



Communication 22

INTERREG IIIB - Projet ALPRESERV

Conférence sur la problématique
de la sédimentation dans les réservoirs
Tagung über die Problematik der Stauseeverlandung

Sion, mardi 20 septembre 2005

Gestion durable des sédiments dans les réservoirs alpins

***Nachhaltiges
Sedimentmanagement
in alpinen Speichern***

Interreg IIIB - Projet Alpreserv

Gestion durable des sédiments dans des réservoirs alpins tenant compte des aspects écologiques et économiques / Nachhaltiges Sedimentmanagement in alpinen Speichern unter Berücksichtigung von ökologischen und ökonomischen Aspekten

Conférence sur la problématique de la sédimentation dans les réservoirs Tagung über die Problematik der Stauseeverlandung

Sion, 20 septembre 2005 / 20. September 2005

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 vom Turtmanntales wurden analysiert: die Hydrologie einerseits, der Feststofftransport und die alluvial Dynamik andererseits. 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 Turtmänner durch den Stausee der Gougra stark reduziert wird.

Das Speichervolumen der Turtmann Reservoirs, welches in unmittelbarer Nähe des Gletscher liegt, hat sich wegen starkem Sedimenteintrag seit seinem ersten Einstau erheblich verringert. Um dem Problem des jährlichen Volumenverlust 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 Speichers gelegene Wasserfassung mit nachgeschaltetem Sandfang in Frage. Der Entsander kann den Eintrag von Feststoffen in den Stausee stark reduzieren, indem er eine beträchtliche Menge an Sedimente zurück hält, 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 4'153 m s.m. et l'exutoire à Turtmann à 620 m s.m. La courbe hypsométrique du bassin versant montre que 80% de la surface se situe à plus de 2'000 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).

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 Gougtra (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).

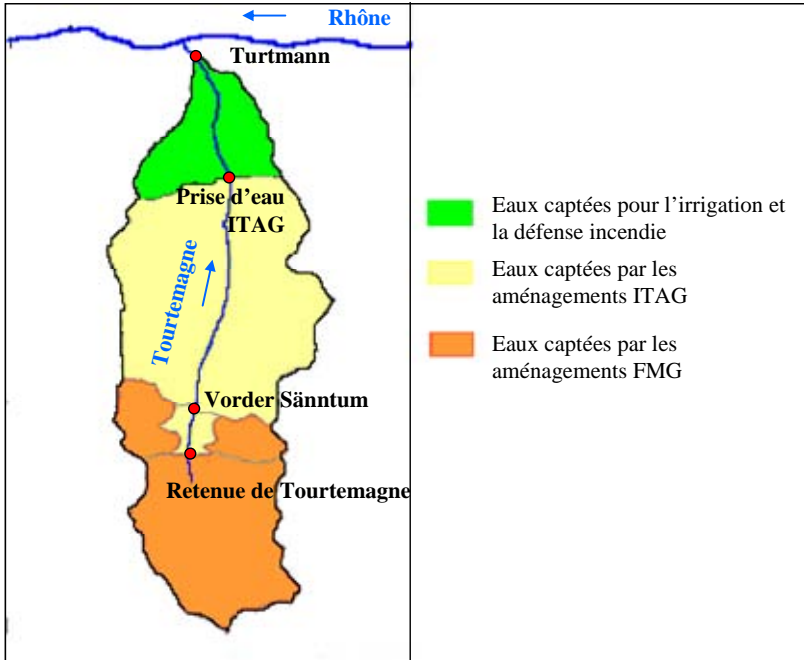


Figure 1 : Découpage du bassin versant de la Tourtemagne en fonction de l'exploitation des eaux

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 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:

1. 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 m³). 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.
2. Durant le reste de l'année, les eaux sont directement turbinées à Mottec après un stockage de quelques jours, en fonction des apports.

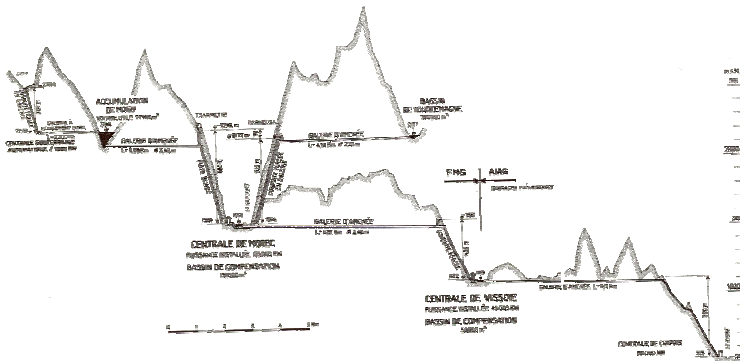


Figure 2: Profil en long schématique de l'aménagement des Forces Motrices de la Gougra (source: FMG)



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

2. La problématique d'alluvionnement à Tourtemagne

2.1 Etude hydrologique

Le but recherché était de quantifier l'influence du barrage de Troustemagne 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 hydrologique 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 6 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.

