'évaluer les cinq années (en général les cinq dernières) qui reflètent le mieux le régime d'éclusées actuel.

A défaut de séries de mesures sur cinq ans, il est possible d'évaluer des séries plus courtes (dans les cas extrêmes, des séries sur un an sont même envisageables) pour obtenir une évaluation provisoire. Dans ce cas, les résultats doivent être interprétés avec la prudence requise. Il est notamment recommandé de spécifier les caractéristiques (température de l'air et régime des débits) qui ont marqué l'année en question (année froide, tempérée ou chaude pour ce qui est de la température, sèche, moyennement sèche ou humide pour ce qui est des débits).

Si pareilles séries de mesures manquent, il faut effectuer des relevés. Une résolution temporelle de 10 minutes (valeurs mesurées en continu en faisant la moyenne sur 10 minutes) est recommandée pour l'application de la méthode. L'exactitude requise des appareils de mesure est d'au moins 0,1° C. Les emplacements des relevés sont si possible intégrés au réseau hydrométrique en place (débit et paramètres de qualité de l'eau) et combinés à d'autres prélèvements d'échantillons, p. ex. de paramètres biologiques. Cette méthode permet d'exploiter les synergies lors du contrôle des stations de relevés et lors de l'interprétation des données.

Divers appareils de mesure, servant à relever uniquement la température ou plusieurs paramètres simultanément, sont disponibles sur le marché. On recourt aujourd'hui souvent à des sondes équipées d'un enregistreur, afin de disposer de relevés continus et offrant une bonne «résolution temporelle». Les enregistreurs branchés sur un réseau sans fil offrent l'avantage de transmettre directement les données, de sorte qu'il est possible de suivre leur évolution directement et à tout moment sur un ordinateur, de les vérifier et de les évaluer. Les appareils de mesure disposent habituellement d'un programme approprié permettant d'enregistrer et d'évaluer les relevés.

Le choix de l'emplacement de la sonde thermique et la manière de l'installer dépendent du type et de la taille du cours d'eau. La sonde doit en principe se trouver dans un secteur irrigué et parcouru par le courant (et non pas dans un «bras mort» ou une zone d'eau peu profonde et calme). Il importe de veiller à la fixer solidement (pour éviter qu'elle ne soit emportée par une crue) et à la doter d'une protection adéquate dans les cours d'eau à fort charriage. Dans le cas de grands cours d'eau, il faut se rappeler que les zones proches des berges où l'eau est peu profonde (< 50 cm) se réchauffent beaucoup plus vite et plus intensément que le courant principal. Lorsqu'un raccordement au réseau électrique s'avère impossible, il est recommandé d'opter pour un appareil de mesure fonctionnant avec un accumulateur, des piles ou un panneau solaire.

Les stations de mesures requièrent un entretien et des contrôles réguliers (indépendamment du type d'appareil, du type de cours d'eau, etc.). L'expérience a montré qu'un service de maintenance doit être assuré tous les trois mois environ. Il convient alors de débarrasser les appareils des algues, des détritus flottants et autres qui les recouvrent et de vérifier leur bon fonctionnement. Selon la taille de la mémoire intégrée, il faut par ailleurs transférer les données et changer les piles au moins une fois par an.

De grosses intempéries et de fortes précipitations peuvent engendrer des crues capables d'arracher les appareils de leur support et de les emporter. Après de tels événements, il est recommandé de se rendre rapidement sur le site afin de s'assurer que l'installation est bien en place ou de vérifier que les données continuent bien d'arriver par le réseau sans fil. Les appareils de mesure sont particulièrement sensibles et susceptibles d'être endommagés par les phénomènes suivants: formation de glace (surtout si elle se déplace), avalanches, charriage et orages (surtout lorsque la foudre tombe dans l'eau). Il faut donc contrôler périodiquement les appareils sur place ou vérifier régulièrement la bonne transmission des données.

Lorsqu'on installe un nouveau point de mesure, il faut informer l'autorité compétente et, le cas échéant (selon la taille et le type de l'installation) requérir une autorisation.

Les données doivent être saisies dans une base de données (Excel, Access ou un logiciel hydrométrique spécifique) pour être évaluées. Il faut en outre les sauvegarder régulièrement.

Traitement des données et présentation des résultats

Les grandeurs d'évaluation ci-après fournissent des indications sur les variations soudaines de la température observées dans un cours d'eau, qui sont dues au déversement des eaux turbinées par des centrales hydroélectriques fonctionnant par éclusées:

- Taux de variation de la température entre débit d'éclusée et débit plancher: $TT_{éclusée/plancher}$ [en °C/h]
- Amplitude de la variation de température entre débit d'éclusée et débit plancher: $AT_{éclusée/plancher}$ [en °C]
- Amplitude de référence de la variation de température spécifique au type de cours d'eau: $AT_{réf}$ [en °C]
- Nombre de pics de température par jour: $P_{éclusée/plancher}$; exprimés sous forme de moyenne: $PM_{éclusée/plancher}$ et de quantile 95 %: $P95_{éclusée/plancher}$ [-]

1) Taux de variation de la température

Le taux de variation de la température entre débit d'éclusée et débit plancher ($TT_{éclusée/plancher}$ en °C/h) correspond à un taux maximal représentatif de variation de la température durant le passage du débit plancher au débit d'éclusée et inversement.

Ce taux correspond au quantile 90 % des taux journaliers maximaux de variation de la température d'une série représentative de mesures.

$$TT_{éclusée/plancher} = \text{quantile 90 \% de } |TT|_{max} \text{ où } TT_t = T_t - T_{t-1} / \Delta t \text{ [en °C/h]}$$

Tt = température au moment t (valeur ponctuelle)
TTt = taux de variation de la température au moment t
$|TT|_{max}$ = maximum journalier des taux absolus de variation de la température TTt

Indépendamment de l'apparition du phénomène d'éclusées, il convient d'évaluer les variations de la température tout au long d'une année. Le recours au quantile 90 % évite que des événements extrêmes isolés ne prennent trop d'importance et que les journées sans éclusées marquantes (en fin de semaine, p. ex.) n'exercent trop d'influence sur les résultats.

Les taux de variation de la température peuvent avoir une valeur aussi bien positive que négative. Une valeur positive reflète une hausse de la température, une valeur négative une baisse. L'objectif consiste ici à déterminer les valeurs absolues des taux de variation.

