Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 134 (2008)
Heft: 06: Apprivoiser le Rhône

Artikel: Minerve veille sur le Rhône alpin
Autor: Boillat, Jean-Louis / Jordan, Frédéric / Bérod, Dominique
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-99665

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

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

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

Download PDF: 01.08.2025

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

Jean-Louis Boillat, Frédéric Jordan et Dominique Bérod

MINERVE **veille** sur le Rhône alpin

HYDRAULIQUE

MINERVE est une déesse romaine, symbole de l'intelligence, de la connaissance et de la sagesse. C'est aussi l'acronyme du concept développé pour profiter des grands barrages valaisans dans la gestion du risque résiduel associé aux crues extrêmes du Rhône alpin : Modélisation des Intempéries de Nature Extrême des Rivières Valaisannes et de leurs Effets.

Les travaux de correction du Rhône alpin de la la fin du XIXe et du début du XXe siècle ont contribué au développement socio-économique de la plaine, conduisant à une très forte augmentation de la population et des biens à protéger dans les zones inondables. Malgré ces importants travaux d'aménagement et en dépit des volumes de rétention offerts par les retenues des aménagements hydroélectriques, les crues continuent à défrayer la chronique. Les inondations de 1987, 1993 et 2000 se sont chargées de rappeler l'importance de ce risque. En matière de protection contre les crues, les besoins actuels ne sont plus comparables à ceux qui prévalaient dans le passé.

1

Les interventions structurales planifiées dans le cadre de la 3e correction du Rhône pour améliorer la protection de la plaine doivent être accompagnées de mesures permettant de réduire les pointes de crues d'une part et de gérer les situations de crise d'autre part [1][1]. A cet égard, les grands barrages des aménagements hydroélectriques offrent une capacité de rétention et de régulation capable de laminer significativement les crues sur l'ensemble du réseau hydrographique (fig. 1). En outre, une interprétation intelligente des prévisions météorologiques permet d'identifier les intempéries potentiellement dommageables et d'organiser les mesures de protection adéquates.

Le projet MINERVE poursuit ce double objectif de gestion préventive des crues et de déclenchement d'alarme [2]. Il s'appuie sur un outil de simulation numérique du comportement hydrologique du bassin versant basé sur les prévisions météorologiques. Il est aussi doté d'un système d'aide à la décision qui propose des scénarios de turbinage et de vidange préventifs destinés à optimiser l'effet de laminage dans les retenues. Finalement, les crues simulées sur la base de prévisions à 72 heures permettent d'alerter les organes d'intervention et de coordonner les actions en cas de catastrophe annoncée.

Les barrages valaisans et les crues

Le bassin versant du Rhône alpin est caractérisé par la présence de nombreux aménagements hydroélectriques dont la construction a commencé en 1893 avec une centrale à Zermatt sur le Triftbach. Jusqu'en 1950, seules les centrales de Chippis, Fully, Vernayaz, Chandoline et Miéville étaient en service pour un débit équipé total inférieur à 50 m^3/s. La quasi totalité des grandes centrales actuelles, Riddes, Ackersand, Nendaz, Stalden, Bitsch1, La Bâtiaz, Steg, Bitsch2, ont été réalisées entre 1950 et 1980. La capacité de turbinage totale installée se montait alors à 275 m^3/s. Avec la mise en service

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.
[2] Provisoirement hors service à la suite de la rupture du puits blindé en décembre 2000, cet aménagement est en cours de réhabilitation.

