Amélioration de la gestion sédimentaire au barrage de Lavey sur le Rhône à Evionnaz

Autor(en): **De Montmollin, Gérard / Essyad, Khalid / Dubois, Jérôme**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **102 (2010)**

Heft 4

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941675

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Amélioration de la gestion sédimentaire au barrage de Lavey sur le Rhône à Evionnaz

Gérard de Montmollin, Khalid Essyad, Jérôme Dubois

Résumé

Lors de la crue d'octobre 2000, la capacité hydraulique du Rhône s'est révélée être limite au droit du barrage de Lavey. Il a, par la suite, été observé que les profils en travers relevés dans le Rhône en amont du barrage montraient une importante tendance à l'alluvionnement et par conséquent une réduction de la capacité hydraulique. Suite à ces constatations le propriétaire de l'ouvrage (Service de l'électricité de la ville de Lausanne) a décidé de réaliser, une étude pour la modélisation hydraulique du Rhône au voisinage du barrage. La réalisation de cette étude a, entre autres, conduit à proposer une solution intégrée comprenant la reprise des extractions de sédiments dans la retenue et une modification constructive de l'ouvrage, sous la forme d'une prolongation du guideau existant.

La modification du guideau permet d'améliorer le transit des crues, de réduire les apports solides dans la prise d'eau et de rendre les purges significativement plus efficientes. Globalement, l'intégration des différentes mesures (purges plus extractions) permettra, en outre, une stabilisation puis un abaissement du lit du Rhône dans la retenue.

Zusammenfassung

Während des Rhonehochwassers im Oktober 2000 konnten Ausuferungen in Lavey nur knapp verhindert werden. Die Vermessung des Stauraums zeigte beträchtliche Geschiebeablagerungen, die zu Kapazitätseinbussen führten. Der Betreiber des Kraftwerks, die Stadtwerke Lausanne, gaben daraufhin vorliegende Studie in Auftrag, welche die hydraulischen Bedingungen der Rhone im Raum Lavey untersucht. Der numerisch getestete Lösungsansatz einer Verlängerung der bestehenden Leitmauer ermöglicht die Reaktivierung des Geschiebetriebs im Staubecken.

Die geometrischen Anpassungen der Leitmauer führen zu einer Verbesserung des Geschiebetransports in Richtung Wehr, zum Schutz der Wasserfassung vor Sedimenteintrag und zu wesentlich effizienteren Spülvorgängen. Kombinierte Massnahmen (Spülungen und Aushub) erlauben, das Rhonebett im Stauraum zu stabilisieren oder gar abzusenken.

1. Introduction

Le barrage de Lavey se situe sur le Rhône entre Martigny et St-Maurice, à l'aval d'Evionnaz. Il est composé de trois passes vannées de 13 m de largeur chacune. A l'amont de l'ouvrage, la prise d'eau implantée en rive droite permet de prélever jusqu'à 220 m^3/s pour la production électrique. Le niveau d'eau maximal de la retenue en exploitation normale est fixé à 446 m s.m. mais le soutirage est possible jusqu'à un plan d'eau à 444 m s.m.

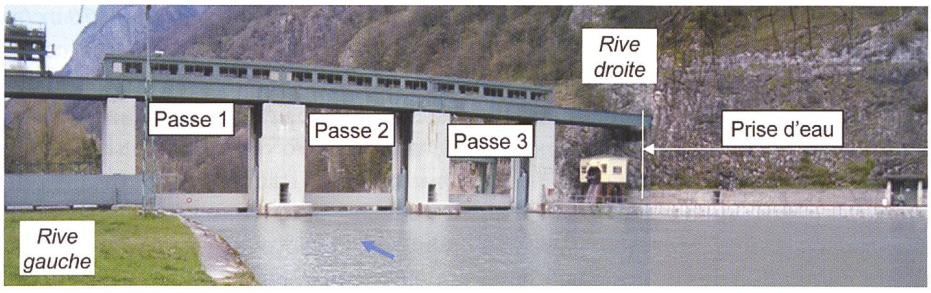

Figure 1. Le barrage de Lavey. Vue d'amont (photo 2005).