La détermination, analogue, des maxima journaliers des taux de changement du niveau d'eau (TN_{max}) est décrite dans Pfaundler et Keusen (2007).

2) Amplitude de la variation de température entre débit d'éclusée et débit plancher
L'amplitude des variations de température entre débit d'éclusée et débit plancher ($AT_{éclusée/plancher}$) correspond à une amplitude journalière représentative subissant l'influence des éclusées.

L'amplitude maximale des variations de température entre débit d'éclusée et débit plancher ($AT_{éclusée/plancher}$) est exprimée par le quantile 90 % des maxima journaliers des différences de température d'une série représentative de mesures.

$AT_{éclusée/plancher}$ = quantile 90 % de ($T_{max} - T_{min}$) [en °C]

T_{max} = température maximale mesurée au cours d'une journée (valeurs ponctuelles)
T_{min} = température minimale mesurée au cours d'une journée (valeurs ponctuelles)

Indépendamment de l'apparition du phénomène d'éclusées, il convient d'évaluer les variations de la température tout au long d'une année. Le recours au quantile 90 % évite que des événements extrêmes isolés ne prennent trop d'importance et que les journées sans éclusées marquantes (en fin de semaine, p. ex.) n'influent trop sur les résultats.

2b) Amplitude de référence des variations de température spécifique au type de cours d'eau
L'amplitude de référence des variations de température spécifique au type de cours d'eau ($AT_{réf}$) représente des amplitudes caractéristiques des variations de la température, relativement grandes en été.

Les amplitudes journalières caractéristiques ($AT_{réf}$) sont extrapolées à partir des courbes sinusoïdales spécifiques au cours d'eau présentées dans Müller (2011): différence entre le maximum annuel de la régression sinusoïdale du quantile 75 % moyen des maxima journaliers et la régression sinusoïdale de la moyenne du quantile 25 % moyen des minima journaliers.

Il n'est pas nécessaire de calculer ces valeurs, car il est possible d'utiliser celles indiquées dans le tableau A4.

Tab. A4 > Amplitudes de référence des variations de température spécifiques au type de cours d'eau en °C

La méthode permettant de déterminer le type de cours d'eau à partir de la zone biocénotique et de l'étage altitudinal est expliquée dans le chapitre 3.4 de Dübendorfer et al. (2011).

Type de cours d'eau	Kry	KRs	KRm	KRc	ERa	ERs	ERm	ERc	MRa+s	MRm	MRc	HyR	EpP
Amplitude journalière	1,3	0	0,1	0,2	6,3	5,3	4,9	2,4	4,8	6,3	4,1	4,9	3,9

Zones biocénotiques: Kry = kryon; CR = crénon; ER = épirhithron; MR = métarhithron; HyR = hyporhithron; EpP = épipotamon

3) Nombre de pics de température par jour

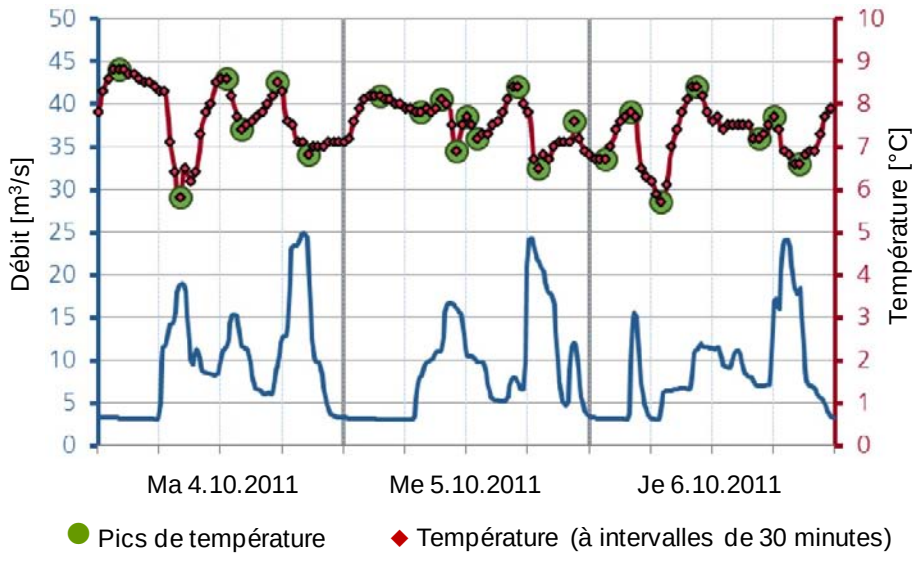
Le paramètre nombre de pics de température par jour ($P_{éclusée/plancher}$) correspond au nombre de pics de température positifs et négatifs mesurés dans les eaux par jour et inclut donc aussi bien les valeurs extrêmes journalières naturelles que les pics dus à des causes anthropiques. On détermine la moyenne ($PM_{éclusée/plancher}$) et le quantile 95 % ($P95_{éclusée/plancher}$) du nombre de pics journaliers de température d'une série représentative de mesures. Sont considérés comme pics de température tous les extrêmes qui sont séparés d'un intervalle de 60 minutes au moins et de 0,2° C.

$PM_{éclusée/plancher}$ = moyenne du nombre de pics de température par jour [-]
$P95_{éclusée/plancher}$ = quantile 95 % du nombre de pics de température par jour [-]

Les pics de température sont déterminés selon Frutiger et al. (2004) et par intervalles de 30 minutes. Les séries de mesures contenant des relevés plus fréquents seront adaptées en conséquence.

On observe en principe un pic lorsque la variation de température change de direction. Des modifications très brèves de la température et des variations faibles, ne dépassant pas la marge d'erreur des relevés, ne sont toutefois pas des pics. On considère uniquement comme pics les valeurs mesurées lorsque la température évolue dans le même sens pendant deux intervalles consécutifs de 30 minutes et qu'elle s'écarte de 0,2° C au moins du pic précédent. Lorsque la température reste stable, c'est le sens dans lequel elle a varié précédemment qui prévaut. La figure A16 illustre comment déterminer les pics de température.

