

# Gestion des crues par opérations préventives sur les aménagement hydroélectriques à accumulation

Autor(en): **Jordan, Frédéric**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **97 (2005)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941779>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

# Gestion des crues par opérations préventives sur les aménagements hydroélectriques à accumulation

■ Frédéric Jordan

## Résumé

L'utilisation des retenues d'accumulation pour la gestion des crues est courante dans le cas d'aménagements hydrauliques à buts multiples où des tranches mortes sont réservées. L'utilisation généralisée des nombreux aménagements hydroélectriques pour le contrôle des crues d'un bassin versant fait par contre l'objet de nouveaux développements. Sur la base de prévisions de débit sur différents tronçons de cours d'eau, il est possible de déterminer les opérations à effectuer sur certains aménagements hydroélectriques afin de maximiser leur effet de laminage des crues tout en leur garantissant un niveau de remplissage optimal à la fin de l'événement. Suivant les principes de turbinage et vidange préventifs, un volume de stockage est libéré quelques heures avant la pointe de la crue afin de permettre à l'aménagement de capter un volume maximum pendant cette pointe, maximisant ainsi son effet protecteur au meilleur moment.

Un modèle de gestion comprenant les 11 aménagements hydroélectriques les plus influents en Valais a été réalisé. Il permet de déterminer, pour chaque aménagement, les instants de début et de fin de turbinage et de vidange préventifs. Des simulations effectuées sur la base d'événements historiques et fictifs ont montré un important potentiel de réduction des pointes de crue dans le Rhône. Ces résultats prometteurs ont été obtenus par le lancement d'opérations préventives 30 heures avant le passage de la pointe de crue sur le tronçon à l'aval de Lavey et en supposant les retenues alpines pleines.

Ce concept de gestion des crues par opérations préventives peut offrir une protection efficace pour les crues de temps de retour entre 50 et 100 ans. Il se révèle également complémentaire aux mesures de protections de la 3<sup>e</sup> Correction du Rhône pour des temps de retour plus élevés en réduisant la fréquence d'utilisation des zones d'épanchement.

## Zusammenfassung

Während der letzten 20 Jahre war das Wallis von drei grossen Hochwassern betroffen. Die Rhone und einige ihrer Zuflüsse überfluteten und führten zu katastrophalen Schäden. Um solche Katastrophen zukünftig zu verhindern, wurden verschiedene Schutzmassnahmen analysiert und ein Abflussvorhersage-System entwickelt. Das Ziel dieses Systems ist die Reduktion der Hochwasserspitzen durch die Benutzung der Retentionsvolumen der alpinen Wasserkraftwerke.

11 grosse Wasserkraftwerke des Kantons Wallis wurden in ein Hochwasser-Management-Modell integriert. Dieses Modell erlaubt, die fachgerechten Operationen der Kraftwerke zu rechnen, so dass der Einfluss auf das Hochwasser optimal wird. Die Simulationen historischer und fiktiver Abflusssituationen zeigen einen hohen Schutzeinfluss der Retentionsfähigkeit der Stauseen während Hochwasserereignissen, sofern präventive Operationen 30 Stunden im Voraus durchgeführt werden.

Das vorgestellte System erlaubt einen effizienten komplementären Schutz für 50 bis 100-jährliche Ereignisse. Zudem ergänzt das System die Schutzmassnahmen der 3. Rhone-Korrektur für das Restrisiko-Management durch Verminderung der Frequenz der Überflutungen in den Flachland-Retentionszonen.

## 1. Introduction

Dans le cadre de la 3<sup>e</sup> Correction du Rhône, le Canton du Valais a décidé de développer une stratégie de gestion des crues suivants plusieurs axes. En particulier, l'utilisation des aménagements hydroélectriques existants pour le contrôle des crues sur la base de prévisions de débit constitue l'un des axes de recherche. Dans ce but, le projet Minerve a débuté en octobre 2001 et doit permettre le développement d'un outil d'acquisition en temps réel de données et de prévisions hydrométéorologiques, de prévisions de débit en de nombreux tronçons du bassin versant du Rhône et d'aide à la décision pour la gestion des aménagements hy-

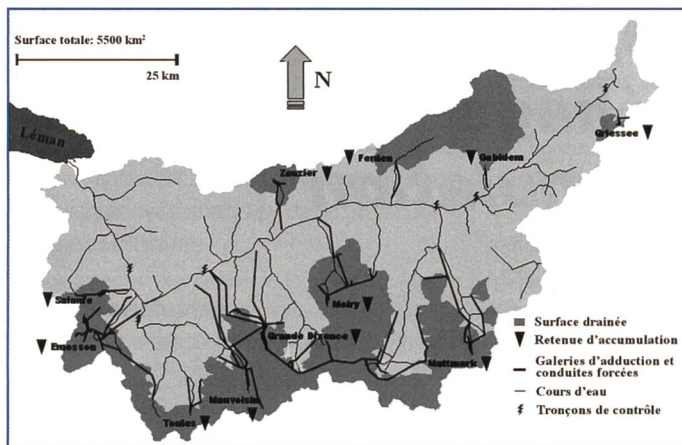
droélectriques en cas de crue (Jordan et al., 2004).

