

# Barrage de Lavey – Modélisations physique et numérique des écoulements et du transport solide dans le Rhône

Michael Müller, Martin Bieri, Jean-Louis Boillat, Anton J. Schleiss

## Résumé

Comme beaucoup d'aménagements hydroélectriques au fil de l'eau, celui de Lavey, implanté sur le Rhône en Suisse, est affecté de manière récurrente par l'alluvionnement de sa retenue. Dans le cadre du projet de réhabilitation Lavey+, les débits du Rhône seront exploités de manière optimale par l'adjonction d'une nouvelle prise d'eau. Les essais sur modèle physique, complétés par des simulations numériques, ont permis de développer un concept d'exploitation et de gestion sédimentaire durable. La configuration optimisée évite le transport sédimentaire en direction des prises d'eau et permet une évacuation efficace des sédiments lors des purges. Les conditions d'alimentation des deux prises d'eau et le transit des crues ont également été analysés et optimisés. L'approche hybride «physique-numérique» a contribué à un traitement rapide et exhaustif des diverses problématiques. Des simulations numériques pertinentes, avant et pendant les phases expérimentales, ainsi que le recours à des techniques de mesure performantes ont permis d'accélérer le déroulement de l'étude et d'éviter des essais inutiles.

## Zusammenfassung

Wie viele Flusskraftwerke ist auch das Kraftwerk Lavey an der Rhone (Schweiz) von einer steten Verlandung seines Stauraums betroffen, sodass regelmässig Spülungen durchgeführt werden müssen. Im Rahmen des Ausbavorhabens Lavey+ sollen die Abflüsse der Rhone mittels einer zusätzlichen Fassung und eines Parallelstollens optimal genutzt werden. In hydraulischen Modellversuchen, ergänzt mit numerischen Simulationen, wurde ein Konzept zur nachhaltigen Sedimentbewirtschaftung erarbeitet. Die optimierte Stauraumkonfiguration verhindert den Geschiebetransport in den Bereich vor den Wasserfassungen weitgehend und gewährleistet einen effizienten Austrag der Sedimente während den Spülungen. Des Weiteren wurden die Anströmungsbedingungen der neuen und alten Wasserfassung sowie das Abführen von Hochwasser durch die bestehenden Wehrfelder analysiert und optimiert. Der hybride Lösungsansatz trägt zu einer schnellen und fundierten Problemlösung bei. Angemessene numerische Hilfsmittel vor und während der Versuchsphasen sowie aktuelle Messverfahren beschleunigen die Projektabwicklung und verhindern überflüssige kostenintensive Versuche.

## 1. Introduction

L'usine hydroélectrique de Lavey turbine le débit du Rhône capté au fil de l'eau près d'Evionnaz dans le canton du Valais en Suisse. Mis en service en 1950, cet aménagement est conçu de manière à gérer de fortes variations de débit. La retenue est créée par un barrage mobile, qui contrôle le niveau d'exploitation de la prise d'eau en rive droite du Rhône (Figure 1). Le barrage comporte trois pertuis, équipés chacun de deux vantaux dont le réglage permet d'assurer une alimentation optimale de la centrale et un transit sécuritaire des crues.

Lors de la crue d'octobre 2000, caractérisée par un débit de pointe de 1270 m<sup>3</sup>/s la capacité hydraulique du Rhône a atteint sa limite au droit du barrage. Les profils en travers relevés dans le Rhône en amont ont permis de documenter l'importance de l'alluvionnement et d'évaluer son impact sur la réduction de la capacité hydraulique de l'ouvrage. Suite à

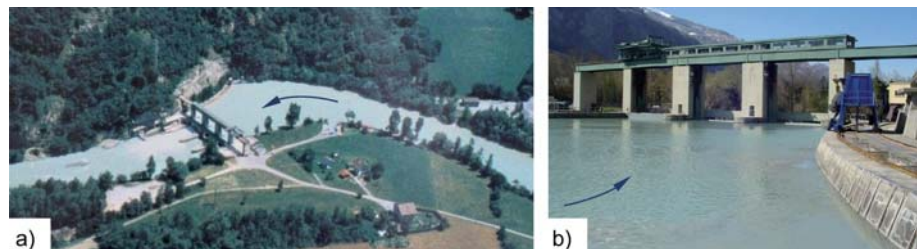


Figure 1. a) Photo aérienne et b) vue amont du barrage et de la prise d'eau de Lavey.

ce constat, la ville de Lausanne, exploitant de l'aménagement de Lavey par son Service de l'électricité (SEL), a mandaté un groupement d'ingénieurs constitué de Stucky SA, Hydrocosmos SA et Bonnard & Gardel SA pour élaborer des propositions d'aménagement. Afin de tester et optimiser la solution projetée, un modèle physique de l'aménagement a été réalisé au Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).