Fig. A16 > Exemple de courbe des températures subissant l'influence d'un régime d'éclusées, avec indication des pics



Evaluation

Voici les considérations qui complètent les règles de classement:

- On combine les grandeurs d'évaluation fournissant des informations dont l'importance écologique diffère afin d'obtenir un classement.
- C'est le taux de variation de la température qui fournit l'évaluation de base pour l'effet d'un régime d'éclusées, car les poissons sont particulièrement sensibles à ce taux de variation.
- Les deux paramètres indiquant le nombre et l'amplitude des pics servent de facteurs de correction pour affiner l'évaluation. Grâce à eux, celle-ci prend en considération le fait que les variations fréquentes de la température tout comme les grandes amplitudes journalières engendrent un stress considérable pour les organismes aquatiques. Le recours à ces facteurs de correction n'améliorera jamais l'appréciation finale, mais tendra à la dégrader.

Evaluation	Etat	Evaluation initiale	Facteurs de correction
	excellent	$TT_{éclusée/plancher} \leq 1{,}25$°C/h	Dégradation d'une classe si $AT_{éclusée/plancher} > AT_{réf}$ et PM = 3-5 et P95 = 6-9 ou si $AT_{éclusée/plancher} > 1{,}5 * AT_{réf}$ ou si PM > 5 et P95 > 9
	bon	1,25°C/h < $TT_{éclusée/plancher} \leq 2{,}5$°C/h	
	moyen	2,5°C/h < $TT_{éclusée/plancher} \leq 3{,}75$°C/h	
	médiocre	3,75°C/h < $TT_{éclusée/plancher} \leq 5$°C/h	Dégradation de deux classes si $AT_{éclusée/plancher} > 1{,}5 * AT_{réf}$ et PM > 5 et P95 > 9
	mauvais	$TT_{éclusée/plancher} > 5$°C/h	

Les limites des classes ont été définies à partir des données fondamentales suivantes:

- Les poissons s'accommodent, sans subir d'atteinte, de variations journalières naturelles de la température allant de 0,5 à 1° C/h (Oliver et Fidler 2001).
- Les limites des classes définies pour les taux de variation de la température se fondent sur les valeurs indiquées par les études consacrées au régime des températures de cours d'eau ne subissant pas d'influence anthropique (Eliott et al. 1981; Zolezzi et al. 2011), ainsi que sur les effets observés, telle la dérive active d'invertébrés pour fuir une zone (Fey et al. 1977; Carolli et al. 2011).

La prise en considération du nombre de pics de température s'inspire de Frutiger et al. (2004).

Ouvrages mentionnés

Baumann P., Klaus I. 2003: Conséquences écologiques des éclusées. Etude bibliographique. Informations concernant la pêche n° 75, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–112.

Carolli M., Bruno M.C., Siviglia A., Maiolini B. 2011: Responses of benthic macroinvertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. River Res. Applic. 2011 (DOI: 10.1002/rra. 1520).

Dübendorfer Ch., Moser D., Kemptner T., Egloff L., Müller V., Wanner P., Baumann P., Kirchhofer A. 2011: Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern (voraussichtlich ab Mitte 2012 verfügbar auf www.modul-stufen-konzept.ch/f/index-f.htm).

Elliott J.M. 1981: Some aspects of thermal stress on freshwater Teleosts. In Pickering, A.D. (Ed.): Stress and fish. Academic Press, London: 209–245.

Fey J.M. 1977: Die Aufheizung eines Mittelgebirgsflusses und Auswirkungen auf die Zoozönose – dargestellt an der Lenne (Sauerland). Arch. Hydrobiol. Suppl. 53: 307–363.

Frutiger A. 2004: Ecological impacts of hydroelectric power production on the River Ticino. Part 1: Thermal effects. Arch. Hydrobiol. 159(1): 43–56.

Krejci V., Frutiger A., Kreikenbaum S., Rossi L. 2004: Impact des rejets pluviaux urbains sur les milieux récepteurs. Rapport dans le cadre du projet «STORM: Assainissement par temps de pluie», Eawag, Dübendorf: 1–36.

Meier W., Frey M., Moosmann L., Steinlin S., Wüest A. 2004: Wassertemperaturen und Wärmehaushalt der Rhone und ihrer Seitenbäche. Schlussbericht zu Subprojekt I-2 des Rhone-Thur Projektes, Eawag, Kastanienbaum: 1–100.

Meile T., Fette M., Baumann P. 2005: Synthesebericht Schwall/Sunk. Une publication du projet Rhône-Thur, Eawag, WSL, EPFL et Limnex AG, 1–48.

Müller V. 2011: Erarbeitung eines anthropogen unbeeinflussten, typischen Jahresgangs der Wassertemperatur nach biozönotischen Regionen. Masterprojektarbeit für den Studiengang Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich, 1–58.

Oliver G.G., Fidler L.E. 2001: Towards a water quality guideline for temperature in the Province of British Columbia. Ministry of Environment, Land and Parks, Victoria BC (www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/temptech).

Pfaundler M., Keusen M. 2007: Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 07/12, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern.

Zolezzi G., Siviglia A., Toffolon M., Maiolini B. 2011: Thermopeaking in Alpine streams: event characterization and time scales. Ecohydrology 4: 564–576.

> Bibliographie

Publications mentionnées

ARGE Trübung Alpenrhein 2001: Trübung und Schwall im Alpenrhein. Rapport de synthèse, rapports spécifiques et étude bibliographique sur mandat de la Commission internationale pour la protection du Rhin alpin (classeur du projet), Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz (www.alpenrhein.net).

AXPO 2006: Zukunft Wasserkraft – Linthal 2015: Kraftwerke Linth-Limmern. Brochure der Kraftwerke Linth-Limmern AG, Linthal et d'AXPO Holding AG, Zurich, 1–12 (www.axpo.ch/content/dam/axpo/de/Hydroenergie/Wissen/Downloads/Linthal2015.pdf).

Baumann P., Klaus I. 2003: Conséquences écologiques des éclusées. Etude bibliographique. Informations concernant la pêche n° 75, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–112 (www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00776/index.html?lang=fr).

Baumann P., Langhans S.D. 2010: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Synthèse des évaluations au niveau R (région). Projet de juin 2010. Etat de l'environnement, Office fédéral de l'environnement, Berne, 1–47 (www.modul-stufen-konzept.ch/f/index-f.htm).

