

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 97 (2005)  
**Heft:** 11-12

**Artikel:** L'influence des retenues valaisannes sur les crues  
**Autor:** Boillat, Jean-Louis  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941777>

#### **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:** 12.01.2026

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

# L'influence des retenues valaisannes sur les crues

## Le projet Minerve

Jean-Louis Boillat

### Résumé

Dès le VI<sup>e</sup> siècle de notre ère, les crues du Rhône en amont du lac Léman ont périodiquement inondé la plaine. Malgré deux importantes entreprises de correction du fleuve et en dépit des volumes de rétention offerts par les barrages à accumulation, les crues continuent à alimenter la chronique. Les dommages sont d'autant plus importants que l'utilisation agricole et le développement socio-économique du territoire se sont considérablement accrus au cours du temps. En outre, la période des fortes crues tend à reculer dans la saison, typiquement entre septembre et octobre, lorsque les retenues des barrages à accumulation atteignent leur niveau maximum de remplissage. En vue d'améliorer le niveau de protection de la plaine, des mesures structurales sont d'ores et déjà planifiées dans le cadre d'une nouvelle entreprise de correction. Parallèlement, une gestion adéquate des aménagements hydroélectriques permettra de réduire significativement les pointes de crue sur l'ensemble du réseau hydrographique. Le projet Minerve poursuit cet objectif en offrant un outil de simulation numérique du comportement hydrologique du bassin versant et du fonctionnement hydraulique des aménagements. Il est alimenté par les mesures des stations météorologiques d'une part et par les prévisions de Météo-Suisse d'autre part. Il est également doté d'un système expert d'aide à la décision qui propose des scénarios d'interventions préventives destinées à augmenter l'effet de laminage par les retenues.

### Zusammenfassung

Seit dem 6. Jahrhundert kommt es zu regelmässigen Überflutungen der Rhône oberhalb des Genfersees. Zwei bedeutende Regulierungsmassnahmen sowie die Schaffung von Rückhaltevolumen durch Staumauern veränderten wenig an dieser Tatsache. Vielmehr haben die Schäden im Laufe der Zeit aufgrund intensiver landwirtschaftlicher Nutzung und sozio-ökonomischer Entwicklung beträchtlich zugenommen. Darüber hinaus scheinen die typischerweise im September und Oktober auftretenden Starkregenperioden in die Zeit zu fallen, in der die Rückhalteräume bereits maximal gefüllt sind. Im Rahmen einer neuen Korrektur sind wasserbauliche Massnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes geplant. Parallel dazu ermöglicht eine gezielte und angepasste Steuerung der Wasserkraftanlagen eine signifikante Reduktion der Hochwasserspitzen. Im Rahmen des Projektes Minerve wird ein numerisches Simulationsmodell entwickelt, welches das hydrologische Verhalten des Einzugsgebietes und den Betrieb der Wasserkraftanlagen berücksichtigt. Das Modell greift dabei zum einen auf Daten der meteorologischen Stationen und zum anderen auf Vorhersagen von Météo Schweiz zurück. Darüber hinaus ist es mit einem Decision Support System ausgestattet, welches die Simulation verschiedenster präventiver Szenarien zur Kappung des Hochwasserscheitels mittels Talsperrenretention erlaubt.

à une «steppe de la Camargue provençale». Il décrit un milieu présentant une grande richesse biologique, avec une faune et une flore très diversifiées. La formation d'îlots pâtureables dont l'étendue varie à chaque crue ainsi que l'apparition de dunes créées par le vent contribuent à la richesse du paysage. Sous l'effet du vent, les sables déposés par les crues s'amassent en collines ondulées atteignant 15 à 20 m, colonisées de pains nains, de chênes et de genévrier.

Jusqu'à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, les ouvrages de protection contre les débordements du fleuve étaient presque toujours réalisés de manière isolée, sans coordination, par les particuliers, consortages ou communes. Les premiers timides essais d'endiguement apparaissent dans les archives cantonales datant de 1532. Le but principal était de sauvegarder tant bien que mal les cultures, les habitations se situant généralement sur les flancs de la vallée ou sur les cônes de déjection des affluents. Les ouvrages de l'époque consistaient en un rehaussement des berges par de la terre et du gravier, le tout consolidé par des troncs d'arbres et des fascines. Ces structures étaient parfois disposées de manière offensive, sous forme d'épis obliques par rapport au courant, rejetant ainsi les eaux contre la berge opposée rendue plus vulnérable.

En 1602, la première disposition concernant le Rhône fixait la largeur du lit à 185 mètres. Cette largeur fut réduite de moitié 150 ans plus tard, suite à l'apparition de bancs de gravier. Les premiers aménagements se faisaient de manière disparate sans organisation globale. Au début du 19<sup>e</sup> siècle, les autorités cantonales et communales décident d'établir un plan d'ensemble dans le but de coordonner les travaux. Afin de rectifier le cours du fleuve, certaines communes sont autorisées à établir des digues offensives alors que celles se trouvant sur la rive opposée ne sont habilitées qu'à défendre leurs berges. En 1833, le parlement régional adopte une loi sur l'endiguement du Rhône, des rivières, des torrents ainsi

## 1. L'évolution historique du Rhône alpin

Le Rhône alpin prend sa source à 2000 m d'altitude, au pied du glacier qui porte son nom, et s'écoule jusqu'au lac Léman dont le niveau moyen est régulé à 372,30 m s.m. Son régime nivo-glaciaire est caractérisé par des fortes crues durant la période été-automne, qui génèrent une relation parfois conflictuelle avec les habitants de la plaine.

### 1.1 La situation avant 1860

Des témoignages datant du VI<sup>e</sup> siècle relatent déjà des inondations dommageables aux moissons. L'exploitation agricole de la plaine était difficile en raison des sauts d'humeurs du fleuve. Une grande partie des terres était marécageuse, d'importantes surfaces étaient régulièrement recouvertes par des alluvions. En 1883, l'écrivain Charles Lenthéric (1883) compare la plaine rhodanique

que l'assèchement des marais. Il interdit notamment la réalisation de digues offensives et favorise la mise en culture de la plaine.