Dans une première phase expérimentale, les essais se sont concentrés sur

l'état actuel de l'aménagement dans un but de calage et de validation du modèle, tant d'un point de vue purement hydraulique que sédimentaire. Les niveaux d'eau, les vitesses et directions d'écoulement, la répartition du débit dans les pertuis, les processus d'alluvionnement et de purge ont ainsi été analysés selon une approche stratégique, reposant sur la complémentarité des modélisations numérique et physique [4] (Figure 2).

Dans le cadre de l'étude préliminaire, l'écoulement d'approche et le transport sédimentaire ont été simulés par

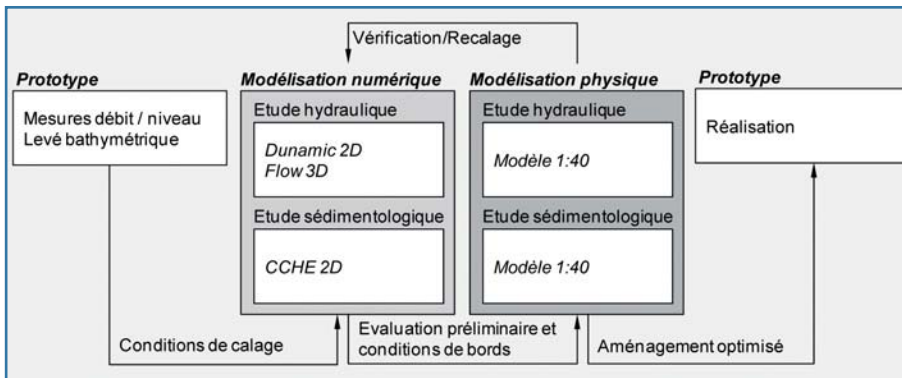


Figure 2. Approche hybride appliquée pour l'étude de l'aménagement de Lavey.

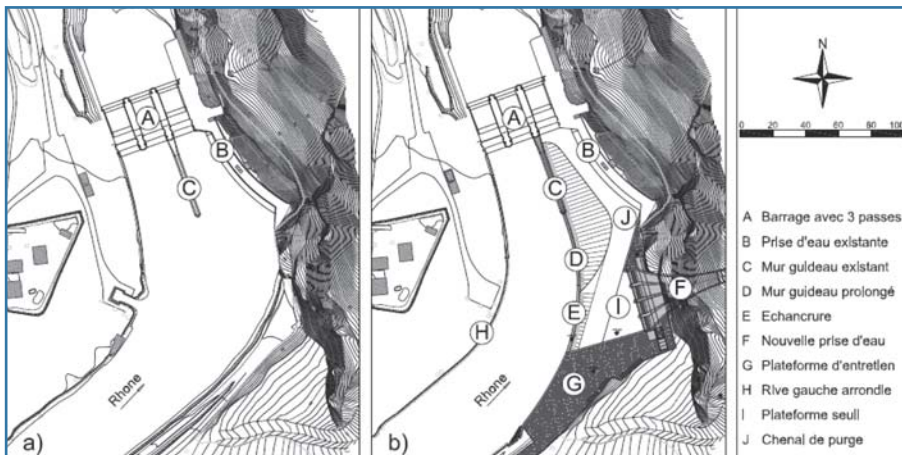


Figure 3. Aménagement de Lavey: a) Etat actuel et b) projet Lavey+.

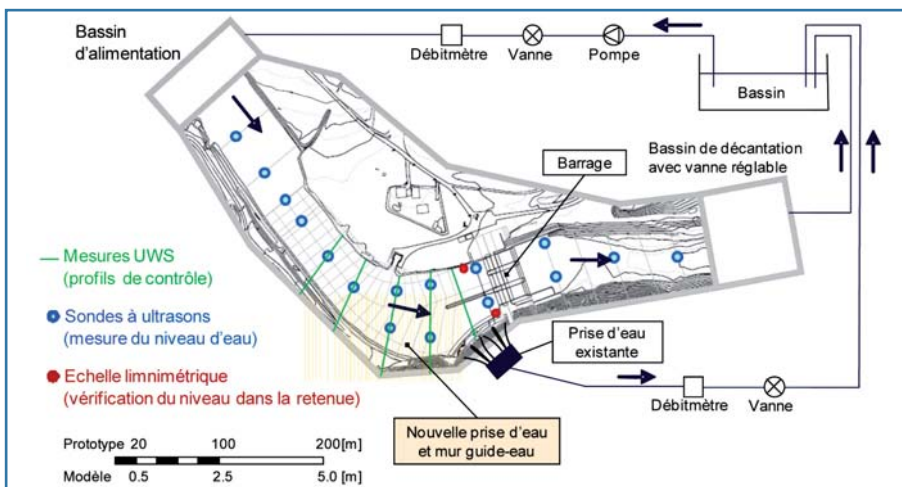


Figure 4. Géométrie, circuit d'alimentation et instrumentation du modèle physique de Lavey.

des modèles bidimensionnels, *Dunamic 2D* respectivement *CCHE 2D* [3]. Sur le modèle physique à échelle 1:40, l'état actuel a d'abord été mis en place et calé. Il a ainsi pu être vérifié que les dépôts reconstitués par l'essai d'alluvionnement correspondaient bien à ceux mesurés in situ. De même, la purge avec érosion partielle des dépôts sédimentaires s'est déroulée de manière similaire à la réalité [6]. La première série d'essais a ainsi permis la définition d'un état de référence, pour la comparaison avec les variantes d'aménagement.