Bieri M., Schleiss A.J. 2011: Modelling and analysis of hydropeaking in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes. Proc. 34th IAHR World Congress 2011, Brisbane, Australia (http://infoscience.epfl.ch/record/168548/files/2011–788_Bieri_Schleiss_Modelling_and_analysis_of_hydropeaking.pdf).

CEATE-E 2008: Initiative parlementaire Protection et utilisation des eaux. Rapport du 12 août 2008 de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil des Etats (07.492), FF 2008 7307.

DRL 2008: Kompensation von Strukturdefiziten in Fliessgewässern durch Strahlwirkung. Schriftenreihe des deutschen Rates für Landespflege, Heft 81, 1–138.

Eberstaller J., Haidvogl G., Jungwirth M. 1997: Gewässer- und Fischökologisches Konzept Alpenrhein. Grundlagen zur Revitalisierung mit Schwerpunkt Fischökologie. Edité par la Commission internationale pour la protection du Rhin alpin, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, 1–90 (www.alpenrhein.net).

Entegra 2011: Erhaltungskonzept der Kraftwerkskette am Aabach – Sanierung der Wasserkraftnutzungen gemäss dem revidierten GSchG. Bericht im Auftrag des kantonalen Amtes für Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.

EPFL 2007: Session 3: Synergies possibles pour des aménagements hydrauliques à buts multiples in: Communication n° 33 du Laboratoire de constructions hydrauliques (Symposium Mesures d'aménagement des cours d'eau pour la protection contre les crues, l'environnement, la société et l'économie), Ecole polytechnique fédérale, Lausanne, 79–123.

Gerster St., Rey P. 1994: Conséquences écologiques des curages dans les bassins de retenue. Cahier de l'environnement n° 219, publié par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–47.

Hering D., Johnson R.K., Kramm S., Schmutz S., Szoszkiewicz K., Verdonschot P.F.M. 2006: Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. Freshw. Biol. 51: 1757–1785.

Hürlimann J., Niederhauser P. 2007: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Diatomées Niveau R (région). Etat de l'environnement n° 0740, Office fédéral de l'environnement, Berne (www.modul-stufen-konzept.ch/f/diatomeen-f.htm).

Hütte M., Niederhauser P. 1998: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Ecomorphologie – niveau R (région). Informations concernant la protection des eaux n° 27. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne (www.modul-stufen-konzept.ch/f/download-f.htm).

Jäggi M. 1983: Alternierende Kiesbänke. Communication n° 62 du Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich.

Kail J., Hering D. 2009: The influence of adjacent stream reaches on the local ecological status of Central European mountain streams. River Res. Applic. 25: 537–550.

Kirchhofer A., Breitenstein M. 2008: Schwall-Sunk in der Linth (GL) – ein neuer Ansatz zur Reduktion der Auswirkungen auf das Flussökosystem. Symposium de la SSHL du 22.11.2008 à Lugano (www.sghl.ch/downloads/06-SGM2008_Kirchhofer.pdf).

Limnex 2001: Schwall/Sunk-Betrieb in schweizerischen Fliessgewässern. Etude des données disponibles sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–30 (www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=fr).

Limnex 2004: Möglichkeiten zur Regelung des Schwallbetriebes in der Schweiz. Rapport à l'intention de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, division Protection des eaux, Berne, 1–34.

Limnex 2005: Entsanderspülungen in der Schweiz. Rapport à l'intention de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 1–34.

Limnex 2006: Schwallversuche in der Linth: Ökologische Auswirkungen von schwalldämpfenden Massnahmen. Rapport à l'intention du kantonales Amt für Umweltschutz, Glaris, 1–50.

Limnex 2007: Morphologie und Schwallbetrieb in Fliessgewässern. Rapport à l'intention de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, division Eaux, Berne, 1–70.

Limnex 2009: Schwall/Sunk in der Hasliaare. Rapport à l'intention des Forces motrices de l'Oberhasli, Innertkirchen, 1–40.

Limnex 2010: Schwall/Sunk in der Hasliaare – Anhänge. Rapport à l'intention des Forces motrices de l'Oberhasli, Innertkirchen, 1–40.

Mangelsdorf J., Scheurmann K. 1980: Flussmorphologie. R. Oldenbourg Verlag, Munich, Vienne.

Margot A., Sigg R., Schädler B., Weingartner R. 2010: Influence sur les cours d'eau des aménagements hydroélectriques (⩾300 kW) et de la régularisation des lacs. Atlas hydrologique de la Suisse (HADES), OFEV, Berne, planche 5.3.

Marti, Ch., Bezzola G.R. 2004: Sohlenmorphologie in Flussaufweitungen. Communication n° 184 du Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich, 173–188.

Meile T., Fette M., Baumann P. 2005: Synthesebericht Schwall/Sunk. Publkation des Rhone-Thur Projektes. EAWAG, WSL, EPFL et Limnex AG, 1–48 (www.rhone-thur.eawag.ch/Synthese%20Schwall_Sunk%202.pdf).

Meile T., Boillat J.-L., Schleiss A.J. 2011: Hydropeaking indicators for characterization of the Upper-Rhone River in Switzerland. Aquat. Sci. 73: 171–182.

Misurio 2010: CKW – Dammerhöhung Göscheneralp. Auswirkungen auf Schwall/Sunkbetrieb. Annexes 5.7-4 et 5.7-5 au rapport Pöyry Infra AG 2010: Kraftwerk Göschenen AG, Dammerhöhung Göscheneralpsee. Bericht zur Umweltverträglichkeit 2. Stufe. Rapport établi sur mandat de la Kraftwerk Göschenen AG, Göschenen, 1–50 et 1–13.

OIKOS 2010: Studio degli effetti delle variazioni di portata indotti dalla regimazione idroelettrica lungo il fiume Ticino da Personico alla foce. Parametri relativi ai macroinvertebrati. Rapport établi sur mandat de l'Ufficio della caccia e della pesca TI, Bellinzona, 1–89.

OFEFP/OFEG (éd.) 2003: Idées directrices – Cours d'eau suisses. Pour une politique de gestion durable de nos eaux. Edité par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage et l'Office fédéral des eaux et de la géologie, Berne, 1–12 (www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/01267/01268/index.html?lang=fr).