Situé entre la crête principale des Alpes et la crête Nord des Alpes, le bassin versant du Rhône est soumis à un régime hydrologique particulier. D'une part, il se caractérise année après année par une relative sécheresse, les nuages étant transportés au-dessus de cette vallée intra-alpine. D'autre part, il subit parfois des crues provoquant de nombreux dégâts, en particulier lors de situations de barrage du Sud où de fortes pluies se prolongent des jours durant et accélèrent la fonte de neige même en relativement haute altitude (Grebner, 1994, Grebner & al., 2000).

La présence de nombreux aménagements hydroélectriques à accumulation sur le bassin versant du Rhône offre pourtant la possibilité d'effectuer un contrôle des crues par stockage d'une partie des volumes ruisselés. Sans consignes particulières, ces aménagements ont déjà contribué très favorablement à limiter les dommages lors des crues de 1987, 1993 (Biedermann et al., 1996) et 2000. Une étude préliminaire au projet Minerve a d'ailleurs mis en évidence l'effet protecteur des aménagements hydroélectriques lors de ces trois crues historiques. Sans les aménagements hydroélectriques, les débits de pointe mesurés à Branson auraient été de 10%







**Figure 1. Bassin versant du Rhône jusqu'au lac Léman avec les 11 principaux aménagements hydroélectriques et leurs surfaces drainées.**

à 20% supérieurs (Raboud et al., 2001). Les 11 aménagements hydroélectriques les plus influents pour le contrôle des crues drainent 26% de la surface totale du bassin versant du Rhône jusqu'au lac Léman (Fig. 1). Ils ont en outre une capacité totale de stockage de 1170 mio m<sup>3</sup> à lacs vides, soit 97% de la capacité totale de stockage dans les retenues valaisannes.

La gestion type des aménagements hydroélectriques lors des crues a pour objectif de garantir la sécurité des ouvrages. En l'absence de prévisions de débit, l'exploitant attend que sa retenue se remplisse jusqu'au niveau normal d'exploitation, qui correspond en général à la crête des ouvrages d'évacuation de crue. Dès ce moment, le risque de débordement de la retenue augmente et le règlement d'urgence doit être appliqué. Dans l'ordre, le pompage est arrêté, les prises d'eau régulées sont mises hors service, le turbinage est enclenché et enfin la vidange de fond ainsi que l'évacuateur de crue sont utilisés. De telles procédures garantissent la stabilité de l'ouvrage mais soulèvent un certain nombre de problèmes à l'aval. En cherchant à minimiser le stockage au plus fort de la crue pour ne pas risquer de faire déborder sa retenue, l'exploitant minimise simultanément l'effet protecteur de sa retenue pour l'affluent et le cours d'eau principal. Si le turbinage, l'évacuation par un ouvrage déversant ou la vidange est effectuée pendant la pointe, son effet sera même directement défavorable dans la mesure où un débit additionnel sera fourni au cours d'eau aval.

Par l'exploitation judicieuse de prévisions de débit, il est possible de maximiser la rétention durant la pointe de la crue en libérant de la retenue si nécessaire le volume excédentaire par turbinage ou vidange préventifs. Ainsi, le règlement d'urgence ne s'applique plus car la retenue n'atteint son niveau normal qu'à la fin de la crue, ce qui permet de garantir

les pompages et l'adduction pendant la pointe sans turbinage à ce moment particulièrement dangereux de l'événement.

## 2. Calcul de l'influence des manœuvres préventives sur les débits de crue

Les manœuvres préventives sur les aménagements peuvent être déterminées à partir de trois types de données: les prévisions de débit aux captages, les prévisions de débit aux tronçons de contrôle et les niveaux initiaux des retenues. Ces données sont intégrées dans la méthode de calcul décrite ci-dessous et permettent un calcul rapide des opérations préventives nécessaires.

### 2.1 Estimation des apports

Le débit à l'exutoire du bassin versant *i*, obtenu par simulation, peut être intégré sur la période de simulation considérée. Le volume ainsi calculé constitue l'apport durant cette période. L'efficacité de ruissellement *E<sub>i</sub>*, définie comme le rapport entre l'apport au bassin versant *i* et le volume ruisselé total à l'exutoire durant la même période, constitue l'indicateur principal pour le calcul des manœuvres préventives.

$$E_i = \frac{\int_{t_0}^{t_f} Q_i(t) \cdot dt}{\int_{t_0}^{t_f} Q_{tot}(t) \cdot dt} = \frac{V_i}{V_{tot}} \quad (1)$$

*Q<sub>i</sub>(t)*, *Q<sub>tot</sub>(t)* [m<sup>3</sup>/s] sont les débits au temps *t* à l'exutoire du bassin versant *i*, respectivement du domaine, *t<sub>0</sub>*, *t<sub>f</sub>* [s] sont les instants de début et de fin de simulation, *V<sub>i</sub>* et *V<sub>tot</sub>* [m<sup>3</sup>] sont les volumes ruisselés à l'exutoire du bassin versant *i*, respectivement du domaine, entre *t<sub>0</sub>* et *t<sub>f</sub>*.