## 1.2 La première correction du Rhône (1863-1894)

Les hautes eaux du 1<sup>er</sup> au 3 septembre 1860 furent à ce point dévastatrices qu'elles développèrent une prise de conscience collective sur la nécessité de réaliser des aménagements sur le Rhône. Les travaux de la première correction se déroulèrent entre 1863 et 1894. Le projet consistait en la réalisation de deux digues parallèles insubmersibles renforcées par des épis opposés et perpendiculaires à l'axe du fleuve. A la fin de l'année 1863, l'Assemblée fédérale décida d'octroyer un subside fédéral au canton du Valais. Cette contribution se montait à un tiers des frais engagés. Les travaux de correction ne furent pas uniformes sur tout le tracé du fleuve. Selon leurs caractéristiques morphologiques, certaines parties du lit ne subirent que peu de modifications. La correction du Rhône s'est concentrée en aval de l'embouchure de la Massa sur une distance de 120 km. Jusqu'à Sion, le Rhône fut doté presque partout d'un nouveau lit (Fig. 1) et il subit d'importantes interventions en aval jusqu'au Léman. L'essentiel

du projet portait sur la partie du fleuve située en amont de St-Maurice.

## 1.3 La deuxième correction du Rhône (1928-1958)

Les travaux de la première correction du Rhône fixèrent précisément le cours du fleuve et permirent d'intensifier la mise en culture de la plaine. Cependant de nouvelles inondations se produisirent à plusieurs reprises après ces travaux, causant à nouveau d'importants dégâts.

L'insuffisance des ouvrages avait trois causes principales:

- L'haussissement du lit était observé sur certains tronçons, en particulier au centre du Valais, entre Chippis et Dorénaz.
- Plusieurs ruptures de digues étaient survenues sans que le couronnement des digues eût été atteint par les hautes eaux. Les matériaux sableux utilisés autrefois n'offraient pas l'étanchéité et la stabilité nécessaires.
- Les nouvelles crues survenues atteignaient des débits de pointe plus élevés que ceux adoptés pour le dimensionnement du chenal.

La menace que représentait le Rhône n'était ainsi pas résolue d'autant plus que la 1<sup>ère</sup> correction avait permis la

densification de l'occupation de la plaine, augmentant le potentiel des dommages en cas de nouvelle inondation. Suite aux crues extraordinaires de 1920, ce bilan négatif ne pouvait plus être ignoré. Il s'agissait donc de poursuivre les travaux de correction avec comme priorités de résoudre l'haussissement du lit, d'assurer des digues fiables et une capacité hydraulique suffisante en cas de hautes eaux.

Il fut décidé de maintenir le profil double en limitant le lit mineur sur toute sa longueur par deux digues parallèles submersibles. La disposition offensive des épis était éliminée et le lit recevait un profil plus constant et plus régulier, offrant moins d'obstacles à l'écoulement et facilitant l'entraînement des alluvions. Les travaux consistèrent à draguer le lit et à déposer les matériaux entre les épis pour former un glacis incliné vers le Rhône et sur les digues pour les exhausser.

Des essais de validation de ce nouveau concept se révélèrent concluants et le Département des travaux publics présenta, le 23 avril 1934, au Département fédéral de l'intérieur un projet de deuxième correction du Rhône. Début 1935, toutes les dispositions étaient prises pour entamer les travaux mais au mois de juin, sous la sollicitation de forts débits continus, les matériaux limoneux utilisés en phase expérimentale n'eurent pas la force de résister et s'écroulèrent. Le choix se porta définitivement sur les matériaux dragués dans le fleuve pour la réalisation des digues.

De manière surprenante, un nouvel haussissement fut remarqué entre 1938 à 1950 à certains endroits. Par contre dès les années 50 cette tendance s'arrêtait et le lit du Rhône entrat dans une phase d'érosion sur de nombreux tronçons, déstabilisant les fondations d'ouvrages existants. Il est reconnu aujourd'hui que ces sont les intenses extractions des gravières et la diminution des apports solides des affluents par l'effet des barrages qui sont les principales causes de ce renversement de tendance. Sans cela, l'haussissement du lit aurait théoriquement continué au rythme d'environ 1 à 2 cm par année.

Les observations révélèrent également que les digues construites faisaient obstacle à l'évacuation des eaux provenant des coteaux et de la plaine. L'état marécageux de cette dernière n' provenait pas des infiltrations du Rhône, dont les limons transportés colmatent le lit, mais de la stagnation des eaux. La construction de canaux d'assainissement a été le complément nécessaire pour l'assainissement

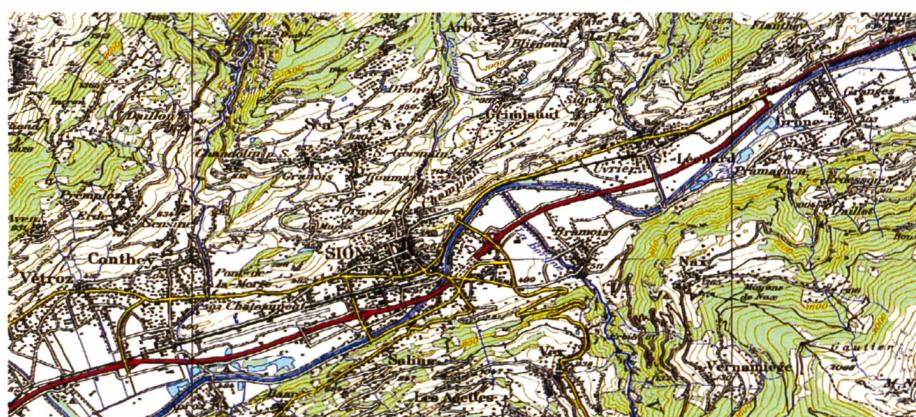
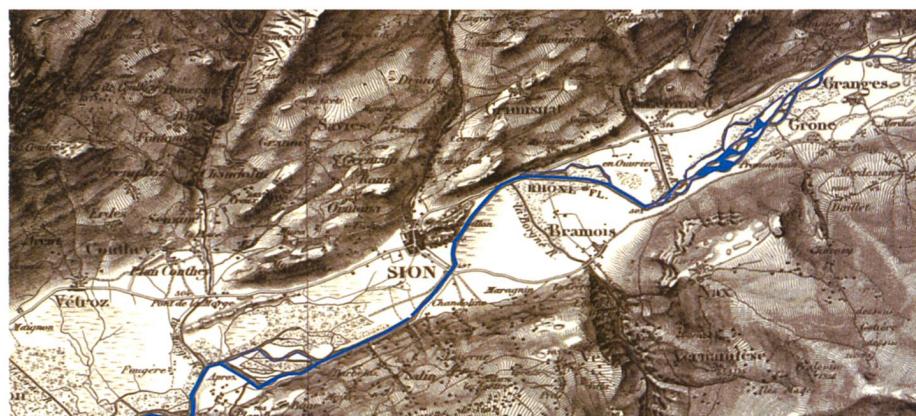
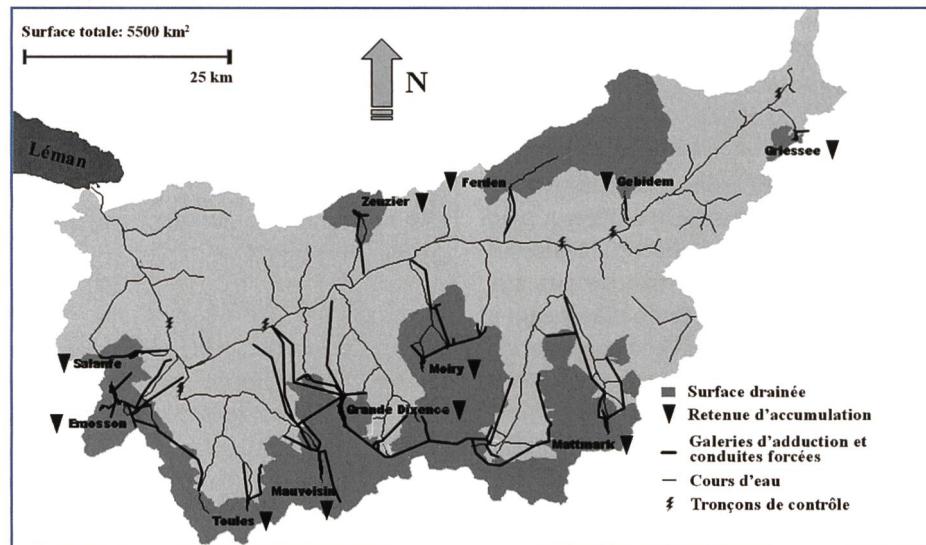