OFEN 2011: Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse – Etat au 1.1.2011. Banque de données en ligne, publiée par l'Office fédéral de l'énergie, Berne (www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=fr&dossier_id=01049).

OFEV 2011a: Rapport explicatif – Modification des ordonnances sur la protection des eaux, l'aménagement des cours d'eau et l'énergie, de même que de l'ordonnance relative à la loi fédérale sur la pêche, Office fédéral de l'environnement, Berne, 1–42.

OFEV 2011b: Revitalisation des cours d'eau – Planification stratégique. Version provisoire pour consultation, état au 13.7.2011 (www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung/index.html?lang=fr).

OFEV, OFEN, ARE (éd.) 2011: Recommandation relative à l'élaboration de stratégies cantonales de protection et d'utilisation dans le domaine des petites centrales hydroélectriques. Offices fédéraux de l'environnement, de l'énergie et du développement territorial, Berne, 1–28 (www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01593/index.html?lang=fr).

Pellaud M. 2007: Ecological response of a multi-purpose river development project using macro-invertebrates richness and fish-habitat value. Thèse n° 3807, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1-193 (http://library.epfl.ch/theses/?nr=3807).

Petz-Glechner R., Petz W. 2006: Effects of rapidly varying flows from hydroelectric facilities on the fish fauna of some Austrian rivers depending on stream morphology. EIFAC Symposium on Hydropower, Flood Control and Water Abstraction: Implications for Fish and Fisheries, Mondsee, 14–21.6.2006. Poster-Beitrag.

Pfaundler M., Dübendorfer Ch., Zysset A. 2011: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Hydrologie – régime d'écoulement niveau R (région). L'environnement pratique n° 1107, publié par l'Office fédéral de l'environnement, Berne, 1–113 (www.modul-stufen-konzept.ch/f/hydro_startseite_f.htm).

Pottgiesser T., Halle M., Cargill A. 2004: Entwicklung einer (Abschnitts-)Typologie für den natürlichen Rheinstrom. Rapport final n° 146d du Umweltbüro Essen à l'intention de la Commission internationale pour la protection du Rhin (CIPR), Coblence, 1–34.

Repower 2010: Projekt «Chlus»: Wasserkraftwerke im vorderen Prättigau und in der Bündner Herrschaft. Brochure de Repower AG, Poschiavo, 1–7 (www.repower.com/ch/anlagen/projekte/wasserkraftwerk-chlus-rhein/).

Schager E., Peter A. 2004. Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse. Poissons – niveau R (région). Informations concernant la protection des eaux n° 44. Publié par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 1–64 (www.modul-stufen-konzept.ch/f/fische-f.htm).

Schälchli U., Eberstaller J., Moritz Ch., Schmutz S. 2003: Notwendige und wünschbare Schwallreduktion im Alpenrhein. Rapport établi sur mandat de la Commission internationale pour la protection du Rhin alpin, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, 1- 28.

Schweizer S., Neuner J., Heuberger N. 2009: Bewertung von Schwall/Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzeptes. Wasser Energie Luft 101(3): 194–202.

Stranner H. 1996: Schwallwellen im Unterwasser von Spitzenkraftwerken und deren Reduktion durch flussbauliche Massnahmen. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Nr. 20, Technische Universität Graz, 1-124.

Stucki P. 2010: Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Macrozoobenthos – niveau R (région). L'environnement pratique n° 1026. Publié par l'Office fédéral de l'environnement, Berne, 1–61 (www.modul-stufen-konzept.ch/f/mzb-f.htm).

Weber Ch., Schager E., Peter A. 2009: Habitat diversity and fish assemblage structure in local river widenings: A case study on a Swiss river. River Res. Applic 25: 687–701.

Werlen K. 2011: Schwall/Sunk: Optimales Abflussregime für Wasserkraftwerke. Wasser Energie Luft 103(1): 21–24.

Young P.S., Cech Jr. J.J., Thompson L.C. 2011: Hydropower-related pulsed-flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. Rev. Fish Biol. Fisheries, publ. online 9 avril 2011. DOI: 10.1007/s11160–011–9211–0.

Zeh Weissmann H., Könitzer Ch., Bertiller A. 2009: Ecomorphologie des cours d'eau suisses. Etat du lit, des berges et des rives. Résultats des relevés écomorphologiques (avril 2009). Etat de l'environnement n° 0926, Office fédéral de l'environnement, Berne, 1–100 (www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01075/index.html?lang=fr).

Zeller J. 1965: Meandering Channels in Switzerland. Communication n° 74 du Laboratoire d'hydraulique et de génie civil de l'EPF Zurich.

Autres publications spécialisées

Rapports de l'IRKA sur le Rhin alpin (www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx).

Eberstaller J., Haidvogl G., Jungwirth M. 1997: Gewässer- und Fischökologisches Konzept Alpenrhein. Grundlagen zur Revitalisierung. Rapport établi sur mandat de la Commission internationale pour la protection du Rhin alpin, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.

Eberstaller J., Eberstaller-Fleischanderl D., Wiesner Ch., Unfer G., Peter A., Schager E., Bohl E. 2005: Fischökologische Bestandesaufnahme Alpenrhein 2005. Rapport établi sur mandat de l'Amt für Jagd und Fischerei des Grisons, de l'Amt für Jagd und Fischerei de Saint-Gall, de l'Amt für Umwelt du Liechtenstein et de l'Amt du Landesregierung du Vorarlberger.

IRKA 2004: Schwallreduktion bzw. Hochwasserspitzenminderung im Alpenrhein. Mögliche Massnahmen und deren Auswirkungen. Rapport de la Commission internationale pour la protection du Rhin alpin, Projektgruppe Energie.

Michor K., Zarn B., Eberstaller J., Gasser M., Moritz Ch., Trösch J. 2005: Entwicklungskonzept Alpenrhein. Rapport succinct établi sur mandat de l'Internationale Regierungskommission Alpenrhein de l'Internationale Rheinregulierung.

Remarque: Une étude portant sur le Rhin alpin commandée également par l'IRKA est sur le point d'être achevée. Elle comprend une analyse quantitative d'éclusées pour diverses exigences, qui se fonde sur de vastes relevés de mesures et des modélisations. Ce projet comprend les projets partiels (Arbeitspakete) ci-après, dont chacun fera l'objet d'un rapport spécialisé exhaustif.