Le coefficient de répartition spatiale des volumes ruisselés du bassin versant *i*, *α<sub>i</sub>* [-], peut être ensuite obtenu par l'introduction des surfaces des sous-bassins versants considérés:

$$\alpha_i = \frac{V_{s,i}}{V_{s,tot}} = E_i \cdot \frac{S_{tot}}{S_i} \quad (2)$$

*V<sub>s,i</sub>*, *V<sub>s,tot</sub>* [m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>] sont les volumes spécifiques ruisselés du bassin versant *i*, respectivement du domaine, entre *t<sub>0</sub>* et *t<sub>f</sub>* et *S<sub>i</sub>*, *S<sub>tot</sub>* [km<sup>2</sup>] les surfaces du bassin versant *i*, respectivement du domaine.

En considérant la structure et les fonctionnalités d'un aménagement hydroélectrique, il est possible d'estimer les apports dans la retenue. Les surfaces drainées directes (retenues) et indirectes (captages), les capacités des captages en rivière, des installations de pompage et des collecteurs doivent être également prises en compte.

$$E_{add,j} = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot \frac{S_{d,i}}{S_{tot}} + \sum_{k=1}^p \min \left\{ \sum_{i=1}^n \min \left[ \alpha_i \cdot \frac{S_{c,i}}{S_{tot}}; \gamma_{c,i} \cdot \frac{Q_{c,i} \cdot \beta_{c,i} \cdot (t_f - t_0)}{V_{tot}} \right]; \gamma_{coll,k} \cdot \frac{Q_{coll,k} \cdot \beta_{coll,k} \cdot (t_f - t_0)}{V_{tot}} \right\} \quad (3)$$

*E<sub>add,j</sub>* [-] est l'efficacité d'adduction de l'aménagement *j*, *S<sub>d,i</sub>* et *S<sub>c,i</sub>* [km<sup>2</sup>] les *m* surfaces drainées directes et *n* surfaces drainées indirectes; *γ<sub>c,i</sub>* [-] est le taux de fonctionnement du captage *i*, *Q<sub>c,i</sub>* [m<sup>3</sup>/s] son débit équipé, *β<sub>c,i</sub>* [-] son coefficient de pointe; *γ<sub>coll,k</sub>* le taux de fonctionnement du collecteur *k*, *Q<sub>c,i</sub>* son débit équipé et *β<sub>c,i</sub>* son coefficient de pointe.

### 2.2 Calcul des opérations préventives d'un aménagement

Quel que soit le modèle calculant les débits à l'exutoire de chaque sous-bassin versant, il est possible de prévoir les opérations préventives nécessaires pour chaque aménagement séparément. Le problème consiste à maximiser l'efficacité d'adduction pendant la pointe de la crue et donc à libérer le cas échéant la place nécessaire au stockage de cet apport. Il peut s'écrire comme suit:

sous les contraintes:

$$\text{Max}(E_{add,j}) \quad (4)$$

$$E_{add,j} \leq E_{add,max,j} \quad (5)$$

$$E_{add,j} \leq E_{stock,j} \quad (6)$$

$$E_{stock,j} = E_{disp,j} + E_{TP,j} \quad (7)$$

*E<sub>add,max,j</sub>* [-] est l'efficacité d'adduction maximale théorique de l'aménagement *j* (calculée indépendamment des possibilités de turbinage et vidange préventifs), *E<sub>stock,j</sub>* l'efficacité de stockage définie en (7), *E<sub>disp,j</sub>* l'efficacité



due au volume initial disponible (rapport entre volume initial disponible et volume total ruisselé) et  $E_{TP,j}$  l'efficacité due aux manœuvres préventives (rapport entre volume libéré par turbinage préventif et volume total ruisselé).

La résolution de ce problème est explicite, sa solution étant composée d'une durée de turbinage préventif et d'une durée de vidange préventive.

### 2.3 Optimisation des manœuvres de plusieurs aménagements

L'effet de manœuvres préventives simultanées de plusieurs aménagements hydroélectriques peut être défavorable si le débit dans le cours d'eau principal est déjà élevé. En effet, l'addition du débit naturel avec les débits provenant du turbinage ou des vidanges peut provoquer un dépassement de capacité et il est nécessaire de prévoir une séquence appropriée de ces manœuvres. Les combinaisons possibles étant nombreuses, il est nécessaire d'optimiser les manœuvres selon une fonction objectif qui peut être de type économétrique, et le problème se résume comme suit:

$$\text{Min}(\sum_{k=1}^K \text{Cost}_k) \quad (8)$$

Les contraintes (5), (6) et (7) restent valables. L'équation (8) représente la somme des coûts des dommages aux  $k$  tronçons de contrôle. Ces dommages sont actuellement calculés à partir des dépassements de capacité des cours d'eau, particulièrement pénalisants dans le Rhône. Une définition plus réaliste de ces coûts doit être effectuée sur la base des cartes de danger existantes (OFEG, 2001).