En raison de la complexité des écoulements à l'approche de la prise d'eau, la simulation numérique tridimensionnelle avec *FLOW3D*<sup>®</sup> s'est finalement imposée pour l'étude comparative des variantes d'aménagement. Les résultats obtenus ont conduit à des modifications géométriques de la nouvelle prise d'eau et du mur guideau.

La présente étude décrit l'approche hybride utilisée dans cette étude et permet la comparaison de l'état actuel de l'aménagement de Lavey au projet de Lavey+.

## 2. L'aménagement de Lavey, aujourd'hui et demain

### 2.1 Aménagement actuel

Le barrage de Lavey contrôle l'écoulement du Rhône pour former une retenue à niveau constant devant la prise d'eau, qui alimente une centrale souterraine équipée de trois groupes de 31 MW chacun. Les doubles vantaux des trois pertuis du barrage peuvent être levés ou abaissés selon les conditions d'exploitation et de crue (Figure 3a). Le radier des passes se trouve à 435 m s.m. et les ouvertures ont une largeur de 13 m.

La prise d'eau existante est implantée en rive droite, à l'extérieur de la courbe du Rhône. L'ouvrage est composé de deux trompes d'entrée, chacune divisée en deux portails de 14 m de largeur à l'orifice. Le seuil de la prise se trouve à 438 m s.m. et le bord supérieur des ouvertures à 443.5 m s.m., ce qui définit une hauteur d'entrée de 5.5 m. Une grille, équipée d'un dégrilleur automatique évite l'entrée de débris flottants dans la prise.

En mode d'exploitation, le plan d'eau de la retenue est maintenu à 446 m s.m. et la prise permet de soutirer le débit de concession de 220 m<sup>3</sup>/s. En été, le plan d'eau est abaissé à 445 m s.m. pour mettre à disposition un volume de stockage supplémentaire en cas de crue. A partir d'un débit du Rhône supérieur à 600 m<sup>3</sup>/s, l'exploitation de la centrale est arrêtée et tout le débit doit transiter par le barrage sans provoquer d'inondation sur le secteur amont. Dans une telle situation, les vantaux du barrage sont complètement ouverts, avec leur limite inférieure à 444.8 m s.m.

### 2.2 Projet Lavey+

Par une nouvelle prise d'eau d'une capacité de 140 m<sup>3</sup>/s et une galerie d'adduction parallèle à l'existante, le débit de concession de 220 m<sup>3</sup>/s pourra être exploité avec un rendement énergétique plus favorable. Le projet Lavey+ (Figure 3b) prévoit également un mur guideau prolongé, destiné à éviter l'alluvionnement des prises d'eau pour le confiner en rive gauche. Le cours d'eau, se rétrécissant progressivement vers le barrage, permet une érosion rapide et efficace des dépôts pendant les opérations de purge. Les sédiments qui parviennent à franchir le guideau peuvent être évacués par un chenal qui longe les prises d'eau.

La crête du mur guideau est située à 444 m s.m. L'alimentation de la nouvelle prise d'eau, située 37 m à l'amont de l'existante en rive droite, est assurée par

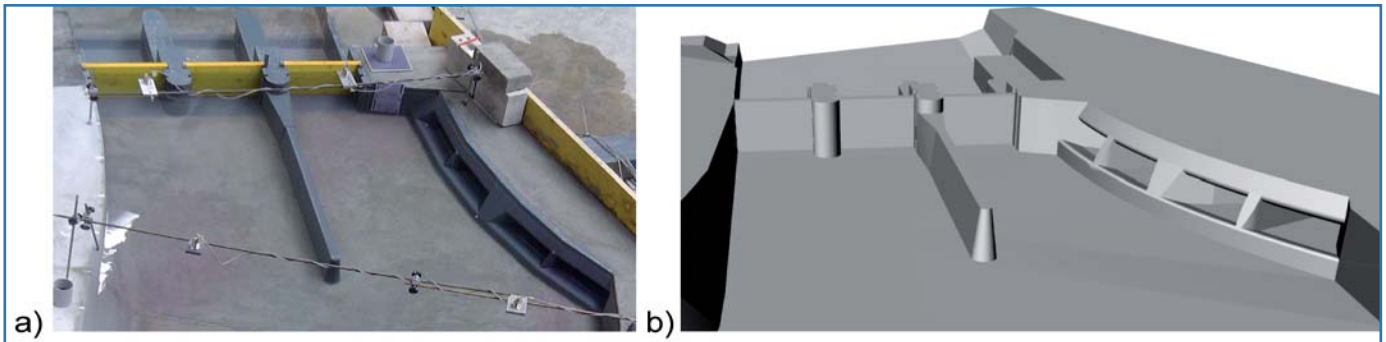


Figure 5. Barrage et prise d'eau actuelle a) sur modèle physique et b) modèle numérique 3D.

une échancrure de 42 m de longueur à un niveau de 443 m s.m. La largeur et la hauteur des quatre ouvertures d'entrée sont de 7.8 m respectivement de 4.5 m. Une plateforme seuil de forme triangulaire à 439 m s.m. définit le tracé initial du chenal de purge en rive droite.

