Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 98 (2006)
Heft: 2

Artikel: Alpreserv. 1. Teil
Autor: Schleiss, Anton / De Cesare, Giovanni / Hauenstein, Walter
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939338

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Alpreserv (1. Teil)

Avant-propos/Vorwort

■ *Anton Schleiss, Giovanni De Cesare*

Avant-propos

Dans le cadre du programme Interreg III B la Suisse participe au projet de l'UE Alpreserv. Dix-sept Partenaires de l'arc alpin collaborent dans le but de trouver des solutions durables pour la gestion des sédiments dans les réservoirs alpins. Le projet est divisé en neuf thèmes, celui consacré à l'alluvionnement des retenues est coordonné par le groupe Suisse. Les premières activités communes en Suisse démarrent cette année à Tourtemagne sur le site du projet pilote. L'objectif final est de trouver des solutions durables à la problématique de la sédimentation dans les réservoirs au niveau européen.

Cette conférence qui s'adressait à tous les professionnels concernés par la gestion des sédiments dans les retenues, en particulier ceux qui sont intéressés par les projets en cours dans le domaine de l'assainissement des cours d'eau en aval des retenus en Valais, a suscité un vif intérêt avec plus de 60 participants.

Nous remercions tous les auteurs, modérateurs et conférenciers pour leurs contributions intéressantes. Nous remercions également l'Association suisse pour l'aménagement des eaux et le Service des forces hydrauliques du Canton du Valais du soutien apporté à l'organisation de la conférence.

Vorwort

Die Schweiz beteiligt sich am EU-Projekt Alpreserv im Rahmen des Programms Interreg III B. 17 Partner aus dem Alpenraum befassen sich länderübergreifend mit dem nachhaltigen Sedimentmanagement in alpinen Speichern. Das Projekt ist in neun Unterthemen eingeteilt, wobei der Bereich «Stauraumverlandung» von der Schweiz aus koordiniert wird. In diesem Jahr werden die ersten gemeinsamen Aktivitäten der Schweizer Projektgruppe mit dem Pilotprojekt Tourtemagne starten. Ziel des Projektes ist es, nachhaltige Lösungen zur Sedimentbewirtschaftung auf europäischem Niveau zu gestalten.

Diese Fachtagung, welche sich an alle in der Sedimentbewirtschaftung von Speichern tätigen Fachleute richtete, insbesondere an diejenigen, welche im Kanton Wallis an der Sanierung der durch Speicherbetrieb beeinträchtigten Seitenbäche beteiligt sind, ist mit mehr als 60 Teilnehmern auf ein reges Interesse gestossen.

Wir danken allen Autoren, Sessionsleitern und Referenten für die interessanten Beiträge. Wir danken zudem dem Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband und der Dienststelle für Wasserkraft des Kantons Wallis für die Mithilfe bei der Organisation.

Prof. Dr. *Anton Schleiss* et
Dr. *Giovanni De Cesare*

Einführung in das Tagungsthema

Problematik der Stauseeverlandung

■ *Anton Schleiss*

Als Verlandung wird der Prozess bezeichnet, welcher Seen mit Sedimenten auffüllt und im Endzustand die Wasserflächen wieder zu Land werden lässt. Diesem Prozess sind grundsätzlich alle stehenden Süsswassergewässer und viele Meeresbuchten unterworfen. Insbesondere der Sedimenttransport durch die Fliessgewässer, welche die Seen speisen, beschleunigt den Verlandungsprozess.

Auch künstliche Seen, welche zum Rückhalt von Wasser für die Trinkwasserversorgung, die Bewässerung, die Produktion von Wasserkraft oder auch für den Hochwasserschutz geschaffen wurden, unterliegen diesem Umwandlungsprozess. Da die Verlandung sukzessive das Nutzvolumen dieser Stauseen reduziert, stellt sich die Frage nach deren Nachhaltigkeit.

Stauseen weisen die morphologische Besonderheit auf, dass der tiefste Punkt sich nahezu immer bei der Talsperre und damit bei den Ausflussorganen befindet. Zudem kann der Ausfluss aus einem Stausee innerhalb gewisser Grenzen reguliert und somit die Wasserspiegellage beeinflusst werden. Die Ausflussorgane erlauben bei vielen Stauseen eine nahezu vollständige Absenkung und Entleerung. Diese morphologischen und hydrologischen Besonderheiten von Stauseen gegenüber von natürlichen Seen ermöglichen bei letzteren mehrere und wirksamere Massnahmen gegen die Verlandung. Die Ursache der Verlandung von Stauseen ist vor allem im Eintrag von Geschiebe und Schwebestoffen durch die Fliessgewässer zu suchen, also den zuflussbedingten Ablagerungen. Bei seichten Stauseen können sich etwa auch durch biologische Prozesse Sedimente bilden. Im Weiteren ist ein Zuwachsen durch die Vegetation möglich (Moorbildung). Geschiebe und Schwebestoffe sind Erosionsprodukte aus dem Abtrag des Einzugsgebietes des Stausees. Geschiebe besteht aus gröberen Komponenten, welche in Sohlennähe der Fliessgewässer transportiert werden und sich beim Eintritt in den Stausee in einem Delta ablagern. Schwebestoffe stammen aus der Oberflächenerosion sowie der Zertrümmerung und dem Abrieb von Grobkomponenten. Sie lagern

Bild 1. Stausee Mauvoisin während der Entleerung im Mai 1985.

Bild 3. Sedimente vor Grundablass des Stausees Mauvoisin während der Entleerung im Mai 1985.

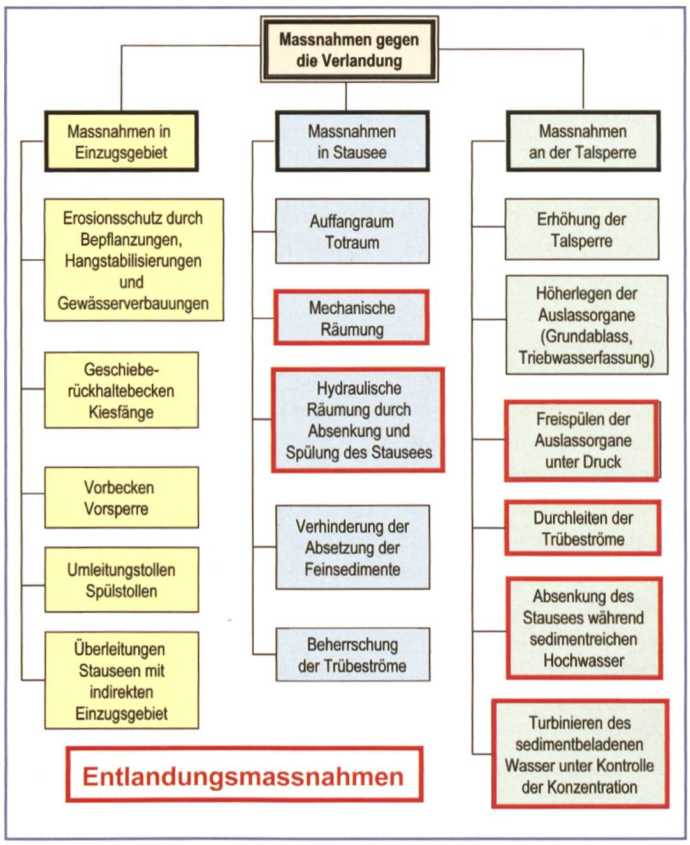

Bild 2. Übersicht über die denkbaren Massnahmen gegen die Verlandung.

sich ausser dem Delta entsprechend ihrem Gewicht über den ganzen Stausee verteilt ab. Zudem können die Feinsedimente auch sporadisch während Hochwasser als Trübeströme innerhalb des Stausees bis zur Talsperre transportiert werden.

Die durchschnittlichen Verlandungsraten aller Stauseen werden weltweit auf 1–2% geschätzt, das heisst, dass jährlich 1–2% der weltweiten Speicherkapazität verloren geht. Wenn man bedenkt, dass der jährliche Zuwachs des weltweiten Speichervolumens durch die Erstellung von neuen Stauseen eher bei 1% als bei 2% liegt, so zeigt sich in aller Deutlichkeit das Problem der Nachhaltigkeit. Wenn keine wirksamen Massnahmen gegen die Verlandung der Stauseen unternommen werden, wird weltweit gesehen gegen Ende des 21. Jahrhunderts der grösste Teil ihres Nutzvolumens verloren gegangen sein. Die Verlandungsraten bei den einzelnen Stauseen sind natürlich sehr unterschiedlich und hängen stark von der klimatischen Lage und der Konzeption des Stausees mit seinen Auslassorganen ab. So ist beispielsweise die durchschnittliche Verlandungsrate der Stauseen in der Schweiz mit 0,2% jährlich bedeutend tiefer. Hinsichtlich des Nutzvolumens sind also die alpinen Stauseen weit nachhaltiger. Dennoch ist nach 40 bis 60 Jahren Betrieb auch für diese Stauseen die Verlandung eine ernsthafte Bedrohung, da Trübeströme sporadisch grosse Sedimentvolumen lawinenartig bis zur Talsperre transportieren. Dort beeinträchtigen die konzentrierten Ablagerungen den sicheren Betrieb der Auslassorgane wie Triebwasserfassungen und Grundablässe.

Die denkbaren Massnahmen gegen die Verlandung von Stauseen können grundsätzlich in präventive und retroaktive Massnahmen eingeteilt werden. Mit den Ersteren soll die Entstehung der Verlandung bekämpft werden, mit Letzteren diese beseitigt werden. Ferner kann zwischen Massnahmen im Einzugsgebiet, im Stausee sowie an der Talsperre unterschieden werden. *Bild 2* gibt eine Übersicht über die denkbaren Massnahmen gegen die Verlandung. In einer kürzlich erstellen ATV-DVW K-Schrift (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) werden die verschiedenen Methoden und Verfahren zur Entlandung von Stauseen erläutert und hinsichtlich ökologischer Aspekte diskutiert. Diese sind in *Bild 2* speziell hervorgehoben.

Der grösste Anteil der in einen Stausee gelangenden Feststofffracht besteht normalerweise aus Schwebstoffen (80 – 90% bei kleineren und mittleren, 90 – nahezu 100% bei grösseren Stauseen). Das Geschiebe ist eher von untergeordneter Bedeutung. Grosse Schwebstofffrachten werden vorwiegend während Hochwasserabflüssen in Fliessgewässern transportiert. Der stark mit Feinsedimenten beladene Zufluss aus dem Einzugsgebiet in den Stausee hat ein grösseres Raumgewicht als das stehende Wasser im Stausee. Die in den Stausee fliessende trübe Wassermasse stösst vorerst das klare Seewasser von der Mündung weg vor sich hin, bis ein Impulsgleichgewicht entsteht. Dann beginnt das dichtere, schwebstoffbeladene Wasser in das leichtere Seewasser abzutauchen. Es entsteht dadurch ein Unterwasserstrom, Trübestrom genannt, welcher aus einem Gemisch von Wasser und Feinsedimenten in Suspension besteht. Physikalisch kann dieser Trübestrom mit einer Schneestaublawine an einer Talflanke verglichen werden. Der Trübestrom bewegt sich auf dem geneigten Seeboden mit beachtlicher Geschwindigkeit in Richtung tiefster Punkt bei der Talsperre. Für den Transport und die Ablagerung der Sedimente in den alpinen Stauräumen sind oft diese Trübeströme verantwortlich. Deshalb sind denkbare technische Massnahmen zur Beherrschung der Trübeströme ein Forschungsschwerpunkt in der Schweiz. Um diesen Verlandungsprozess innerhalb des Stausees zu beherrschen, wurden die Wirkungen von Hindernissen, Geotextilgitter, Wasserstrahlen und Blasenschleier auf den Trübestrom mit physikalischen Versu-

chen und numerischen Simulationen untersucht, um Empfehlungen für die praktische Anwendung zu formulieren.

Eine wichtige Frage ist auch, wie Feinsedimente in alpinen Speichern am Absetzen gehindert oder wieder aufgewirbelt werden können. Falls dies gelingt, könnten sie kontinuierlich über die Auslassorgane entfernt werden. Dabei sind begrenzte Feststoffkonzentrationen im Turbinierwasser durchwegs akzeptierbar. Dank neuartigen Materialien werden zudem die Turbinen immer abrasionsresistenter. Um die Feinmaterialien in einem Stausee immer in Schwebe zu halten, müsste eine genügend grosse Turbulenz mittels Rotationsströmungen zugeführt werden. Diese könnte beispielsweise in alpinen Stauseen unter Ausnützung der Energie der Beileitungen erfolgen. Denkbar wäre auch eine Aufwirbelung mit einem im Staubereich verschiebbaren Düsenmixer (Wasserstrahl und/oder Luftblasenschleier) oder mechanischem Mixer. Selbstverständlich muss dabei die Schwebstoffkonzentration begrenzt werden, um nicht nur Abrasionsprobleme an den hydraulischen Maschinen, sondern auch ökologische Probleme im Unterwasser zu verhindern.

Aufgrund der klimatischen Veränderungen und den daraus resultierenden Folgen, wie Rückzug der Gletscher, Anstieg der Nullgrad- und Permafrostgrenze und verstärkter Niederschlag in den vegetationsarmen Wintermonaten, ist in Zukunft eine Zunahme der Sedimenteinträge in alpine Stauseen zu erwarten. Die Speicher werden dann neben der Energieerzeugung auch die Aufgabe bekommen, Wasser während der zunehmenden Trockenperioden im Sommer bereitzustellen. In diesem Sinne müssen die alpinen Stauseen sozusagen die Funktion der Gletscher übernehmen, dass heisst, das Überflusswasser im Winter zu speichern, um es dann in den trockenen Sommern wieder für Energieproduktion und Anreicherung der Flüsse abzugeben. In diesem Jahrhundert wird es also eine Hauptaufgabe der Planer und Betreiber von Speichern sein, mit effizienten Massnahmen frühzeitig der verschärften Verlandungsproblematik entgegenzuwirken und ihre nachhaltige Nutzung zu gewährleisten.

Das Europäische Forschungsprojekt Alpreserv im Rahmen des Programms Interreg III B soll dabei wichtige Impulse für nachhaltige Lösungen hinsichtlich Stauraumverlandung geben und alle Beteiligten hinsichtlich dieser Problematik sensibilisieren.

Anschrift des Verfassers
Prof. Dr. *Anton Schleiss*
Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
CH-1015 Lausanne
anton.schleiss@epfl.ch

Vorstellung des Projektes Alpreserv

Walter Hauenstein

Zusammenfassung

Die Speicher von wasserbaulichen Anlagen im Alpenraum erfüllen vielfache Zwecke. So dienen sie zur Erzeugung elektrischer Energie, zur Gewinnung von Trinkwasser und zur Sicherung des Hochwasserschutzes. Die Nachhaltigkeit der Speicher kann jedoch durch die Verlandung infolge des Sedimenttransportes beeinträchtigt werden. Dies gilt sowohl für Speicher von Hochdruckanlagen wie auch für Speicher an Flüssen. Demgegenüber können die fehlenden Feststoffe die ökologische Vielfalt, die Stabilität der Flusssohle und somit auch den Grundwasserstand im Unterlauf der Absperrbauwerke beeinflussen.

Aus diesen Gründen sind die Betreiber von wasserbaulichen Anlagen bemüht, ein nachhaltiges Sedimentmanagement vorzusehen. Das EU-Interreg-III B-Projekt Alpreserv wurde initiiert, um auf einer internationalen Ebene diese Bemühungen in Bezug auf die wasserwirtschaftlichen, rechtlichen und ökologischen Randbedingungen zusammenzufassen und einen gegenseitigen Erfahrungsaustausch zu ermöglichen. Das Projekt wird in der Schweiz vom Amt für Raumentwicklung (ARE), vom Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) und von den Schweizer Partnern finanziert.

Résumé

Le projet vise principalement sur le transfert de connaissance, la recherche en commun des meilleures solutions pratiques pour réduire l'alluvionnement des réservoirs alpins ou même diminuer la quantité de matériel déjà déposé.

17 partenaires en provenance de l'arc alpin sont réunis dans le projet commun Alpreserv pour élaborer des stratégies transnationales de gestion des sédiments dans des réservoirs alpins. Le partenariat est composé d'administrations publiques, d'exploitants ou propriétaires d'aménagements hydroélectriques, d'institutions de recherche et d'organisations non-gouvernementales (ONG). Ce groupement constitué d'administrations, d'entreprises privées, de scientifiques et autres parties prenantes garantit un réseau d'excellence et une intégration de toute une variété d'aspects, d'opinions et de savoir concernant la gestion des sédiments.

Divers concepts de gestion seront examinés sur sept sites de projets pilotes accompagnés d'investigations étendues pour pouvoir juger l'efficacité et les impacts sur les écosystèmes. Le choix des actions pilotes s'est fait avec l'idée de représenter les différents types d'aménagements dans l'espace alpin. A part des petits réservoirs de haute altitude comme celui de Tourtemagne en Valais, des réservoirs plus grands de la région préalpine ainsi qu'un aménagement au fil de l'eau ont été sélectionnés. Les mesures prévues sur la durée du projet de trois ans visent sur la minimisation de l'apport en sédiment, l'utilisation des courants de densité pour faire transiter les sédiments, les opérations de purge, la relocalisation ainsi que la réutilisation alternative des sédiments fins. Les études sont parrainées par le programme Interreg III B de l'Union Européenne. La participation de la Suisse est financée par l'Office fédéral du développement territorial (ARE), l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG) et les partenaires helvétiques.