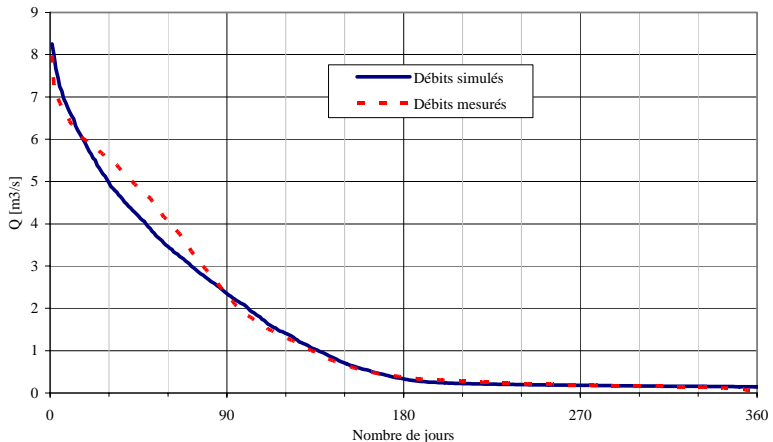


Figure 4: Courbe des débits classés mesurés et simulés à l'entrée de la retenue de Tourtemagne (moyenne de la période 1983 - 2003)

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).

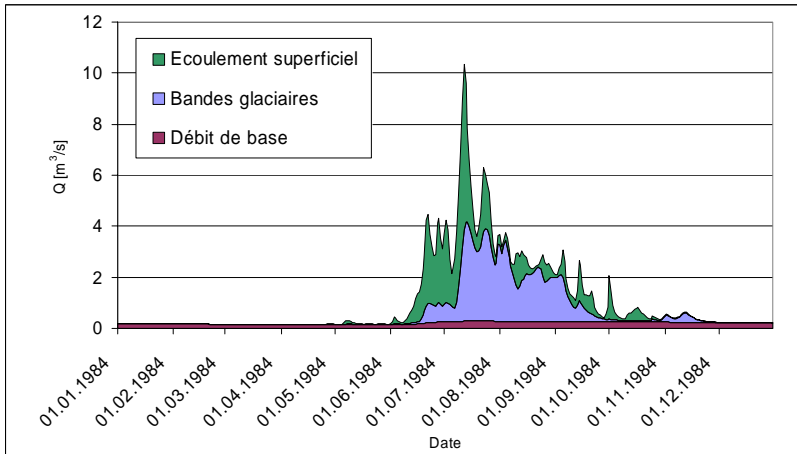


Figure 5: Décomposition des différentes contributions au débit pour l'année 1984

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 4 tronçons caractérisés principalement par leur pente moyenne (Figure 6).

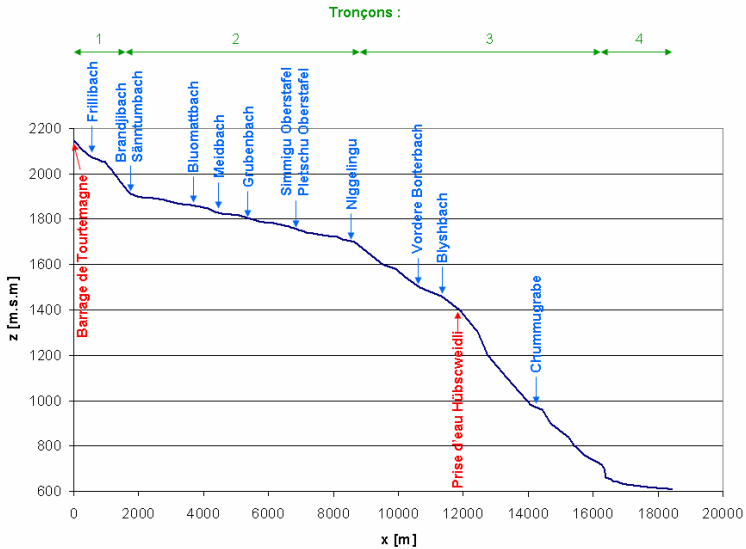


Figure 6: Découpage en tronçon du profil en long de la Tourtemagne, avec les ouvrages de retenue et les principaux torrents latéraux

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.