2. Problématique

Lors de la crue d'octobre 2000, la capacité hydraulique du Rhône s'est révélée être limite au droit du barrage. Il a, par la suite, été observé que les profils en travers relevés dans le Rhône en amont du barrage montraient une importante tendance à l'alluvionnement, responsable d'une réduction de la capacité hydraulique. Les profils en long relevés dans le Rhône à l'amont du barrage à différentes époques entre 1964 et 2000 montrent bien l'évolution et l'importance des dépôts sédimentaires dans la retenue de Lavey *(Figure 2)*.

Pour l'exploitant, la situation pose actuellement les problèmes suivants:

- réduction de la capacité hydraulique du barrage en crue,
- augmentation des apports solides dans la prise d'eau et, par conséquent, dégradation accélérée des ouvrages concernés (galeries, turbines),
- efficience réduite des opérations de purge.

Le projet de l'ouvrage (barrage et prise d'eau) avait été étudié sur modèle physique à l'échelle 1:25 à la VAW de l'ETHZ sous la direction du professeur Meyer-Peter. Ce modèle a permis de proposer un mur guideau permettant d'optimiser l'alimentation des passes en crue et de la prise en turbinage et ce malgré la complexité des conditions d'approche: forte courbure et variations de largeur.

Avec le temps, le fonctionnement hydraulique de l'aménagement s'est progressivement péjoré du fait de l'exhaussement du lit dans l'entier de la retenue *(Figure 2)* et de l'apparition d'un banc de gravier à l'amont immédiat de l'ouvrage. Ce dépôt sédimentaire, qui atteint plus de 8 m en rive gauche par rapport à l'état d'origine est visible sur la *Figure 3*, prise lors de la purge d'octobre 2005 et sur la bathymétrie de la *Figure 4*. Lors de cette purge, il est apparu

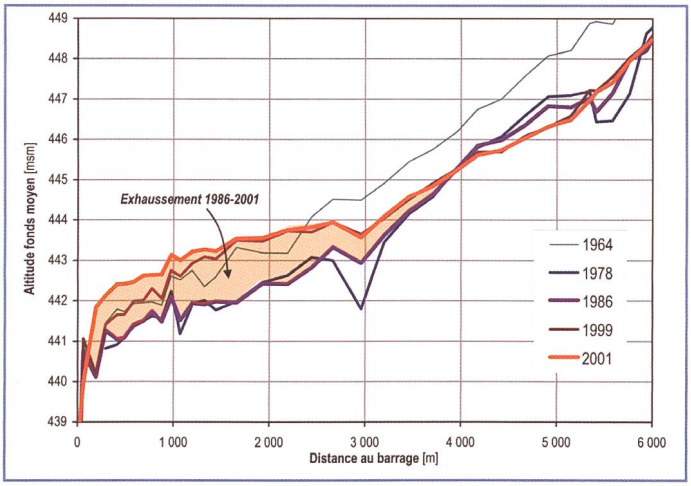

Figure 2. Evolution du fond moyen du Rhône à l'amont du barrage de Lavey entre 1964 et 2000.

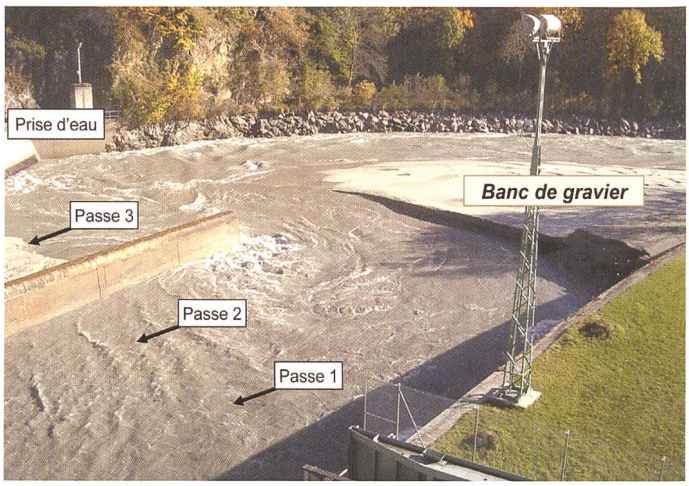

Figure 3. Etat alluvionné observé lors de la purge du 28 octobre 2005 (vue de l'aval, rive gauche).