Figure 1. Le lit du Rhône à Sion. En haut, avant la 1<sup>ère</sup> correction (carte Dufour de 1848). En bas, le tracé actuel après la 2<sup>ème</sup> correction.



**Figure 2. Les principaux éléments du réseau de rétention des aménagements à accumulation et d'évacuation des eaux en Valais.**

influencent de manière significative le régime du Rhône, notamment en situation de crue (Biederman et al 1996).

### 1.5 La situation actuelle et le projet de 3<sup>ème</sup> correction du Rhône

L'endiguement du Rhône a permis de gagner 17 000 ha de terre. Autrefois inculte la plaine du Rhône est aujourd'hui très prospère et les marécages ont fait place à un territoire fertile. L'endiguement opéré par la première et la deuxième correction du Rhône n'a cependant pas résolu complètement le problème de la sécurité. La majeure partie du Rhône est canalisée dans un double profil composé d'un lit mineur d'environ 40 mètres de largeur et d'un lit majeur capable d'accueillir un volume d'eau important en cas de crue. Seules la région du bois de Finges à Sierre, classée zone alluviale d'importance nationale, et la source du Rhône sont préservées de toutes atteintes.

Ainsi, même si les crues de 1987 et 1993 n'entraînèrent pas d'inondations aussi importantes que par le passé, les dommages occasionnés s'en trouvaient considérablement accrus en raison de la valeur des biens menacés. Ces crues révélèrent en particulier le mauvais état de certaines digues et la nécessité d'effectuer de nouveaux travaux pour assurer la sécurité.

Il est également intéressant de remarquer que les inondations qui, à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, se produisaient généralement entre la fin juillet et la mi-septembre développent une tendance à survenir plus tard dans la saison, typiquement entre septembre et octobre. Ce décalage temporel déplace les crues vers la période où les retenues saisonnières des grands

aménagements atteignent leur niveau maximal de remplissage. La capacité de rétention favorable au laminage des crues s'en trouve ainsi fortement réduite.

Face à cette situation, le canton du Valais a initié dès 1995 le projet d'une troisième correction du Rhône, avec les objectifs de garantir la sécurité contre les crues et de rétablir ou de renforcer les fonctions biologiques et socio-économiques que le fleuve doit assurer. Parmi les grands principes du projet (Arborino, 2000) il est prévu d'optimiser la rétention à l'amont pour ne pas aggraver la situation à l'aval. Dans les cas rares à extrêmes, cette rétention peut se réaliser dans la plaine en inondant les secteurs dont le potentiel de dommage est peu élevé. Cet effet de rétention, s'ajoute à celui produit par les retenues des aménagements hydroélectriques qu'il s'agit de privilégier et dont l'efficacité peut être augmentée grâce à une gestion préventive de leur exploitation.

Cette rétrospective historique de l'évolution du Rhône alpin montre que, outre les modifications morphologiques apportées dans l'optique de la protection contre les crues, le régime hydrologique a subi des modifications importantes sous l'effet de la construction des retenues des aménagements hydroélectriques et vraisemblablement sous l'effet de modifications climatiques dont l'évolution en cours n'est pas prévisible.

## 2. L'influence des aménagements hydroélectriques sur les crues

En l'espace de 13 ans, quatre épisodes de crues importantes ont été observés (1987, 1993, 1994, 2000) sur le bassin versant du

de la plaine. L'endiguement du Rhône n'a cependant pas résolu complètement le problème de la sécurité (Bianco et al. 1999). L'espace disponible pour le cours d'eau est aujourd'hui réduit à un couloir étroit entre deux digues surélevées de 3 à 4 m par rapport au niveau de la plaine. Ainsi même si les crues de 1987 et 1993 n'entraînèrent pas d'inondations aussi importantes que par le passé, elles révélèrent le mauvais état de certaines digues et la nécessité d'effectuer de nouveaux travaux pour assurer la sécurité.

### 1.4 Les barrages valaisans

La construction des aménagements hydroélectriques en Valais (Fig. 2) a commencé en 1893 avec une centrale à Zermatt sur le Triftbach. Jusqu'en 1950, l'utilisation de l'eau pour la production d'électricité n'évolua pas beaucoup. Seules les centrales de Chippis «Navi-sence», Fully, Vernayaz, Chandoline et Miéville furent mises en service pour un débit équipé total inférieur à 50 m<sup>3</sup>/s. La quasi totalité des grandes centrales actuelles, Riddes, Ackersand, Nendaz, Stalden, Bitsch 1, La Bâtiaz, Steg, Bitsch 2, ont été réalisées entre 1950 et 1980. La capacité de turbinage installée se monte alors à 275 m<sup>3</sup>/s. Avec, la mise en service de l'Usine de Bieudron en 1998 avec une capacité de 75 m<sup>3</sup>/s le débit total turbinable se monte à 350 m<sup>3</sup>/s. Il convient de mentionner que ce dernier aménagement est provisoirement hors service, suite à la rupture du puits blindé survenue le 12.12.2000.