AP 1 Anforderungsprofile und Kolmation
AP 1+ Hydrologie
AP 2 Adaptierung der Präferenzkurven, Definition von Eingangsparametern für Habitatmodellierung
AP 3 Abiotische Untersuchungen bei unterschiedlichen Wasserständen als Basis für Aufbau und Kalibrierung des Modells
AP 4 Hydraulische Modellierung
AP 5 Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Größe des Schwalleinflusses am Alpenrhein

Rapports du projet Rhône-Thur sur divers cours d'eau (www.rhone-thur.eawag.ch/publikationen.html).

Alp M. 2006: Nahrungsökologie der Bachforelle in alpinen Flüssen mit Schwallbetrieb. Travail de diplôme, Université Humboldt de Berlin et Eawag Kastanienbaum.

Brögli M. 2001: Geochemische und wasserisotopische Untersuchungen im Rhoneabschnitt zwischen Sion und Branson. Travail de diplôme, Eawag Kastanienbaum.

Caviezel R. 2006: Reproduktion der Seeforelle im Vorderrhein. Travail de diplôme, Eawag Kastanienbaum.

Fette M. 2005: Tracer Studies of River-Groundwater Interaction under Hydropeaking Conditions. Thèse n° 16103, EPF de Zurich, Eawag Kastanienbaum.

Frey M. 2003: Temperaturmodellierungen – Auswirkungen von Kraftwerken auf das Temperaturregime in Zuflüssen der Rhone. Travail de diplôme, Eawag Kastanienbaum.

Karaus U. 2004: The Ecology of Lateral Aquatic Habitats along River Corridors. Thèse n° 15841 EPF de Zurich, Eawag Dübendorf.

Künzli F. 2005: Fischökologische Untersuchung in vier schwallbeeinflussten Schweizer Fliessgewässern. Travail de diplôme, EPF de Zurich et Eawag Kastanienbaum.

Meier W., Frey M., Moosmann L., Steinlin S., Wüest A. 2004. Schlussbericht Rhone Ist-Zustand. Rhone-Thur Projekt, Subprojekt I-2: Wassertemperaturen und Wärmehaushalt der Rhone und ihrer Seitenbäche. Rapport de l'Eawag, Kastanienbaum.

Meile T. 2007: Influence of Macro-Roughness of Walls on Steady and Unsteady Flow in a Channel. Thèse n° 3952, EPF de Lausanne (http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2007/3952/EPFL_TH3952.pdf).

Mendez R. 2007: Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein. Travail de diplôme, Eawag Kastanienbaum.

Pätzold A. 2004: Life at the Edge – Aquatic-terrestrial interactions along rivers. Thèse n° 15825, EPF de Zurich, Eawag Kastanienbaum.

Portmann M., Baumann P., Imhof B. 2004: Schwebstoffhaushalt und Trübung der Rhone. Publication du projet Rhône-Thur, Eawag Kastanienbaum.

Uhlmann V. 2001: Die Uferzoozönosen in natürlichen und regulierten Flussabschnitten. Travail de diplôme, Eawag Dübendorf.

Weber Ch. 2007: River rehabilitation and fish. The challenge of initiating ecological recovery. Thèse n° 16895, EPF de Zurich, Eawag Kastanienbaum.

Autres publications

Céréghino R. 1997: Influence des éclusées hydroélectriques sur la structure et la dynamique des populations d'invertébrés d'une rivière pyrénéenne de moyenne montagne. Thèse N° 2535, Université Paul Sabatier, Toulouse (www.ecolab.ups-tlse.fr/spip.php?article200).

Gore J.A., Niemela S., Resh V.H., Statzner B. 1994: Near-substrate hydraulic conditions under artificial floods from peaking hydropower operation: A preliminary analysis of disturbance intensity and duration. Regulated Rivers: Research & Management 9: 15–34.

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 Res. Applic. 19: 589–603 (http://sintef.org/upload/Energiforskning/pdf/Vannressurser/Halleraker%20et%20al.%202003_fulltext.pdf).

Hunter M.A. 1992: Hydropower flow fluctuations and Salmonids: A review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigation. Technical Report no. 119, State of Washington, Department of Fisheries, Olympia, WA (http://wdfw.wa.gov/publications/01085/wdfw01085.pdf).

Kühne A. 1984: Schwall- und Sunkerscheinungen in einer Flussstauhaltung. Wasser Energie Luft 76: 213–219.

Limnex 2004: Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fliessgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. Rapport établi sur mandat du WWF Suisse, Zurich (http://assets.wwf.ch/downloads/wwf_schwallbericht.pdf).

Marti J. 2008: Neukonzessionierung der Kraftwerke Linth-Limmern in Linthal aus Sicht der Behörden. Wasser Energie Luft 100(4): 295–300.

Moog O., Pirker O. 2008: Schwall und Sunk in österreichischen Fliessgewässern. Positionspapier der Arbeitsgruppe «Schwall» der Fachgruppe Wasserbau, Ingenieurbiologie und Ökologie des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV), Vienne (www.oewav.at/Page.aspx_param_target_is_67737.v.aspx).

Murchie K.J., Hair K.P.E., Pullen C.E., Redpath T.D., Stephens H.R., Cooke S.J. 2008: Fish response to modified flow regimes in regulated rivers: Research methods, effects and opportunities. River Res. Applic. 24: 197–217 (http://www3.carleton.ca/fecpl/pdfs/Murchie%20et%20al%20%202008%20River%20Research%20%20Apps.pdf).

Parasiewicz P., Schmutz S., Moog O. 1998: The effect of managed hydropower peaking on the physical habitat, benthos and fish fauna in the River Bregenzerach in Austria. Fisheries Management and Ecology 5: 403–417.

Pfaundler M., Keusen M. 2007: Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz. Connaissance de l'environnement n° 07/12, publié par l'Office fédéral de l'environnement, Berne (www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00049/index.html?lang=de).

Saltveit S.J., Halleraker 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.

Sear D.A. 1995: Morphological and sedimentological changes in a gravel-bed river following 12 years of flow regulation for hydropower. Regulated Rivers: Research & Management 10: 247–264.