Fig. 1 : Stocker ou inonder ? La retenue de Mattmark dans la vallée de Saas

Fig. 2 : Restitution des eaux de la Massa turbinées à la centrale de Bitsch

Fig. 3 : Bassin versant du Rhône en amont du Lac Léman avec retenues et centrales : 1) Bitsch, 2) Ackersand, 3) Stalden, 4) Steg, 5) Chippis (Navisence), 6) St. Léonard, 7) Chandoline, 8) Nendaz, 9) Bieudron, 10) Riddes, 11) Fully, 12) La Batiaz, 13) Vernayaz, 14) Miéville, 15) Vouvry

de l'Usine de Bieudron[2] en 1998, d'une capacité de 75 m³/s, le débit total turbinable atteignait 350 m³/s. La répartition actuelle des principales retenues d'accumulation et des centrales correspondantes est assez uniforme sur le bassin versant du Rhône alpin (fig. 3).

Débits équipés et volumes de stockage

Le débit d'équipement des aménagements hydroélectriques à accumulation est actuellement nettement supérieur au débit annuel moyen du Rhône à la Porte du Scex, qui avoisine 180 m³/s. En comparaison des valeurs considérées à Branson pour le dimensionnement de la troisième correction du Rhône, avec un débit centennal cible de 1650 m³/s et un débit extrême évalué à 2120 m³/s, la capacité de turbinage de 275 m³/s (350 m³/s avec Bieudron) n'est de loin pas négligeable. Elle l'est d'autant moins que la progression géographique des débits équipés des centrales hydroélectriques est assez régulière sur le linéaire du Rhône (fig. 5).

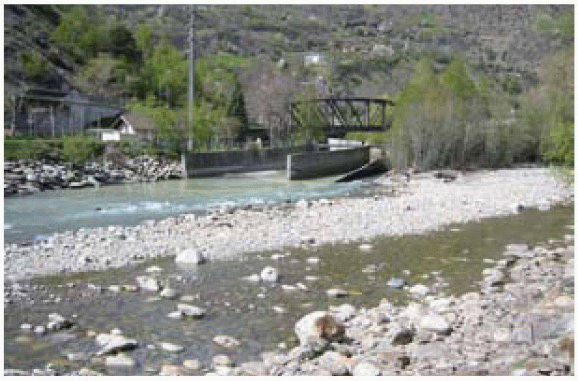
Jusqu'en 1950, le volume utile des retenues valaisannes demeurait relativement modeste, avec une capacité de l'ordre de 97 mio m³. Entre 1950 et 1980, le volume de rétention est passé à 1157 mio m³ puis, avec la surélévation du barrage de Mauvoisin en 1991, à 1195 mio m³ (fig. 6). Cela représente environ 20% du volume transitant annuellement à la Porte du Scex. Il est ainsi évident que la capacité de turbinage et le volume de rétention actuels influencent de manière significative le régime du Rhône, en situation de crue également [3]. Il est donc important de pouvoir stocker les eaux captées dans les retenues de barrages pendant la pointe de crue et simultanément d'arrêter le turbinage.

Régime hydrologique modifié et modifiable

Cette évolution historique et les chiffres en présence montrent combien le cycle hydrologique est modifié par l'utilisation de l'eau, mais aussi à quel point il est contrôlable par l'exploitation des aménagements. Dans le contexte particulier des retenues alpines, il est admis que la simple présence d'une retenue provoque un laminage des crues et qu'un effet supplémentaire significatif ne peut être obtenu qu'au prix d'une perte d'exploitation. Ce concept de partage consistant à attribuer un certain volume de rétention à la protection contre les crues n'est pas courant en milieu alpin, car l'exclusivité est généralement accordée à la production électrique. L'idée qui s'impose dès lors est celle d'un compromis gagnant-gagnant par lequel le volume libéré avant la crue est reconstitué à la fin de cette dernière. La prévision doit donc être en mesure de prédire l'évolution quantitative des apports sur la durée d'un événement. Une des difficultés majeures consiste à éviter deux types d'erreurs : l'inaction en cas de catastrophe et la fausse alerte. Le concept MINERVE repose ainsi sur le double objectif de libérer préventivement un volume de stockage dans les retenues permettant d'interrompre les opérations de turbinage pendant la pointe de crue et d'autre part de reconstituer les stocks jusqu'à la fin de la crue.