### 2.4 Evaluation de l'effet des manœuvres préventives dans le cours d'eau principal

Le stockage des volumes captés et pompés dans les retenues d'accumulation produit une réduction du débit de pointe dans le cours d'eau situé à l'aval de ces ouvrages. Cet effet peut être directement estimé en réduisant le débit prévu de la part protégée grâce aux manœuvres préventives des différents aménagements hydroélectriques.

$$Q_{k,red}(t) = Q_k(t) \cdot (1 - E_{TP,k}) \quad (9)$$

$Q_k(t)$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] est le débit prévu (hydrogramme prévu) sur le tronçon  $k$  au temps  $t$ ,  $Q_{k,red}(t)$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] le débit réduit correspondant (hydrogramme réduit)

et  $E_{TP,k}$  [-] l'efficacité dues aux manœuvres préventives. Le débit effectif tenant compte des manœuvres préventives (hydrogramme effectif)  $Q_k(t)$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] s'obtient comme suit:

$$\hat{Q}_k(t) = \sum_{j=1}^n Q_{TP,j}(t - t_{transfert,j-k}) + Q_{k,red}(t) \quad (10)$$

où  $Q_{TP,j}(t - t_{transfert,j-k})$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] est le débit dû aux manœuvres préventives de l'aménagement  $j$  au temps  $t$  tenant compte du temps de transfert entre la restitution  $j$  et le tronçon de contrôle  $k$ . Le débit effectif  $Q_k(t)$  peut finalement être introduit dans (équ. 8) pour permettre l'évaluation de la fonction de coût.

### 3. Performance théorique des manœuvres préventives

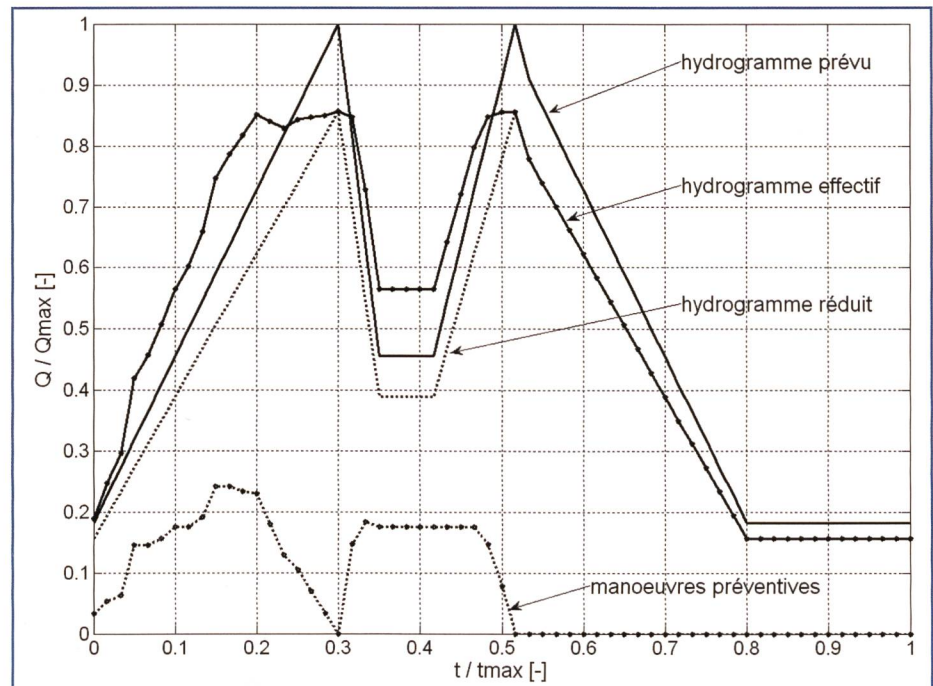
La performance des stratégies de gestion des crues du Rhône par manœuvres préventives a été évaluée sur la base d'événements de crue fictifs et historiques. Tenant compte des 11 aménagements hydroélectriques les plus influents (Fig. 1) et considérant leurs retenues respectives complètement pleines au début de chaque simulation, les résultats montrent des réductions de débit importantes sur le tronçon à l'aval de Lavey.

La Fig. 2 présente les résultats d'opérations préventives (turbinage) effectuées 18 heures avant la première

pointe de la crue. La durée totale de simulation est de 60 heures et le débit maximum prévu  $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ . La réduction possible du débit de pointe est alors de 15%. Des opérations préventives utilisant les vidanges permettent même une réduction de 21% du débit de pointe lors du même événement de crue fictif (Fig. 3). La pointe de la crue arrive plus tôt sur le tronçon de contrôle mais à une plus faible intensité, grâce à la redistribution spatio-temporelle des volumes captés.