Schnell J. 2005: Gewässerökologische Auswirkungen des Schwellbetriebs am Lech im Bereich des Naturschutzgebietes «Litzauer Schleife». Publié par le Landesfischereiverband Bayern e.V., Referat für Arten- und Gewässerschutz, Munich (www.marcosander.de/pdf/Schwellbetriebsbrosch.pdf).

Steele R.J., Smokorowski K.E. 2000: Review of Literature related to the Downstream Ecological Effects of Hydroelectric Power Generation. Rapport technique canadien n° 2334 des sciences halieutiques et aquatiques (www.dfo-mpo.gc.ca/Library/251234.pdf).

Valentin, S. 1997: Effets écologiques des éclusées en rivière – Expérimentations et synthèse bibliographique. Gestion des milieux aquatiques n° 13, Cemagref, Laboratoire d'hydroécologie quantitative, Lyon (www.cemagref.fr/le-cemagref/lorganisation/les-centres/lyon/urmaly/Hydroecologie_Cours_dEau/documents/publications-hydromorphologie-alterations-physiques-restauration/valentin-1997-effets-ecologiques-des-eclusees-en-riviere/view?searchterm=valentin).

VAW et LCH 2006: Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk – Eine Standortbestimmung. Rapport du Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich et du Laboratoire de constructions hydrauliques de l'EPF de Lausanne sur mandat de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux (www.swv.ch/Dokumente/Studien,+Literatur/Schwall_und_Sunk_StudieVAWLCH_2006_SWV.pdf).

VAW 2007: Machbarkeit und Kosten der Schwallreduktion in der Schweiz. Rapport du Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement, Berne.

Remarque: A l'adresse www.mendeley.com/groups/1482343/hydro-environmental-peaking/, l'Université pour le génie rural (Bodenkultur) de Vienne (BOKU) prépare une plateforme internet qui servira au libre échange d'informations scientifiques sur la problématique des éclusées. Avec le temps, on y trouvera un nombre croissant de publications et de rapports sur ce sujet au format pdf.

Conférences techniques

ÖWAV 2008: Schwall und Sunk – Ökologische und energiewirtschaftliche Herausforderungen. Conférence de l'österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftverband en collaboration avec d'autres organismes, le 19 novembre 2008 à Vienne (www.eco.at/termine/docs/26527_Folder_Schwall62728.pdf).

VAW 2008: Neue Anforderungen an den Wasserbau. Symposium international les 11 et 12 septembre 2008 à Zürich, vol. 1, Communication n° 207 du Laboratoire d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie de l'EPF de Zurich (www.vaw.ethz.ch/publications/vaw_reports).

WA 21 2009: Eclusées – Conciliation des impératifs énergétiques, économiques et écologiques. Séminaire de l'Agenda 21 pour l'eau en collaboration avec d'autres organisations, le 9 mars2009 à Soleure (www.wa21.ch/index.php?page=219).

> Répertoires

Glossaire et abréviations

Amplitude de l'éclusée
Différence entre les débits ou les niveaux d'eau mesurés durant le débit d'éclusée et le débit plancher.

ARE
Office fédéral du développement territorial

ARGE
Communauté de travail *(Arbeitsgemeinschaft)*

Bassin de compensation
Bassin d'accumulation ouvert servant à atténuer les variations du débit en amont ou en aval d'une centrale hydroélectrique.

Caverne de compensation
Bassin de compensation souterrain.

CEATE
Commissions de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie des Chambres fédérales (CEATE-N = CEATE du Conseil national; CEATE-E = CEATE du Conseil des Etats)

Centrale à accumulation
Centrales hydroélectriques qui stockent l'eau pendant plusieurs jours, voire des mois, dans des bassins de compensation ou des lacs d'accumulation, afin de la turbiner par intermittence, lorsque la demande de courant est forte. La restitution de l'eau turbinée engendre des éclusées.

Centrale au fil de l'eau
Centrale hydroélectrique qui turbine l'eau plus ou moins en continu et qui la restitue au cours d'eau aussitôt après le barrage (centrale en rivière) ou plus loin en aval (centrale avec dérivation). Dans le cas de centrales au fil de l'eau aménagées sur de grandes rivières, le volume de rétention peut servir à accumuler l'eau pendant quelques heures. L'exploitation de cette eau engendre également des éclusées.

Charriage
Matières solides d'un diamètre supérieur à 2 mm environ (pierres, gravier, sable) que le courant déplace sur le fond du lit.

Connectivité longitudinale
Divers obstacles (chutes, murs de barrage, etc.) peuvent séparer les écosystèmes qui se succèdent sur le tracé d'un cours d'eau. Rétablir la connectivité longitudinale (en aménageant une échelle à poissons, p. ex.) permet de garantir les échanges d'animaux et de végétaux entre ces écosystèmes.

Débit d'éclusée
Débit s'écoulant dans le cours d'eau en aval de la restitution en période de 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 d'éclusée maximal
Niveau de l'eau durant le débit de l'éclusée.

Débit d'éclusée minimal
Niveau de l'eau durant le débit plancher.

Débit équipé
Débit maximal (d'eau d'exploitation) qu'une centrale hydroélectrique pourra 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.

Dérive
Phénomène dans lequel des organismes aquatiques sont emportés (dérive passive) ou se laissent emporter (dérive active) par le courant.

Dotation (débit de)
Quantité d'eau, dans le cas d'un prélèvement, qui est déversée directement, ou qui reste, dans le tronçon à débit résiduel. Le débit de dotation est en règle générale spécifié dans la concession.

Eau d'exploitation
Eau turbinée dans une centrale hydroélectrique.

(Eco)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.

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.

Etat actuel
Etat constaté actuellement, situation initiale.

Etat de référence
Etat que présente la majeure partie d'un cours d'eau non influencé par l'homme (donc état naturel ou proche de l'état naturel), du moins dans le domaine considéré (hydrologie, p. ex.), et qui peut donc servir de base de comparaison ou de mesure pour apprécier des tronçons de cours d'eau soumis à des atteintes.

Exploitation par éclusées
On parle également de «régime d'éclusées». Variations régulières du débit au cours de la journée, produite par la présence de centrales hydroélectriques fonctionnant par intermittence.

HYDMOD
Module Hydrologie du système modulaire gradué des méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau.

Hydrogramme
Evolution des débits ou des niveaux d'eau dans le temps.