Abstract

Alpine water reservoirs are major vital components of water supply, renewable electric energy generation, recreation and flood protection for alpine regions as well as large downstream areas. Sustainability of these reservoirs is severely threatened by sedimentation resulting from natural geomorphologic processes. The construction of new reservoirs in the fragile alpine environment or the raising of dams and dikes along rivers and cities occupying valuable land may compensate for the loss of reservoir capacity. To maintain storage volume, measures to reduce sedimentation should be initiated. If sedimentation has already occurred or may not be prevented, methods of excavation must be taken into consideration such as flushing or mechanical removal. These are very expensive tasks and may affect sensitive alpine environment seriously. Accumulation in reservoirs reduces valuable morphological processes of rivers downstream affecting biologic diversity and ecologic dynamics. However, failing to take reservoir sedimentation management measure will result in the loss of storage capacity and consequentially in the loss of flood protection abilities, water supply reliability and hydro power generation potential.

17 partners from Germany, Austria, Italy, Switzerland, and Slovenia agreed to work together in the EU-funded project Alpreserv on transnational strategies of sediment management in alpine reservoirs. The partnership consists of State Authorities, hydro power companies, research institutions and Non-Governmental Organisations (NGOs). The composition of administrations, companies, scientists and stakeholders guarantees an excellent networking as well as integration of the whole variety of aspects, opinions and knowledge concerning sediment management issues.

Seven pilot action sites have been selected in order to study, apply and monitor sediment management strategies. The project mainly aims at the transfer of knowledge, the common search for best practice solutions in order to reduce the sedimentation of alpine reservoirs or even to reduce the amount of already deposited material. The studies are sponsored by the European Regional Development Fund (ERDF) as well as the participation institutions and Swiss authorities throughout a working period of three years as part of the Interreg III B programme.

1. Überblick

Im Rahmen des EU initiierten Interreg-III B-Programms wurde das Projekt Alpreserv gestartet, das 17 Projektpartner aus fünf Ländern (Deutschland, Österreich, Italien, Schweiz und Slowenien) vereint. Die Ziele des Projekts bestehen darin, durch einen Wissensaustausch, durch Pilotprojekte und eine gemeinsame Datenbank die Probleme der Verlandung von Speichern im alpinen Raum auf einer internationalen Expertenebene zu diskutieren und gemeinsam Lösungen zu erarbeiten. Das durch Mittel der EU (European Regional Development Fund – ERDF) geförderte Interreg-III-Programm zielt daraufhin, die ökonomische und soziale zwischenstaatliche und überregionale Kooperation und Kommunikation zu fördern.

Das Subprogramm Alpine Space (http://www.alpinespace.org/) bezieht sich räumlich gesehen auf die Alpen-Anrainerstaaten (siehe *Bild 1*) mit den vier Schwerpunktthemen der Entwicklung einer nachhaltigen Raumordnung, der Förderung zwischenstaatlicher Projekte, der Entwicklung effizienter Lösungen für Transport- und Kommunikationsprobleme und dem Schutz der Bevölkerung sowie der Infrastruktur vor den Auswirkungen natürlicher Katastrophen.

Alpreserv (Sustainable Sediment Management of ALPine RESERVoirs considering ecological and economical aspects) zählt im Rahmen des Interreg-Programms zum Kapitel 3, das Massnahmen in der Natur und Ressourcen, im Speziellen das Wasser betreffend, zum Inhalt hat. Basierend auf der grossen Bedeutung des Wassers für den Alpenraum als natürliche

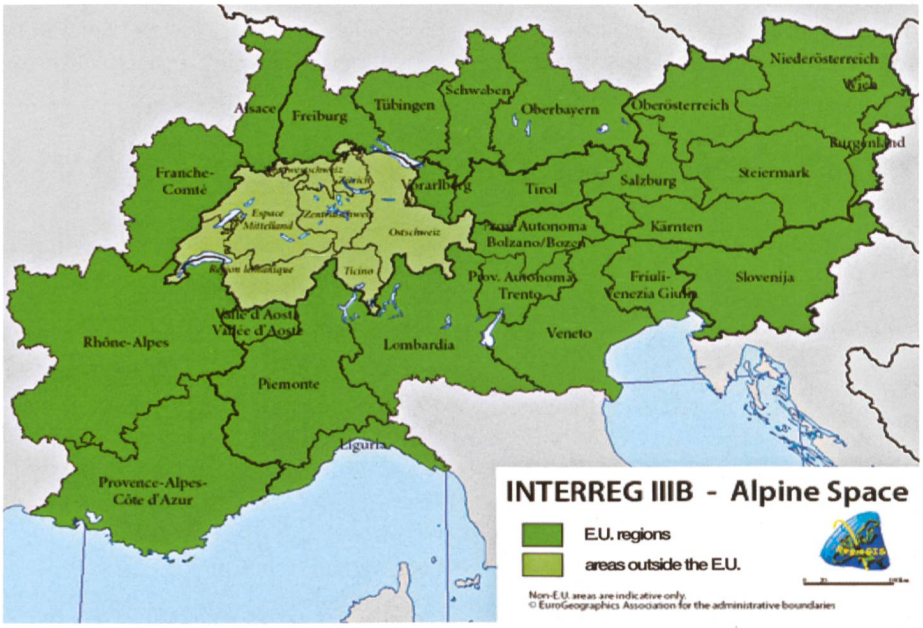

Bild 1. Die räumliche Erstreckung des Interreg-III B – Alpine-Space-Programms.

Bild 2. Symbole des EU-Interreg-III B-Projektes Alpreserv.

Bild 3. Die Projektpartner von Alpreserv.

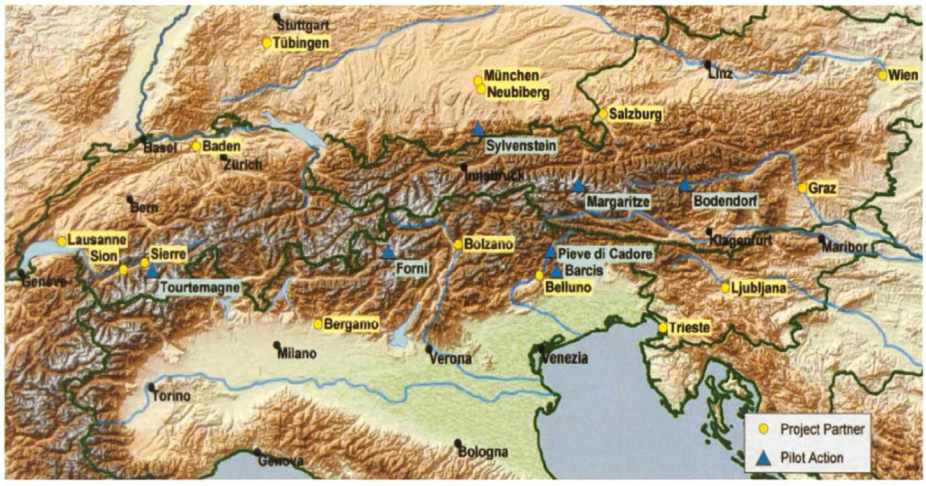

Bild 4. Lokalisierung der Pilotprojekte und der Projektpartner.

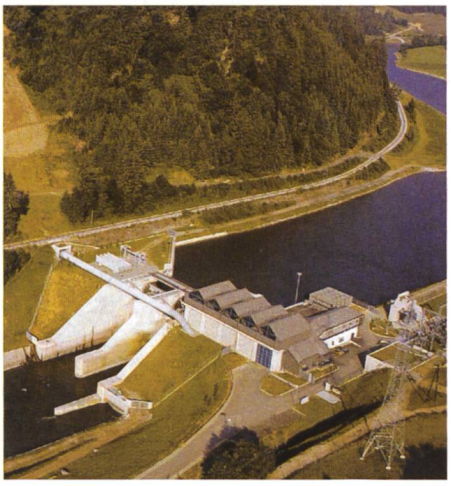

Bild 5. Das Kraftwerk Bodendorf.

Bild 6. Speicher Margaritze (Vordergrund), Sandersee (Hintergrund) und Grossglockner.

Ressource für Trinkwasser und Erzeugung elektrischer Energie soll das Problem der Speicherverlandung umfassend behandelt werden. Betriebliche Beeinträchtigungen wie auch ökologische Auswirkungen werden theoretisch erfasst wie auch anhand von sieben Pilotprojekten praktisch behandelt. Die Randbedingungen für einen Massnahmenkatalog werden aus technischer, rechtlicher und ökologischer Sicht zusammengefasst und sollen über eine Datenbank interessierten Personen wie auch Institutionen zur Verfügung gestellt werden. Die Laufzeit des Projekts erstreckt sich von April 2003 bis Ende 2006.

2. Die Projektpartner

Das Projekt Alpreserv vereint 17 Projektpartner aus fünf Ländern unter der Leitung der Universität der Bundeswehr München. Die Projektgruppen bestehen aus Partnern verschiedener Organisationsstrukturen: aus akademischen Forschungsinstitutionen, Anlagebetreibern, öffentlichen Verwaltungen, Vereinigungen, Verbänden oder NGOs. Diese Zusammensetzung aus Institutionen mit verschiedenen Kerngebieten, Visionen und Hintergründen garantiert ein ausgezeichnetes Netzwerk, das die interdisziplinäre Arbeit fördert und den Austausch einer grossen vorhandenen Palette von Ideen und Meinungen anregt.

Die Projektpartner aus der Schweiz:

- Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques [EPFL]
- Kraftwerke Gougra AG [FMG]
- Dienststelle für Wasserkraft des Kantons Wallis [SFH]
- Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband [SWV]

Die Projektpartner aus Deutschland:

- Universität der Bundeswehr München [UBM]
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München [StMUGV]
- Schneider & Jorde Ecological Engineering GmbH, Stuttgart [SJE]

Die Projektpartner aus Österreich:

- Technische Universität Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft [TUG_Hydro]
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A, Wasserwirtschaftliche Planung und Hydrographie [WWST]
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 13A, Umweltrecht und Energie [WRST]
- Österreichischer Verein für Ökologie und Umweltforschung [VÖU]
- Verbund Austrian Hydro Power AG [AHP]

Die Projektpartner aus Italien:

- Universita degli Studi di Trieste, Dipartimento di Ingegneria Civile [TRIESTE]
- Autonome Provinz Bozen-Südtirol, Ämter für Jagd und Fischerei, Stauanlagen und Wasserwirtschaft [APB]
- CESI (welche die ENEL R&D Aktivitäten aufgekauft haben), Bergamo [CESI]
- Provincia di Belluno, Settore Lavori Pubblici, Difesa del Suolo e Tutela Ambiente [PBL]

Der Projektpartner aus Slowenien:

- University of Ljubljana, Hydrotechnical Department [FGG]

3. Die Arbeitsschwerpunkte von Alpreserv

Das Projekt gliedert sich in neun Bereiche («Work Packages») mit folgenden Inhalten:

- Work Package 1: Zwischenstaatliche Projektvorbereitung. Das bereits bestehende Netzwerk zwischen den vier Universitäten wurde durch öffentliche Verwaltungsstellen, einschlägige Firmen sowie Vereine erweitert und das Konsortium somit fachlich bereichert und ergänzt. In diesem Bereich sind des Weiteren die organisatorischen Kontakte zwischen den einzelnen Projektpartnern und der verantwortlichen Behörde und die formalen Abwicklungen sowie die Organisation regelmässiger Konferenzen integriert.
- Work Packages 2 und 3: Projektmanagement. In Erweiterung des Work Package 1 wurden hier die Kooperationen und Kommunikationen zwischen dem Koordinator und den Projektpartnern behandelt, die einen wesentlichen Teil des Projektes bilden.
- Work Package 4: Öffentlichkeitsarbeit.

Bild 7. Wurzel des Speichers Sylvenstein mit einem Geschiebesammler im Hauptzufluss.

Bild 8. Teilweise verlandeter Speicher von Tourtemagne mit Gletscher im Hintergrund.

Über mehrere Wege werden die Ergebnisse des Projekts veröffentlicht und präsentiert. So informiert eine Homepage (http://www.alpreserv.org/) über den aktuellen Projektstand. Eine Publikationsserie, die die einzelnen Schwerpunkte erläutern soll, ist gerade in Vorbereitung, und ein Symposium zum Thema der Stauraumverlandung am Ende des Projekts wird die wesentlichen Ergebnisse präsentieren.

- Work Package 5: Sedimentquellen und Transportprozesse. In einem eigenen Bericht werden die Feststoffherde im alpinen Bereich und die den Transport kennzeichnenden Parameter beschrieben. Das Ziel ist die Identifizierung der für den jeweiligen Speicher kennzeichnenden Parameter für den Eintrag an Feststoffen.
- Work Package 6: Sedimentation in Speichern. Auf der Grundlage des technischen Kenntnisstandes werden die Prozesse der Stauraumverlandung aufgezeigt und Möglichkeiten der Behandlung erläutert. Einen besonderen Schwerpunkt bilden hier die Dichteströmungen mit den Möglichkeiten, Präventivmassnahmen wie Einbauten, die Anordnung von Luftschleiern, Wasserstrahlen anzusetzen.
- Work Package 7: Massnahmen für ein nachhaltiges Sedimentmanagement. Behandelt werden die drei hauptsächlichen Strategien zur Behandlung des Problems der Stauraumverlandung: die Minimierung der Sedimentfrachten, die in den Speicher gelangen; die Minimierung der Sedimentation; das Entfernen bereits abgelagerten Materials. Einen weiteren Schwerpunkt bildet das Thema des fehlenden Geschiebes unterhalb einer Stauanlage.
- Work Package 8: Pilotprojekte (siehe auch Kapitel 4). An sieben ausgewählten Stauanlagen in Österreich, Deutschland, Schweiz und Italien werden beispielhaft Massnahmen mit der Zielsetzung eines nachhaltigen Sedimentmanagements durchgeführt. Die Anlagen wurden ausgewählt, um einen möglichst breiten Bereich von Problemstellungen zum Thema der Stauraumverlandung zur Verfügung zu haben. Die Ergebnisse der Massnahmen wurden und werden im Zuge der regelmässigen Besprechungen den Projektpartnern zur Kenntnis gebracht und anschliessend in die Datenbank integriert. Diese Datenbank soll in Zukunft als Informationsquelle für interessierte Betreiber und Behörden dienen, um ähnlich gelagerte Fälle zielgerichteter behandeln zu können. Gedacht ist an eine Datenbank, die über das Internet öffentlich zugängliche Informationen zu den Anlagen, den Problemstellungen und den gefundenen Lösungen bietet.
- Work Package 9: Analyse der Auswirkungen. Ein Monitoring-Programm wird die Auswirkungen der Massnahmen bei den Pilotprojekten protokollieren. Dies betrifft die jeweilige Feststoffbilanz wie auch die ökologische Situation des Flussgebietes.

4. Die Pilotprojekte

Die Auswahl der sieben Pilotprojekte (*Bild 4*) erfolgte unter dem Kriterium, ein möglichst breites Spektrum von Problemstellungen zum Thema der Stauraumverlandung zur Verfügung zu haben. Berücksichtigt wurden ein Flusskraftwerk, Speicher im voralpinen Bereich und weitere in der alpinen Zone.

4.1 Kraftwerk Bodendorf

In diesem Fall handelt es sich um ein Flusskraftwerk, das als Kopfspeicher im Oberlauf der Mur situiert ist. Es befindet sich im Eigentum der Verbund-Austrian Hydro Power AG. Oberhalb des Stauraumes befindet sich eine freie Fliessstrecke, in der das Flusssediment ungehindert transportiert werden kann. Grösstenteils lagert sich das transportierte Sediment im Stauraum Bodendorf ab. Daraus ergeben sich Anlandungen, die im Bereich der Stauwurzel zum Anheben der Wasserspiegel führen. Weiters kann angelandetes Geschiebe zur Funktionsbeeinträchtigung der Betriebsorgane (Krafthaus und Wehranlage) führen. Seit dem Jahre 1994 fanden bislang fünf Stauraumentlandungen statt.

Im Bereich der Stauwurzel des KW Bodendorf wurden im Oktober 2003 Kurzbuhnen und eine Initialrinne errichtet. Die Massnahmen sollen als Ertüchtigung des Geschiebetransports und somit zum verbesserten Abtrag der Anlandungen im Stauwurzelbereich führen. Im Rahmen des Projekts Alpreserv wurde ein Monitoring für die Stauraumentlandung im Jahr 2004 durchgeführt, um die Auswirkungen der Buhnen und der Initialrinne zu evaluieren und eine Geschiebe- und Schwebstoffmassenbilanz für die Entlandung 2004 zu erstellen.

4.2 Speicher Margaritze

Der Hochgebirgsspeicher Margaritze ist Teil der Kraftwerksanlage Glockner-Kaprun und befindet sich ebenfalls im Eigentum der Verbund-Austrian Hydro Power AG. Er trägt wesentlich zur Spitzen-

energieerzeugung der Kraftwerksgruppe bei. *Bild 6* zeigt den Speicher mit den beiden Sperrenbauwerken Möllsperre und Margaritzensperre. Dem Speicher vorgelagert ist ein natürlicher Gletschersee, der bis in die 90er-Jahre Sediment zurückgehalten hat. Durch die komplette Verlandung des Gletschersees wird nun das Sediment im Ausmass von im Durchschnitt 40 000 m^3/a im Speicher Margaritze abgelagert.