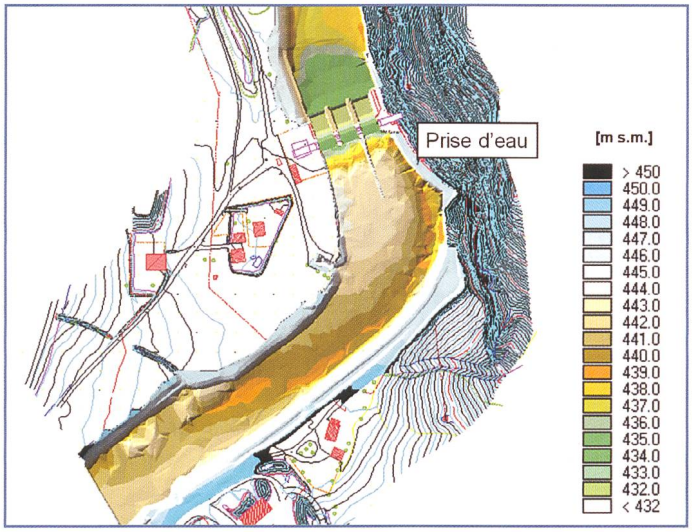

Figure 4. Bathymétrie à l'amont de l'ouvrage, état avant purge (selon relevé d'octobre 2005).

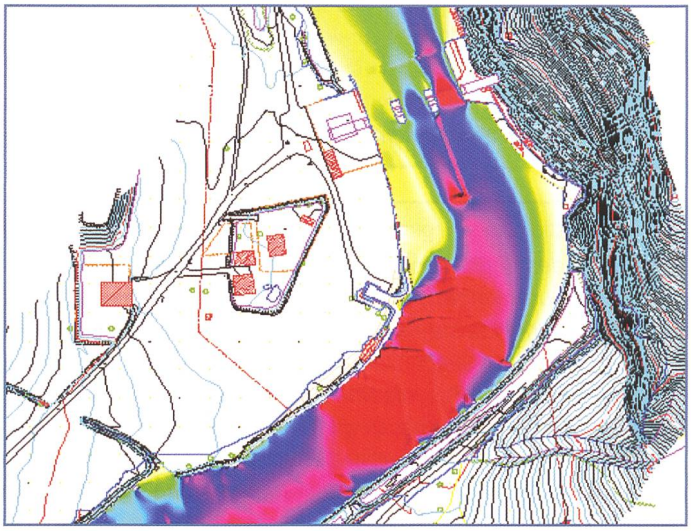

Figure 5. Vitesses d'écoulement au droit du barrage pour un débit de 1270 m³/s dans la géométrie «après purge» (couleur jaune: 1 m/s, couleur rouge: 6 m/s).

clairement que ce banc de gravier ne peut être remobilisé hydrauliquement.

3. Analyse de la situation

3.1 Limitation des apports solides dans la prise

Durant les années nonante du siècle passé, l'exploitant a observé une détérioration importante du radier de la galerie d'amenée. Cette dégradation est certainement associée au passage, de plus en plus important, de sédiments dans la prise d'eau et dans la galerie.

Comme le montre la *Figure 4*, les sédiments déposés à l'amont de la prise d'eau atteignent un niveau supérieur à 442 m s.m. alors que le radier du seuil d'entrée de la prise d'eau affleure à 438 m s.m. Le seuil d'entrée de la prise ne permet donc plus de protéger la galerie et les turbines du charriage. En termes hydrauliques, il est devenu invisible ou inopérant.

3.2 Gestion des crues

Une première série de simulations hydrauliques bidimensionnelles a été effectuée avec le modèle numérique *Dunamic2D*, développé par *HydroCosmos*, membre du groupement d'étude. Elles ont tout d'abord confirmé la capacité de l'ouvrage dans son état d'origine à faire transiter des crues de 1200 m³/s, puis ont permis d'analyser l'incidence de dépôts amont sur cette capacité d'évacuation. Au regard des observations effectuées lors de la crue du Rhône d'octobre 2000, ou un débit de pointe de 1260 m³/s a pu transiter sans débordement significatif dans le secteur de l'ouvrage, il est apparu rapidement que le dépôt massif observé *(Figure 4)* était partiellement effacé lors du passage de la pointe de crue, pour probablement se reconstituer en phase de décrue.

Pour représenter la bathymétrie en forte crue, l'état du lit relevé après purge a servi de référence. La *Figure 5* présente les vitesses d'écoulement simulées dans la retenue de Lavey pour un débit de 1270 m³/s avec cette géométrie érodée du lit. Les caractéristiques importantes de l'écoulement (apparition d'une section quasi critique dans le coude à l'amont de l'ouvrage, zone de recirculation en rive gauche, très mauvaise alimentation de la passe n°1) sont alors cohérentes avec les observations de terrain effectuées lors de cette crue.