Indicateur
Grandeur mesurée ou calculée utilisée pour évaluer l'état des cours d'eau.

LACE
Loi fédérale du 21 juin 1991 sur l'aménagement des cours d'eau (RS 721.100)

LDFR
Loi fédérale du 4 octobre 1991 sur le droit foncier rural (RS 211.412.11)

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)

Matières en suspension
Matières solides d'un diamètre inférieur à 2 mm environ (sable, limon, argile) transportées dans les flots.

OEaux
Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (RS 814.201)

OEne
Ordonnance du 7 décembre 1998 sur l'énergie (RS 730.01)

OFEN
Office fédéral de l'énergie

OFEV
Office fédéral de l'environnement (anciennement OFEFP)

Point de restitution
Emplacement où l'eau turbinée par une centrale hydroélectrique est restituée au cours d'eau.

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).

Rapport débit d'éclusée/débit plancher
Rapport entre le débit d'éclusée maximal et le débit plancher minimal.

Repos du fond du lit
Période de la saison froide durant laquelle les débits sont naturellement faibles, de sorte que les matériaux du fond du lit restent au repos.

Revitalisation
Rétablissement, grâce à des travaux d'aménagement, des fonctions naturelles d'un cours d'eau superficiel endigué, corrigé, recouvert ou mis sous terre.

Rhithron
Portion supérieure à moyenne d'un cours d'eau allant de la source à la zone où la pente est faible. Sur le plan biologique, elle est caractérisée par la présence d'espèces majeures comme la truite (épirhithron à métarhithron) et l'ombre (hyporhithron).

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).

Taux de descente du niveau d'eau
Vitesse à laquelle le niveau d'eau descend après l'éclusée [en cm/min]. On utilise également le taux de diminution du débit [en $m^3/s \times min$].

Taux de montée du niveau d'eau
Vitesse à laquelle le niveau d'eau monte pendant l'éclusée [en cm/min]. On utilise également le taux d'accroissement du débit [en $m^3/s \times min$].

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»).

Turbidité
Diminution de la transparence de l'eau provoquée par une augmentation de la quantité de matières en suspension.

Zone alluviale
Zone inondable le long des cours d'eau.

Zone de marnage
Zone du lit d'un cours d'eau inondée durant le débit d'éclusée et mise à sec durant le débit plancher.

Figures

Fig. 1
Succession des diverses phases et étapes de la planification et de la mise en œuvre dans le domaine des éclusées, avec les chapitres correspondants du module 13

Fig. 2
Principaux paramètres d'un régime d'éclusées, illustrés au moyen des courbes de débit et de niveau d'un cours d'eau à éclusées typique 16

Fig. 3
Planification des mesures d'assainissement des éclusées 21

Fig. 4
Détermination, dans le cadre de la planification cantonale, des atteintes graves provoquées par les éclusées 22

Fig. 5
Classes d'état servant à apprécier le phénomène d'éclusée dans HYDMOD 24

Fig. 6
Déroulement possible de la planification et des analyses, avec les divers indicateurs à évaluer ainsi que le détail des trois étapes («raccourci», «appréciation sommaire» et «évaluation approfondie») 35

Fig. A1
Définition de différents états du cours d'eau au fil du temps (de gauche à droite) 60

Fig. A2
Classes d'état et couleurs utilisées dans le système modulaire gradué 61

Fig. A3
L'état du cours d'eau compte tenu de l'effet des éclusées (débit) et de la morphologie 62

Fig. A4
Principe de l'état le plus sensible 65

Fig. A5
Morphologie escomptée d'un cours d'eau en fonction de la largeur relative du lit (ordonnées = L_L/h) et de la profondeur moyenne d'écoulement (abscisses = h/d_m; diagramme de da Silva) 68

Fig. A6
Emplacements des sites à étudier dans une situation simple 71

Fig. A7
Emplacements des sites à étudier dans une situation complexe 72

Fig. A8
Estimation du volume d'un bassin de compensation pour une centrale fonctionnant par éclusées 74

Fig. A9
Relevés de profils en travers, avec rapport entre niveau et débit et subdivision en bandes longitudinales afin de calculer les surfaces mises à sec 81

Fig. A10
Méthode recommandée, fonction de la morphologie, de la longueur et de l'importance écologique du cours d'eau 82

Fig. A11
Somme du nombre de bandes dans le tronçon considéré (permettant de calculer la superficie) où le substrat est stable et qui présentent les caractéristiques d'une frayère potentielle, compte tenu du substrat, ou d'un habitat pour juvéniles, compte tenu de la profondeur de l'eau 87

Fig. A12
Relation entre le rendement piscicole annuel à l'hectare (RAH), selon une estimation théorique, et l'altitude moyenne des tronçons de cours d'eau étudiés 92

Fig. A13
Nombre de familles EPT et IBCH selon l'indicateur B2 dans divers cours d'eau de Suisse et du Liechtenstein 102

Fig. A14
Evaluation du colmatage interne en fonction de la concentration de matières en suspension au début de l'éclusée, par un froid matin d'hiver 106

Fig. A15
Comparaison des normes à appliquer aux débits résiduels lors du renouvellement d'une concession selon les art. 31 à 33 (gauche) et dans le cas d'un assainissement au sens de l'art. 80 LEaux (droite) 109

Fig. A16
Exemple de courbe des températures subissant l'influence d'un régime d'éclusées, avec indication des pics 116

Tableaux

Structure de l'aide à l'exécution *Renaturation des eaux* 10

Tab. 1
Indicateurs utilisés pour l'appréciation sommaire et l'évaluation approfondie, ainsi que pour estimer l'ampleur des mesures destinées à atténuer les éclusées 38

Tab. 2
Utilisation possible des indicateurs de l'évaluation approfondie pour estimer approximativement l'atténuation à obtenir à partir de quelques paramètres caractéristiques des éclusées 50

Tab. A1
Nouvelles dispositions régissant les éclusées inscrites dans la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) et dans l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) 56

Tab. A2
Relation entre la morphologie des cours d'eau et les atteintes typiques causées par les éclusées ou les déficits écologiques qu'elles engendrent 64

Tab. A3
Taux de survie des truites de rivière selon le stade de développement 85

Tab. A4
Amplitudes de référence des variations de température spécifiques au type de cours d'eau en °C 115