Modèles de simulation et d'aide à la décision

Les réseaux hydrauliques, en particulier lorsqu'ils incluent des aménagements hydroélectriques et de protection contre les crues, deviennent de plus en plus complexes en regard des exigences relatives à leur fonctionnement et leur intégration environnementale. Pour la planification et la gestion optimale de tels systèmes hydrauliques, la modélisation numérique est



2

3

Fig. 4 : Modélisation hydrologique fonctionnelle à l'exemple du bassin versant de Mattmark avec découpage en bandes d'altitude

indispensable à l'obtention d'une vision globale et à l'analyse des interactions entre les éléments du réseau.

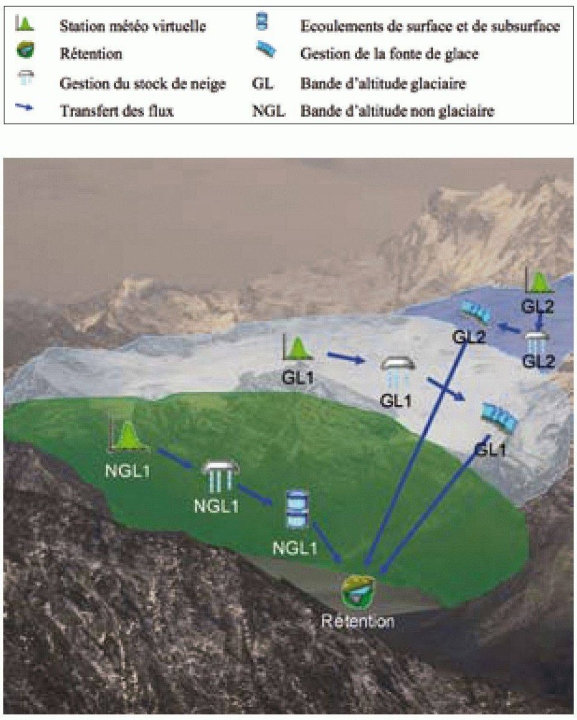
Le principe du système MINERVE consiste à produire des prévisions de crues grâce à un modèle pluie-débit alimenté par les prévisions de précipitations de Météosuisse, puis à optimiser le fonctionnement des barrages.

La simulation hydrologique

Le logiciel Routing System, développé à l´EPFL, a été conçu pour simuler la formation et la propagation des écoulements dans des réseaux à surface libre [4], [5]. Il permet la modélisation hydrologique et hydraulique selon un concept semi-distribué et par une approche orientée objets. Il prend en compte non seulement des processus hydrologiques particuliers tels que la fonte de neige et glaciaire, les écoulements de surface et de sub-surface sur un bassin versant [6], mais aussi la modélisation d´ouvrages régulés tels que retenues, évacuateurs, prises d´eau, vidanges de fond, turbines, pompes, galeries et autres ouvrages hydrauliques.

Le principe général de Routing System est d'intégrer les fonctions hydrauliques à des objets, dont l'assemblage conforme à la topologie du système permet de modéliser son fonctionnement (fig. 4).

Le modèle construit avec ce logiciel simule le comportement hydrologique du réseau naturel de drainage du bassin versant du Rhône alpin, d'une surface de 5500 km^2, en incluant les effets produits par les aménagements hydroélectriques. Le territoire étudié est découpé en 239 sous-bassins versants, eux-mêmes subdivisés en 1054 bandes d'altitude de 500 mètres de dénivellation moyenne. La modélisation numérique de ce système complexe permet d'établir des prévisions de débits à un horizon de 72 heures sur la base des prévisions météorologiques de MétéoSuisse.