Les crues de septembre 1993 et octobre 2000 ont également été analysées. Les hydrogrammes sans effet des aménagements hydroélectriques, observés et avec opérations préventives sont comparés. La situation réelle des aménagements 50 h (1993) et 34 h (2000) avant la pointe de la crue à Lavey a été prise en compte.

En 1993, le taux de remplissage moyen des retenues valaisannes était de 98.5%. Une réduction de 6% du débit de pointe ( $964 \text{ m}^3/\text{s}$  de  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a ainsi été obtenue grâce à l'effet de laminage de ces retenues. Pourtant, de nombreux aménagements ont turbiné et même parfois vidangé pendant la pointe de la crue afin de garantir leur propre sécurité. Si ces aménagements disposaient de prévisions de débit à 72 h et débutaient leurs opérations préventives 50 h avant la pointe de crue, ils auraient pu permettre une réduction



**Figure 2. Influence des manœuvres préventives (turbinage) sur un hydrogramme fictif. L'hydrogramme prévu ne tient pas compte des aménagements hydroélectriques, l'hydrogramme réduit est une homothétie du précédent tenant compte de l'effet protecteur des aménagements, l'hydrogramme effectif est la superposition de l'hydrogramme réduit et des débits provenant des manœuvres préventives effectuées par les aménagements hydroélectriques.**



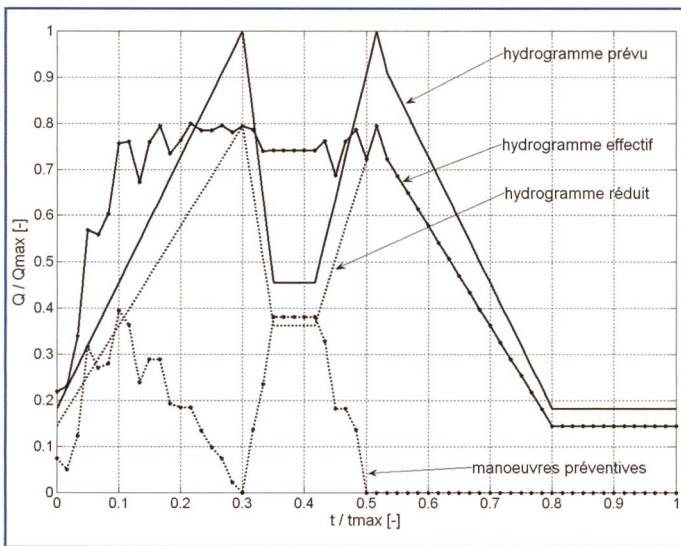


Figure 3. Influence des manœuvres préventives (turbinage et vidange préventive) sur un hydrogramme fictif.

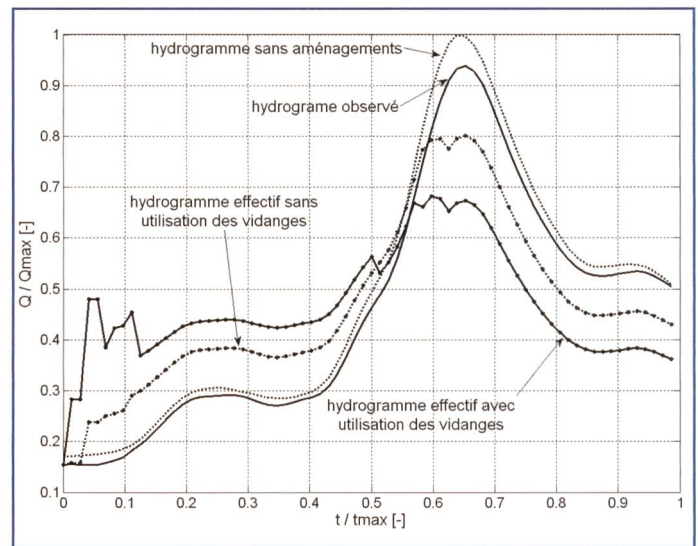


Figure 4. Influence des aménagements hydroélectriques et effet des opérations préventives (turbinage seul ou combiné avec vidanges) lors de la crue 1993 à Lavey.

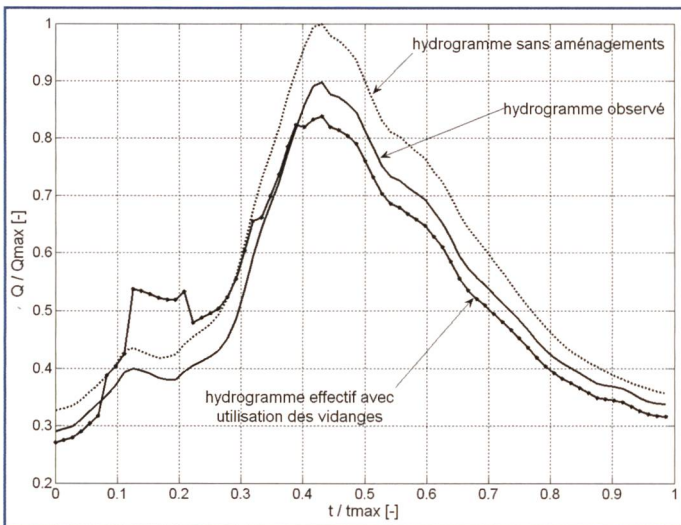


Figure 5. Influence des aménagements hydroélectriques et effet des opérations préventives (turbinage combiné avec vidanges) lors de la crue 2000 à Lavey.

