

Projet Minerve – Modélisation de la contribution des bassins d'accumulation lors des crues en Valais

■ Pierre-Benoît Raboud, Jérôme Dubois, Jean-Louis Boillat, Serge Costa, Pierre-Yves Pitteloud

1. Introduction

En 13 ans, quatre crues importantes (août 1987, septembre 1993, septembre 1994 et octobre 2000) ont été observées dans le bassin du Rhône en amont du lac Léman (voir figure 1).

Ces crues étaient la conséquence de pluies intenses, provenant de masses d'air humides et chaudes transportées selon différentes orientations du secteur sud par dessus la crête des Alpes [1].

Dans de telles situations météorologiques, l'effet orographique introduit par la barrière alpine influence de manière décisive la répartition spatiale des précipitations [2], [3]. La situation d'octobre 2000 est représentée à titre d'exemples sur les figures 2 et 3.

Suite à la crue de 1993, le canton du Valais a mis sur pied un groupe de travail interdépartemental (essentiellement composé de représentants de l'OPEG et de services cantonaux) chargé de gérer le projet Consecru (Concept de Sécurité [protection] contre les risques liés aux crues) dont l'objectif principal était de faire des propositions concrètes pour diminuer les dangers de crue à l'avenir, y compris les possibilités offertes par les aménagements hydroélectriques et leurs ouvrages d'accumulation.

Les résultats d'un groupe de travail présentés en 1996 [5] ont montré l'importance de la contribution des barrages pour réduire les crues dans les bassins versants importants (Mattertal, Saastal, Dranses et Rhône). En fait, l'utilisation des bassins d'accumulation constitue pratiquement l'unique façon d'influencer une crue. Cela peut se faire de deux façons:

- *de manière passive*: en réservant des volumes de stockage dans les bassins de retenue dans le but de laminar les crues. C'est ce qui se réalise actuellement à Mattmark, où le canton du Valais a investi un montant forfaitaire d'env. 6 mio de francs pour disposer d'un volume libre d'eau de 3,6 mio de m³.
- *de manière active*: en vidant de manière anticipée les bassins d'accumulation sur la base de prévisions météorologiques, de

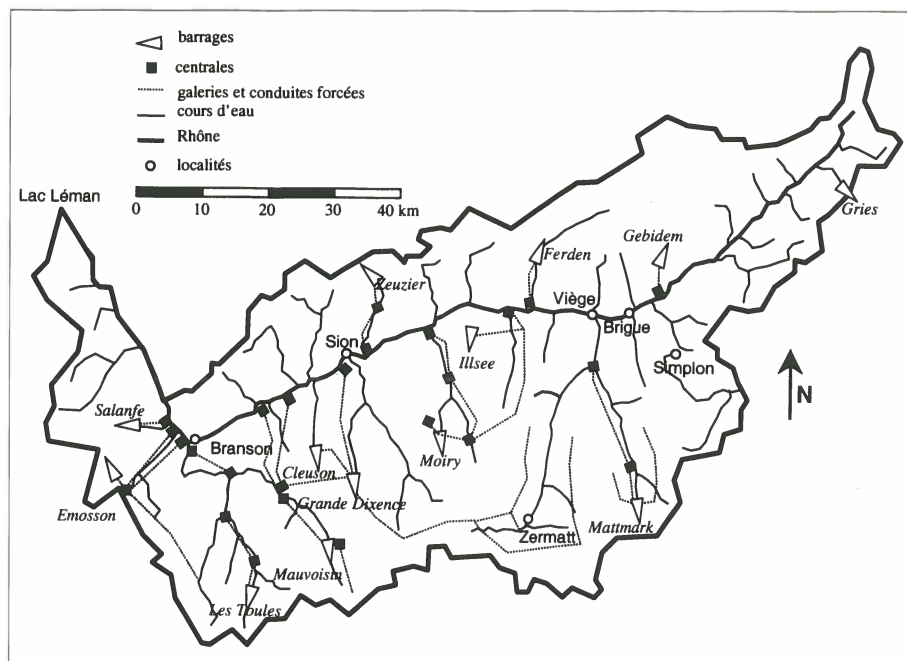


Figure 1. Représentation schématique du réseau hydrographique du Valais et des principaux aménagements hydroélectriques avec leurs galeries d'aménées et conduites forcées.