Aus diversen Gründen ist es nicht möglich, eine Speicherspülung durchzuführen. Derzeit wird daher das Sediment mittels einer Baggerpumpe vom Schluchtteil in den Flachteil umgelagert, um den Bereich der Grundablässe frei von Sediment zu halten. Zum Teil wird das umgelagerte Sediment vom Flachteil zurück in den Schluchtteil der Stauhaltung gefördert. Im Zuge des gegenständlichen EU-Projektes werden die Strömungsverhältnisse für verschiedene Randbedingungen untersucht. Dabei kommen in erster Linie Messgeräte zum Einsatz, die mittels Ultraschall die Strömungsgeschwindigkeiten dreidimensional erfassen. Zusätzlich werden Trübemessungen durchgeführt und Schwebstoffproben gesammelt, analysiert und ausgewertet.

4.3 Speicher Sylvenstein

Diese Mehrzweckanlage liegt im Oberlauf der Isar in Oberbayern. Durch den Bau des Dammes wurde der Sedimenttransport beinahe gänzlich unterbrochen, der Speicher verlandet. Vordämme in den Zulaufbereichen schützen die Betriebseinrichtungen vor der Verlandung. Im Rahmen des Alpreserv-Projekts sollen die Fragen nach der chemischen und physikalischen Zusammensetzung des Sediments, der mögliche Verwendungszweck, die mögliche Minimierung des Sedimentzulaufs und die beste Möglichkeit einer Entfernung der Feststoffe aus dem Speicher geklärt werden.

4.4 Speicher Tourtemagne

Die Wasserkraftanlage liegt im Wallis, Schweiz. Durch den Rückgang des Gletschers wird die Verlandung des Speichers erheblich beschleunigt. Oberhalb des Speichers wurde bereits ein Entsander gebaut, um den weiteren Eintrag an Feststoffen weitgehend zu verhindern.

Die bereits abgesetzten Feststoffe wurden bislang teilweise mechanisch aus dem Stauraum entfernt. Regelmässige Spülungen ergänzen die Massnahmen des Sedimentmanagements. Zukünftig soll ein dynamisches Sedimentmanagement, das sich auf das gesamte Einzugsgebiet erstreckt, angewandt werden, um den Sedimenteintrag in den Speicher zu minimieren. Dazu zählen unter anderem künstliche Hochwasser in Verbindung mit Spülungen wie auch die Konstruktion eines Umleitungsstollens. Doch mehr in den folgenden Artikeln in dieser Mitteilung.

4.5 Speicher Barcis

Die Anlage liegt in Friaul, Oberitalien. Der hohe Sedimenteintrag reduzierte das nutzbare Stauvolumen um etwa einen Drittel. Als Massnahme wurde bislang ein kleiner Vordamm errichtet, der sich jedoch bereits wieder sehr schnell gefüllt hat. Wegen der touristischen Nutzung des Gebietes sind die mechanische Räumung und der Abtransport auf Strassen nur bedingt möglich. Im Rahmen des Alpreserv-Projekts sollen daher neue Strategien erforscht und angewandt werden.

4.6 Speicher Forni

Die Anlage liegt in der Lombardei, westliches Oberitalien. Der stark sedimenthaltige Zufluss, dessen Einzugsgebiet vergletschert ist, hat das nutzbare Speichervolumen bereits stark reduziert. Als Massnahme wird derzeit beinahe zweimal jährlich eine Spülung des Speichers durchgeführt. Die ausgespülten Sedimente drohen nun die Hochwassersicherheit im Unterlauf zu gefährden.

4.7 Speicher Pieve di Cadore

Die Anlage liegt im Pieve-Tal nördlich von Belluno, Oberitalien. Die Mehrzweckanlage mit dem 6 km langen Speicher dient der Stromerzeugung, der Bewässerung und dem Hochwasserschutz. Der hohe Feststoffanteil des Flusses hat zu einer bedeutenden Reduktion des Speichervolumens geführt. Im Rahmen des Projekts Alpreserv sollen die bisher bereits durchgeführten Untersuchungen bezüglich der Korngrössenverteilung, der mineralischen und chemischen Zusammensetzung der Sedimente in Bezug auf die Ablagerungshöhe im Speicher ausgeweitet und ergänzt werden.

5. Datenbank

Parallel zu den Arbeiten und Untersuchungen an den Pilotprojekten wird eine Datenbank aufgebaut. Basierend auf den charakteristischen Informationen zu den jeweiligen Anlagen wird diese Datenbank speziell auf die Belange der Stauraumverlandung ausgerichtet. Dadurch wird die jeweilige Anlage in Bezug auf ihre Sedimentproblematik katalogisiert und in ein bestimmtes Ordnungsschema eingereiht. Das Ziel ist der (internationale) Informationsaustausch, wobei bereits gemachte Erfahrungen leichter nachvollziehbar sein sollen und weiteren Anwendungen zur Verfügung stehen können. Den Beginn werden die Ergebnisse der Pilotprojekte darstellen. Der Bereich der Anwender erstreckt sich auf die Betreiber der Anlagen, Behörden,

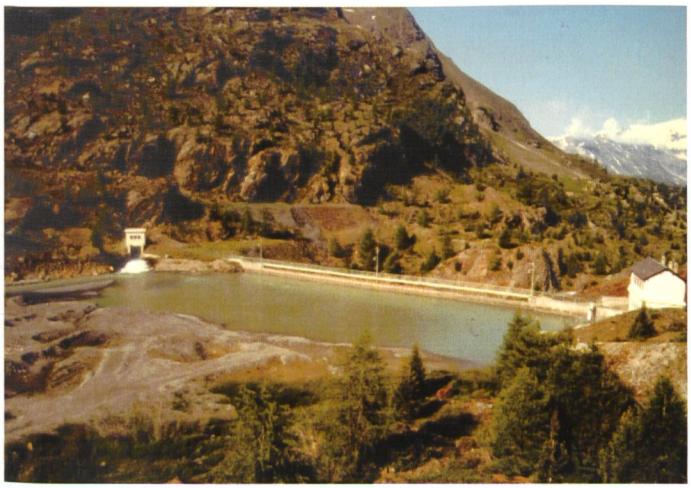

Bild 9. Der fast vollständig mit Sedimenten gefüllte Speicher Forni.

Bild 10. Untersuchungen an den abgesetzten Feststoffen im Speicher Pieve di Cadore.

Ökologen, Planer, Maschinenhersteller, Gemeinden, örtliche Vertretungen usw.

6. Schlusswort

Die Möglichkeiten, Massnahmen gegen Stauraumverlandungen zu setzen, sind begrenzt und werden zusätzlich durch wirtschaftliche, technische oder durch rechtliche Aspekte beschränkt. Das EU-Interreg-III B-Projekt Alpreserv soll auf der Grundlage von Erfahrungen auf nationaler Ebene die nachhaltige Bewirtschaftung von Speichern ermöglichen. Dazu sollen unter Berücksichtigung nationaler Richtlinien und der EU-Wasserrahmenrichtlinie internationale Erfahrungen in eine Datenbank einfliessen und öffentlich zur Verfügung gestellt werden. Pilotprojekte an sieben Speichern im Alpenraum dienen als Referenzen, an denen exemplarisch Massnahmen in Bezug auf die Entlandung eines Speichers durchgeführt werden. Das Ziel der nachhaltigen Speicherbewirtschaftung ist der Erhalt der Funktionsfähigkeit der Anlagen durch entsprechende Massnahmen.

Anschrift des Verfassers
Dr. *Walter Hauenstein*
Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Rütistrasse 3, Postfach
CH-5401 Baden, Schweiz
http://www.swv.ch
w.hauenstein@swv.ch

Unter Mitwirkung folgender Mitglieder des AlpreservLenkungsausschusses:

Dr. *Sven Hartmann*
bis Ende 2005
Institut für Wasserwesen
Universität der Bundeswehr München (UBM)
Seit Anfang 2006
Institit für Wasserbau – IWS
Universität Stuttgart
Universitätsbereich Vaihingen
Pfaffenwaldring 61
D-70550 Stuttgart, Deutschland
http://www.iws.uni-stuttgart.de/
sven.hartmann@iws.uni-stuttgartr.de

Dr. *Helmut Knoblauch*
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Technische Universität Graz (TUG)
A-8010 Graz, Österreich
http://www.hydro.tugraz.at
helmut.knoblauch@TUGraz.at

Dr. *Giovanni De Cesare*
Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
CH-1015 Lausanne, Schweiz
http://lchwww.epfl.ch
giovanni.decesare@epfl.ch

Problématique du lac de Tourtemagne

■ *Georges-Alain Zuber*

Abstract

From the very start of Gougra's exploitation, the aggradation of the dams was highlighted. After ten years, the adopted solution was to build mud deposit to the upstream of the dams. With the years, these new works are almost full of materials. It is thus necessary to find another solution more durable by holding account of the concession's duration.
Is it necessary to accept the loss of useful volumes? Is it preferable to put these materials in landfill sites? Wouldn't the durable solution be to derive the works to bring the sediments downstream in full safety?
The owner must find the most optimal solution by taking into account of various aspects: technical, economic, environmental and safety!

Zusammenfassung

Seit der Aufnahme der Betriebstätigkeit der Kraftwerke Gougra wurde auf die Geschwemmsel in den Stauseen aufmerksam gemacht. Nach etwa zehn Jahren Betrieb beschloss man, oberhalb der Staumauer Geschieberückhaltebecken zu bauen. Allmählich sind nun mit der Zeit diese neuen Becken fast vollständig mit Sedimentmaterial gefüllt. Es muss eine andere, dauerhafte Lösung bis zum Konzessionsende gefunden werden.
Muss der Platzverlust akzeptiert werden? Oder ist es besser, diese Ablagerungen in eine Deponie zu führen? Wäre es längerfristig nicht besser, die Anlagen umzuleiten, um die Sedimente unterhalb der Anlagen sicher abzutragen?
Der Kraftwerkbetreiber muss die optimale Lösung finden, unter Berücksichtigung der nachfolgenden Aspekte: Technik, Wirtschaft, Umweltschutz und Sicherheit!

Résumé

Dès le début de l'exploitation de l'aménagement Gougra, l'alluvionnement des barrages a été mis en évidence. Après une dizaine d'année, la solution retenue a été de construire des bassins de décantation à l'amont des barrages. Avec les années, ces nouveaux ouvrages se sont remplis de matériaux. Il faut donc trouver une autre solution plus durable en relation avec la durée de la concession.
Faut-il accepter la perte de volumes utiles? Est-il préférable de mettre ces matériaux en décharge? La solution durable ne serait-elle pas de dériver les ouvrages pour amener les sédiments en aval en toute sécurité?
L'exploitant doit trouver la solution la plus optimale en tenant compte de différents aspects: techniques, d'exploitation, socio-économiques, environnementaux et de sécurité!

1. Société de partenaires

Les partenaires des Forces Motrices de la Gougra SA sont Aar et Tessin d'Electricité SA: 54%, Rhonewerke SA: 27,5%, la commune de Sierre: 7,5%, Sierre Energie SA: 1% et les communes concédantes: 10%. La concession pour les paliers supérieurs de Mottec et de Vissoie est accordée jusqu'en 2039 et celle pour le palier inférieur de Navizence-Chippis l'est jusqu'en 2084.

2. Situation d'ensemble

Situé dans la partie centrale du Valais, sur la rive gauche du Rhône, l'aménagement de la Gougra s'étend sur les vallées d'Anniviers et de Tourtemagne. Le bassin versant est de 252 km^2 dont 22% est

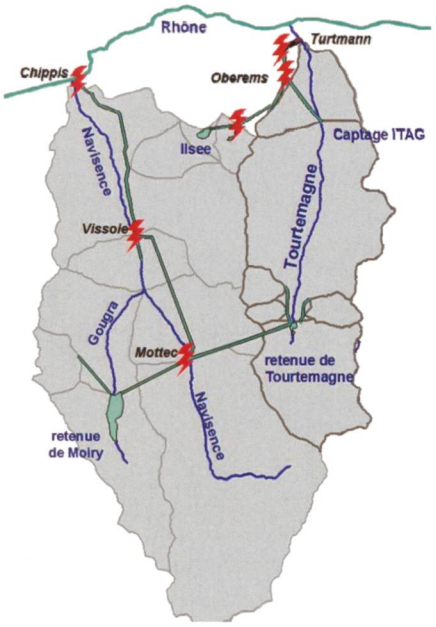

Figure 1. Situation de l'aménagement Gougra.

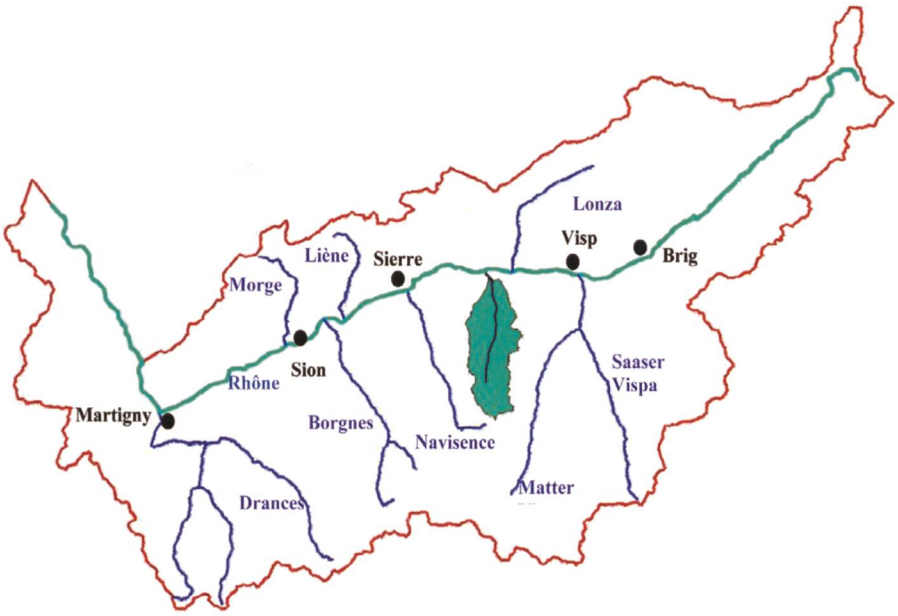

Figure 2. Vallée de Tourtemagne.

constitué de glaciers. L'ouvrage principal d'accumulation est le barrage de Moiry avec une capacité de 77 mio de m^3. Pour assurer son remplissage, hormis son bassin versant, sont déviées par pompage les eaux de la Navizence à Mottec et de la Turtmänna dans la partie supérieure de la vallée de Tourtemagne. Les eaux de la Turtmänna en aval de la captation de la Gougra sont exploitées par la société Argessa (anciennement ITAG) depuis la prise d'Hübschweidli.

La différence de niveau entre le lac de Moiry et la vallée du Rhône est exploitée en trois paliers avec les centrales de Mottec, Vissoie et Navizence à Chippis. La puissance installée est de 165 MW de production et 30 MW de pompage. L'énergie produite annuellement est de 570 GWh.

3. Vallée de Tourtemagne

Les eaux de la région supérieure de la vallée de Tourtemagne sont dérivées en Anniviers, à savoir la Turtmänna et les torrents de Brändji et de Blüomatt. Le régime hydrologique naturel de la vallée est ainsi sensiblement modifié.

Ces eaux contribuent à environ 50% du remplissage de la retenue de Moiry et cela durant les cinq mois d'été.

Le bassin versant de l'ensemble de la vallée de Tourtemagne est de 100 km^2. Ce dernier accuse à lui seul une glaciation de 56%. Le point culminant se situe à 4151 ms.m. (Bishorn) et l'exutoire à 620 ms.m. (Rhône).

Les glaciers de cette vallée ont également reculés laissant apparaître des moraines générant des apports importants de sédiments. La production annuelle moyenne liée aux eaux en provenance de Tourtemagne est de 176 GWh.

La vallée présente un profil en long avec deux secteurs relativement plats, à savoir la région du hameau de Gruben et celle du village de Tourtemagne. Les dépôts de matériaux sont favorisés dans ces zones. Le débit «accepté» par le lit de la rivière sans générer des dégâts est d'environ 7 m^3/s.

4. Barrage de Tourtemagne

Le barrage voûte en béton précontraint a une hauteur de 30 m et une longueur de couronnement de 115 m. Sa capacité était de 780 000 m^3. Le déversoir est à la cote 2177 ms.m. Le débit maximal de la vanne de vidange de fond varie entre 13 et 18 m^3/s. Aucune dotation n'est faite. Après quelques années d'exploitation, il a été mis en évidence un problème d'alluvionnement de la retenue.

Chaque année, un nettoyage des ouvrages de prise d'eau et de vidange de fond est nécessaire pour garantir un fonctionnement correct.

Il n'est techniquement pas envisageable de rehausser la prise d'eau et la vidange de fond.

5. Bassin de décantation

Sur la base de ce constat, un bassin de décantation de 150 000 m^3 pour une hauteur de 16,5 m et une longueur de couronnement de 325 m a été construit en trois étapes (1972, 1978 et 1993).

Il n'est plus possible de rehausser encore cette retenue pour des raisons de sécurité de l'ouvrage.

6. Sédimentation

La composition de prélèvements dans la Turtmänna au niveau du barrage se répartit en deux classes granulométriques: 60% de limons et 40% de sables fins. La dureté moyenne est de 4,2 Mohs.