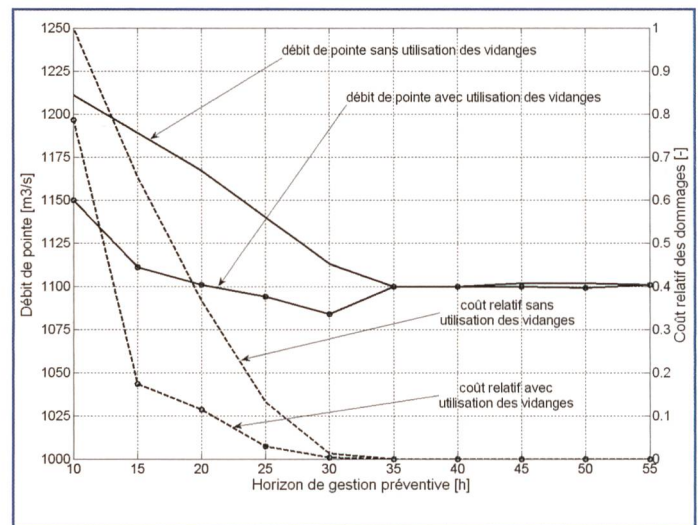


Figure 6. Influence de l'horizon de gestion préventive sur le débit de pointe et le coût relatif des dommages (calculé par rapport au coût maximum).

tion du débit de pointe totale de 205 m<sup>3</sup>/s sans utilisation des vidanges de fond et même de 335 m<sup>3</sup>/s avec leur utilisation (Fig. 4).

En 2000, le taux de remplissage moyen des retenues était de 93,6% 34 h avant la pointe de crue. Le volume disponible pour stockage était donc plus important, ce qui explique la réduction de 10% (130 m<sup>3</sup>/s) du débit de pointe (1142 m<sup>3</sup>/s), plus importante que celle obtenue en 1993. Une réduction supplémentaire de 80 m<sup>3</sup>/s aurait toutefois pu être obtenue par des manœuvres préventives effectuées 34 h avant la pointe de crue à Lavey (Fig. 5).

La durée comprise entre le début des opérations préventives et l'arrivée de la pointe de la crue détermine la performance de telles stratégies. Une analyse de l'influence de l'horizon de gestion sur

la réduction du débit de pointe et des coûts des dommages a été effectuée en se basant sur l'hydrogramme de la crue d'octobre 2000 à Lavey (Fig. 6). Les dommages ont été estimés à partir des dépassements de débit sur les différents cours d'eau considérés. Les résultats montrent qu'un délai minimum de 30 h avant la pointe permet de garantir le maintien du débit de pointe en-dessous du seuil fixé à 1100 m<sup>3</sup>/s sans l'utilisation des vidanges. Leur utilisation permettrait de réduire ce délai à 20 h avant la pointe. Des dommages seraient alors possibles en raison des forts débits rejetés dans les cours d'eau situés à l'aval des retenues. Les résultats obtenus permettent au décideur de ne pas précipiter une décision risquée et d'attendre que la prévision de débit se confirme jusqu'à 30 h avant la pointe. L'utilisation abusive du turbinage préven-

tif conduirait en effet à des demandes de dédommagements pour pertes d'eau de la part des exploitants d'aménagements hydroélectriques. L'utilisation à mauvais escient des vidanges conduirait de plus à la création de dégâts sur les cours d'eau à l'aval des retenues.

#### 4. Intégration des opérations préventives dans le concept de la 3<sup>e</sup> Correction du Rhône

##### 4.1 Complémentarité des mesures de protection contre les crues

La 3<sup>e</sup> Correction du Rhône (R3) est un projet aux objectifs multiples, dont l'augmentation du niveau de sécurité vis-à-vis des crues et de la valeur écologique, économique et sociale du fleuve (DTEE, 2000). La protection contre les crues sera améliorée grâce à un nouvel



aménagement du fleuve pour atteindre les objectifs de protection et à une gestion des risques (ou cas de surcharge) pour des scénarios extrêmes (risque résiduel) incluant la rétention de plaine le long du Rhône.

Le passage des crues sera donc possible sans générer d'importants dégâts aux biens et aux infrastructures, mais pourra provoquer des coûts de remise en état importants comprenant l'assainissement des zones d'épanchement et la reconstruction des digues contrôlant les déversements. L'intérêt de mesures de protection d'un autre type se révèle dans ce contexte, dont la gestion des crues par opérations préventives sur les aménagements hydroélectriques et l'implantation d'aménagements fluviaux à buts multiples (Heller et al., 2005, projet Synergie). De tels systèmes permettent de réduire significativement les impacts de crues ayant des temps de retour importants (risque intermédiaire) sans provoquer de dégâts aux ouvrages de protection. Le Tab. 1 résume les potentialités de ces trois types de mesures de protection et illustre leur grande complémentarité. Il convient en outre de rappeler que ces mesures ne sont pas exclusives et doivent fonctionner ensemble. Le volume de stockage supplémentaire dû aux manœuvres préventives a été calculé en admettant les retenues pleines 30 heures avant la pointe de la crue à Lavey et des manœuvres préventives sans utilisation des vidanges.