4

Le modèle MINERVE s'articule autour d'un réseau d'acquisition et de stockage des données d'entrée et de plusieurs modèles de calcul. Tout d'abord, les observations météorologiques sont acquises en temps réel. Il s'agit des précipitations, températures et hauteurs de neige mesurées aux stations de différents réseaux publics ou privés. Ensuite, les observations de débit dans les cours d'eau ainsi que les principales variables liées aux aménagements hydroélectriques (niveaux des retenues, débits turbinés, déversés ou captés) sont acquises et consignées dans la base de données. Finalement, les prévisions météorologiques numériques de précipitation et température sont obtenues auprès de MétéoSuisse. L'horizon de prévision est de 72 heures, à pas de temps horaire, et la résolution spatiale est pour l'heure de 6.6 km (de 2 km dans un avenir proche).

La distribution spatio-temporelle de ces données est appliquée au bassin versant selon un concept d'abattement tenant compte de la position géographique et de l'altitude de chaque sous-bassin. Il est ainsi possible d'obtenir une prévision des apports et des débits dans les cours d'eau plusieurs jours à l'avance. Les mesures météorologiques et hydrologiques permettent de recaler le modèle de calcul sur les observations avant chaque nouvelle simulation. Une fois le modèle actualisé, les prévisions météorologiques sont exploitées pour produire des prévisions de débit sur les 72 prochaines heures, en différents points du bassin versant. Ces derniers se situent en particulier à l'amont des retenues et aux endroits critiques le long du Rhône.

L'application du modèle aux crues d'août 1987, de septembre 1993 et octobre 2000, toutes trois de type centennal, a révélé que les retenues hydroélectriques avaient permis une réduction des débits de pointe de l'ordre de 10% à l'embouchure dans le Léman, sans qu'aucune intervention préventive n'ait été effectuée (fig.7).

Le modèle d'aide à la décision

L'idée développée dans MINERVE consiste à abaisser préventivement le niveau des retenues lorsque des crues importantes sont annoncées. Le but est d'optimiser leur capacité de stockage pour réduire les débits de pointe dans le Rhône

Fig. 5 : Débits équipés cumulés des centrales à accumulation en amont du Léman

Fig. 6 : Volume utile cumulé des réservoirs le long du Rhône en amont du Lac Léman

Fig. 7 : Hydrogrammes du Rhône à l'arrivée dans le Léman : simulations sans retenue et avec gestion optimisée en comparaison de la crue mesurée de 2000

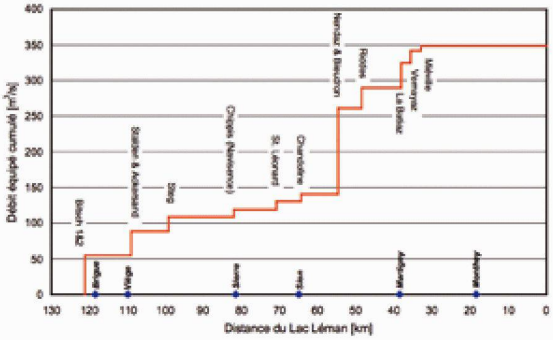
et dans ses principaux affluents d'une part, et de préserver leur potentiel d'exploitation de l'autre. Un système expert a ainsi été développé pour générer des scénarios d'exploitation préventive des aménagements dans l'objectif d'une optimisation économique de la protection contre les crues [7], [8].

En fonction des prévisions de débit et des observations liées aux aménagements hydroélectriques, le modèle d'optimisation définit les opérations de gestion des retenues susceptibles de contrôler les débits du Rhône. Par comparaison des volumes entrant dans les retenues et des volumes de stockage disponibles, le volume supplémentaire qu'il faut libérer par turbinage avant la crue est évalué. Le modèle considère les dix retenues les plus importantes du bassin versant et synchronise leurs opérations de vidange pour éviter une superposition des débits de pointe. Le processus complet allant de la prévision hydrologique à l'optimisation de la gestion des retenues est effectué en boucle toutes les douze heures. La simulation d'une gestion optimisée de la crue d'octobre 2000 fait apparaître une réduction supplémentaire du débit de pointe du même ordre de grandeur que celle obtenue sans intervention préventive (fig. 7).