Le volume annuel de sédiments charrié par la Turtmänna est d'environ 10 000 à 12 000 m^3. Le bassin de décantation s'ensable annuellement d'environ 7000 m^3. Le volume de sédiments évacués par les purges annuelles autorisées par le service cantonal des forces hydrauliques est de 600 à 1500 m^3.

Depuis la construction, le volume utile de la retenue diminue progressivement, il était en 2002 de 623 000 m^3, soit une diminution moyenne annuelle de 3800 m^3. Les cinq dernières années, le barrage a perdu annuellement environ 1500 m^3 de volume utile. Il s'agit d'une estimation basée sur des mesures bathymétriques.

Lorsque le bassin de décantation sera plein, il faudra compter avec un volume perdu dix fois plus grand.

L'examen du processus de transport des matériaux mobilisable dans le cours d'eau conclut qu'il faudrait un débit supérieur à 5 m^3/s pour évacuer les fines et de plus de 20 m^3/s pour les matériaux grossiers dans le secteur relativement plat de Gruben.

7. Solutions

Trois principes influencent le courant de turbidité: stopper, diluer et dévier.

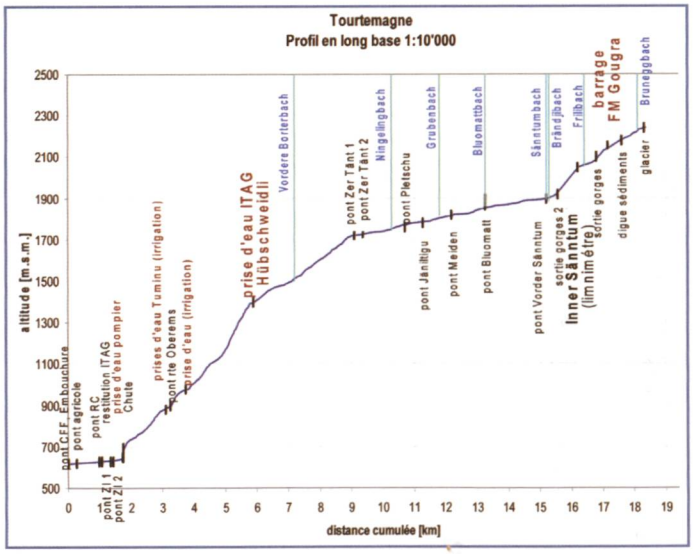

Figure 3. Profil en long de la Tourtemagne.

Figure 4. Vue aval du barrage de Tourtemagne.

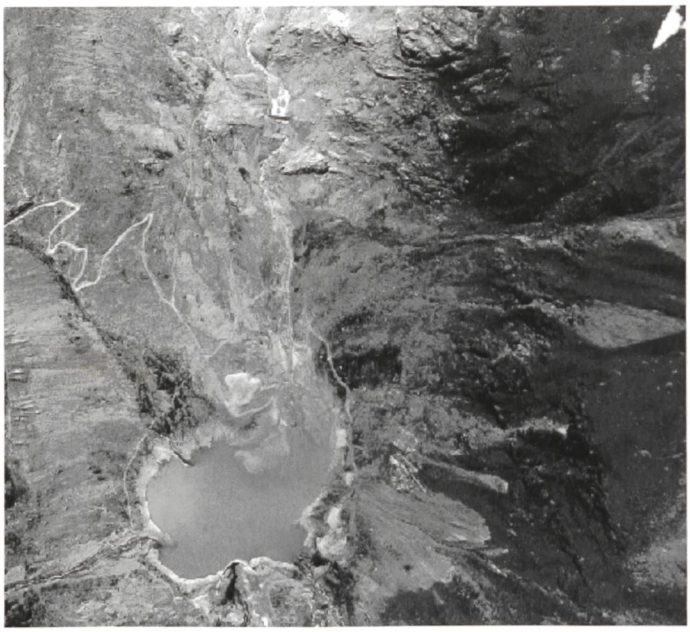

Figure 5. Vue aérienne prise en 1966.

Figure 6. Ensablement du barrage de Tourtemagne.

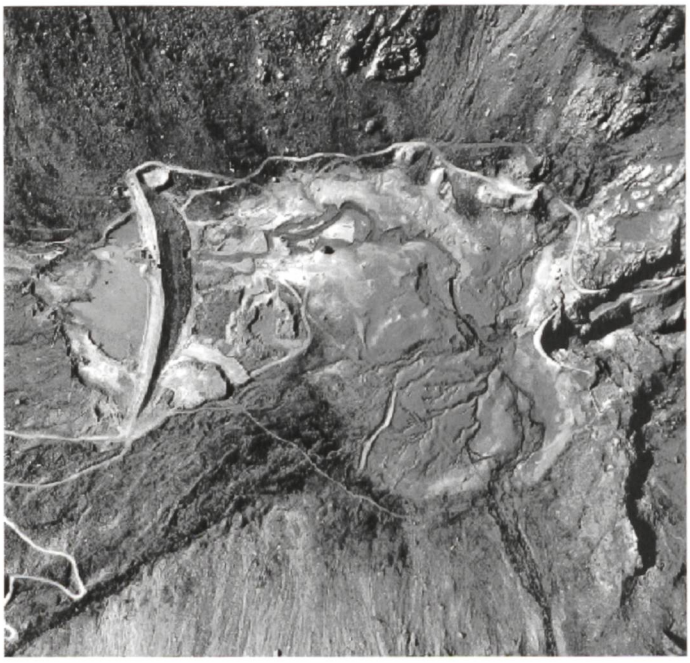

Figure 5. Vue aérienne prise en 1978.

Figure 8. Digue du bassin de décantation avec son déversoir.

Le bureau Colenco a été mandaté pour solutionner l'alluvionnement de la retenue de Tourtemagne (1994, 2000 et 2003) en tenant compte de l'aménagement d'Argessa. Dix variantes ont été proposées de la mise en décharge jusqu'à la dérivation des bassins existants en passant par le transit des sédiments par les conduites existantes. Les coûts de construction ont été estimés ainsi que les frais d'entretien et les pertes d'eau.

Il y a lieu de faire la synthèse afin de définir la solution la plus optimale en tenant compte de la durée restante de la concession.

8. Coordination entre les études en cours

Dans le cadre de la recherche de la solution, il faut favoriser les synergies avec les autres études en cours:

- Directive cantonale sur l'assainissement des cours d'eau
- Directive cantonale sur les purges et les vidanges
- Cartes communales de dangers des cours d'eau en cas de crues
- Carte d'inondation demandée par l'OFEG
- Troisième correction du Rhône

Il faut également intégrer les aspects de sécurité en combinant la solution avec l'évacuation des eaux en cas de crues par des ouvrages adaptés.

Enfin, il faut favoriser les échanges d'expériences:

- Interreg, Alpreserv
- AVPEE
- Conférences...

9. Intervention intermédiaire

En attendant de trouver la solution et de réaliser les travaux, la construction d'une décharge intermédiaire a été étudiée par le bureau BINA. La réalisation devrait s'effectuer en 2006 et en 2007.

10. Conclusion

La problématique de sédimentation de la retenue de Tourtemagne doit être analysée dans un contexte général. La coordination entre les différentes études en cours est très importante. La solution retenue doit satisfaire à plusieurs critères dont ceux liés à la l'exploitation, à la technique, à l'environnement, à la sécurité et aux aspects socioéconomiques.

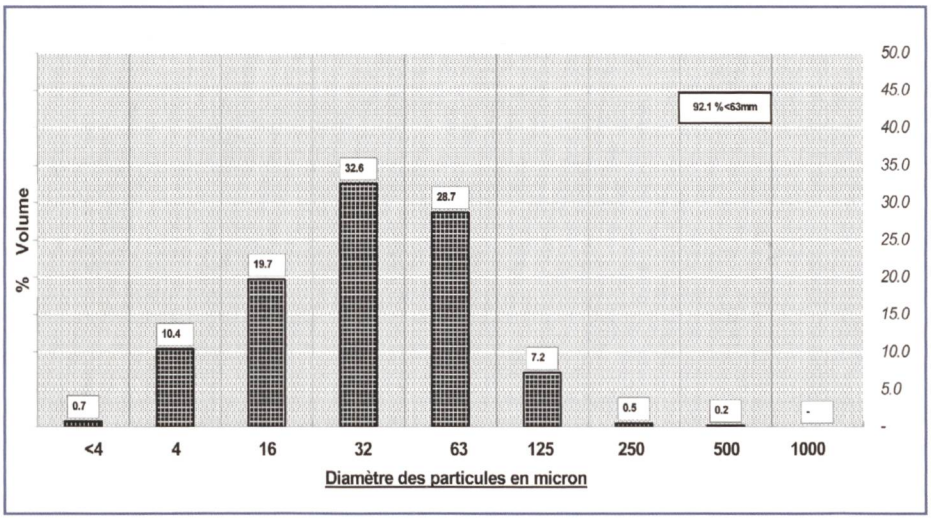

Figure 9. Tourtemagne, entrée du bassin, 13.8.96 – Echantillon No 4.

Figure 10. Vue amont du bassin de décantation et du barrage.

Bibliographie

Colenco Engineering SA (1994): Geschieberückhaltesperre Turtmanntal, Erweiterung der Hochwasserentlastungskapazität und Lösungen für den zukünftigen Geschieberrückhalt.

Colenco Engineering SA, (2001): Geschiebebewirtschaftung Turtmanntal, Variumstudium.

Colenco Engineering SA (2003): Purge du bassin de Tourtemagne par les conduits, étude sommaire.

EPFL-LCH, Dufour (2004) Travail Postgrade, assain-issement des cours d'eau en Valais, analyse de l'hydrosystème du bassin versant de la Tourtemagne.

EPFL-LCH, Martinerie (2004–2005): Travail Pratique de Master, analyse de l'hydrosystème du bassin versant de la Tourtemagne, concept de gestion des sédiments.

BINA Engineering SA (2005): Unterhaltsarbeiten Geschieberückhaltebecken Turtmanntal, Technischer Bericht.

Adresse de l'auteur
Georges-Alain Zuber
Directeur
Forces motrices de la Gougra SA
Avenue Général Guisan 2
CH-3960 Sierre, Suisse
georges.zuber@atel.ch

Gestion globale des sédiments de la retenue de Tourtemagne

Génération et analyse de variantes

■ Rémi Martinerie, Giovanni De Cesare, Frédéric Jordan, Jean-Louis Boillat

Abstract

The Tourtemagne valley hydrosystem was analysed based on two essential aspects: hydrology on the one hand, solid transport and alluvial dynamics on the other. A numerical simulation of the natural hydrological regime of Tourtemagne river was made to highlight the influence of hydroelectric schemes. The study shows that the Tourtemagne dam causes an important reduction of the river alluvial dynamics.

The storage volume of the Tourtemagne dam located close to the glacier has decreased notably since its construction because of important sedimentation. After having highlighted these problems by quantifying the annual loss of volume, several sediment management alternatives are proposed. The first alternative consists in a dry excavation and flushing of the material through the bottom outlet following the annual flushing, while controlling and limiting the suspended sediment concentrations using clean water from the Moiry reservoir located in the neighbouring valley. The following constructive alternative is also able to reduce the reservoir sedimentation. A sand trap located at the entry of the lake would collect a considerable quantity of sediments and release the material after regular automatic flushings through a diversion gallery downstream of the dam. The addition of a power station (third alternative) without storage would allow to turbine also parts of the remaining suspended sediments not collected by the sand trap and otherwise ending in the reservoir. This would also allow re-establishing a certain river alluvial dynamics in the downstream reach.

The analysis and evaluation of the sediment management alternatives show their typical advantages and insufficiencies. It also highlighted the necessity of a simultaneous implementation of the three alternatives in order to stabilize the reservoir sedimentation.

Zusammenfassung

Zwei wesentliche Aspekte des Gewässersystems des Turtmanntales wurden analysiert: die Hydrologie einerseits, der Feststofftransport und die alluviale Dynamik anderseits. Eine numerische Simulation des natürlichen hydrologischen Regimes die Turtmänna wurde durchgeführt, dies, um den Einfluss der Stauanlage aufzuzeigen. Die Studie zeigt, dass die alluviale Dynamik der Turtmänna durch den Stausee der Gougra stark reduziert wird.

Das Speichervolumen des Turtmann-Reservoirs, welches in unmittelbarer Nähe des Gletschers liegt, hat sich wegen starkem Sedimenteintrages seit seinem ersten Einstau erheblich verringert. Um dem Problem des jährlichen Volumenverlusts entgegenzuwirken, werden einige technische Varianten zur nachhaltigen Sedimentbewirtschaftung vorgeschlagen. Die erste Alternative besteht in einem bei gesenktem Stauspiegel durchgeführten, zusätzlich zur jährlichen Spülung zu erfolgenden Austrag von abgelagerten Feststoffen. Diese werden durch mechanische Mittel und dank zugeleitetem Sauberwasser aus dem im Nachbartal gelegenen Moiry-Staubecken aus dem Speicher gespült, wobei die Sedimentkonzentrationen überwacht und begrenzt werden kann. Als zweite Variante käme eine oberhalb des Spechers gelegene Wasserfassung mit nachgeschaltetem Sandfang in Frage. Der Entsander kann den Eintrag von Feststoffen in den Stausees stark reduzieren, indem er eine beträchtliche Menge an Sedimenten zurückhält, welche durch regelmässige automatische Spülungen durch einen Umleitstollen ins Unterwasser des Sees geführt werden. Durch die Ergänzung mit einem Laufkraftwerk (dritte Alternative) könnte auch noch ein wesentlicher Anteil der Schwebstoffe aus dem Stausee herausgehalten werden. Diese Alternative würde zudem die Flussdynamik positiv beeinflussen.

Die Studie und die Auswertung der technischen Varianten zur nachhaltigen Sedimentbewirtschaftung belegen deren typische Vorteile und Schwächen. Die Notwendigkeit einer gleichzeitigen Realisierung der drei Alternativen wird aufgezeigt, um den Verlust an Speicherkapazität durch Auflandung zu stabilisieren.

Résumé

L'analyse de l'hydrosystème de la vallée de la Tourtemagne en Valais se concentre notamment sur deux aspects essentiels: l'hydrologie tout d'abord et le transport solide et la dynamique alluviale ensuite. La modélisation numérique du bassin versant à l'état naturel et dans son état aménagé a notamment permis de mettre en évidence l'influence des aménagements hydroélectriques sur le régime hydrologique naturel.

La capacité du réservoir de Tourtemagne, situé au pied d'un glacier en retrait, s'est notablement réduite sous l'effet de l'alluvionnement. Cette problématique a tout d'abord été mise en évidence par une estimation de l'alluvionnement annuel de la retenue et une étude granulométrique des sédiments rencontrés. Plusieurs variantes de gestion des sédiments ont ensuite été élaborées. La première consiste en un curage à lac vide suite à la purge annuelle. Les matériaux déposés dans la retenue sont mobilisés par des moyens mécaniques et injectés à proximité de la vidange de fond. Le débit nécessaire au transport et à la dilution vient par siphonage du lac de Moiry situé dans la vallée voisine. Il est ainsi possible de contrôler et de limiter le taux des matières en suspension dans le cours d'eau aval. La seconde variante repose sur la construction d'un dessableur à l'amont de la retenue. Les sédiments recueillis sont ensuite évacués à l'aval de la retenue par un système de purge via un canal de dérivation. Cette variante constructive peut être combinée avec une centrale au fil de l'eau autorisant de turbiner une certaine concentration de matières en suspension rejetée par le dessableur. Cette alternative permet en outre de redynamiser le cours d'eau aval.

L'analyse et l'évaluation des différentes variantes de gestion des sédiments montre la nécessité de combiner les solutions complémentaires afin de stabiliser la dynamique alluviale de la retenue.

1. Introduction

La gestion globale des sédiments dans la vallée de Tourtemagne est initiée par le propriétaire de l'aménagement hydroélectrique et dictée en partie par les directives élaborées par le canton du Valais en matières de gestion des eaux concernant plus particulièrement l'établissement des rapports d'assainissement des cours d'eau et les purges et vidanges des retenues. Une approche globale est privilégiée, exigeant notamment de traiter les problèmes de manière systématique et pluridisciplinaire. Les différents domaines concernés par le rapport d'assainissement sont: l'hydrologie, l'hydraulique, le transport solide, l'écomorphologie, l'hydrobiologie, le paysage et les aspects socio-économiques. Une analyse globale de l'hydrosystème de la vallée de la Tourtemagne a ainsi été effectuée. Par sa volonté de trouver des solutions durables à la problématique de l'alluvionnement, l'exploitant de l'aménagement s'inscrit en partenaire du projet Alpreserv.

1.1 Le projet Alpreserv

Dans le cadre du programme Interreg III B la Suisse participe au projet de l'UE Alpreserv (www.alpreserv.org). Dix-sept partenaires de l'arc alpin collaborent dans le but de trouver des solutions durables pour la gestion des sédiments dans les réservoirs alpins. Le projet est divisé en neuf thèmes (Work-Packages), celui consacré à l'alluvionnement des retenues est coordonné par le groupe Suisse. Une des activités communes concerne l'aménagement de Tourtemagne, adopté comme site de projet pilote.

L'objectif final d'Alpreserv est de créer un «manuel de bonnes pratiques» (best practice guide) consacré à la problématique de l'alluvionnement des réservoirs au niveau européen.