### 3 Modélisation physique et numérique

#### 3.1 Caractéristiques du modèle hydraulique

Le modèle physique est construit à l'échelle géométrique 1:40 et exploité en similitude de Froude. Il reproduit 500 m du Rhône, répartis sur 350 m à l'amont et 150 m à l'aval du barrage (Figure 4). L'approvisionnement en eau est assuré en circuit fermé et contrôlé par un débitmètre électromagnétique. Le niveau aval est régulé à l'aide d'un déversoir, de manière à satisfaire la relation «niveau-débit» correspondante. La topographie du Rhône et de ses rives est reproduite en conformité avec l'état relevé lors de la réalisation de l'aménagement en 1949. Le lit fixe est réalisé en coulage de ciment. Les ouvrages hydrauliques sont fabriqués en plastique PVC.

Le mélange sédimentaire utilisé pendant les essais de charriage est constitué de matériaux granulaires non cohésifs, avec une distribution granulométrique reproduite en similitude dynamique avec les matériaux du Rhône. À l'aval du modèle, les sédiments transportés sont récupérés dans un bassin de décantation.

#### 3.2 Instrumentation et principaux paramètres de mesure

Le niveau du plan d'eau est suivi par 16 sondes à ultrasons et contrôlé par deux échelles limnimétriques installées sur le modèle. Des mesures de vitesse au micro-moulinet et par technique UVP (Ultrasonic Velocity Profiler) permettent de déterminer la répartition du débit entre les trois pertuis du barrage et à l'entrée

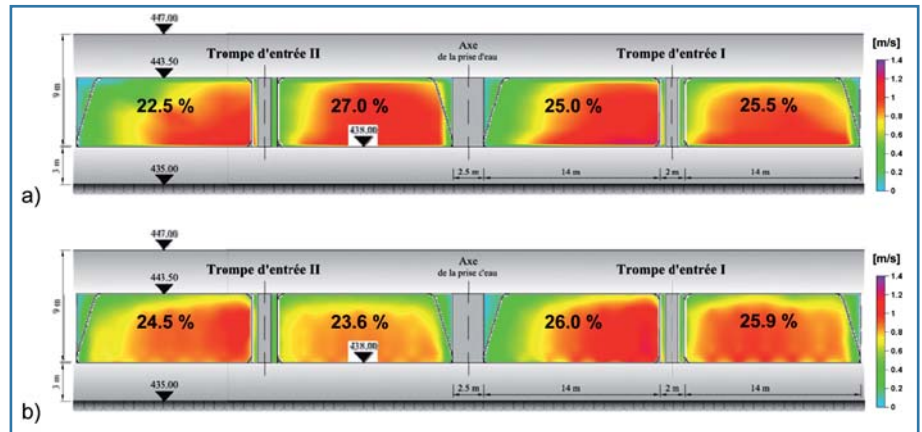


Figure 6. Répartition des vitesses et du débit à l'entrée de la prise d'eau existante,  $Q_{\text{Rhône}} = Q_{\text{prise}} = 220 \text{ m}^3/\text{s}$ , niveau d'eau à 446 m s.m., a) modélisation physique et b) numérique avec FLOW3D®.

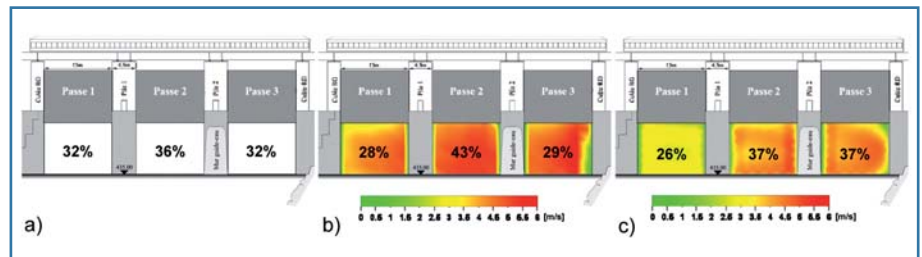


Figure 7. Vitesses d'écoulement et répartition du débit dans les trois pertuis du barrage,  $Q_{\text{Rhône}} = HQ_{\text{année 2000}} = 1270 \text{ m}^3/\text{s}$ , résultats de simulation a) avec Dunamic 2D, b) sur modèle physique et c) avec FLOW3D®.

des prises d'eau. Les écoulements d'approche sont visualisés à l'aide d'un colorant traceur et les champs de vitesse superficielle par la méthode LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) [1, 5]. Lors des essais de charriage l'évolution des dépôts sédimentaires est mesurée par un Mini Echo Sounder (UWS) [4], dont le capteur partiellement immergé permet de suivre l'évolution du fond en continu sans interruption de l'essai.