Il est intéressant de constater que le débit installé des aménagements hydroélectriques à accumulation est nettement supérieur au débit annuel moyen actuel du Rhône à la porte du Scex qui est de l'ordre de 180 m<sup>3</sup>/s. En comparaison des valeurs considérées à Branson pour le dimensionnement de la troisième correction du Rhône, env. 1200 m<sup>3</sup>/s, et au débit extrême d'une crue millénale, évalué à 1600 m<sup>3</sup>/s, cette capacité de turbinage de 275 m<sup>3</sup>/s (350 m<sup>3</sup>/s avec Bieudron), n'est de loin pas négligeable. Jusqu'en 1950, le volume utile des retenues valaisannes demeurait relativement modeste, de l'ordre de 97 mio m<sup>3</sup>. Entre 1950 et 1980, avec la réalisation des grands aménagements, le volume utile total passait à 1157 mio m<sup>3</sup> puis, avec la surélévation du barrage de Mauvoisin en 1991, à 1195 mio m<sup>3</sup>. Cela représente 21% du volume transitant annuellement à la Porte du Scex. Il est ainsi évident que la capacité de turbinage actuelle de 275 m<sup>3</sup>/s (350 m<sup>3</sup>/s avec Bieudron) et le volume de rétention de 1200 mio m<sup>3</sup>

Rhône alpin en amont du lac Léman. En 1993, des inondations catastrophiques se produisaient dans la région du Haut-Valais, en Ville de Brigue en particulier. En 2000, la région du Bas-Valais était également touchée. Suite à l'événement de 1993, le canton du Valais a mis sur pied le groupe de travail Consecru (CONcept de Sécurité contre les risques liés aux CRUes) chargé d'établir un plan visant à atténuer les conséquences négatives des crues. Dans le rapport final d'avril 2001, des propositions ont été faites concernant la suppression/diminution du danger et la planification de mesures d'urgence.

Dans ce cadre, la contribution potentielle des aménagements hydroélectriques à accumulation a été analysée. La nécessité d'un modèle d'ensemble du système hydraulique est rapidement apparue, incluant aussi bien les bassins versants et le réseau hydrographique que les aménagements hydroélectriques. Cette modélisation devait permettre, dans un premier temps, de mettre en évidence l'effet des retenues valaisannes sur les crues du Rhône et de ses affluents et de quantifier le potentiel de protection offert par les aménagements en situation de crue. Le Conseil d'Etat valaisan a ainsi décidé, en séance du 13 octobre 1999, de lancer une première phase d'étude pour la modélisation des effets des barrages valaisans sur les crues du Rhône et de ses principaux affluents.

## 2.1 La simulation des crues

Le modèle de simulation développé par le laboratoire Hydram dans l'étude de faisabilité concernait le bassin versant du Rhône jusqu'à Branson, sur lequel un découpage en 83 sous-bassins versants autorisait la production et le transfert des hydrogrammes de crues résultant des précipitations. L'utilisation d'un modèle de génération stochastique a également permis de constituer une base de données regroupant plus de 7000 averses associées à des conditions limites telles que l'altitude de l'isotherme zéro degré et les débits spécifiques glaciaires (Consuegra et al., 1998). La modélisation numérique du transfert pluie-débit a été effectuée à l'aide du logiciel Routing System (Dubois et Boillat, 2000). Elle prend en compte la distribution spatio-temporelle des précipitations, les caractéristiques des différents bassins versants, le routage dans les cours d'eau, les captages, la rétention dans les retenues, l'exploitation des centrales hydroélectriques et des stations de pompage. Le but premier de cette étude

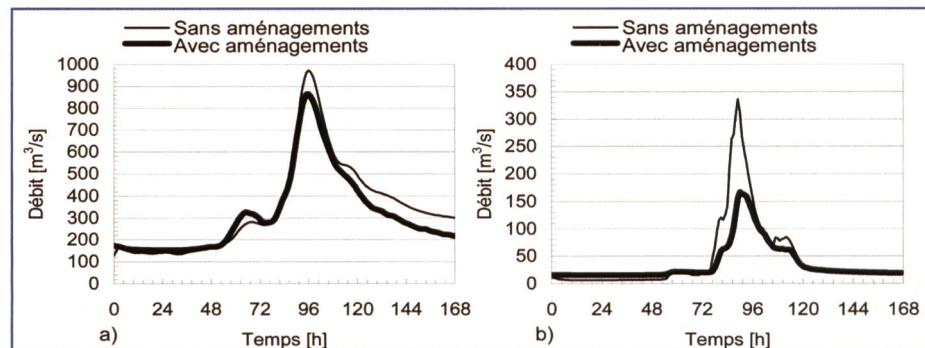


Figure 3. Hydrogrammes simulés avec et sans la présence des aménagements hydroélectriques. a) Branson, b) Viège.

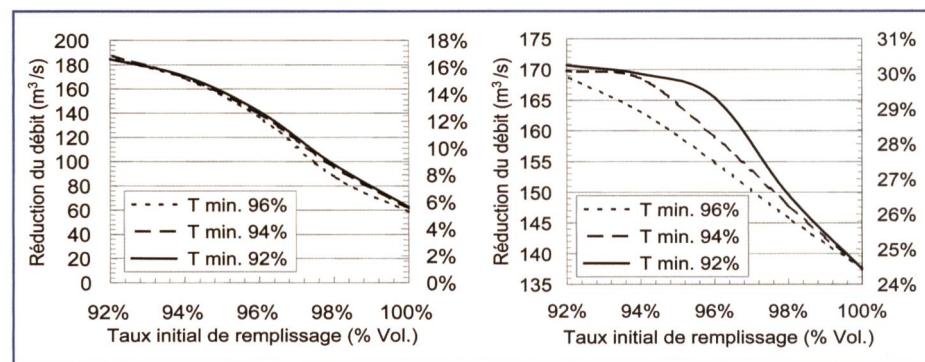


Figure 4. Etude de sensibilité du taux initial de remplissage des retenues et du taux d'enclenchement  $T_{min}$  du turbinage. a) Branson, b) Viège.