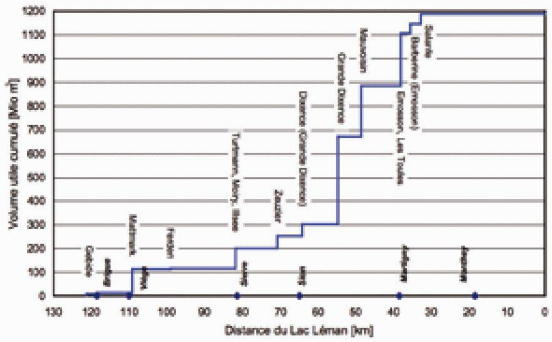
Exploitation et développements futurs

Le projet réalisé s'inscrit dans la stratégie générale de protection de la population et du territoire contre les dangers naturels. Il est activé sur demande, généralement à la suite d'une alerte émise par MétéoSuisse. Les prévisions de débit et les consignes de gestion des aménagements hydroélectriques sont alors calculées à l'Etat du Valais. Les experts des dangers naturels, réunis au sein de l'unité CERISE (Cellule scientifique de crise), soumettent leurs propositions de gestion des aménagements hydroélectriques (turbinages et vidanges préventifs, arrêts de turbines) à la cellule catastrophe CECA et aux décideurs politiques. Finalement, c'est donc sur ordre de police que les exploitants des aménagements hydroélectriques – des organismes privés – doivent effectuer les opérations requises. Ces derniers n'ont d'autre choix que de collaborer, pour autant que la sécurité du barrage ne soit pas compromise. Les pertes économiques éventuelles sont dédommagées par l'Etat de manière proportionnée, sur la base d'une convention ad hoc. Il va de soi que des échanges d'information et un dialogue s'installent entre les partenaires avant tout ordre formel.

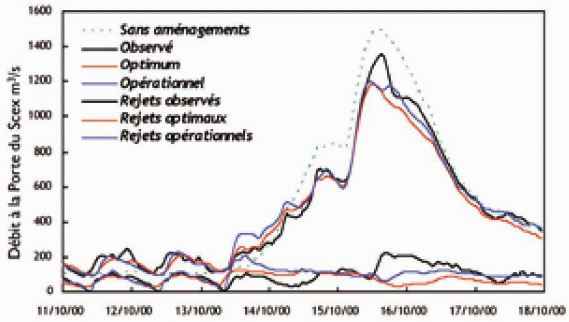
En raison des incertitudes inhérentes à la prévision météorologique, la rétention dans les barrages ne peut être prise en compte dans la définition des débits de dimensionnement de la troisième correction du Rhône. Cependant une gestion adéquate des aménagements hydroélectriques permet de réduire le risque résiduel lors d'événements dépassant la capacité limite du cours d'eau. La protection contre les crues peut ainsi être améliorée par la combinaison d'interventions complémentaires destinées à réduire la vulnérabilité du système. Par sa connexion online aux réseaux de mesures météorologiques et hydrologiques, le modèle devient pleinement opérationnel. Il permet de suivre l'évolution des crues



5



6



7

Les partenaires du projet MINERVE

Le projet MINERVE est développé en partenariat par l'Office fédéral de l'environnement, les Services des routes et cours d'eau, de l'énergie et des forces hydrauliques du canton du Valais et par le Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud. MétéoSuisse fournit les prévisions météorologiques et les sociétés hydroélectriques communiquent les informations relatives à leurs aménagements. Les bureaux d'ingénieurs *HydroCosmos* à Vernayaz et *Epicard* à St-Maurice contribuent aux aspects informatiques. Les développements scientifiques sont confiés à deux entités de l'EPFL, le Laboratoire d'hydrologie et aménagements et le Laboratoire de constructions hydrauliques. L'institut de géomatique et d'analyse du risque de l'Université de Lausanne participe également à la suite du projet.