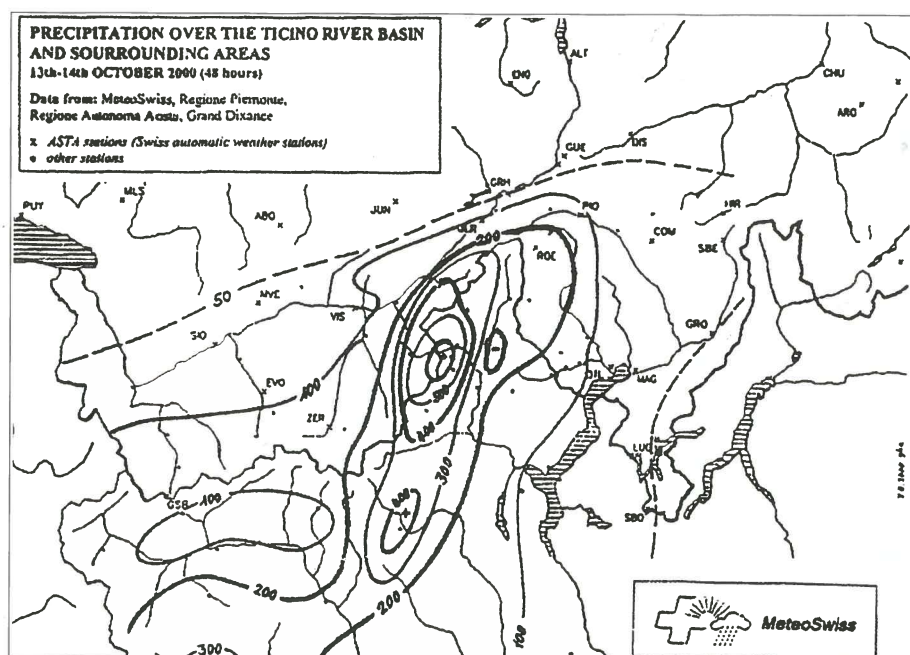


Figure 2. Représentation des isohyètes 48 h, sur les Alpes suisses. 13-14 octobre 2000 (Météosuisse, Kappenberger et Spinedi).

modèles de transformation pluie-débit, des simulations hydrauliques des aménagements hydroélectriques et du réseau hydrographique. Mentionnons ici les tests de systèmes prévisions météorologiques effectués depuis trois ans env. sur des bassins versants du Haut-Valais dans le cadre de Consecru.

Dès que la crue se produit, il est seulement envisageable de la contenir par les endiguements des cours d'eau, par la capacité de stockage disponible dans les retenues ou par d'autres mesures permettant de dériver localement la partie excédentaire du débit.

Compte tenu de l'importance des ouvrages d'accumulation dans ce processus et vu la nécessité d'améliorer la maîtrise des crues à l'avenir, un modèle hydrodynamique complexe a été élaboré d'octobre 1999 à fin 2000 pour simuler le comportement hydraulique global des bassins versants et des aménagements hydroélectriques valaisans sur la base de pluies simulées. Ce projet a été baptisé: *Modélisation Interdisciplinaire Numérique des Effets des Retenues Valaisannes à but Énergétique (Minerve)*.

2. Le modèle Minerve – brève description

Les principaux éléments considérés dans l'élaboration du modèle Minerve sont brièvement décrits ci-après:

2.1 Réseau hydrographique

Pour construire le modèle, il a fallu logiquement simuler le *réseau hydrographique* des cours d'eau et les principaux aménagements hydroélectriques du Valais avec leurs prises d'eau, leurs retenues et leurs centrales. Ce réseau est représenté sur la figure 1. A ce stade de l'étude, le bassin versant du Rhône a été modélisé jusqu'à Branson/Fully. Ceci représente 3800 km², découpés en 83 sous-bassins versants, qui peuvent être arrosés individuellement avec une précipitation propre.