Le projet de la troisième correction du Rhône a induit une réévaluation des débits de crue au droit de l'ouvrage (débits de crue considérés lors de l'élaboration du projet: 900 à 1200 m³/s; crues de projet actuelles : $Q_{100,cible}$ = 1420 m³/s, $Q_{extrême}$ = 1840 m³/s). La modélisation numérique a alors mis en évidence la nécessité de mieux maitriser ces dépôts amont et donc l'alimentation des passes pour optimiser le transit des débits de projet et minimiser l'incidence de l'aménagement sur la courbe de remous amont.

3.3 Efficience des purges

Le suivi des différentes purges a montré qu'elles n'ont qu'un impact limité dans le secteur proche du barrage (100 à 200 m à l'amont) et que sans intervention mécanique, il n'était pas possible d'évacuer le banc de gravier accumulé en rive gauche dans l'intrados du coude.

4. Améliorations constructives

L'analyse présentée ci-dessus met en évidence les différentes problématiques liées à la gestion sédimentaire en termes de transit des crues, de gestion opérationnelle des purges et de pérennité des différents organes.

Le concept qui a été élaboré consiste à modifier, d'une part le fonctionnement hydraulique au droit de l'ouvrage dans la perspective d'améliorer l'efficience des purges et, d'autre part, d'effectuer des prélèvements sédimentaires à l'amont de la zone d'influence de l'ouvrage pour limiter les apports.

4.1 Améliorations constructives au barrage

La maitrise des dépôts à l'amont immédiat de l'ouvrage est donc nécessaire, tant pour protéger les prises d'eau que pour optimiser les conditions d'écoulement en crue. Au droit de l'aménagement, il s'agit donc:

En exploitation normale (turbinage): de retarder l'apparition du banc de gravier à l'intrados en concentrant les écoulements sur la rive gauche et de conduire les sédiments le plus en aval possible, tout en assurant une bonne alimentation des prises.

En purge: de remobiliser efficacement ces dépôts devant les passes (purge rive gauche) et le plus à l'amont que possible et aussi assurer un dégravage efficace devant les prises d'eau (purge rive droite).

En situation de crue: il s'agit d'uniformiser l'écoulement afin d'éviter l'apparition de zones de recirculation (susceptibles d'initier la formation de dépôts massifs), d'optimiser la capacité de transit sédimentaire et de minimiser les pertes de charge à travers les passes et dans le coude.

La recherche et l'évaluation de solutions à été effectuée en s'appuyant sur le modèle numérique *CCHE2D* [2] couplant hydraulique et transport solide. Pour chaque géométrie analysée, la modélisation a exploré le comportement global pour l'ensemble des modes précités (exploitation, purges rive gauche et rive droite, crue).

La solution constructive proposée consiste à prolonger le mur guideau existant et à le relier à la berge en rive droite par un épi. Une échancrure à l'amont de ce guideau, ainsi qu'un modelé du fond devant les prises vise à favoriser le dégravage de la rive droite. La *Figure 6* présente cette géométrie telle qu'implantée ensuite dans le modèle physique. La *Figure 7* illustre les évolutions du fond simulées en modes d'exploitation et de purge rive gauche.

Comme le montre la *Figure 7*, cette configuration parait atteindre les objectifs, avec un dépôt qui se constitue plus en aval en mode d'exploitation, et qui s'érode efficacement et loin vers l'amont en mode purge. Lorsqu'elle est réalisée en rive droite, la purge permet un dégravage efficace des dépôts devant la prise, grâce aux échancrures du mur guideau et au modelé du fond qui concentre les écoulements.

La complexité des phénomènes en jeu (géométrie complexe, écoulement localement tridimensionnel, influence forte de la géométrie des dépôts sur l'écoulement) limite cependant la capacité prédictive des modèles numériques. L'étude sur modèle physique a confirmé le diagnostic posé ici ainsi que la robustesse du concept proposé, consistant à confiner l'écoulement principal en rive gauche. Elle a finalement permis d'aboutir à une configuration optimisée.