Fig. 9 : Inondation de la plaine du Rhône lors de la crue de 2000 (Photo « Projet Rhône »)

(Sauf mention, tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)

en temps réel, d'établir les prévisions et les scénarios de gestion anticipée des aménagements. Ce système informatique d'acquisition automatique des données, de modélisation météorologique, hydrologique et hydraulique et d'aide à la décision est de première utilité en situation de crise.

Des améliorations substantielles à la fiabilité du système peuvent toutefois encore y être apportées. Il s'agit prioritairement d'intégrer les informations issues des derniers développements en matière de prévisions météorologiques. Ainsi, le modèle COSMO-LEPS ne fournit plus seulement une prévision hydrométéorologique unique, mais 16 différents scénarios auxquels une probabilité d'occurrence peut être associée. D'autre part, un outil d'analyse et de prévision hydrométéorologique, basé sur une méthode de reconnaissance de scénarios offrira une alternative complémentaire aux prévisions fournies par le modèle MINERVE. Grâce à une meilleure gestion des incertitudes, le système MINERVE pourra encore mieux contribuer à la prévention des crues dans la vallée du Rhône et à l'échelle nationale. Finalement, le projet devra s'insérer dans le cadre du concept OWARNA, visant à établir une plateforme d'alarme des dangers naturels à l'échelle nationale.

Jean-Louis Boillat, ing. civil EPFZ, dr EPFL
Laboratoire de Constructions Hydrauliques EPFL-ENAC-ICARE-LCH
Bâtiment GC, Station 18, CH – 1015 Lausanne

Frédéric Jordan, ing. civil et dr EPFL
e-dric.ch eau énergie environnement Ingénieurs Conseils
Grand-Chemin 73, CH – 1066 Epalinges

Dominique Bérod, ing. rural et dr EPFL
Service des Routes et Cours d'Eau, Etat du Valais,
Rue des Creusets 5, CH–1951 Sion

[1] Etat du Valais, Département des transports, de l'équipement et de l'environnement (DTEE). (2008). <www.vs.ch/rhone.vs>

[2] Boillat J.-L., Dubois J., Schleiss A., Jordan F. (2002). « Flood Modeling and Prevention in the Rhone basin upstream of lake Geneva », Proc., *International Conference on Flood estimation*, mars 6-8, Berne, Suisse, 389-395.

[3] Meile, T., Boillat, J.-L., Schleiss, A. (2006). « Influence of dams and reservoirs on the flow regime of the Upper-Rhone-River », Proc., Commission Internationale Des Grands Barrages – Vingt Deuxième Congrès Des Grands Barrages, CIGB-ICOLD, Barcelone, Q. 85 – R. 28, 449-465.

[4] Dubois, J., Boillat, J-L. (2000). « Routing System – Modélisation du routage de crues dans des systèmes hydrauliques à surface libre », Communication 9, Laboratoire de constructions hydrauliques, Ed. A. Schleiss, Lausanne, Suisse.

[5] Garcia Hernandez, J., Jordan, F., Dubois, J., Boillat, J.-L. (2007). « Routing System II. Modélisation d'écoulements dans des systèmes hydrauliques », Communication 32, Laboratoire de constructions hydrauliques, Ed. A. Schleiss, Lausanne, Suisse.

[6] Schäfli, B., Hingray, B., Niggli, M. and Musy, A. (2005). « A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments », Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2, 73-117.

[7] Jordan, F., Dubois, J., Boillat, J.-L., Schleiss, A. (2006). « Prévision et gestion des crues par opérations préventives sur les retenues alpines », Proc., Commission Internationale Des Grands Barrages – Vingt Deuxième Congrès Des Grands Barrages, CIGB-ICOLD, Barcelone, Q. 87 – R. 34, 497-510.

[8] Jordan, F. (2007). « Modèle de prévision et de gestion des crues – optimisation des opérations préventives des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue », thèse de doctorat n°3711, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne, 261 pages.

8