#### 3.3 Simulations numériques

Pour l'analyse préalable de l'écoulement d'approche et du transport sédimentaire, le groupement d'ingénieurs a eu recours à la modélisation numérique bidimensionnelle.

La modélisation hydraulique du

Rhône a été effectuée par Hydro-Cosmos SA avec son propre logiciel Dunamic 2D [3] qui résout les équations complètes de Saint-Venant par la méthode des volumes finis. Ce modèle permet l'analyse des vitesses d'écoulement et des hauteurs d'eau, tant en régime fluvial que torrentiel.

La simulation des processus d'alluvionnement a été réalisée pour différentes configurations de fonctionnement de l'aménagement avec CCHE 2D [3], développé par le National Center for Computational and Engineering de l'université du Mississippi. Il s'agit d'un modèle hydraulique à éléments finis et à fond mobile résolvant en deux dimensions les équations de Barré de Saint-Venant, couplées à un module du calcul de

transport solide par charriage et/ou en suspension.

La complexité de l'écoulement en courbe et la disposition particulière des ouvrages hydrauliques ont finalement encouragé le recours à une modélisation numérique tridimensionnelle avec le logiciel *FLOW3D*<sup>®</sup> (Figure 5b). Dans un premier temps, l'état initial sans dépôts de sédiments a été simulé pour les situations d'exploitation et de crue caractéristiques. La situation alluvionnée a ensuite été modélisée. Les écoulements d'approche du barrage et de la prise d'eau ont été analysés et comparés aux résultats du modèle physique (Figure 5a). Les tailles de maillage ont été choisies de manière à satisfaire les critères de convergence pour assurer une solution finale stable et pour obtenir des temps de calcul raisonnables [7]. Les conditions de bord ont été fixées au cas par cas. Pour les situations d'exploitation, un débit entrant avec un niveau constant à l'amont (Volume flow rate), une vitesse à la sortie de la prise (Specified pressure) et un débit soutiré/déversé (Volume flow rate) ont été imposés. Pour les situations de crue, le débit caractéristique avec les niveaux d'eau amont et aval (Volume flow rate) correspondants ont été appliqués.

## 4. Résultats

### 4.1 Calage et validation

#### 4.1.1 Exploitation et crues

Le comportement hydraulique de l'aménagement de Lavey a tout d'abord été étudié dans sa configuration initiale, sans apport sédimentaire et avec un lit fixe. La répartition du débit à l'entrée de la prise d'eau, obtenue sur modèles physiques et numérique 3D pour différentes configurations d'exploitation, ne fait pas apparaître de différence significative entre la capacité des deux trompes. Selon les mesures réalisées sur modèle physique (Figure 6a), les ouvertures amont de chaque trompe sont toutefois un peu mieux alimentées. Ce constat n'est cependant pas confirmé par les résultats du modèle numérique (Figure 6b). Les vitesses maximales à la grille se situent autour de 1.2 m/s. Dans la situation alluvionnée, ces vitesses augmentent jusqu'à 1.35 m/s sous l'influence du dépôt sédimentaire qui réduit la section d'approche.

En exploitation normale, le niveau dans la retenue est maintenu constant à 446 m s.m. L'étude des écoulements d'approche à l'aide de la méthode LSPIV a permis de reproduire le champ des



Figure 8. Répartition des vitesses et du débit à l'entrée de la nouvelle prise d'eau,  $Q_{\text{Rhône}} = 235 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\text{nouvelle prise}} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\text{prise existante}} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ , a) niveau d'eau à 446 m s.m. et b) à 445 m s.m.