1.2 Le projet pilote de Tourtemagne

La Tourtemagne est un affluent de la rive gauche du Rhône, dont la confluence se situe à mi-chemin entre Viège et Sierre. Son bassin versant a une superficie d'environ 109 km², dans une vallée assez encaissée avec une pente moyenne de 53%. Le point culminant du bassin versant est le Bishorn à 4153 m s.m. et l'exutoire à Turtmann à 620 ms.m. La courbe hypsométrique du bassin versant montre que 80% de la surface se situe à plus de 2000 m s.m. (Dufour 2004) et que la proportion en couverture de glacier est assez élevée puisque qu'elle est environ de 14% (14,8 km²).

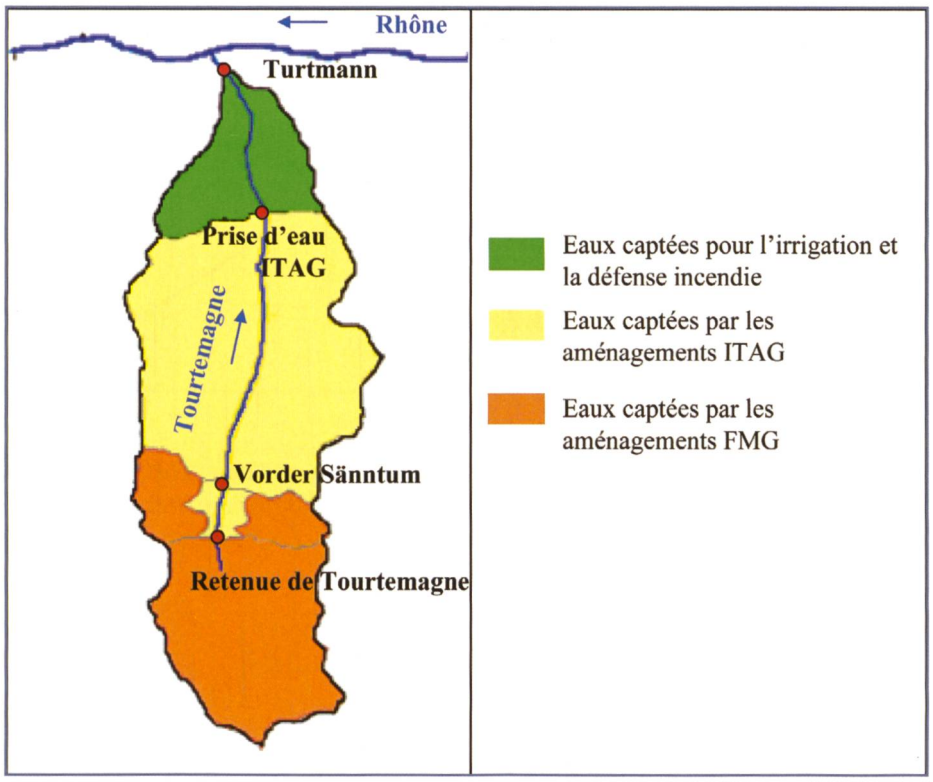

Figure 1. Découpage du bassin versant de la Tourtemagne en fonction de l'exploitation des eaux.

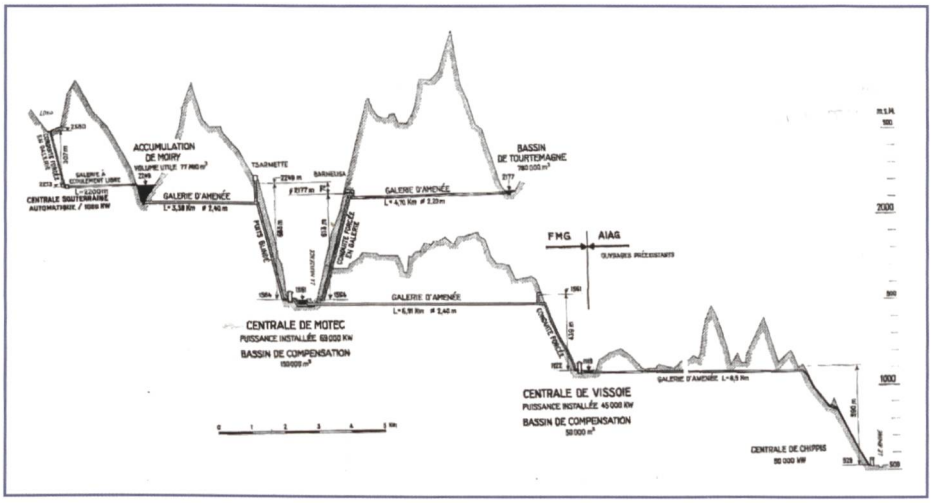

Figure 2. Profil en long schématique de l'aménagements des Forces Motrices de la Gougra (source: FMG).

Le régime hydrologique naturel de la Tourtemagne est donc de type glaciaire dans la partie amont du bassin versant et nivo-glaciaire vers l'aval. La période des crues s'étend de juin à septembre, période de la fonte de neige et de glace.

Plusieurs aménagements hydroélectriques sont implantés dans la vallée et influencent le comportement de l'hydrosystème. Sur la partie supérieure du bassin versant, les Forces Motrices de la Gougra (FMG) exploitent les eaux captées au barrage de Tourtemagne. La société anonyme Illsee Turtmann AG (ITAG) exploite quant à elle des aménagements situés sur la partie intermédiaire du bassin versant (*Figure 1*).

La retenue de Tourtemagne capte les eaux de toute la partie supérieure du bassin versant. Elle est formée par un barrage voûte d'une hauteur de 30 m et d'une longueur de 110 m au couronnement, créant un volume d'exploitation de 780 000 m³. Un bassin de décantation est constitué par une digue en amont immédiat de la retenue (*Figure 3*).

Toutes les eaux précipitées à l'amont du barrage sont captées et trois prises d'eau implantées sur des torrents latéraux, situées légèrement à l'aval du barrage, permettent d'augmenter la surface drainée (*Figure 1*). Une galerie d'amenée de 4,7 km de longueur avec une capacité de 8 m³/s suivie d'une conduite forcée achemine l'eau jusqu'à la

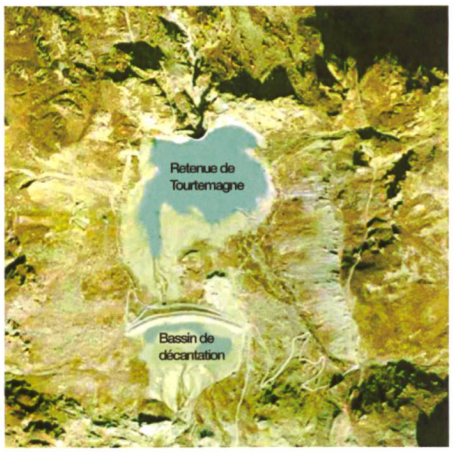

Figure 3. Photo aérienne de la retenue de Tourtemagne avec le bassin de décantation amont (source: search.ch/ Endoxon AG).

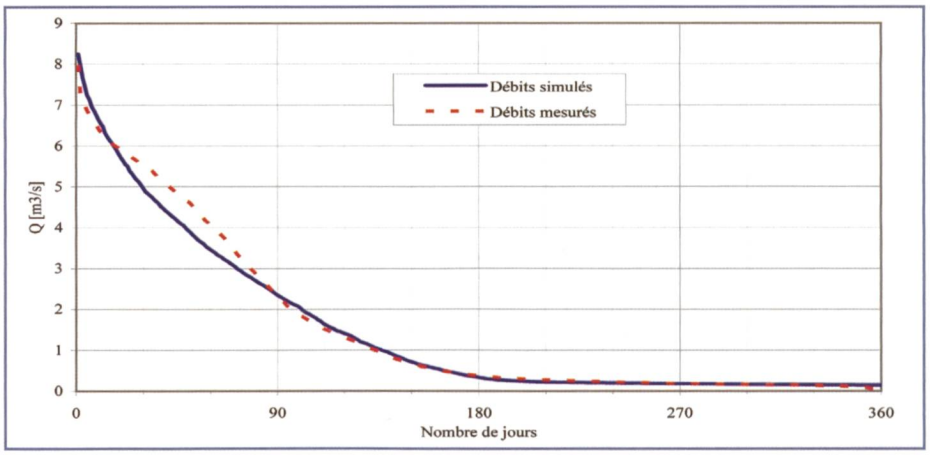

Figure 4. Courbe des débits classés mesurés et simulés à l'entrée de la retenue de Tourtemagne (moyenne de la période 1983 – 2003).

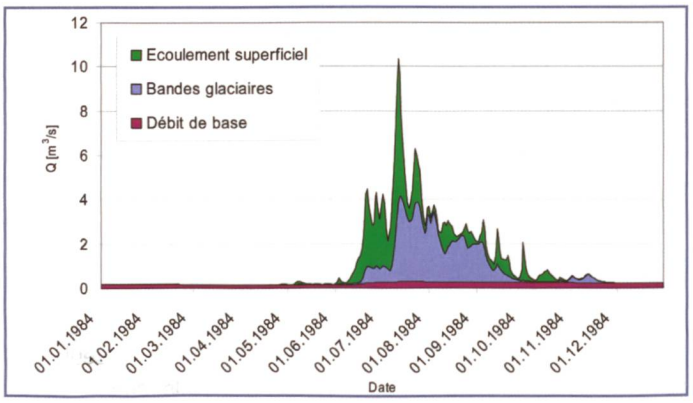

Figure 5. Décomposition des différentes contributions au débit pour l'année 1984.

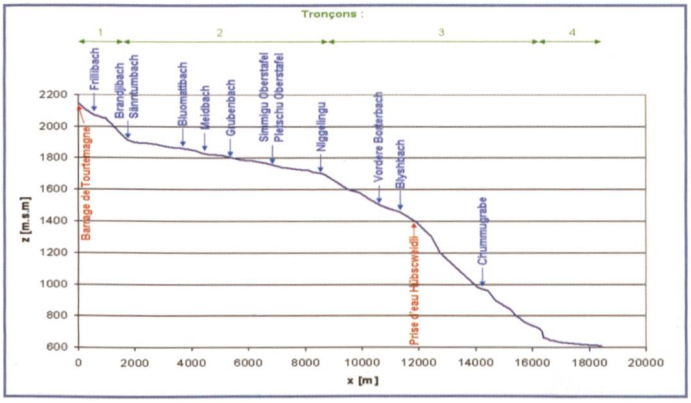

Figure 6. Découpage en tronçon du profil en long de la Tourtemagne, avec les ouvrages de retenue et les principaux torrents latéraux.

centrale de Mottec dans le Val d'Anniviers après une chute de 613 m. La *Figure 2* montre les différents aménagements mis en réseau par les FMG.

L'exploitant utilise les eaux de la Tourtemagne selon deux modes de gestion:

- En été, les eaux sont transférées pour un stockage saisonnier dans la retenue de Moiry qui possède un volume utile beaucoup plus important (77 mio m^3). La retenue de Tourtemagne est utilisée comme bassin de compensation avec un stockage journalier: l'eau captée pendant la journée est pompée pendant la nuit vers la retenue de Moiry ou siphonnée lorsque la différence de niveau entre les deux retenues le permet. Les volumes accumulés pendant l'été sont ensuite turbinés en hiver à Mottec pendant les heures de pointe.
- Durant le reste de l'année, les eaux sont directement turbinées à Mottec après un stockage de quelques jours, en fonction des apports.

2. La problématique d'alluvionnement à Tourtemagne

2.1 Etude hydrologique

Le but recherché était de quantifier l'influence du barrage de Tourtemagne sur le cycle annuel hydrologique du bassin versant. La modélisation hydrologique continue a été effectuée avec le logiciel Routing System II, développé au LCH (Dubois et Boillat 2005), incluant la modélisation hydrologique développée à l'HYDRAM de l'EPFL (Hingray et al. 2005). L'influence du barrage sur le régime hydrologie naturel a ainsi pu être mise en évidence.

Les résultats obtenus couvrent une période de 21 années, entre 1983 et 2003. La modélisation repose sur un découpage en six sous-bassins versant et elle tient compte de la couverture glaciaire et du stock de neige. La *Figure 4* montre le résultat de la simulation sous la forme des débits classés à l'entrée de la retenue de Tourtemagne.

L'analyse du cycle annuel hydrologique requiert de bien connaître les différentes contributions composant les apports. Dans un régime glaciaire comme la Tourtemagne, elles varient fortement au cours de l'année:

- le débit de base provenant de la nappe phréatique est très faible pendant l'hiver et augmente en été lorsque le sol se charge d'eau provenant de la fonte des neiges;
- le débit superficiel peut être nul en hiver lorsque les précipitations tombent sous forme solide; il augmente au moment de la fonte des neiges lorsque le sol est saturé et présente des pics lors d'événements pluvieux en été et en automne;
- le débit provenant des glaciers est nul en hiver; il augmente au cours de l'été avec la fonte du stock de neige, puis est alimenté par la fonte du glacier proprement dite.

La simulation a permis de distinguer les différentes contributions au débit total *(Figure 5)*.

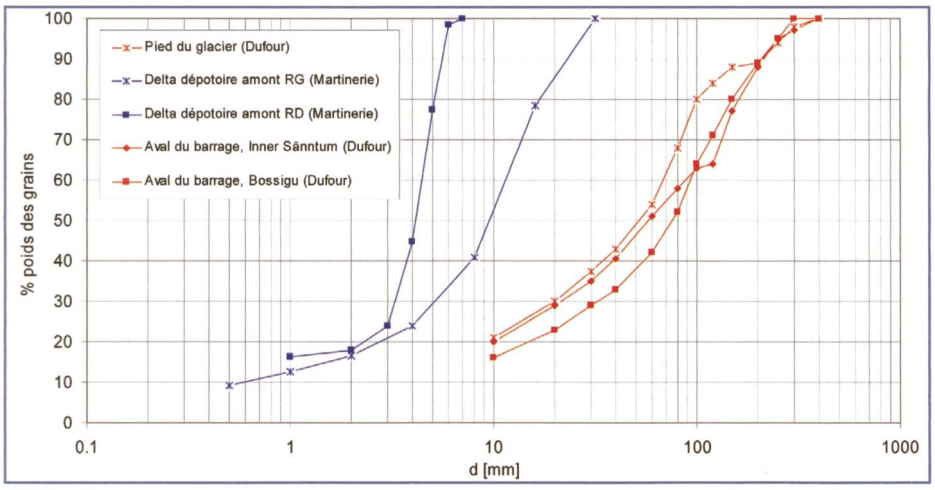

Figure 7. Distribution granulométriques à différents endroits caractéristiques de la Tourtemagne.

L'analyse hydrologique a été complétée par une étude statistique des crues au niveau du barrage. Les données disponibles mesurées des apports au barrage s'étalent sur 22 années (1983 à 2004). Une extrapolation jusqu'à une période de retour d'environ 50 ans est donc possible. Les éléments de l'analyse ainsi que les résultats démontrent qu'à l'amont du barrage les crues sont quasiment toutes d'origine glaciaire et de durée journalière, ce qui est logique puisque la surface glaciaire à ce niveau représente près de 40% de la surface totale.

2.2 Transport solide et dynamique alluviale

L'analyse du transport solide et de la dynamique alluviale du cours d'eau repose sur l'étude du profil en long et des particularités des différents tronçons. Une simulation numérique réalisée avec le logiciel Dupiro, développé au LCH, a ensuite permis de mettre en évidence l'influence du barrage sur la dynamique alluviale du cours d'eau. La *Figure 6* représente le profil en long de la Tourtemagne depuis le barrage jusqu'à l'embouchure du Rhône. Elle contient également les aménagements hydroélectriques existants et les principaux torrents latéraux alimentant le cours d'eau. Pour étudier le transport solide et la dynamique alluviale, la Tourtemagne a été décomposée en quatre tronçons caractérisés principalement par leur pente moyenne *(Figure 6)*.

La granulométrie du lit de la Tourtemagne est très étendue *(Figure 7)*. Des parties très fines sont générées au niveau du glacier et transportées en suspension, alors que les fortes pentes du cours d'eau et des torrents favorisent le charriage de blocs de plusieurs dizaines de centimètres.

Ce sont les tronçons situés juste à l'aval du barrage qui sont les plus influencés par ce dernier. Les résultats obtenus par la modélisation numérique des tronçons 1 et 2 à l'état naturel de la Tourtemagne montrent que le lit de la rivière est en état de dégradation. Toutefois certaines formes du lit s'expliquent davantage par des considérations d'ordre géologique que de capacité de transport solide. Ainsi, le creusement du lit aux confluences des torrents latéraux est dû au fait que ces derniers se sont naturellement développés sur un axe plus vulnérable de la roche.

Le premier tronçon situé à l'aval immédiat du barrage a une capacité de transport élevée. A l'état naturel, il est alimenté en grande partie par le glacier aussi bien en débit liquide que solide. En se retirant, le glacier découvre une réserve importante de sédiments de toute taille. A ce niveau du bassin versant, les torrents latéraux sont très raides et peuvent charrier de grandes quantités de sédiments avec des blocs de grandes dimensions. La zone située au pied du glacier est de ce fait une zone où la dynamique alluviale est bien développée.