#### 4.2 Risques liés aux manœuvres préventives sur les aménagements hydroélectriques

Les risques liés aux manœuvres préventives proviennent essentiellement de deux facteurs: l'incertitude de la prévision hydrométéorologique et les dégâts dûs aux vidanges. Tout d'abord, une surestimation des précipitations engendrera une surestimation du débit de pointe de crue. Des opérations préventives éventuellement effectuées pourraient ainsi s'avérer inutiles et conduire les exploitants d'aménagements hydroélectriques à des pertes d'eau. Ces derniers auraient donc légitimement droit à un dédommagement financier. L'ordre de grandeur d'un tel dédommagement se calculerait par différence entre le volume perdu et le volume correspondant au programme d'exploitation prévu par l'exploitant. Ensuite, une sous-estimation du débit de pointe de crue conduirait soit à une non-manœuvre préventive, soit à une manœuvre effectuée tardivement

Mesure de protection (projet associé)	Risque intermédiaire	Risque résiduel	Volume de stockage moyen [mio m <sup>3</sup> ]	Répartition du volume stocké
MINERVE			19	distribué
SYNERGIE			5	ponctuel
R3			12	distribué

**Tableau 1. Synthèse des potentialités de trois types de mesures de protection contre les crues. Gris foncé: fonctionnement optimal. Gris clair: fonctionnement partiel.**

et donc moins efficace. Cependant, les coûts des dégâts liés à une telle situation ne seraient en aucun cas supérieurs aux coûts des dégâts sans système de prévision et sans opérations préventives. Enfin, des dégâts pourraient survenir suite à l'utilisation préventive des vidanges pour augmenter le volume disponible pour stockage pendant le pointe de crue. Ces dégâts pourraient se produire soit dans le cours d'eau situé à l'aval de l'ouvrage, soit dans le Rhône lui-même en raison d'un débit important s'additionnant au débit naturel dans le fleuve. Le décideur devra donc tenir compte de la comparaison entre dégâts prévus sans et avec utilisation des vidanges afin de déterminer la meilleure stratégie de gestion préventive. Il ne faut enfin pas oublier le risque de non-fonctionnement des turbines lors des crues (pannes, dégâts, limitation de la puissance électrique sur le réseau de transport d'électricité). Dans ce cas, les vidanges de fond devraient être utilisées et la prise de risque liée à la gestion préventive augmenterait.

#### 4.3 Bénéfices liés aux manœuvres préventives sur les aménagements hydroélectriques

La gestion des risques de crue doit tenir compte des incertitudes liées aux processus météorologiques et hydrologiques et offrir un système de protection robuste incluant des mesures structurales correctement dimensionnées (évacuateurs de crue). Cependant, les bénéfices tirés de l'utilisation d'un modèle de prévision et de gestion des crues par opérations préventives comme système complémentaire sont importants. Premièrement, les coûts de développement d'un tel système sont faibles. Deuxièmement, les manœuvres préventives permettront éventuellement d'éviter ou de retarder le fonctionnement des dispositifs de protection tels que digues fusibles et zones d'épanchement

pour une importante gamme de débits de crue et économiseront des frais de remise en état. Troisièmement, les réductions de débit peuvent se révéler importantes (jusqu'à 200 m<sup>3</sup>/s sans et 400 m<sup>3</sup>/s avec utilisation des vidanges 30 heures à l'avance) et améliorer d'autant l'effet de laminage produit par les retenues sans ces manœuvres préventives. Finalement, ces manœuvres préventives placent par définition le décideur du côté de la sécurité en regard des incertitudes dues aux prévisions hydrométéorologiques, puisque des manœuvres trop conservatrices ne péjorent pas la situation à l'aval et que des manœuvres trop tardives soulagent de toute manière le Rhône.

### 5. Conclusions

L'effet bénéfique pour la protection contre les crues des ouvrages hydroélectriques existants en Valais a plusieurs fois été démontré lors des dernières crues du Rhône. Toutefois, le potentiel de réduction des dommages grâce à l'utilisation de manœuvres de turbinage et vidange préventives sur la base de prévisions de débit est important et pourrait contribuer à la gestion des risques. En effet, les volumes disponibles pour le stockage des eaux sont répartis sur le bassin versant et ont une capacité supérieure aux zones d'épanchement sans générer de coûts de remise en état, à condition que les ouvrages de captage, d'amenée, de turbinage et de vidange des aménagements hydroélectriques ainsi que les lignes à haute tension soient en état de fonctionnement. Une stratégie de gestion des crues intégrant non seulement la planification de mesures constructives mais également l'utilisation et le contrôle en temps réel d'ouvrages existants sera en mesure de réduire efficacement et de manière fiable les dommages résultants de telles catastrophes.