était de mettre en évidence l'effet des aménagements hydroélectriques sur les crues importantes. Le modèle développé permet de répondre à cette question en activant ou non la présence des ouvrages hydrauliques. La comparaison des résultats avec et sans aménagements a ainsi pu être obtenue en tout point du modèle (Dubois et al., 2000; Raboud et al., 2001). Les résultats présentés à la figure 3 illustrent bien l'effet de laminage produit par les retenues. Pour la crue considérée, le débit de pointe subit une réduction de 11,6% à Branson, situé à l'exutoire de la zone d'étude. Sur la Viège à Viège, le débit de pointe diminue de 51,8%, sous l'effet de la retenue de Mattmark et des nombreux captages destinés à Grande Dixence. Ces résultats illustrent bien l'effet protecteur des aménagements hydrauliques.

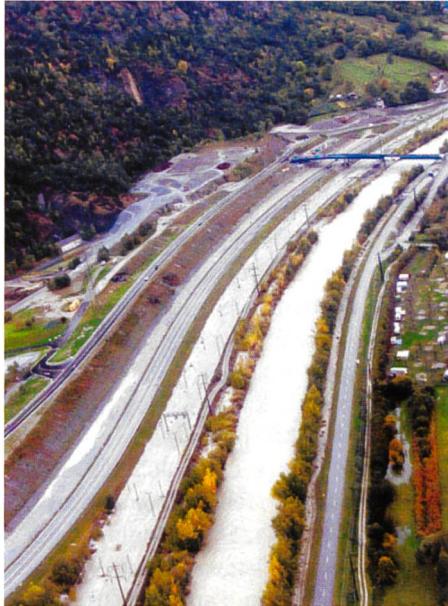
Le modèle de simulation a ensuite été utilisé pour établir la probabilité d'apparition de certains débits. A l'aide du générateur stochastique, 30 séries de pluie continues de 120 ans chacune ont été produites puis introduites dans le modèle. Sur l'ensemble des crues ainsi générées, seules celles dont le débit de pointe à Branson se situait entre 1020 et 1600 m<sup>3</sup>/s ont été retenues. D'un point de vue statistique, ces valeurs correspondent aux quantiles 10% et 90% du débit centennal à cet endroit. Cette démarche a conduit à la sélection de 459 crues qui

ont ensuite permis une étude de sensibilité sur le niveau initial dans les retenues et la gestion du turbinage lors des crues (Consuegra et al., 1998).

Le taux initial de remplissage de l'ensemble des retenues a été varié entre 92% et 100%, sachant que la valeur moyenne observée durant les 15 dernières années se situe aux environs de 94% en période de fortes crues. Le taux d'enclenchement du turbinage a été varié entre 92% et 96%. Toutes les turbines étaient enclenchées lorsque le remplissage des retenues atteignait 99%. Dans ce domaine d'exploration, la réduction des débits de pointe due aux aménagements a été calculée pour les 459 crues sélectionnées.

Il ressort des résultats présentés sur la figure 4 que le taux d'enclenchement du turbinage préventif n'a que peu d'influence sur les débits de pointe. Ce résultat n'est pas vraiment surprenant dans la mesure où la stratégie de turbinage adoptée ne poursuit d'autre objectif que d'éviter ou de réduire le débit de pointe déversé par les organes de sécurité du barrage, sans toutefois interrompre le turbinage pendant la pointe de crue. Une stratégie de vidange préventive produira certainement un meilleur résultat. Par contre, le taux initial de remplissage des retenues produit un effet plus marqué, aux deux emplacements considérés. Il

16 octobre 2000 – Brigue



16 octobre 2000 – Bieudron



16 octobre 2000 – Bieudron



Figure 5. Images de la crue du Rhône d'octobre 2000 en Valais.

apparaît surtout que la prise en compte des aménagements hydrauliques est incontournable, pour la simulation de situations de crue. En effet, même si toutes les retenues sont initialement pleines et que le turbinage ne fonctionne pas, une réduction significative du débit de pointe est toujours observée.

## 2.2 La crue d'octobre 2000

En octobre 2000, le canton du Valais et en partie le canton du Tessin, ont été victimes de graves catastrophes dues aux crues (OFEG, 2002). Le triste bilan fait état de 16 morts. Un tiers du village valaisan de Gondo a été détruit par les eaux et les éboulis. L'étendue des destructions a été d'une telle ampleur (Fig. 5) qu'il en résulte des dommages évalués à 670 millions de francs.

Afin de quantifier l'influence des aménagements hydroélectriques sur la crue du Rhône d'octobre 2000, le modèle numérique a été calé sur les valeurs de débit mesurées aux stations limnimétriques du Rhône puis utilisé pour simuler une situation fictive ignorant la présence des aménagements hydroélectriques (Boillat et Jaberg, 2001; Boillat et al., 2002a). Les résultats obtenus permettent non seulement d'évaluer les volumes d'eau captés pendant la crue mais aussi d'apprécier le laminage produit par les barrages.

Les hydrogrammes calculés à Brigue et à Branson, avec et sans les aménagements hydroélectriques, sont présentés sur la figure 6 à titre d'exemple. A ces deux stations, considérées comme représentatives des tronçons amont et

aval du Rhône alpin, la réduction du débit de pointe est respectivement de 85 m<sup>3</sup>/s et 140 m<sup>3</sup>/s. Cette dernière valeur correspond à une différence de niveau du Rhône de l'ordre de 75 cm à Branson. Il suffit de se remémorer les limites atteintes par le passage de la crue pour apprécier à sa juste valeur l'effet bénéfique produit par les barrages valaisans à cette occasion.

Ce dernier constat débouche tout naturellement sur l'intérêt de pouvoir utiliser les aménagements hydroélectriques dans un but de protection contre les crues. Il ne faut pas oublier cependant que leur fonction prioritaire et actuellement unique est la production d'électricité et qu'ils sont exploités selon un cycle d'accumulation caractérisé par des réservoirs pleins vers la fin de l'été (septembre-octobre), précisément à la saison des fortes crues. Malgré ces intérêts antinomiques, il n'est pas

utopique de penser qu'une gestion intelligente des aménagements est susceptible d'augmenter sensiblement leur effet de laminage en période de crue, sans préteriter pour autant la production énergétique.

Des pluies extrêmes de longue durée, telles que celles tombées entre le 10 et le 16 octobre 2000 sur le sud des Alpes du Piémont au Tessin, avec des précipitations centrées sur la région du col du Simplon, sont à l'origine de laves torrentielles et de glissements de terrain qui ont aggravé l'ampleur des dégâts dus aux crues elles-mêmes. Les volumes de précipitations étaient tels qu'ils auraient pu avoir des conséquences bien plus désastreuses encore. Grâce essentiellement aux mesures d'urgence qui ont été prises par le canton du Valais suite aux intempéries de 1993, une plus grande catastrophe a pu être évitée.