Le barrage de Tourtemagne a retenu la quasi totalité des apports solides et liquides provenant du glacier et des torrents latéraux. Il en résulte une déficit sur le cours d'eau aval qui entraine une modification progressive de sa morphologie. Dans un premier temps, à la suite d'événements de crues et des premiers déversements au niveau du barrage, le lit a été érodé, surtout sur le premier tronçon situé juste à l'aval. Cet état de dégradation a du être limitée par deux éléments: les débits occasionnés à l'aval du barrage pendant les déversements sont trop faibles et de durée trop courte pour produire une érosion massive; le pavage du lit par des particules plus grossières a permis de le renforcer et de le protéger. En l'état actuel, le pavage est bien développé et la dynamique alluviale du tronçon s'en trouve très limitée. Seuls des événements exceptionnels conduisant à des déversements importants sur le barrage son susceptibles de provoquer la rupture de la couche de pavage et de conduire à une modification significative du profil en long de la Tourtemagne.

Figure 8. a) Nature des alluvions au pied du glacier; b) creusement du lit dans la moraine glaciaire (photos: R. Martinerie).

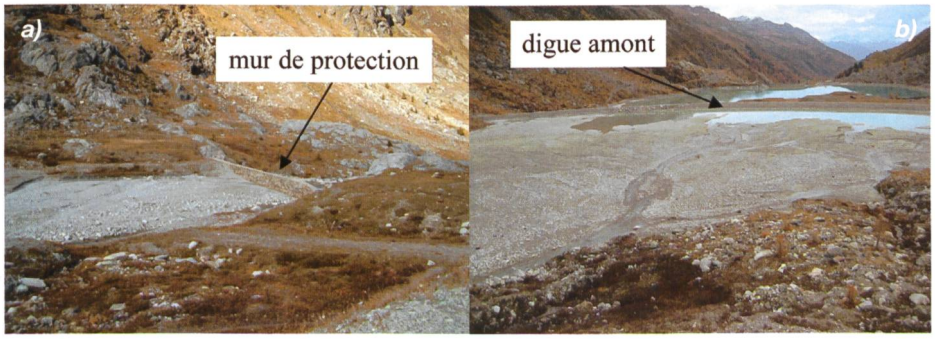

Figure 9. a) Mur de protection; b) digue de retenue des matériaux (photos: F. Jordan).

3. L'alluvionnement de la retenue de Tourtemagne

Le barrage de Tourtemagne a été construit à la fin des années 1950. Cet ouvrage est situé au pied d'un bassin versant sujet à l'érosion naturelle et susceptible de générer des apports sédimentaires très importants. En effet, le bassin versant est composé d'une surface glaciaire qui libère de grandes quantités d'alluvions pendant la saison de fonte de glace. Le fort potentiel d'apports en matière solide du glacier est illustré à la *Figure 8* où il est bien visible que le torrent creuse les dépôts de la moraine glaciaire. Ces illustrations montrent également l'étendue de la granulométrie des alluvions.

Les zones du bassin versant située en dehors du glacier sont par ailleurs quasiment dépourvues de végétation et constituées de pentes très élevées (53% en moyenne), ce qui favorise le transport solide.

Le barrage agit comme une barrière au transport solide, rendant l'alluvionnement de la retenue inévitable. Le volume initial du réservoir étant faible (0,78 mio. m^3), son alluvionnement et la perte de volume utile qui en découle ont rapidement été dommageables à l'exploitation du barrage. Pour pallier cet inconvénient, un premier mur de protection en pierres a été construit à l'amont de la retenue. Aujourd'hui partiellement détruit, il a néanmoins permis de retenir une certaine quantité de matériaux, notamment les granulats grossiers *(Figure 9a)*. En 1972, une digue de retenue des matériaux a été construite puis rehaussée par étapes *(Figure 9b)* pour arriver actuellement à une capacité de rétention de 150 000 m^3. La granulométrie des dépôts constitués dans ce dépotoir est très étendue avec la formation d'un delta à l'entrée de la retenue constitué de matériaux relativement grossiers, puis de dépôts de plus en plus fins à l'approche de la digue.

Période	Remplissage de la retenue	Remplissage du dépotoir	Purges	Volume utilisé pour la digue et excavations	Total
1959 - 1970	15'260	0	0	0	15'260
1970 - 1978	450	5'000	1'500	3'000	9'950
1978 - 1997	2'190	5'000	1'500	2'000	10'690
1997 - 2002	1'400	5'000	1'500	0	7'900

Tableau 1. Répartition des volumes annuels moyens de sédiments entrant dans la retenue [m^3/an].

Pour évaluer la quantité annuelle de sédiments arrivant à la retenue, cinq levés bathymétriques ont été effectués depuis la construction du barrage. Ces relevés effectués en 1959, 1970, 1978, 1997 et 2002 permettent de calculer la perte de volume annuelle moyenne entre deux mesures. En considérant un alluvionnement constant depuis la construction de la digue, le volume annuel moyen est de 5000 m^3/an. Environ 40 000 m^3 de matériaux ont été excavés pour la construction de la digue d'une part et pour libérer du volume utile d'autre part. Enfin, il faut considérer les volumes de sédiments évacués lors des purges annuelles. Ces opérations sont réalisées depuis 1970 et le volume moyen évacué à chaque purge est d'environ 1500 m^3. Les différents volumes pris en compte pour évaluer le volume annuel moyen de sédiments entrant dans la retenue sont résumés dans le *Tableau 1*.

Le volume annuel moyen de sédiments est ainsi estimé à 12 000 m^3/an. Le bassin versant contributif ayant une superficie de 37,4 km^2, l'érosion spécifique moyenne vaut donc 320 m^3/(an.km^2) ou 0,3 mm/an.

Le dépotoir est actuellement quasiment plein. Si aucune mesure n'est prise, la retenue de Tourtemagne verra son volume utile diminuer rapidement, raison pour laquelle plusieurs variantes de gestion des sédiments sont étudiées.

4. Gestion des sédiments

4.1 Exploitation actuelle

Actuellement, des purges sont réalisées chaque année vers le mois d'octobre pour dégager la prise d'eau. Ces opérations permettent d'évacuer une certaine quantité de sédiments mais restent peu efficaces en regard de l'alluvionnement à long terme de la retenue. Les purges actuelles se déroulent selon les étapes suivantes:

- vidange de la tranche supérieure de la retenue (jusqu'à la prise d'eau) par turbinage à Mottec;
- ouverture progressive de la vanne de fond jusqu'à vidange complète de la retenue;
- ouverture de la vanne siphon à Mottec pour apport d'eau propre depuis Moiry;
- manœuvre de la vanne de fond pour provoquer des variations du plan d'eau et parfaire le nettoyage des abords de la vanne;
- fermeture de la vanne siphon à Mottec;
- vidange complète et contrôle technique des ouvrages;
- fermeture de la vanne de fond.

L'hydrogramme à la sortie de la vanne de fond de la purge effectuée en 2002 ainsi que l'évolution des matières en suspension (MES) sont représentés

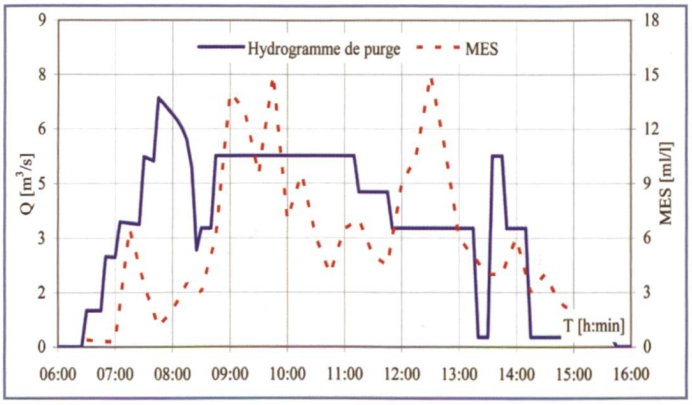

Figure 10. Hydrogramme reconstitué de la purge de 2002 et concentration de MES (Dufour 2002).

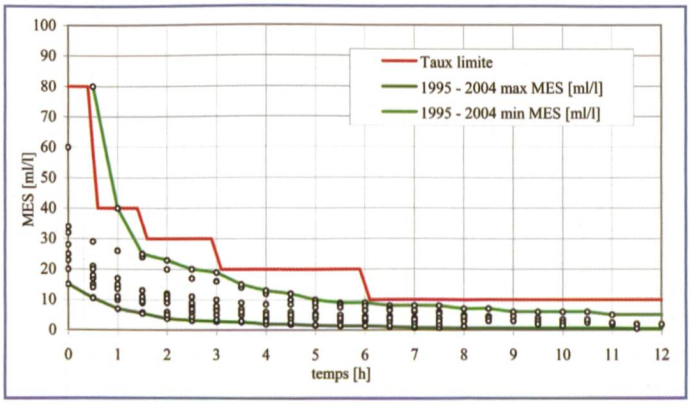

Figure 11. Concentration classée de MES mesurés au cours des purges de 1995 à 2004 avec les courbes enveloppes et taux limite autorisé.

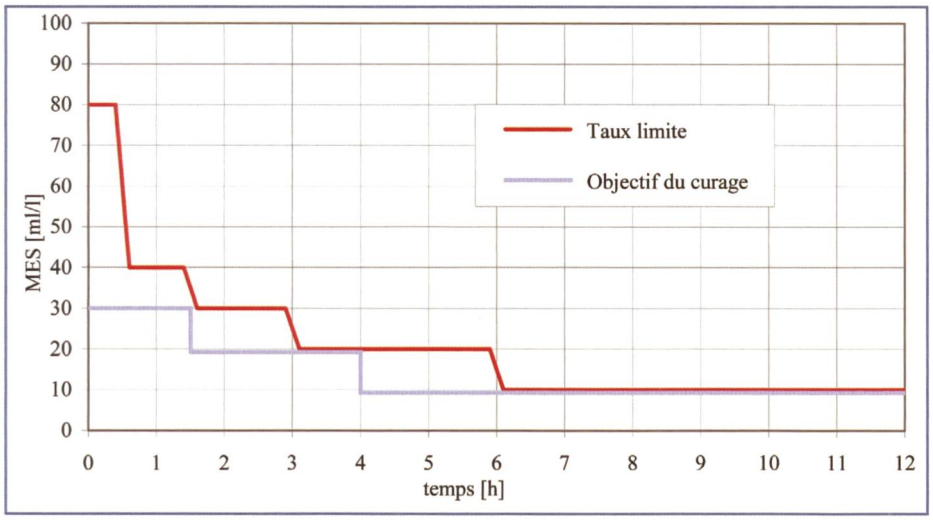

Figure 12. Objectif de la concentration de MES à atteindre pendant le curage en comparaison du taux limite fixé par l'arrêté cantonal.

Période [h]	MES [ml/l]	Volume brut [m^3]	Volume sur sol [m^3]	Diamètre du tas [m]	Hauteur du tas [m]
0 à 1.5	30	650	800	22	4
1.5 à 4	20	720	900	23	4
4 à12	10	1150	1450	27	5

Tableau 2. Volumes de sédiments à préparer et dimensions des tas correspondants.

à la *Figure 10*. Conformément à l'arrêté sur les purges édité par le Conseil d'Etat du canton du Valais, le taux de matières en suspension était mesuré toutes les 15 minutes au cours de la purge.

La connaissance du débit et de la concentration de MES permet de calculer le volume de sédiments évacués pendant la purge. En tenant compte d'un taux de vide des dépôts de 20%, la purge de 2002 a permis d'évacuer un volume de 1100 m^3. Le protocole de purge est identique pour les autres années et le volume évacué également. La concentration de matières en suspension mesurée lors des purges de 1995 à 2004 ainsi que les courbes enveloppes et le taux limite fixé par l'arrêté cantonal sont illustrés à la *Figure 11*.

Ces mesures montrent que le taux limite fixé par la norme a toujours été respecté.

L'augmentation de la concentration de MES consécutive à l'opération de purge a inévitablement des répercussions sur l'écosystème de la rivière à l'aval de la retenue. Les matières en suspension ont tout d'abord un effet direct sur la faune piscicole. Ensuite, lors de la diminution du débit dans la rivière, une sédimentation et un colmatage du lit sont observés, provoquant une perturbation des communautés de macrofaune benthique. Cette atteinte peut être réduite par un rinçage à l'eau claire à l'issue de la purge.

D'après l'expertise du bureau ECOTEC, les impacts des purges sont inévitables mais leur quantification reste difficile, surtout en ce qui concerne les effets à long terme. Dans le cas de rivières alpines d'altitude, certaines caractéristiques des eaux et des sédiments doivent néanmoins être prises en compte pour apprécier les impacts des purges. En particulier, la température basse de l'eau associée à des sédiments contenants très peu de matières organiques permet une plus faible diminution du taux d'oxygène dissout pour des taux de MES élevés. Dans le cas de la Tourtemagne, les alluvions remplissant la retenue sont pour la plupart d'origine glaciaire et donc de type minéral. Les eaux ont également une température très basse. Ces éléments jouent donc un rôle favorable quant aux impacts des purges de la retenue. L'expertise précise encore que les cours d'eau naturels ou quasi-naturels possèdent un plus grand pouvoir tampon car ils offrent, de par leur diversité morphologique, une protection suffisante aux organismes vivants pour leur permettre de supporter des concentrations en MES plus élevées. La dynamique alluviale de la Tourtemagne étant réduite sous l'effet du barrage, ce dernier point est plutôt défavorable dans ce cas.

Pour remédier à la problématique d'alluvionnement de la retenue, plusieurs solutions de gestion des sédiments ont été étudiées. Trois variantes principales ont été étudiées. La première consiste en une adaptation des purges actuelles. La seconde a pour but d'installer un dessableur à l'entrée de la retenue pour décanter les matières en suspension dans les eaux provenant du glacier.

4.2 Variante 1: Curage de la retenue après la purge

L'analyse des purges actuelles montre que la concentration de MES mesurées pendant les opérations *(Figure 11)* respecte assez largement le taux limite fixé par l'arrêté cantonal. L'idée de la variante 1 est d'utiliser cette réserve de tolérance pour procéder à un curage de la retenue lors des opérations de purge annuelles. Le volume de sédiments évacué au cours du temps pendant la purge est toutefois difficilement contrôlable, car il dépend notamment des apports annuels en MES et d'éventuels glissements de terrain dans la retenue en cours d'année.

En planifiant l'opération de curage le lendemain de la purge, la vidange de fond serait déjà dégagée et peu de sédiments seraient évacués à l'ouverture de celle-ci. En injectant des volumes de sédiments préparés à l'avance, la concentration de MES pourrait être contrôlés de manière assez précise. Enfin la mesure dans le cours d'eau de la concentration de MES à l'aide d'un cône Imhoff ou d'un turbidimètre permettait de moduler l'injection des sédiments au cours de l'opération.

Pour respecter le taux de MES fixé par l'arrêté et limiter les atteintes à l'environnement, il est nécessaire de se fixer un objectif raisonnable concernant le taux de MES souhaité pendant le curage. Une telle opération étant assez délicate à exécuter, il faut conserver une bonne marge par rapport au taux limite, et notamment pour les valeurs de concentration élevées qui peuvent avoir des conséquences dommageables sur l'environnement. L'objectif décrit par la *Figure 12* semble être raisonnable en comparaison du taux limite. Il peut être adapté en fonction des concentrations mesurées la veille, lors de la purge, notamment, si cette dernière a été particulièrement éprouvante pour l'écosystème (fort taux de MES mesuré). De plus, un suivi des atteintes à l'environnement en cours d'opération permettrait d'ajuster le taux de MES à atteindre lors des prochains curages.

En considérant la distribution de MES proposée à la *Figure 12* et un débit constant, le volume de sédiments évacués est une fonction linéaire du débit injecté. Il s'élève à 650 m^3 évacué par m^3/s de débit

siphonné depuis Moiry. Ainsi pour un débit de 4 m³/s, le volume de sédiments évacué pendant le curage serait de 2500 m³. La durée de l'opération étant de 12 heures, le volume d'eau nécessaire s'élève à 172 800 m³. Par ailleurs, il est nécessaire de considérer une période sans injection de sédiments au début de l'opération de curage au cours de laquelle le débit est augmenté progressivement pour permettre à la faune de trouver refuge dans des abris. De même, à la fin de la purge, il faut prévoir une période de rinçage du cours d'eau à l'eau claire, puis une réduction progressive du débit de manière à ne pas piéger les poissons dans des gouilles isolées. Ces deux périodes couvrent une durée d'environ deux heures pour une perte d'eau d'environ 15 000 m³.

Pour mener à bien l'opération de curage il est nécessaire de préparer à l'avance les volumes de sédiment à injecter. Le taux de MES admis dans cette étude comprend trois paliers sur les 12 heures de curage. Les volumes à préparer pour chaque palier sont présentés dans le *Tableau 2*. La *Figure 13* montre une possible disposition des tas et les moyens mécaniques à mettre en œuvre pour l'opération.

Le volume de sédiment à introduire pendant le premier palier est disposé le plus près possible de la vidange de fond car le débit de sédiments à insérer est très élevé. De plus une bonne connaissance des conditions météorologiques doit être assurée afin de garantir le bon déroulement de l'opération.