## Bibliographie

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

Grebner, D. (1994). Meteorologische Analyse des Unwetters von Brig und Saas Almagell vom 24. September 1993, Wasser Energie Luft – Eau Energie Air, 1/2, 41–44

Grebner, D., Aschwanden, H., Steinegger, U., und Zimmermann, M. (2000). Charakteristik des Hochwassers vom 9. bis 16. Oktober 2000 auf der Alpensüdseite und im Wallis, Wasser Energie Luft – Eau Energie Air, 11/12, 369–377

Heller, P., Schleiss, A., and Bollaert, E. (2005). Synergies possibles pour des aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples, Proc., Conférence sur la recherche appliquée

en relation avec la troisième correction du Rhône, 9 juin, Martigny, Communication LCH N° 21

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

OFEF (2001). Protection contre les crues des cours d'eau, BWG-804.801.f, Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, Berne

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 – Eau Energie Air, 11/12, 313–317

DTEE (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

## Remerciements

Le projet Minerve est financé par l'OFEF (Office Fédéral des Eaux et de la Géologie) et le Canton du Valais (Service des Routes et Cours d'Eau, Service des Forces Hydrauliques). Les nombreuses informations et mesures relatives aux aménagements hydroélectriques sont gracieusement fournies par leurs exploitants. Les prévisions hydrométéorologiques sont fournies gratuitement par MétéoSuisse lors de la phase de développement du projet.

## Adresse de l'auteur

Frédéric Jordan

Collaborateur scientifique, Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) Bât. GC, Station 18 · 1015 Lausanne, Suisse Tel. +41-21-693 23 85

<http://lchwww.epfl.ch> · [fred.jordan@epfl.ch](mailto:fred.jordan@epfl.ch)

## Simulation des systèmes hydrauliques et hydrologiques complexes: Routing System II

■ Jérôme Dubois

### Résumé

Dans le cadre du projet Minerve, il est rapidement apparu qu'un outil de simulation numérique original devait être développé afin de pouvoir mettre en œuvre les modèles hydrologiques et hydrauliques proposés dans ce projet. Grâce à la description fonctionnelle d'un réseau et à la programmation objet, Routing System II offre un degré d'abstraction exemplaire qui en permet un usage très simplifié.

D'un point de vue scientifique, l'originalité de ce code réside essentiellement dans sa structure objet associée à un algorithme de résolution original d'un système d'équations différentielles ordinaires.

D'un point de vue pratique, ce programme se caractérise par une grande simplicité d'usage et de vastes possibilités de modélisation de systèmes hydrologiques et hydrauliques complexes.

tem I (RSI) avait été exclusivement utilisé pour effectuer les calculs. Ce logiciel se fonde sur l'environnement LabView et offre une bibliothèque de fonctions personnalisées aptes à simuler un réseau hydrologique et hydraulique à surface libre. La construction et l'édition d'un modèle utilise directement l'interface graphique de LabView. Le principe du dataflow programming s'adapte admirablement bien aux réseaux hydrauliques et permet une simulation des différents objets modélisés de l'amont vers l'aval.

Lors de la deuxième phase du projet Minerve, passablement plus ambitieuse que la première, il est assez rapidement apparu que cet outil numérique n'offrait plus toute la souplesse et les performances requises par les nouveaux modèles scientifiques proposés. En conservant le concept fondamental de RSI, présenté au chapitre suivant, un nouvel outil a été entièrement pensé et programmé: Routing System II (RSII). Ce logiciel, présenté dans cet article, se veut aussi général que possible. Il n'est pas directement et essentiellement lié au projet Minerve et peut fort bien être mis en œuvre dans n'importe quelle analyse hydrologique et/ou hydraulique.

### 1. Introduction

Le projet Minerve, initié par le canton du Valais, a comme objectif la mise en place d'un système de prévision des crues sur l'ensemble du bassin versant du Rhône, à l'amont du lac Léman. Ce projet implique plusieurs domaines de recherche, notamment en météorologie, en hydrologie et en gestion des aménagements hydroélectriques. Ces axes sont principalement à la charge du laboratoire Hydrologie et Aménagements (Hydram) et du laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) de l'EPFL.

Des développements informatiques ont lieu parallèlement à ces déve-

loppements scientifiques afin de proposer un outil de calcul adapté aux besoins particuliers de ce projet. Le bureau Hydro-Cosmos SA est en charge de ces développements en sous-traitance du LCH.

A partir du moment où de nouveaux modèles hydrologiques et hydrauliques sont développés au niveau de la recherche, il devient évident qu'il n'existe aucun programme informatique commercial apte à appliquer ces modèles et à effectuer les simulations souhaitées. Des développements informatiques originaux sont par conséquent indispensables.

Lors de la première phase du projet Minerve, le programme Routing Sys-