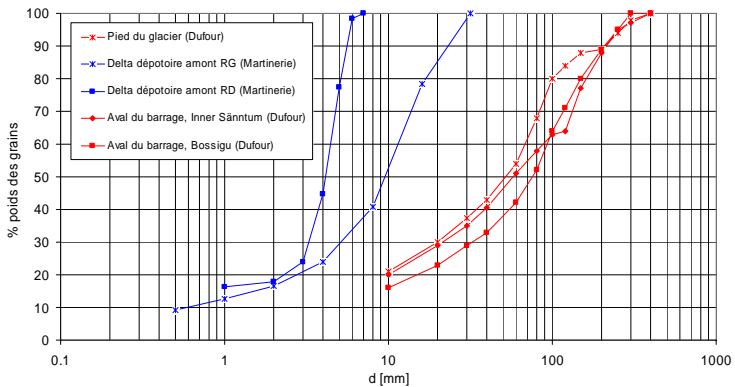


Figure 7: Distribution granulométriques à différents endroits caractéristiques de la Tourtemagne

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 un déficit sur le cours d'eau aval qui entraîne 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 dû 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 sont susceptibles de provoquer la rupture de la couche de pavage et de conduire à une modification significative du profil en long de la Tourtemagne.

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 importantes. 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 situées 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.



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

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 $150'000 \text{ m}^3$. 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.

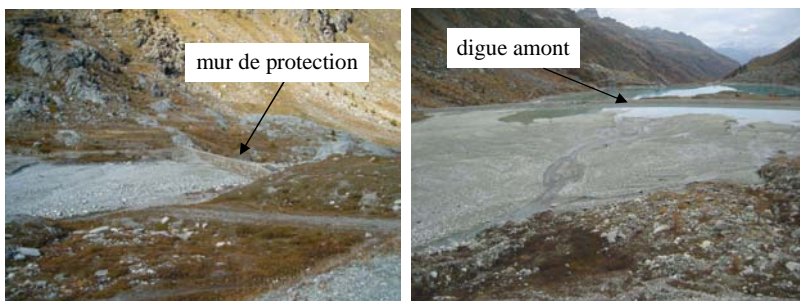


Figure 9: a) Mur de protection; b) Digue de retenue des matériaux (photos F. Jordan)

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 $5'000 \text{ m}^3/\text{an}$. Environ $40'000 \text{ m}^3$ 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 1'500 m³. Les différents volumes pris en compte pour évaluer le volume annuel moyen de sédiments entrant dans la retenue sont résumés dans le Tableau 1.

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 à la retenue [m³/an]

Le volume annuel moyen de sédiments est ainsi estimé à 12'000 m³/an. Le bassin versant contributif ayant une superficie de 37.4 km², l'érosion spécifique moyenne vaut donc 320 m³/(an.km²) 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 à la Figure 10. Conformément à l'arrêté sur les purges édité par le Conseil d'Etat du Valais, le taux de matières en suspension était mesuré toutes les 15 minutes au cours de la purge.

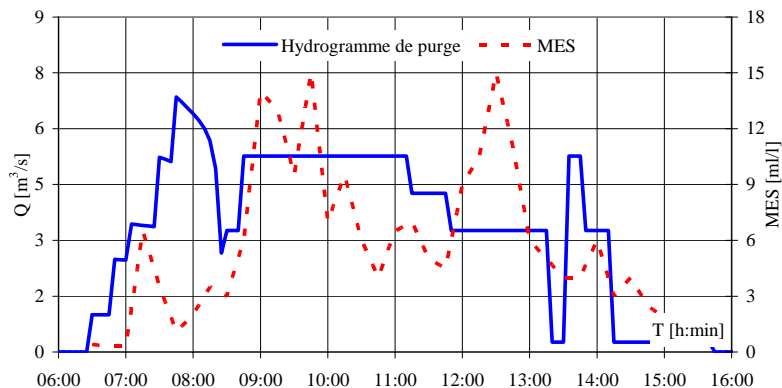


Figure 10: Hydrogramme reconstitué de la purge de 2002 et concentration de MES (Dufour 2002)

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 1'100 m³. 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.