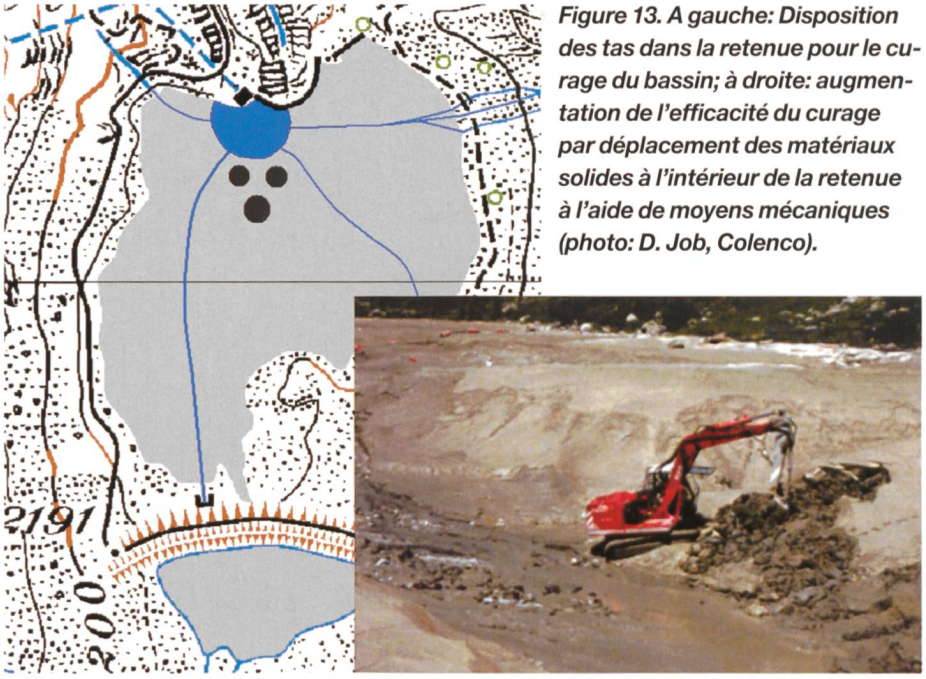

Figure 13. A gauche: Disposition des tas dans la retenue pour le curage du bassin; à droite: augmentation de l'efficacité du curage par déplacement des matériaux solides à l'intérieur de la retenue à l'aide de moyens mécaniques (photo: D. Job, Colenco).

4.3 Variante 2: Dessablage des eaux de l'affluent principal

Cette variante consiste en la réalisation d'une prise d'eau tyrolienne à l'amont du bassin de retenue des sédiments. L'eau captée passe par un dessableur dans lequel une partie des matériaux fins et la totalité des matériaux plus grossiers se déposent. L'eau ainsi libérée de sa charge solide est ensuite restituée à la retenue de Tourtemagne. Les sédiments retenus dans le dessableur sont évacués par un système de purge automatique dans un canal contournant la retenue. L'eau de purge et les sédiments sont restitués à la rivière dans les gorges situées à l'aval du barrage *(Figure 14)*.

Le prédimensionnement des différents ouvrages hydrauliques constituant cette variante a été effectué et son efficacité étudiée en tenant compte des débits et des volumes de sédiments. Du point de vue du transport solide, il a été estimé que 80% du volume total de l'apport sédimentaire passera au droit de la prise d'eau, ce qui représente un volume annuel de 9600 m³.

Sur la base du volume annuel, la relation empirique suivante a été utilisée:

$$Qs = a \times Qb$$

où Qs est le débit solide de matière en suspension, a un coefficient de calage, Q le débit liquide et b un coefficient qui se situe entre 0,5 et 2 pour les grandes fleuves (Mulder and Syvitsky 1995) et plus de 2 pour des plus petits cours d'eau. En utilisant la valeur de 2,5 pour le coefficient b, le coefficient a a pu être calé de manière à obtenir un volume annuel de sédiments de 9600 m³. Par cette relation, l'apport en MES sur un cycle annuel est déterminé.

Le volume charrié a été estimé par application de la formule de Smart & Jäggi (1983) qui relie le débit charrié au débit liquide après rupture de la couche de pavage.

La prise d'eau tyrolienne est dimensionnée de manière à ce que tous les débits moyens horaires soient captés. En effet le débit solide de MES variant avec le débit liquide à la puissance 2,5, il est judicieux de prévoir une prise d'eau de capacité suffisante pour capter tous les débits et ainsi la majeure partie de sédiments.

Le dimensionnement d'un dessableur pour la protection d'une usine hydroélectrique impose de retenir toutes les particules inférieures à un diamètre donné, ceci pour le débit de dimensionnement. Dans le cas de la protection d'une retenue contre l'alluvionnement, le problème se pose différemment, l'objectif étant de capter le volume maximal de sédiments pendant l'année. Ainsi le calcul de l'efficacité du dessableur doit être réalisé pour un débit de dimensionnement tenant compte de tous les débits transitant dans le dessableur au cours de l'année.

Figure 14. Disposition schématique des éléments principaux de la variante 2.

Le volume des sédiments piégés dans le dessableur s'élève à 115 m³. Ces matériaux solides sont évacués par un système de purge de type Bieri (www.bierihydraulik.ch) dans un chenal situé sous le dessableur. Le chenal de purge de pente 3,3% est raccordé à la galerie de dérivation contournant la retenue avec une pente constante de 2,4% et aboutissant à la gorge naturelle à l'aval du barrage.

4.4 Variante 3: Turbinage au fil de l'eau des eaux chargées

La construction d'un aménagement fonctionnant au fil de l'eau avec une prise d'eau située à l'entrée de la digue de retenue des sédiments permettrait d'augmenter la quantité de MES turbinées. La chute d'eau pourrait aller théoriquement jusqu'à Turtmann avec plus de 1500 m de charge. Un dessableur efficace doit toutefois être prévu. Cette variante peut notamment être combinée à la variante 2 étudiée précédemment.

En effet, en considérant le dessableur de la variante 2, une quantité importante de sédiments fins pourrait être turbinée. Le *Tableau 3* montre pour chaque tranche granulométrique, la part des sédiments dessablés, et la part sortant du dessableur.

Une part très importante de matériaux fins (<0,3 mm) n'est donc pas dessablée représentant plus de 7200 m^3 pour le dessableur choisi dans la variante 2. Néanmoins il serait impossible de turbiner tous les débits sortant du dessableur. Le volume turbiné avec le dessableur proposé est estimé à 1800 m^3/an par m^3/s de débit d'équipement.

Une étude économique tenant compte de l'abrasion de la turbine permettra de définir le débit équipé optimal. Les débits supérieurs sont déversés dans la retenue. Cette variante est tout à fait envisageable mais elle implique la mise en œuvre de moyens très importants et une analyse économique poussée pour son optimisation.

Diamètre	Volume annuel entrant		Partie dessablée		Partie sortante	
[mm]	[m^3]	[%]	[m^3]	[%]	[m^3]	[%]
<0,01	289	3	0	0	289	100
0.01 à 0.03	963	10	0	0	963	100
0.03 à 0.05	866	9	0	0	866	100
0.05 à 0.07	866	9	0	0	866	100
0.07 à 0.1	963	10	0	0	962	100
0.1 à 0.2	1348	14	7	0	1341	100
0.2 à 0.3	1059	11	48	5	1011	95
0.3 à 0.4	674	7	114	17	560	83
0.4 à 0.5	385	4	138	36	247	64
0.5 à 0.7	289	3	180	62	109	38
0.7 à 1	289	3	289	100	0	0
1 à 2	578	6	578	100	0	0
2 à 30	866	9	866	100	0	0
TOTAL	9433	98	2219	24	7214	76

Tableau 3. Efficacité du dessableur en fonction de la granulométrie.

5. Analyse des variantes et critères d'évaluation

Afin de déterminer une stratégie optimale de gestion des sédiments de la retenue de Tourtemagne, les différentes variantes de gestion des sédiments proposées doivent être analysées et évaluées selon différents critères adéquats. De plus, la gestion des sédiments devant s'inscrire dans une politique de développement durable, les critères doivent permettre une évaluation critique de chaque variante dans la perspective d'une gestion globale des sédiments à long terme. Ces critères d'évaluation sont décrits succintement dans les paragraphes suivants.

5.1 Efficacité

Le premier critère considéré est l'efficacité d'évacuation des sédiments, exprimée en volume. Ce critère est déterminant, car le volume d'alluvions évacué grâce à chaque variante ne remplira pas la retenue et ne réduira pas son volume utile. Le critère «efficacité» est donc chiffré en volume de sédiments évacués par unité de temps, exprimé dans cette étude en m^3/an. L'efficacité peut aussi être exprimé sous forme de temps: il s'agit alors de la durée nécessaire pour que le volume de la retenue soit réduit à 300 000 m^3.

5.2 Durabilité

Le but final du projet étant la gestion à long terme des sédiments, la durabilité des variantes proposées est un critère primordial. Une différenciation importante est notamment faite entre une variante constructive et une variante d'exploitation. En effet, une fois construites, les ouvrages fonctionnent de manière autonome pour évacuer les sédiments. De plus, leurs coûts d'investissement sont importants lors de la construction et les coûts d'exploitation faibles. Une variante d'exploitation au contraire nécessite la mise en œuvre répétée de moyens importants.

5.3 Incertitudes et adaptabilité

La gestion des sédiments demande de prendre en considération des phénomènes naturels chargés de nombreuses incertitudes, liées notamment à l'hydrologie et au transport solide. Le dimensionnement de variantes de gestion des sédiments est également soumis à de nombreuses incertitudes. La robustesse des variantes face à ces incertitudes ainsi que leur éventuelle adaptation sont ainsi des critères d'évaluation importants.

5.4 Environnement

La présence d'un barrage sur un bassin versant naturel modifie sensiblement son comportement hydrologique et hydraulique et provoque une modification de l'équilibre du système (rupture de la continuité hydraulique et sédimentaire). Cependant, une nouvelle stratégie de gestion des sédiments aura également pour conséquence la modification du comportement du bassin versant (reprise partielle de la continuité du système hydraulique et sédimentaire) et de son écosystème. Les quantités de matières en suspension et de sédiments charriés, le contrôle de leur débit ainsi que la durée des phénimènes constituent des critères très importants.

5.5 Economie

La rentabilité de chaque variante est évidemment un aspect important à considérer. La réduction de l'alluvionnement, et donc de le gain de volume utile, permet une augmentation de la vente d'énergie de pointe et ainsi des bénéfices. Chaque variante engendre également des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance. Cette étude aborde simplement et qualitativement quelques aspects économiques. Il conviendrait d'optimiser chaque variante ultérieurement sur la base d'une analyse coûts/bénéfices avant de les comparer définitivement.

6. Evaluation des variantes

6.1 Variante 1: Curage de la retenue après la purge

6.1.1 Efficacité

En fixant comme objectif la courbe de matières en suspension (MES) de la

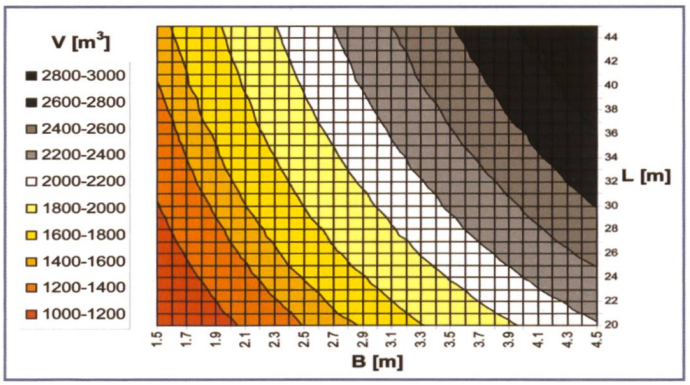

Figure 15. Volume dessablé annuellement à Tourtemagne en fonction des dimensions d'un dessableur de hauteur h= 3,5 m.

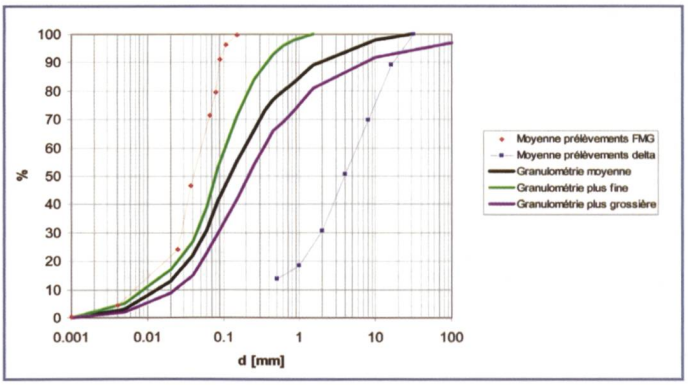

Figure 16. Courbes granulométriques utilisées pour le calcul de l'efficacité du dessableur.

Figure 12 et un débit liquide constant pendant l'opération de curage, le volume de sédiments évacués est proportionnel au débit d'eau claire injectée. Sur les 12 heures de l'opération, 650 m³ sont évacués par m³/s de débit siphonné depuis Moiry. Le débit proposé est de 4 m³/s. Ainsi, le volume total de sédiments évacué pendant l'opération atteint 2500 m³. Sur une durée 12 heures, le volume d'eau nécessaire s'élève à 172 800 m³.

6.1.2 Durabilité

Le curage de la retenue n'est pas une variante constructive et nécessite la mise en œuvre de moyens importants à chaque opération. Ce n'est donc pas une variante «durable» dans le sens qu'elle n'engendre aucune réduction de l'alluvionnement si aucun travail n'est fourni.

6.1.3 Incertitudes et adaptabilité

L'incertitude principale de cette variante réside dans le fait qu'il est difficile de prévoir l'état de sédimentation précédant la purge et le curage. Il est de ce fait difficile de prévoir comment disposer préalablement les sédiments à évacuer. Cette variante demande une adaptation pour chaque nouvelle opération. Néanmoins, l'adaptabilité est l'un des avantages de cette variante: cette dernière n'étant pas de type constructif, elle peut aisément être modifiée au cours des années.

6.1.4 Environnement

Les purges effectuées annuellement pour dégager la prise d'eau et la vidange de fond peuvent créer de fortes perturbations à l'écosystème situé à l'aval. Les impacts engendrés par les purges sont relativement aléatoires car ils dépendent du processus de sédimentation qui s'est déroulé au cours de l'année. Par exemple, une avalanche s'est produite en 1999 à Tourtemagne et a entraîné une quantité importante de sédiments dans la retenue. En conséquence, la purge de 1999 a été particulièrement éprouvante pour l'environnement avec un pic de MES de 300 ml/l. Les effets des purges sont donc difficilement prévisibles et contrôlables.

A l'opposé, l'opération de curage proposée consiste à suivre un taux objectif de MES, qui est assuré grâce à un contrôle du débit solide (préparation à l'avance des matériaux à évacuer) et du débit liquide (apports d'eau claire de Moiry). Le taux de MES est donc maîtrisé et les impacts à l'environnement peuvent être gérés.

De plus, grâce à un contrôle continu du taux de MES à l'aval, la quantité de sédiments évacués (taux objectif de MES) peut être adaptée au cours de l'opération. De même, un suivi des conséquences environnementales à court, moyen et long terme par un spécialiste permettra d'adapter l'opération au fil des ans.

Par ailleurs, il est nécessaire de respecter une période sans injection de sédiments au début de l'opération de curage, pendant laquelle le débit est augmenté progressivement pour permettre à la faune de se réfugier dans des abris. De même, à la fin de la purge, il faut prévoir une période de rinçage à l'eau claire du cours d'eau, puis une diminution progressive du débit de manière à ne pas piéger les poissons dans des zones de faible profondeur d'eau. Ces périodes de pré et post curage représentent une durée d'environ deux heures pour une perte d'eau d'environ 15 000 m³.

6.1.5 Economie

Cette variante n'étant pas constructive, aucun investissement initial important n'est à considérer. Par contre, des moyens importants sont à mettre en œuvre chaque année. Des ressources importantes en personnel et en machines sont nécessaires, avec un rythme de travail soutenu le jour de la purge pour préparer les tas, ainsi que le jour de l'injection des sédiments.

6.2 Variante 2: Dessablage des eaux de l'affluent principal

6.2.1 Efficacité

L'efficacité de cette variante dépend des dimensions données aux différents ouvrages utiles. Le but étant de dessabler toutes les eaux entrant dans la retenue, la prise d'eau est dimensionnée pour une crue annuelle.

Les dimensions du dessableur vont directement influencer le volume annuel de sédiments évacués. En considérant les débits liquides et solides (courbe des débits classés) arrivant pendant une année moyenne, le volume de sédiments évacués annuellement est calculé pour différentes dimensions du dessableur (Longueur L, largeur B, pour une hauteur h). La *figure 15* montre les résultats de ce calcul pour une hauteur de 3,5 m.

Ce graphique peut être utilisé pour trouver les dimensions optimales de l'ouvrage et faciliter l'implantation de l'ouvrage sur le site, plusieurs valeurs du couple longueur/largeur (L/B) étant possibles pour un même volume annuel de sédiments évacués. Pour le bon fonctionnement du dessableur, il convient de respecter la règle de l'art B<L/8.

6.2.2 Durabilité

L'aménagement proposé est un système fonctionnant de manière autonome, les purges pouvant être déclenchées automatiquement. Une fois construite, cette solution permet de réduire l'alluvionnement sur le long terme sans autre intervention et peut donc être qualifiée de durable. Seul le système de purge du dessableur nécessite un certain entretien.