La gestion de crise pratiquée en

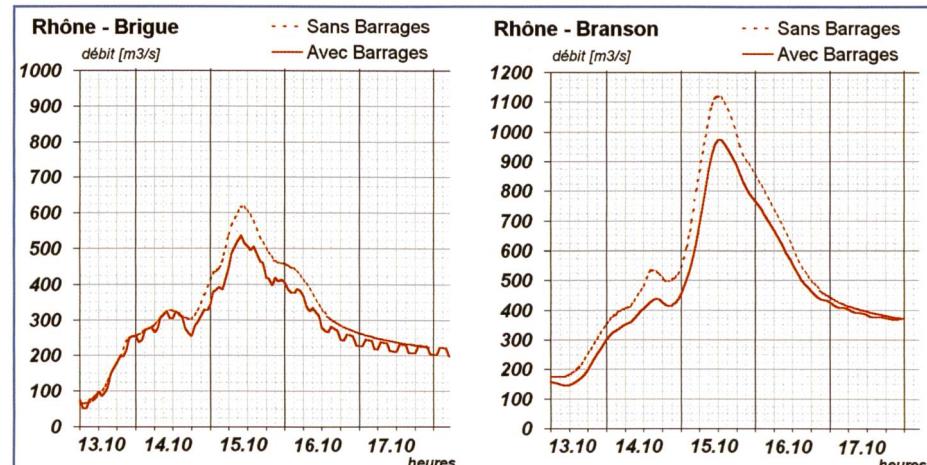


Figure 6. Hydrogrammes modélisés de la crue d'octobre 2000, aux stations limnimétriques du Rhône à Brigue et Branson, avec et sans la présence des barrages.

une telle circonstance montre que, seules des actions concertées entre toutes les parties concernées permettent de limiter les dégâts à un niveau acceptable. Il est ainsi établi qu'avec un bon concept de prévisions, des mesures efficaces de protection contre les crues peuvent être prises. Même si la protection absolue ne peut être garantie, une bonne connaissance des phénomènes hydrologiques et hydrauliques basé sur la prévision météorologique facilite la gestion du risque résiduel. C'est le défi qu'il s'agit de relever en matière de protection contre les crues.

### 3. Modélisation des intempéries de nature extrême du Rhône valaisan et de leurs effets. Le projet Minerve.

A la fin de la phase préliminaire du projet de simulation des crues en Valais, le canton dispose d'un modèle numérique capable de modéliser les écoulements dans les réseaux hydrographiques naturels et aménagés, à partir de la connaissance des pluies et des consignes d'exploitation des aménagements. Ce modèle se révèle comme un outil performant pour le couplage hydrologique et hydraulique dans la simulation de systèmes complexes. L'intérêt, l'efficacité et la précision de ce modèle devaient toutefois être améliorés par l'intégration combinée de données mesurées (précipitations, débits, températures, etc.) et de prévisions météorologiques. Pour ce faire, il devait être adapté de manière à suivre l'évolution des crues en temps réel et à suggérer la gestion des aménagements la plus adéquate.

#### 3.1 Les partenaires du projet

Le projet Minerve, actuellement en phase de développement (Boillat et al., 2002b; Jordan et al., 2004), est élaboré en partenariat par les institutions suivantes:

- le Département des transports, de l'équipement et de l'environnement, par son Service des Routes et Cours d'Eau (SRCE) et le Département de la santé, des affaires sociales et de l'énergie, par son Service des Forces Hydrauliques (SFH) sont les représentants du maître de l'ouvrage. En qualité de futurs utilisateurs, ils ont la compétence d'orienter l'avancement des différents axes de développement du projet;
- l'Office fédéral de eaux et de la géologie (OFEG) intervient comme organe de supervision et comme fournisseur de données hydrométriques par le réseau fédéral des stations limni-

métriques; son rôle est aussi de subventionner le projet et d'apporter ses compétences techniques et son expérience issue notamment des prévisions du Rhin alpin;

- MétéoSuisse est l'organisme qui gère les stations climatiques automatiques des réseaux Anetz et Enet ainsi que les stations radar (Albis, Dôle, Monte Lema). Cette institution est principalement chargée de fournir les prévisions météorologiques;
- les exploitants des aménagements hydroélectriques qui interviennent pour la fourniture d'informations concernant l'état et l'exploitation des aménagements mais aussi pour la transmission de données issues de leurs réseaux de mesures hydrauliques et climatiques;
- le Service cantonal des forêts et du paysage (SFP) pour la fourniture des données nivales (réseau Imis);
- le bureau d'ingénieurs HydroCosmos à Vernayaz, spécialisée en modélisation hydraulique numérique;
- le Laboratoire d'hydrologie et aménagements (Hydram) de l'EPFL, spécialiste de la modélisation hydrologique;
- le Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) de l'EPFL, qui assure la coordination du projet et qui procède au développement d'un système expert d'aide à la décision pour la gestion des crues.

Dans ce contexte de modélisation, le service des routes et cours d'eau du canton du Valais, en charge du projet de la troisième correction du Rhône, contribuera à définir les caractéristiques de fonctionnement des zones d'épanchement prévues en bordure du cours d'eau, dont la modélisation sera également intégrée à Minerve.

#### 3.2 Les objectifs et l'organisation du projet

Les principaux objectifs du projet Minerve tels que fixés lors de l'initiation du projet et complétés en cours d'étude peuvent se résumer comme suit:

- développer un outil de prévision des crues en temps réel couplant des informations météorologiques avec un modèle hydrologique;
- simuler les écoulements au travers des aménagements et dans les cours d'eau, sur la base de scénarios météorologiques;
- suivre en temps réel les écoulements au travers des aménagements et

dans les cours d'eau, grâce à l'acquisition automatiques de données mesurées;

- optimiser les consignes d'exploitation des aménagements dans l'objectif de la protection contre les crues, sur la base de scénarios prévisionnels;
- développer la convivialité de l'outil de simulation par l'intégration de panneaux de commande, de fenêtres de visualisation et par l'édition de rapports à l'intention des utilisateurs;
- mettre cet outil à disposition de la cellule scientifique Cerise chargée d'établir les bases de décisions et d'actions à l'intention de la cellule d'intervention en cas de catastrophe «Ceca/Kaze» (vidange anticipée d'ouvrages d'accumulation, décision de maintien ou d'arrêt du turbinage, ordres d'évacuation à la population, etc.)