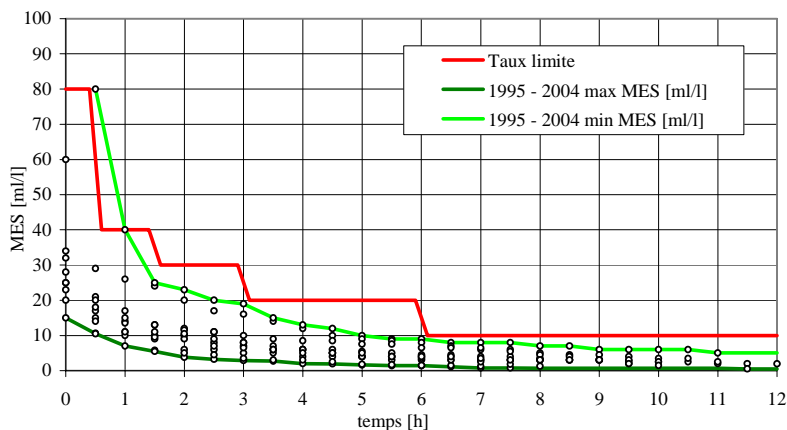


Figure 11: Concentration classée de MES mesurés au cours des purges de 1995 à 2004 avec les courbes enveloppes et taux limite autorisé

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 contenant 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 contrôlée 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 permettrait de moduler l'injection des sédiments au cours de l'opération.

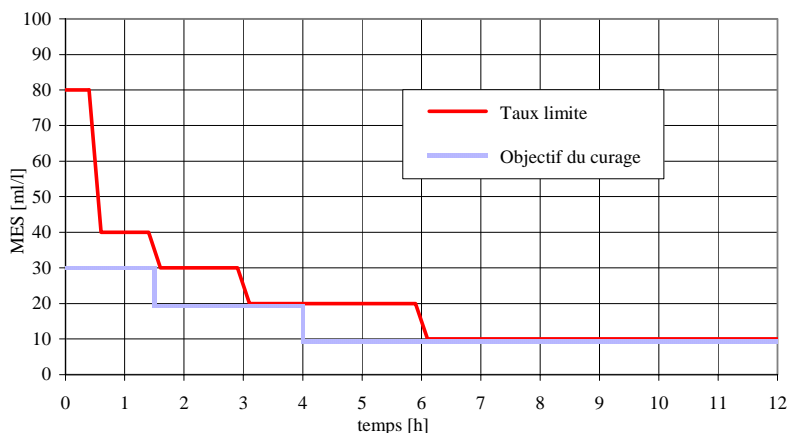


Figure 12: Objectif de la concentration de MES à atteindre pendant le curage en comparaison du taux limite fixé par l'arrêté cantonal

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 $4 \text{ m}^3/\text{s}$, le volume de sédiments évacué pendant le curage serait de $2'500 \text{ m}^3$. La durée de l'opération étant de 12 heures, le volume d'eau nécessaire s'élève à $172'800 \text{ m}^3$. 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 $15'000 \text{ m}^3$.

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 3 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 oeuvre pour l'opération.

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 à 12	10	1150	1450	27	5

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

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.