6.2.3 Incertitudes et adaptabilité

Le dimensionnement d'un dessableur pour la protection d'une usine hydroélectrique impose le dessablage de toutes les particules inférieures à un diamètre donné

Dimensions du dessableur de hauteur h=3.5 m		Volume annuel de sédiments dessablés [m³] pour une granulométrie :		
Longueur [m]	Largeur [m]	Fine	Moyenne	Grossière
25	3	530	1'850	2'310
30	3.5	850	2'220	2'740
40	4	1'300	2'690	3'250

Tableau 4. Analyse de sensibilité sur la granulométrie: Volume de sédiments évacués annuellement [m³] en fonction de la granulométrie et des dimensions du dessableur.

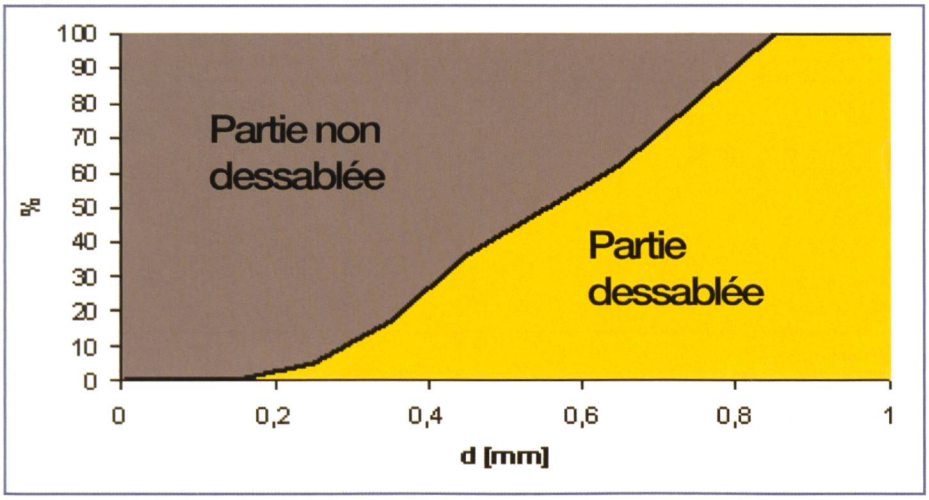

Figure 17. Partie des sédiments dessablée en fonction du diamètre des particules pour une année hydrologique moyenne et pour un dessableur de dimensions L = 30 m, B = 3,5 m et h = 3,5 m.

pour le débit de dimensionnement. Dans le cas de la protection d'une retenue contre l'alluvionnement, le problème se pose différemment puisque le but est de capter le volume maximal de sédiments pendant l'année. Ainsi l'efficacité du dessableur ne doit pas être calculée pour un débit de dimensionnement, mais pour l'ensemble des débits qui passent dans le dessableur au cours de l'année. L'hydrologie est donc une première source d'erreur. D'autre part, le volume dessablé annuellement dépend fortement de la granulométrie choisie pour le dimensionnement. Le calcul de l'efficacité du dessableur a été effectué pour une courbe granulométrique moyenne intégrant les différents levés réalisés sur le site. D'autre part, une analyse de sensibilité sur la granulométrie a été effectuée en considérant trois distributions différentes qualifiées de fine, moyenne et grossière *(Figure 16)*. Le calcul d'efficacité a été effectué pour ces trois courbes et pour trois dessableurs de dimensions différentes. Les résultats sont récapitulés dans le *tableau 4*.

Ce tableau montre l'importance d'une bonne connaissance de la granulométrie pour dimensionner un dessableur efficace. Si cette variante devait être retenue par la suite, une analyse poussée de la granulométrie devrait être effectuée avant la construction, le dessableur étant difficilement adaptable par la suite.

6.2.4 Environnement

Les atteintes à l'environnement dépendent des purges du dessableur. Lors de cette opération des pics assez élevés de MES peuvent avoir lieu sur une courte période. De plus, les changements brusques de débit provoquent un marnage. Ces impacts peuvent être réduits grâce à une ouverture progressive du système de purge et une période de rinçage assez longue après chaque purge.

6.2.5 Economie

Cette variante est une solution constructive impliquant un investissement initial important. Cet investissement sera rentabilisé grâce à la diminution de perte de volume. Une étude économique approfondie permet de calculer les dimensions économiquement optimales en utilisant la *Figure 15*.

6.3 Variante 3: Turbinage au fil de l'eau des eaux chargées

6.3.1 Efficacité

Le but de cette variante étant de turbiner les MES non décantées dans le dessableur (variante 2), le volume de sédiments évacués annuellement par cette solution dépend de l'efficacité du dessablage des eaux, c'est-à-dire des dimensions du dessableur.

Par ailleurs, le volume annuel de sédiments évacués dépend directement du débit d'équipement de la centrale. Il se chiffre donc en m³ par m³/s de débit d'équipement de la centrale.

En considérant un dessableur de 30 m de long et de 3,5 m de large, le volume de MES turbiné annuellement s'élève à 1800 m³ pour un débit d'équipement 1 m³/s à la centrale.

6.3.2 Durabilité

Une centrale au fil de l'eau est une variante constructive, qui une fois installée permet d'évacuer des sédiments de manière autonome. Néanmoins, le but étant de turbiner les MES, la turbine va se détériorer au cours du temps nécessitera des frais de maintenance. La *Figure 17* montre la part de MES dessablée ou non sur une année hydrologique moyenne (dessableur L = 30 m et B = 3,5 m).

6.3.3 Incertitudes et adaptabilité

Comme pour la variante 2, l'incertitude réside dans la granulométrie des sédiments entrant dans la retenue. Néanmoins la variante 3 (centrale au fil de l'eau) permet de compenser en partie les incertitudes liées à la variante 2 (dessablage des eaux). En effet, si le dessableur fonctionne moins bien que prévu, plus de sédiments sortiront de celui-ci et la quantité de MES turbinée sera augmentée ou inversement. Une attention particulière doit également être portée à l'ouvrage de captage des eaux de la centrale, qui doit permettre de prélever le maximum de MES.

6.3.4 Environnement

Les eaux de restitution de la centrale ont un taux de MES plus faible que le taux naturel. De plus, le turbinage étant continu, cette variante n'entraîne pas de marnage. En comparaison de l'état actuel, une telle variante est certainement bénéfique du point de vue environnemental.

6.3.5 Economie

La construction d'une centrale au fil de l'eau implique un investissement important. Une étude économique tenant compte de l'exploitation de la centrale et des coûts de maintenance (abrasion de la turbine) doit être effectuée. Par ailleurs, cette variante implique la dérivation d'une certaine quantité d'eau qui ne sera plus utilisée par les aménagements actuels des FMG.

6.4 Matrice d'évaluation des variantes

Chaque variante a été évaluée pour les différents critères considérés. Le *Tableau 5* résume cette analyse comparative des différentes solutions proposées. Le critère économique n'apparaît pas dans ce tableau, une étude plus avancée (optimisation économique) étant préalablement nécessaire.

Variante	Efficacité	Durabilité	Incertitudes et adaptabilité	Environnement
1-Curage de la retenue	+++	-	++	-
2-Dessablage des eaux	+	+++	-	+
3-Centrale au fil de l'eau	+	++	-	++

Tableau 5. Matrice d'évaluation des variantes (+++: excellent, ++: bon, +: moyen, -: mauvais).

7. Gestion globale des sédiments

Actuellement, environ 12 000 m^3 de sédiments alimentent la retenue et le dépotoir chaque année. Actuellement, la purge annuelle permet d'évacuer environ 1500 m^3/an. Le volume utile de la retenue a donc diminué considérablement depuis l'édification du barrage, malgré la construction de la digue et du dépotoir. Il était de 860 000 m^3 en 1959 et ne vaut plus que 640 000 m^3 actuellement. Le dépotoir est quasiment plein et sa fonction de décantation n'est plus assurée. Si aucune mesure n'est prise rapidement le volume utile de la retenue diminuera fortement pour atteindre 300 000 m^3 d'ici une quarantaine d'années. A ce stade, l'exploitation du réservoir deviendra difficile.

Si l'une ou l'autre des variantes proposées était mise en œuvre, elle pourrait permettre de réduire l'alluvionnement de la retenue. Il serait de plus souhaitable de les combiner afin d'augmenter leur efficacité. La variante de curage (1) pourrait par exemple être combinée avec une ou l'autres des variantes constructives (2 et 3). Les deux variantes constructives proposées sont également compatibles. Il serait même envisageable de mettre en œuvre les trois variantes ensemble.

La combinaison de variantes suivante peut ainsi raisonnablement être mise en œuvre:

- Curage de la retenue après la purge (efficacité de 2500 m^3/an)
- Dessablage des eaux arrivant à la retenue avec les dimensions proposées (efficacité de 2200 m^3/an)
- Construction d'une centrale au fil de l'eau d'un débit équipé de 1 m^3/s (efficacité de 1800 m^3/an)

En considérant de surcroît une purge de 1500 m^3/an, le volume total évacué s'élèverait à 8000 m^3/an, la perte de volume annuelle étant ainsi réduite de 60%. La diminution du volume utile de la retenue à 300 000 m^3 ne serait atteinte que d'ici une centaine d'années (combinaison 2).

Si l'opération de curage était réalisée deux fois par année (5000 m^3/an), et le débit de la centrale au fil de l'eau augmenté à 1,8 m^3/an, les apports en sédiments et les volumes évacués seraient en équilibre (combinaison 4).

	Etat actuel	Combinaison 1	Combinaison 2	Combinaison 3	Combinaison 4
Purge	~1'500	~1'500	~1'500	~1'500	~1'500
1-Curage de la retenue	-	1 x 2'500	1 x 2'500	1 x 2'500	2 x 2'500
2-Dessablage des eaux	-	2'200	2'200	2'200	2'200
3-Centrale au fil de l'eau	-	-	1'800 (Q_d=1 m^3/s)	3'200 (Q_d=1.8 m^3/s)	3'200 (Q_d=1.8 m^3/s)
Volume total évacué	~1'500	~6'200	~8'000	~9'400	~12'000

Tableau 6. Description et efficacité [m^3/an] de différentes combinaisons de variantes.

	Etat actuel	Combinaison 1	Combinaison 2	Combinaison 3	Combinaison 4
Perte de volume annuelle résiduelle [m^3/an]	~10'500	~5'800	~4'000	~2'600	~100
V = 300'000 m^3 en :	2040	2065	2090	2135	~Equilibre

Tableau 7. Perte de volume annuelle résiduelle de la retenue et durée maximale jusqu'à la réduction du volume utile à 300 000 m^3.

Le *Tableau 6* décrit différentes combinaisons envisageables en comparaison avec l'état actuel. Ces combinaisons correspondent à différents scénarii de gestion des sédiments.

Le *Tableau 7* montre la perte de volume annuelle résiduelle pour chaque combinaison de variantes ainsi que la durée nécessaire pour que le volume utile de la retenue soit réduit à 300 000 m^3.

8. Conclusions

La gestion globale des sédiments de la vallée de Tourtemagne est dictée en partie par les deux principales directives élaborées par le canton du Valais en matière de gestion des eaux. Elle répond de plus aux intérêts des propriétaires des aménagements hydroélectriques situés sur ce cours d'eau.

Les études concernant l'hydrosystème de la vallée de la Tourtemagne tiennent compte de l'hydrologie, du transport solide et de la dynamique alluviale. La modélisation numérique du système non aménagé a permis de mettre en évidence l'influence du barrage de Tourtemagne, qui capte la quasi totalité des eaux et des sédiments de la partie supérieure du bassin versant.

La capacité du réservoir de Tourtemagne, situé au pied d'un glacier en phase de retrait, s'est considérablement réduite sous l'effet de l'alluvionnement. La progression annuelle de ce processus a été quantifiée et des analyses granulométriques permettent de qualifier la nature des sédiments rencontrés à l'amont, à l'intérieur et à l'aval du réservoir.

Plusieurs variantes de gestion des sédiments ont été étudiées. La première consiste en un curage à lac vide suite à la purge annuelle. Les matériaux déposés dans la retenue seront mobilisés par des moyens mécaniques et injectés à proximité de la vidange de fond. Le débit nécessaire au transport et à la dilution provient par siphonage ou pompage du lac de Moiry situé dans la vallée voisine. Ainsi, le taux de

matières en suspension à l'aval du barrage peut être contrôlé et limité. La seconde variante consiste en la construction d'un dessableur à l'amont de la retenue captant l'affluent principal et sa charge sédimentaire. Les matériaux décantés sont évacués à l'aval de la retenue par un système de purge automatique et une galerie de dérivation.

L'excédant des matériaux fins non décanté dans le dessableur peut encore être évacué à travers une centrale au fil de l'eau (troisième variante). Cette alternative permet de redynamiser le cours d'eau aval avec un débit liquide et solide, auquel s'ajoutent les particules plus grossières libérées par la purge automatique du dessableur.

Pour analyser et évaluer efficacement les différentes variantes, plusieurs critères ont été considérés. Ces critères sont l'efficacité, la durabilité, et la valeur économique. Les incertitudes et l'adaptabilité liées à chaque variante ainsi que les aspects environnementaux ont été également pris en compte. L'analyse des variantes selon ces critères a montré que chaque solution proposée possédait des avantages et des inconvénients parfois opposés, notamment en fonction de leur type, constructif ou d'exploitation. Une variante seule ne permet pourtant pas la résolution du problème d'alluvionnement de la retenue de Tourtemagne.

L'analyse a donc montré la pertinence de combiner les différentes solutions. Ainsi, les problèmes d'alluvionnement de la retenue de Tourtemagne pourraient être réduits voire résolus si des moyens plus importants étaient directement mis en œuvre. Une solution idéale serait la mise en œuvre simultanée des trois variantes étudiées, celles-ci se révélant complémentaires.

Bibliographie

Hingray B., Hamdi Y., Musy A.: Modèle de prévision hydrologique du Rhône supérieur, dans Communications du Laboratoire de constructions hydrauliques N° 21, ISSN 1661–1179, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2005.

Beyer Portner N.: Erosion des bassins versants alpins par ruissellement de surface; Communication LCH N° 6, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1998.

Boillat J.-L., De Cesare G., Schleiss A., Oehy Ch.: Successful Sediment flushing conditions in Alpine Reservoirs, Proc. of Intern. Workshop and Symposium on Reservoir Sedimentation Management, 26–27 Oct. 2000, Tokyo, pp. 155–167 (traduit en Japonais).

Boillat J.-L., Dubois J., De Cesare G., Bollaert E.: Sediment Management Examples in Swiss Alpine Reservoirs, Proc. of Intern. Workshop and Symposium on Reservoir Sedimentation Management, 26–27 Oct. 2000, Tokyo.

Boillat J.-L., Oehy Ch., Schleiss A.: Reservoir Sedimentation Management in Switzerland, Proc. 3rd World Water Forum, Challenges to the Sedimentation Management for Reservoir Sustainability, March 2003, pp. 143–158.

Bouvard M.: Barrages mobiles et ouvrages de dérivation; IAHR, 1984.

Bravard J.P., Petit F.: Les cours d'eau, dynamique du système fluvial ; Armand Colin, 2002.

De Cesare G., Beyer Portner N.A., Boillat J.-L., Schleiss A.: Modelling of erosion and sedimentation based on field investigation in Alpine hydropower schemes, Proc. 3rd International Conference on Hydroscience and Engineering, Cottbus, Berlin, Vol. 3, 1998.

Dubois J.: Simulation des systèmes hydrauliques et hydrologiques complexe: Routing System II, dans Communications du Laboratoire de constructions hydrauliques N° 21, ISSN 1661–1179, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2005.

Dufour J.C.: Assainissement des cours d'eau en Valais et Analyse de l'hydrosystème du bassin versant de la Tourtemagne, Travail Postgrade LCH, non publié, 2004.

Jenzer J., De Cesare G., Hauenstein W. Nachhaltiges Sedimentmanagement in alpinen Speichern; EU-Projekt «Alpreserv» im Rahmen von Interreg III B, Wasser Energie Luft – Eau Energie Air, Jahrgang 97, Heft 3/4-2005, pp. 77–78.

Mulder T., Syvitsky J.P.M.: Turbidity Currents generated at River Mouths during exceptional Discharges to the World Oceans, The Journal of Geology, Vol. 103, pp. 285-299, University Press of Chicago, 1995.

Ramez P.: Erosion et transport solide en rivière, tome 1, CEMAGREF, 1993.

Smart G., Jäggi M.: Sediment Transport in steilen Gerinnen, Communication N°64, VAW-ETHZ, 1983.

Remerciements

La présente étude a été effectuée dans le cadre d'un travail pratique de master EPFL en génie civil et du projet de l'Union Européenne Alpreserv, partie du programme Interreg III B. Les auteurs remercient toutes les personnes ayant contribué à sa réalisation notamment le Dr Jérôme Dubois (LCH), M. Pierre-Benoit Raboud (Service des forces hydrauliques), M. Jean-Christophe Dufour (Idealp) et M. Geoges-Alain Zuber (FMG). Enfin, les données météorologiques ont été fournies par MétéoSuisse.

Adresses des auteurs

Rémi Martinerie, Giovanni De Cesare, Frédéric Jordan et *Jean-Louis Boillat*
Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
CH-1015 Lausanne, Suisse
http://lchwww.epfl.ch
remi.martinerie@epfl.ch
giovanni.decesare@epfl.ch
fred.jordan@epfl.ch
jean-louis.boillat@epfl.ch

Die Fortsetzung der Alpreserv-Beiträge folgt in der nächsten Ausgabe von «Wasser Energie Luft» 3/06, am 8. September 2006.