Mis à part les aspects de développement, la formulation de ces objectifs met en évidence deux modes différents de fonctionnement et d'utilisation du modèle. Le premier correspond à une exploitation normale, en continu, qui permet de suivre l'évolution de la situation hydrologique sur le bassin versant. Le deuxième répond à une situation «de crise» dans le but d'informer et de faciliter les prises de décisions pour la protection des personnes et des biens contre les crues.

La modélisation effectuée en fonctionnement normal pourra être mise à profit pour la définition de la distribution annuelle des débits. Elle contribuera ainsi à l'étude d'assainissement des cours d'eau dans laquelle des statistiques saisonnières sont requises pour réguler les débits de base. Les informations acquises pourraient également être mises à disposition des exploitants d'aménagements dans l'objectif d'une gestion optimisée. Ce fonctionnement du modèle en continu offre le double avantage de contribuer à la valorisation des données et à la maintenance du système d'acquisition et de modélisation. Il garantit ainsi que le modèle soit opérationnel en situation de crise car exploité et entretenu par des utilisateurs expérimentés. Ces outils informatiques d'acquisition automatique des données, de modélisation météorologique, hydrologique et hydraulique et d'aide à la décision sont destinés à une cellule scientifique de crise (Cerise) dont le rôle est de conseiller l'état-major de la cellule catastrophe (Ceca/Kaze) et les communes, auxquels appartiennent les prises de décisions.

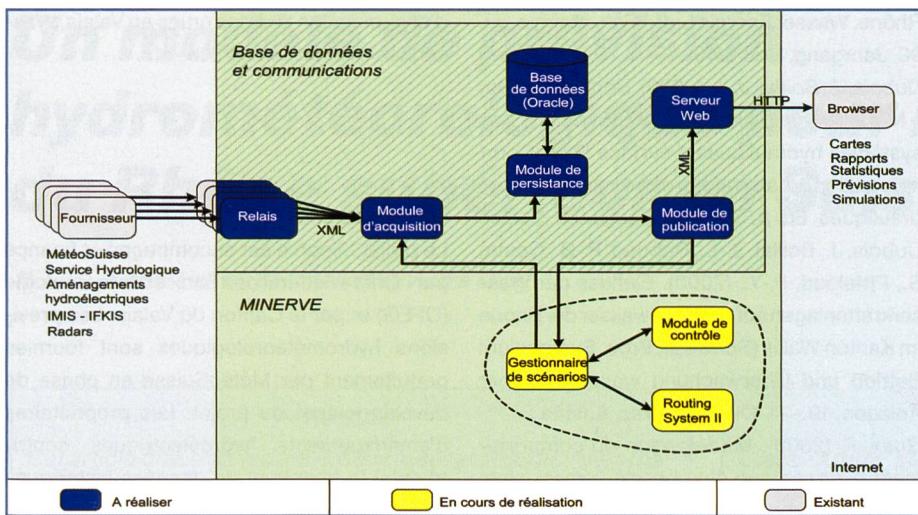


Figure 7. Architecture du système de communications de Minerve.

### 3.3 Les axes de développement

Le projet Minerve est organisé selon cinq axes de développement, tous indispensables pour rendre le système opérationnel:

- la gestion administrative est de la compétence du canton, elle consiste principalement à assurer l'exploitation du modèle et à régler les questions relatives à la publication, à l'archivage et à la propriété des données, aux droits d'accès, à la sécurité et la fiabilité du système informatique et des moyens de transmission;
- le développement d'un système de communications pour l'acquisition et la diffusion des données d'entrée et de contrôle du modèle numérique (Fig. 7); les principales données concernent les précipitations, les débits, les prévisions météorologiques et l'état opérationnel des aménagements hydroélectriques, elles seront archivées dans une base de données qui contiendra également les résultats de simulation;
- le développement informatique du modèle de simulation numérique du réseau naturel et des aménagements ainsi que la couche logicielle de gestion du modèle numérique vise à donner une vision claire des situations présente et prévisionnelle, il inclut également la connexion au système d'aide à la décision;
- les prévisions météorologiques sont fournies par MétéoSuisse à une fréquence de 12 heures pour un horizon de 72 heures; elles seront interprétées par le modèle Minerve pour calculer la prévision des débits; ce dernier subira une mise à jour périodique de ces variables d'état sur la base des observations;
- les développements scientifiques concernent prioritairement l'affinement de l'échelle de modélisation pour tenir compte des aménagements (Guex, 2000), l'extension du domaine modélisé jusqu'au Léman, la simulation de la fonte et de la gestion des stocks de neige et de glace, le développement d'un système expert d'aide à la décision pour la gestion préventive des aménagements hydroélectriques destinés à décharger le Rhône et les affluents principaux.

### 4. Conclusions et perspectives

Le modèle Minerve permet de simuler le comportement hydrologique du réseau naturel de drainage du bassin versant du Rhône alpin, d'une surface de 5500 km<sup>2</sup>, 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 m de dénivellation moyenne. La modélisation numérique de ce système complexe, effectuée à l'aide du logiciel Routing System, permet d'établir des prévisions de débits à un horizon de 72 heures sur la base des prévisions météorologiques fournies par MétéoSuisse. Le modèle prend en compte la distribution spatio-temporelle des précipitations pluviales ou neigeuses, le routage dans les cours d'eau, les captages et la rétention dans les retenues ainsi que l'exploitation des centrales hydroélectriques et des stations de pompage. Un système expert permet en outre de générer des scénarios d'exploitation préventive des aménagements dans l'objectif d'une optimisation économique de la protection contre les crues.

Par sa connexion online aux réseaux de mesures des stations météoro-

logiques et hydrologiques le modèle sera pleinement opérationnel. Il permettra de suivre l'évolution des crues en temps réel, d'établir les prévisions sur la base desquelles des scénarios de gestion anticipée des aménagements pourront être définis. Ce système informatique d'acquisition automatique des données, de modélisation météorologique, hydrologique et hydraulique et d'aide à la décision sera de première utilité à la cellule scientifique de crise (Cerise) dont le rôle est de conseiller l'état-major de la cellule catastrophe (Ceca/Kaze), auquel appartiennent les prises de décisions.

Le modèle pourra être exploité en continu, pour suivre l'évolution hydrologique du bassin versant. Les résultats obtenus contribueront aux projets d'assainissement des cours d'eau pour la modulation saisonnière des débits, ils seront également utiles aux exploitants dans l'objectif d'une gestion optimisée des aménagements à accumulation. Ce fonctionnement en continu offre le double avantage de contribuer à la valorisation des données et à la maintenance du système d'acquisition et de modélisation. Il garantit l'opérationnalité du modèle en situation de crise, car exploité et entretenu par des utilisateurs expérimentés.