4.2 Evolution à long terme de la retenue

Le comportement sédimentaire dans la zone d'influence amont du barrage se doit également d'être maitrisé, afin d'y éviter un exhaussement du lit et donc des lignes d'eau en crue. Ce volet de l'étude s'est basé sur une modélisation de l'évolution morphologique à long terme (26 et 52 ans) et à l'échelle de la retenue (6 km), elle-même alimentées par les chroniques de débits solides et liquides élaborées dans le cadre de l'étude générale du charriage de la troisième correction du Rhône.

Ces analyses ont été effectuées avec le modèle unidimensionnel *CCHE1D* du *NCCHE* [3]. Elles ont tout d'abord permis de reconstituer l'évolution observée du lit sur la période 1974–2000 *(Figure 2)* puis d'évaluer la performance de différentes stratégies de gestion des sédiments à l'échelle de la retenue sur une période fictive 2000–2026: augmentation de la fréquence des purges au barrage (leur efficacité étant alors basée sur les résultats obtenus avec le modèle 2D local), extraction de sédiments dans la retenue et combinaison des deux.

La *Figure 8* compare l'évolution du lit au terme d'une période fictive de 26 ans pour ces différentes stratégies. Il ressort que les purges seules permettent d'abaisser significativement le fond moyen dans la partie aval de la retenue, que les extractions amont contiennent l'exhaussement du lit dans la partie amont, mais que seule la combinaison

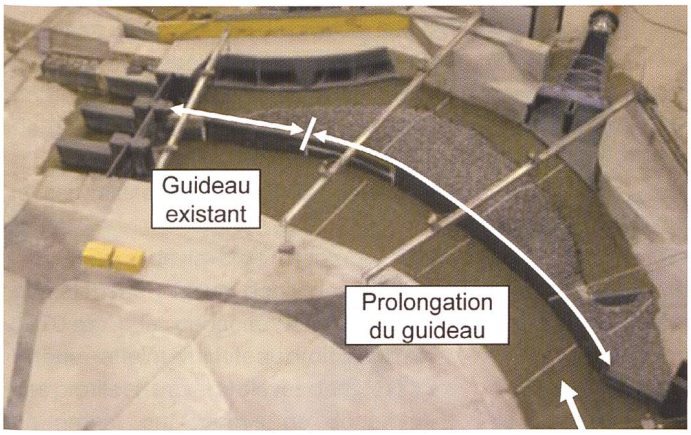

Figure 6. Solution constructive proposée (telle qu'implantée sur le modèle physique).

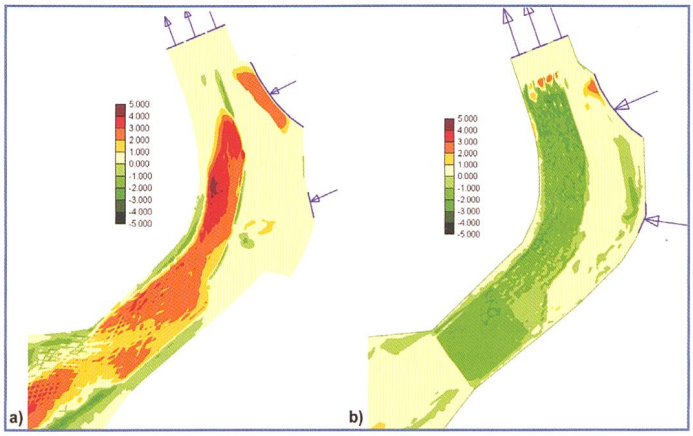

Figure 7. Simulation de l'évolution du lit, a) mode exploitation et b) mode de purge rive gauche. L'échelle de couleur représente la hauteur en mètres de dépôt ou d'érosion.