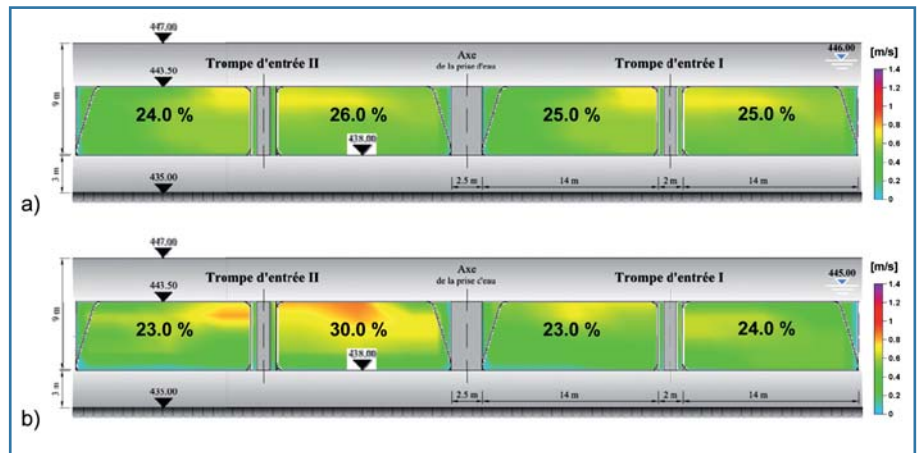


Figure 9. Répartition des vitesses et du débit à l'entrée de la prise d'eau existante,  $Q_{\text{Rhône}} = 235 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\text{nouvelle prise}} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\text{prise existante}} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ , a) niveau d'eau à 446 m s.m. et b) à 445 m s.m.

vitesses superficielles dans la retenue. La comparaison avec les résultats de *FLOW3D*<sup>®</sup> révèle une bonne cohérence entre les deux approches.

Pour un débit du Rhône de  $1270 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondant à la pointe de crue mesurée en octobre 2000, l'exploitation est arrêtée et tous les pertuis sont ouverts. La simulation préalable avec *Dunamic 2D* (Figure 7a) montrait une ouverture centrale légèrement plus capacitive. Cette particularité a été confirmée de manière encore plus prononcée sur modèle physique (Figure 7b). La passe de rive gauche est affectée par l'écoulement en courbe qui privilégie l'extérieur du coude et celle de rive droite est partiellement masquée par le mur guide-eau existant entre les passes 2 et 3. Cette répartition non uniforme du débit est également mise en évidence par la simulation numérique 3D (Figure 7c). La différence observée entre les résultats expérimentaux et numériques est de l'ordre de 5%. Elle montre que l'écoulement en

courbe et la présence d'obstacles génèrent des comportements tridimensionnels complexes qui ne sont pas parfaitement reproduits par les modèles numériques.

De manière générale, l'augmentation du débit conduit à l'atténuation de l'influence du mur guideau et à une répartition plus uniforme entre les pertuis. Dans tous les cas, la passe 2 reste la plus capacitive. Les mesures de niveau montrent que l'inclinaison du plan d'eau, causée par l'écoulement en courbe à l'amont du barrage, conduit à une différence d'environ 0.5 à 0.7 m entre les deux rives. Cette différence a été confirmée par tous les modèles.

A l'exception de phénomènes locaux, les écoulements d'approche peuvent être simulés avec *FLOW3D*<sup>®</sup> d'une manière fiable. Par la suite, le logiciel a été exploité pour l'étude de variantes de Lavey+, en particulier pour la conception de la nouvelle prise d'eau avant son intégration au modèle physique.

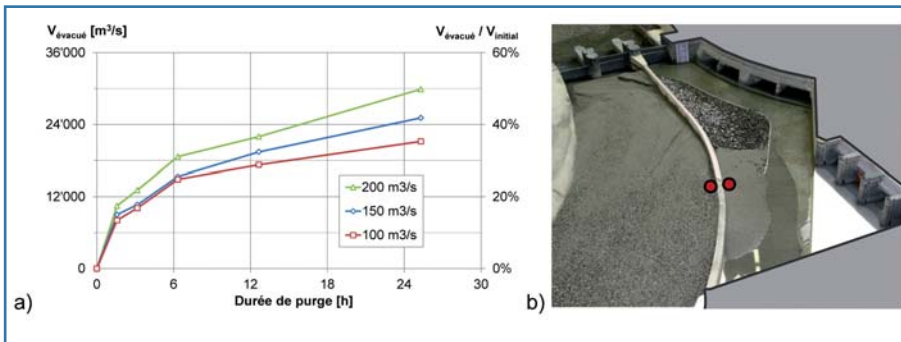


Figure 10. a) Volume sédimentaire évacué par des purges en rive gauche, b) alluvionnement dans le modèle physique et points de contrôle proposés.