Le projet Minerve fait ainsi partie des mesures prises par le canton du Valais pour améliorer la protection de son territoire contre les crues. A ce titre il convient de citer la création d'un volume réservé dans la retenue de Mattmark (Boillat et al., 2000c; André et Boillat, 2002) et l'entreprise de la troisième correction du Rhône en cours d'élaboration. Le lien avec ce projet sera établi par l'intégration dans Minerve des zones d'épanchement prévues le long du Rhône pour la gestion du risque résiduel.

### Bibliographie

- André S., Boillat J.-L. (2002). Schaffung eines Rückhaltevolumens im Stausee Mattmark für den Hochwasserschutz, Proc. Int. Symposium 7. – 9. Oktober: Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau, pp. 509 – 518, VAW, ETH, Zürich, Switzerland
- Arborino, T. (2000). 3<sup>e</sup> Correction du Rhône – Sécurité pour le futur, Rapport de synthèse, Département des Transports, de l'Équipement et de l'Environnement – Canton du Valais
- Bianco, P., Genolet, F., Rebord, Y.G. (1999). La 2<sup>ème</sup> correction a-t-elle résolu le problème du charriage? Wasser Energie Luft – Eau, énergie, air, 3/4, Baden, Suisse
- Boillat, J.-L., Jaberg, P. (2001). Modélisation des crues du Rhône en Valais. Événement

d'octobre 2000, Proc. Conférences du 25<sup>e</sup> anniversaire du GC à l'EIVD, 14 juin, pp. 41 – 49, Yverdon-les-Bains, Suisse

*Boillat J.-L., Dubois J., Schleiss A., Jordan F.* (2002a). Flood Modelling and Prevention in the Rhone basin upstream of lake Geneva, Proc. International Conference on Flood estimation, March 6-8, pp. 389–395, Bern, Switzerland

*Boillat, J.-L., Jordan, F., Ulrich, D., Hingray, B., Hamdi, Y.* (2002b). Minerve, a Tool for Prediction and Management in Valais, Proc. Int. Conference IUKB, October, Sion, Switzerland

*Boillat, J.-L., Dubois, J., Schleiss, A.* (2000c). Utilisation possible de la retenue de Mattmark pour la protection contre les crues et la production d'énergie, Actes du XX<sup>e</sup> Congrès des Grands Barrages, CIGB/ICOLD, Q.77 – R.23, pages 339–355, Beijing, China

*Biedermann, R., Pougatsch, H., Darbre, G., Raboud, P.-B., Fux, C., Hagini, B., et Sander, B.* (1996). Aménagements hydroélectriques à accumulation et protection contre les crues. Speicherkraftwerke und Hochwasserschutz, Wasser Energie Luft – Eau, énergie, air, 10, 221–266

*Consuegra, D., Niggli, M., Musy, A.* (1998). Concepts méthodologiques pour le calcul des crues. Application au bassin supérieur du

Rhône, Wasser Energie Luft – Eau, énergie, air, 90. Jahrgang, Heft 9/10

*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

*Dubois, J., Boillat, J.-L., Raboud, P.-B., Costa, S., Pitteloud, P.-Y.* (2000). Einfluss der Wasserkraftanlagen auf die Hochwasser der Rhone im Kanton Wallis (Schweiz), Proc. Symposium Betrieb und Überwachung wasserbaulicher Anlagen, 19.–21. Oktober, Graz, Austria

*Guex, F.* (2000). Modélisation du comportement hydrologique d'un bassin versant alpin en tenant compte des aménagements hydroélectriques. Application à la Vièze en Valais, Séminaire interdisciplinaire Hydram-LCH, EPFL, Suisse

*Jordan, F., Boillat, J.-L., Dubois, J., and Schleiss, A.* (2004). Minerve, a tool for flood prediction and management of the Rhone river catchment area, Proc., Risks in Design and Management of Rivers and Reservoirs, Technische Universität Dresden

*Raboud, P.-B., Dubois, J., Boillat, J.-L., Costa, S., et Pitteloud, P.-Y.* (2001). Projet Minerve – Modélisation de la contribution des bassins

d'accumulation lors des crues en Valais, Wasser Energie Luft, 11/12, 313–317

#### Remerciements

Le projet Minerve est accompagné et financé par l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie (OFEQ) et par le Canton du Valais. Les prévisions hydrométéorologiques sont fournies gratuitement par MétéoSuisse en phase de développement du projet. Les propriétaires d'aménagements hydroélectriques contribuent à la fourniture de données historiques d'exploitation.

#### Adresse de l'auteur

Dr. Jean-Louis Boillat  
Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH)  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)  
Bât. GC, Station 18  
CH-1015 Lausanne, Suisse  
+41-21-693 23 76  
<http://lchwww.epfl.ch>  
[jean-louis.boillat@epfl.ch](mailto:jean-louis.boillat@epfl.ch)



## Für Informationsfluss in geordneten Bahnen.

buag-Kommunikations-Full-Service

Für die Konzeption und Realisation von Dokumentationen, Publikationen, Berichten und Broschüren steht Ihnen ein Team von Fachleuten mit einer nahtlosen Netzwerkstruktur zur Verfügung, die sich flexibel auf Umfang und Art Ihres Informationsprojektes einstellen können. Sie halten so Ihren Informationsfluss, aber auch Ihre Budgets in geordneten Bahnen. Informieren Sie sich unter [www.buag.ch](http://www.buag.ch) und verlangen Sie die Broschüre «Die Kommunikation der Information» oder rufen Sie einfach Tel. 056 484 54 54 an.

#### Kompetenz in der Messtechnik...



**Echolot,**  
ADCP Strömungsmessung,  
Sidescan, Multibeam  
Dipl. Ing. Pius Lacher



**Georadar,**  
Magnetik, Geophysik,  
Archäologie  
Dr. Jürg Leckebusch



**Messsysteme,**  
Automatische Bauwerks- und  
Rutschhangüberwachungen,  
Laserscanning  
Dipl. Ing. Marc Amsler

#### ...dank mehr als 20 Ingenieuren

Ingenieurvermessung • GPS • Hydrographie • Georadar • autom. Messsysteme • Gleismesswagen • Architekturvermessung • statisches und dynamisches Laserscanning • Archäologie

terra vermessungen ag, Obstgartenstr. 7, 8006 Zürich  
Tel. 043 255 20 30, Fax 043 255 20 31, [terra@terra.ch](mailto:terra@terra.ch)

**Fachinformationen auf [www.terra.ch](http://www.terra.ch)**