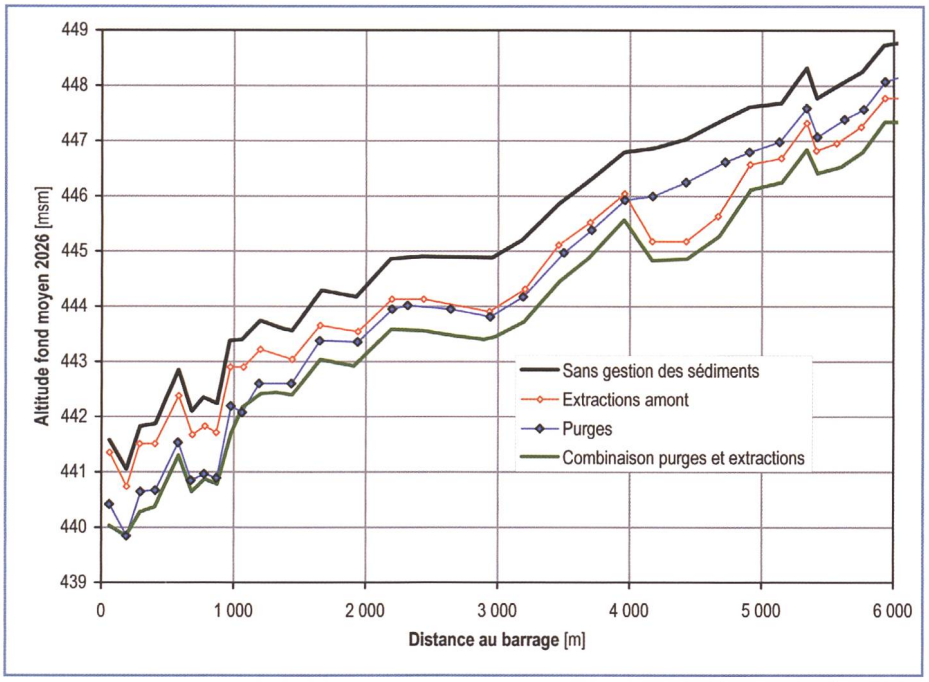

Figure 8. Modélisation CCHE1D de l'évolution du lit à l'amont du barrage: effets d'une combinaison de purges et d'extraction de gravier en amont sur la période 2000–2026.

des deux permet l'abaissement général du lit. Ces mesures sont donc bel et bien complémentaires et leur effet est plus que simplement additif: le gain sur le fond 2026 de référence est légèrement plus grand que la somme des gains individuels des mesures individuelles.

5. Conclusions

L'aménagement de Lavey est représentatif des aménagements au fil de l'eau construits sur des cours d'eau à fort charriage au milieu du siècle dernier. De tels aménagements ont généralement été réalisés sur la base d'une optimisation hydraulique ne tenant pas suffisamment compte de la problématique du charriage, car la maîtrise théorique et le retour d'expérience étaient plutôt limités à cette époque.

La présente étude a permis de mettre en évidence qu'une modification relativement mineure des organes de l'aménagement, qui ne touche ni au barrage ni à la prise d'eau, permet d'améliorer significativement l'exploitation de l'ouvrage par une gestion sédimentaire adéquate. L'intervention proposée permet de limiter les apports solides dans la prise d'eau, d'améliorer sa robustesse vis-à-vis des crues et de limiter les pertes d'exploitation en augmentant l'efficacité des purges. Associée à une gestion des apports solides amont par des extractions contrôlées et des purges régulières, elle permet de maitriser l'évolution à long terme du lit à l'amont.

La démarche conceptuelle associant modélisations numériques et physiques, ainsi qu'une collaboration étroite avec l'exploitant, ont permis d'aboutir efficacement à une solution d'exploitation robuste, fiable et souple.

Remerciements

Les auteurs remercient le Service de l'électricité (SEL) de la ville de Lausanne mandant de cette étude, ainsi que l'administration cantonale Valaisanne par ses services des Forces Hydrauliques et des Routes et des Cours d'Eau pour leur collaboration constructive tout au long de l'étude.

Références

[1] Groupement Stucky-Hydrocosmos-BG: «Etude hydraulique bidimensionnelle du Rhône au voisinage du barrage de Lavey». Rapports internes, 2005 et 2007

[2] *Zhang Y.* «CCHE2D Users Manual – Version 2.2», Technical Report n° NCCHE-TR-2005-03, Univ. of Mississippi, 2005

[3] *Wu W.* et *Viera D.* «CCHE1D Users Manual – Version 3.0», Technical Report n° NCCHE-TR-2002-01, Univ. of Mississippi, 2002

Adresses des auteurs

Gérard de Montmollin, Stucky SA
Rue du Lac 33, CH-1020 Renens
gdemontmollin@stucky.ch

Khalid Essyad, BG Ingénieurs Conseils SA
Avenue de Cour 61, CH-1001 Lausanne
khalid.essyad@bg-21.com.ch

Dr *Jérôme Dubois,* HydroCosmos SA
Grand Rue 43, CH-1904 Vernayaz
Jerome.dubois@hydrocosmos.ch