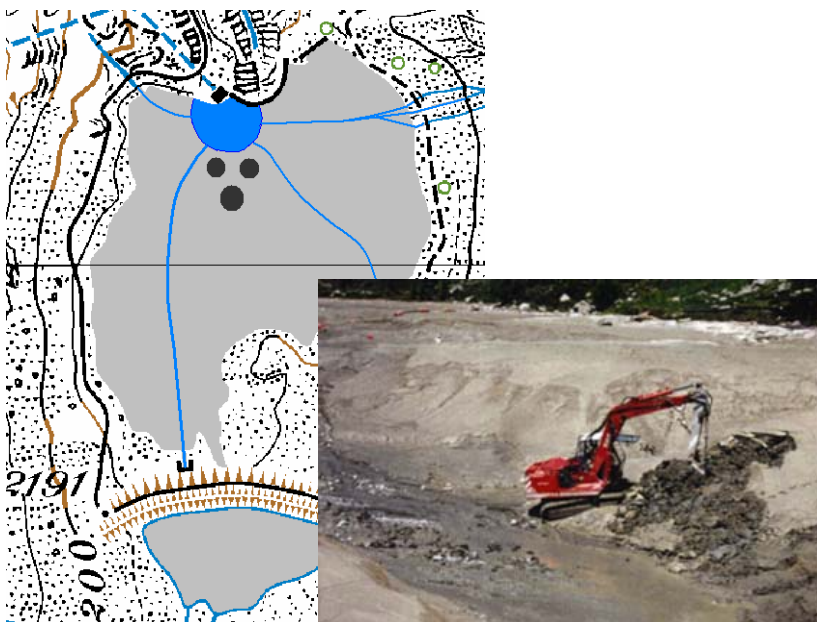


Figure 13: gauche: Disposition des tas dans la retenue pour le curage du bassin; droite: augmentation de l'efficacité du curage par déplacement des matériaux solides à l'intérieur de la retenue à l'aide de moyens mécaniques (photo D. Job, Colenco)

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).

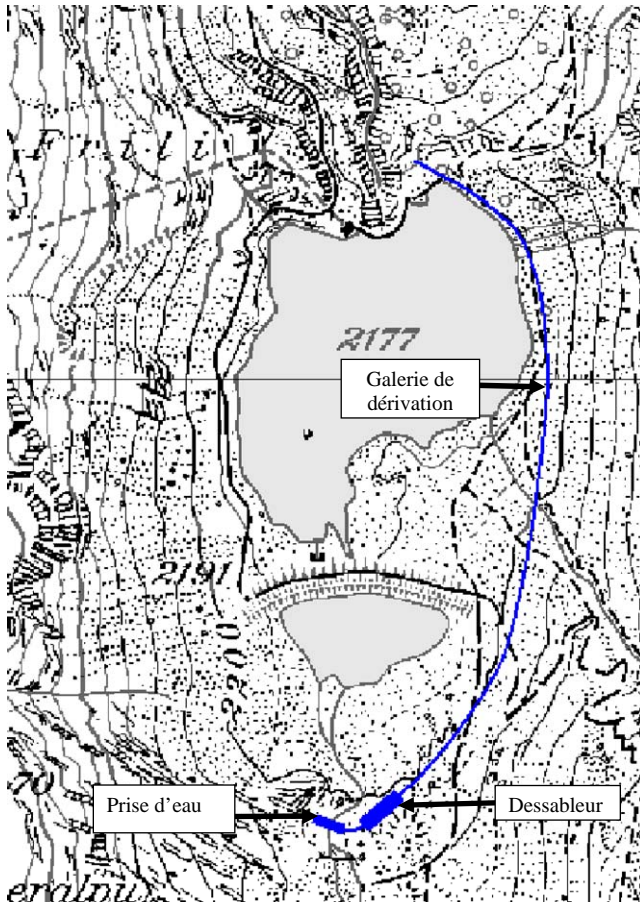


Figure 14: Disposition schématique des éléments principaux de la variante 2

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 9'600 m³.

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

$$Q_s = a \times Q^b$$

où Q_s 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 9'600 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 & Jäggī (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.

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 1'500 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.

Diamètre [mm]	Volume annuel entrant		Partie dessablée		Partie sortante	
	[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

Une part très importante de matériaux fins (<0.3 mm) n'est donc pas dessablée représentant plus de 7200 m³ 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 m³/an par m³/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.

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 succinctement 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 m³/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 m³.

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 phénomènes 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 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 2'500 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.

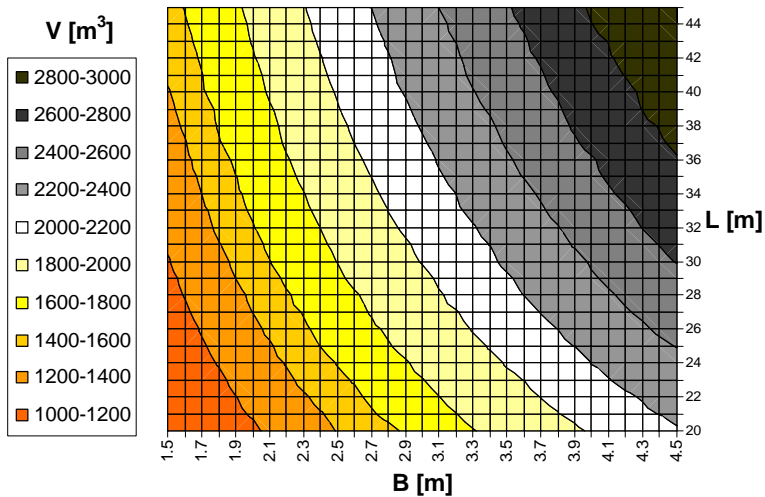


Figure 15 : Volume dessablé annuellement à Tourtemagne en fonction des dimensions d'un dessableur de hauteur h=3.5 m.