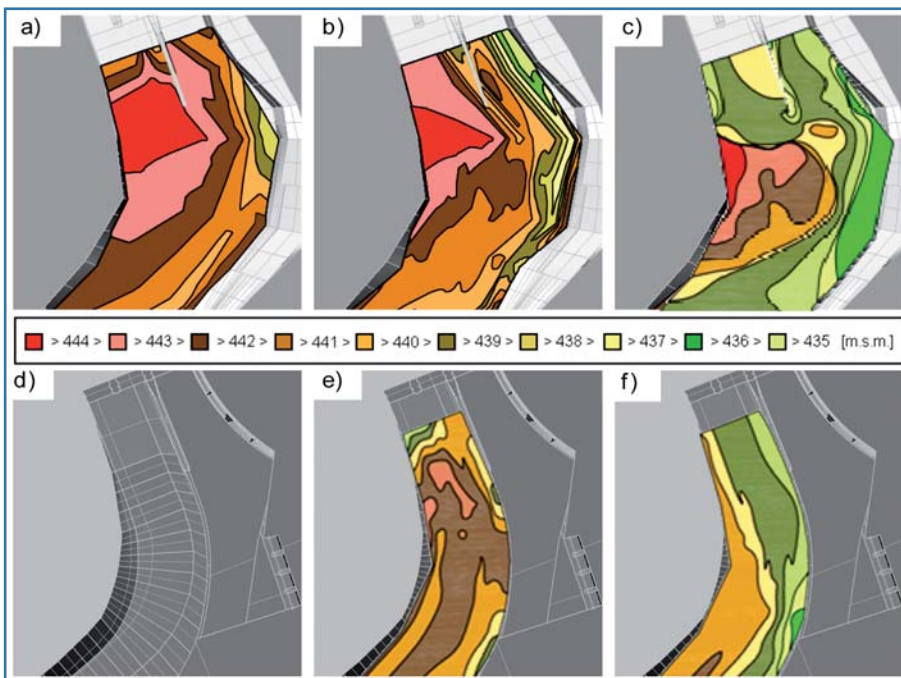


Figure 11. Bathymétrie alluvionnée : a) mesurée sur prototype avant la purge 2005, b) sur le modèle physique de l'état actuel avant et c) après 24 h de purge, d) sur modèle physique de Lavey+ e) avant et f) après 24 h de purge.

#### 4.1.2 Gestion sédimentaire

Un essai d'alluvionnement réalisé sur le modèle physique a permis la reconstitution de la bathymétrie mesurée sur prototype avant l'opération de purge réalisée en 2005. Après une phase de remplissage par charriage à débit constant, une série de crues avec l'apport sédimentaire correspondant a été simulée pour dynamiser le transport sédimentaire. Des mesures bathymétriques à l'aide d'un Mini Echo Sounder (UWS) ont permis de suivre l'évolution du lit pendant les essais et de reconstituer la géométrie finale des dépôts. Cet essai a été interrompu lorsque le volume d'alluvionnement du modèle correspondait à celui mesuré in situ (Figure 11a). Les niveaux et la forme des dépôts ont ainsi pu être reproduits conformément à la réalité, en respectant les conditions d'exploitation du barrage. Cette bathymétrie (Figure 11b), caractérisée par un dépôt important à l'intérieur du coude

et un chenal prononcé en rive droite, a été utilisée comme condition initiale pour l'opération de purge et la mesure de son efficacité (Figure 11c).

La simulation préalable avec transport solide par CCHE 2D a produit une bathymétrie à deux chenaux, l'un dirigé vers la passe 2 et l'autre à l'extérieur de la courbe. Cette morphologie est significativement différente de celle mesurée sur le modèle physique. Les dépôts en rive gauche sont par contre bien reproduits.

### 4.2 Essais sur modèle physique de Lavey+

#### 4.2.1 Exploitation

Le réaménagement de la retenue dans le cadre du projet Lavey+ a pour but d'atténuer la problématique alluvionnaire d'une part et de permettre une gestion flexible de l'aménagement hydroélectrique projeté

d'autre part. Les ouvrages prévus, en particulier le mur guideau prolongé et son échancrure, ne devraient pas perturber les bons écoulements d'approche de la prise d'eau existante. De même, la nouvelle prise d'eau doit être alimentée par un écoulement frontal.

Les essais d'optimisation ont montré que la répartition des vitesses à l'entrée des prises d'eau est sensible aux modifications géométriques de l'échancrure (longueur, hauteur, distance à la prise). La configuration finale de Lavey+ permet d'obtenir des conditions satisfaisantes pour la nouvelle prise d'eau avec une répartition équilibrée du débit entre les quatre entrées (Figure 8). La vitesse d'approche maximale pour un débit turbiné de 75 m<sup>3</sup>/s est de 0.6 m/s et de 1.25 m/s pour 140 m<sup>3</sup>/s.

Pour le niveau d'exploitation à 446 m s.m (Figure 9a), la prise d'eau existante n'est pas perturbée. Les deux trompes d'entrée soutirent le même débit et les vitesses d'approche sont de 0.8 m/s environ. A 445 m s.m. (Figure 9b), la trompe d'entrée aval soutire légèrement plus de débit et les vitesses maximales dans le tiers supérieur de la prise atteignent 1.0 m/s. Cet écoulement surfacique a déjà été révélé pour l'état actuel et se renforce légèrement avec la prolongation du mur guideau.

#### 4.2.2 Evacuation des crues

La capacité d'évacuation des crues de la situation réaménagée doit satisfaire les contraintes sécuritaires. Il a ainsi été vérifié qu'une crue extrême de 1915 m<sup>3</sup>/s peut être évacuée par le barrage avec un débordement amont négligeable. L'aménagement futur permet également l'évacuation d'une crue centennale en respectant le critère  $n-1$ , c'est-à-dire qu'un débit de 1270 m<sup>3</sup>/s peut être évacué par les deux pertuis les moins capacitifs sans causer de dommages. Comme pour la configuration actuelle, la passe centrale reste la plus capacitive avec 40% du débit évacué.