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 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).

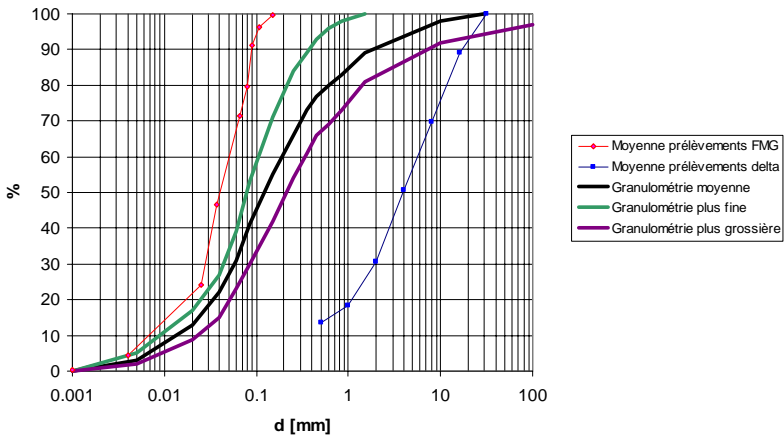


Figure 16 : Courbes granulométriques utilisées pour le calcul de l'efficacité du dessableur

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.

Dimensions du dessableur de hauteur h=3.5 m		Volume annuel de sédiments dessablés [m ³] 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

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 1'800 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).

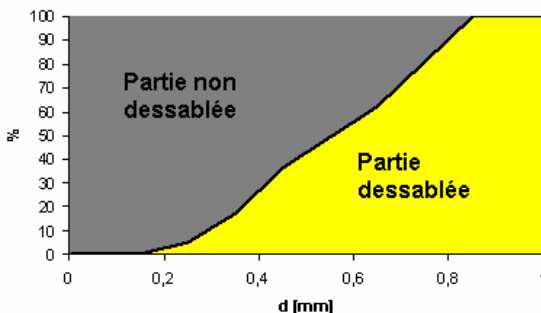


Figure 17 : Partie des sédiments dessablée en fonction du diamètre des particules pour une année hydrologique moyenne et pour un dessableur de dimensions L=30m, B=3.5m et h =3.5m

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 m³ de sédiments alimentent la retenue et le dépotoir chaque année. Actuellement, la purge annuelle permet d'évacuer environ 1'500 m³/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 m³ en 1959 et ne vaut plus que 640'000 m³ 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 m³ 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 3 variantes ensemble.

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

1. Curage de la retenue après la purge (efficacité de 2'500 m³/an)
2. Dessablage des eaux arrivant à la retenue avec les dimensions proposées (efficacité de 2'200 m³/an)
3. Construction d'une centrale au fil de l'eau d'un débit équipé de 1 m³/s (efficacité de 1'800 m³/an)

En considérant de surcroît une purge de 1'500 m³/an, le volume total évacué s'élèverait à 8'000 m³/an, la perte de volume annuelle étant ainsi réduite de 60%. La diminution du

volume utile de la retenue à 300'000 m³ ne serait atteinte que d'ici une centaine d'années (combinaison 2).

Si l'opération de curage était réalisée 2 fois par année (5'000 m³/an), et le débit de la centrale au fil de l'eau augmenté à 1.8 m³/an, les apports en sédiments et les volumes évacués seraient en équilibre (combinaison 4).

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

	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 [m³/an] de différentes combinaisons de variantes

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 m³.

	Etat actuel	Combinaison 1	Combinaison 2	Combinaison 3	Combinaison 4
Perte de volume annuelle résiduelle [m³/an]	~10'500	~5'800	~4'000	~2'600	~100
V = 300'000 m³ 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 m³

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 3 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.

Adresse der Autoren

Rémi Martinerie, Giovanni De Cesare, Frédéric Jordan et Jean-Louis Boillat
Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
1015 Lausanne, Schweiz
Tél.: +41 21 693 23 85
<http://lchwww.epfl.ch>
remi.martinerie@epfl.ch, giovanni.decesare@epfl.ch,
fred.jordan@epfl.ch, jean-louis.boillat@epfl.ch