#### 4.2.3 Gestion sédimentaire

Par la prolongation du mur guideau, un chenal de purge efficace a pu être créé en rive gauche, favorisant la gestion sédimentaire. Grâce à l'augmentation des vitesses d'écoulement, les sédiments sont transportés progressivement en direction du barrage et s'accumulent de manière régulière sur toute la largeur du cours d'eau (Figure 11e). Lors d'une purge, les alluvions sont rapidement remobilisées et évacu-

ées. L'efficacité des purges augmente avec le débit et 60 à 70% du volume de sédiments purgés est évacué pendant les six premières heures (Figure 10a). La zone devant les prises d'eau est protégée des apports sédimentaires par le mur guideau. Des sédiments franchissent néanmoins l'échancrure, soit en suspension, soit en raison d'un remplissage trop important en rive gauche. Ils peuvent cependant être évacués efficacement par le chenal de purge de rive droite à partir d'un débit de 150 m<sup>3</sup>/s. Pour la décision de déclenchement d'une purge, des mesures continues du niveau du lit, à l'aval et des deux côtés de l'échancrure, sont proposées (Figure 10b).

## 5. Conclusions

L'approche hybride basée sur la modélisation physique-numérique permet de traiter l'ensemble des problèmes soulevés par un projet avec les moyens appropriés et contribue par conséquent à leur résolution. L'approche numérique se révèle particulièrement intéressante pour la documentation des écoulements d'approche à large échelle et pour le pré-dimensionnement des ouvrages et l'étude préalable des variantes. Le modèle physique est justifié par la complexité des phénomènes biphasiques et tridimensionnels concernés. Les caractéristiques principales de l'écoulement d'approche simulé numériquement sont confirmées par les mesures sur modèle

physique, dont les résultats relatifs au transport sédimentaire correspondent bien aux valeurs mesurées sur prototype.

La configuration optimale de Lavey+ainsi pu être retrouvée et documentée en détail. Une gestion sédimentaire durable avec un alluvionnement réduit des prises d'eau et une efficacité de purge élevée a été rendue possible. De surcroît, les écoulements d'approche demeurent uniformément répartis en phase d'exploitation et les critères de sécurité en cas de crue sont respectés.

### Remerciements

Les auteurs remercient le Service de l'électricité (SEL) de la ville de Lausanne, mandant de cette étude, ainsi que le groupement d'ingénieurs Stucky SA, Hydrocosmos SA et Bonnard & Gardel SA pour leur collaboration efficace et fructueuse.

### Références

- [1] Bieri M. Jenzer J. Kantoush S.A. et Boillat J.-L. «Large Scale Particle Image Velocimetry Applications for Complex Free Surface Flows in River and Dam Engineering». 33rd IAHR Congress, Vancouver, Canada, 2009
- [2] Bieri M. Müller M. Ribeiro Martins J. et Boillat J.-L. «Complémentarité de la modélisation physique et numérique à l'exemple d'un aménagement hydroélectrique». SimHydro 2010: «Hydraulic modeling and uncertainty», Sophia Antipolis, Nice, France, 2010
- [3] Groupement Stucky-Hydrocosmos-BG: «Etude hydraulique bidimensionnelle du Rhône

au voisinage du barrage de Lavey». Rapports internes, 2005 et 2007

[4] Kantoush S.A. Bollaert E. et Schleiss A.J. «Experimental and numerical modeling of sedimentation in a rectangular shallow basin». International Journal Sediment Research, Issue 23, pp. 112–132, 2008

[5] Kantoush S.A. De Cesare G. Boillat J.-L. et Schleiss A.J. «Flow field investigation in a rectangular shallow reservoir using UVP, LSPIV and numerical modeling». Flow Measurement and Instrumentation, Issue 19, pp. 139–144, 2008

[6] Müller M. Bieri M. Ribeiro Martins J. Boillat J.-L. et Schleiss A.J. «Barrage de Lavey – Etudes physique et numérique des écoulements et du transport solide dans le Rhône». Colloque SHF: «Modèles physiques hydrauliques», Lyon, France, 2009

[7] Ribeiro Martins J. «Physical and 3D numerical modeling of the water intakes of the Lavey hydroelectric power plant under steady flow conditions». MAS master thesis, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2009

### Adresse des auteurs

Michael Müller, Martin Bieri, Dr Jean-Louis Boillat, Prof. Dr Anton Schleiss

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Laboratoire de Constructions Hydrauliques  
EPFL – ENAC – IIC – LCH, Station 18  
CH-1015 Lausanne

michael.mueller@epfl.ch

martin.bieri@epfl.ch

jean-louis.boillat@epfl.ch

anton.schleiss@epfl.ch