2.2 Processus considérés

Il n'aurait pas été raisonnable de vouloir estimer la contribution des bassins d'accumulation en les considérant individuellement. Ainsi, le processus complet de génération et de propagation des crues a été analysé en tenant compte de la variation spatio-temporelle des phénomènes météorologiques. Les principaux éléments requis par cette approche globale peuvent se résumer comme suit:

1. *La génération des pluies:* Les plus fortes crues observées en Valais ont toujours été le résultat de fronts pluvieux venant du sud et franchissant la crête des Alpes pendant un à trois jours.

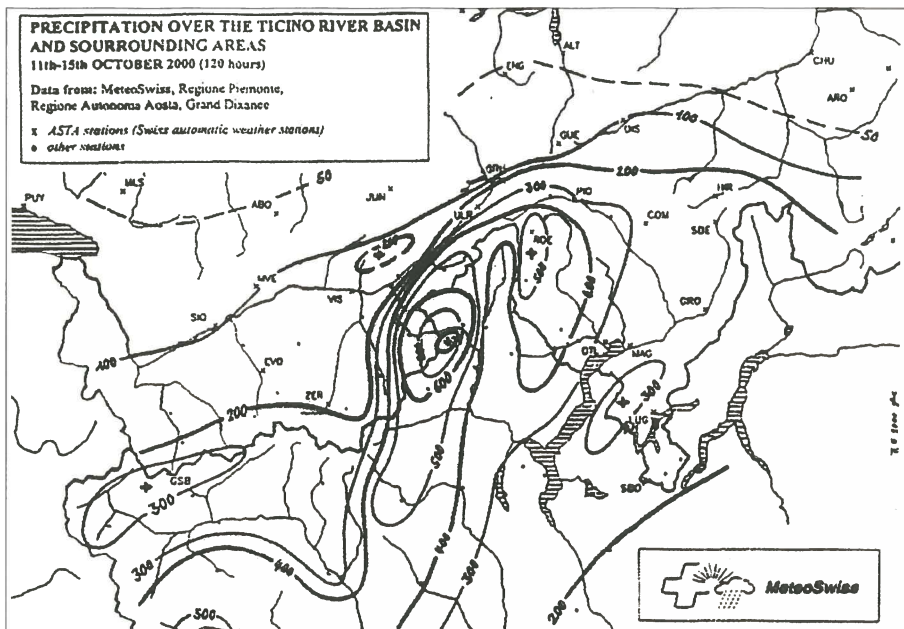


Figure 3. Représentation des isohyètes cinq jours, sur les Alpes suisses. 11–15 octobre 2000 (MétéoSuisse, Kappenberger et Spinedi).

Un modèle de génération stochastique de précipitations a ainsi été élaboré sur la base d'une étude pluviométrique régionale au Simplon, dont la station météorologique a été choisie comme référence [4]. Dans ce contexte, le modèle Neyman-Scott, désigné «NSRPM» [6], a été utilisé. Ce modèle à cinq paramètres reconstitue une averse à partir de plusieurs cellules de forme rectangulaire (voir figure 4).

2. *La distribution spatiale des pluies:* En Valais, les effets orographiques sont très prononcés, car le relief de la barrière alpine influence de manière très significative la distribution des précipitations. Ainsi, les averses générées en un point doivent être modulées dans l'espace. A cet effet, un schéma de la distribution spatiale des pluies (voir figure 5) représentatif des situations météorologiques déterminantes a été développé [5]. Les pluies obtenues par génération stochastique en un point peuvent ainsi être pondérées par le facteur, affecté à la position géographique considérée.

3. *L'altitude limite du zéro degré:* Sur les bassins versants alpins du Valais, la limite du zéro degré de température doit être déterminée afin de pouvoir distinguer les précipitations pluvieuses de celles qui tombent sous forme de neige et de pluie. La méthode choisie repose sur la statistique de l'altitude limite du zéro degré. Ainsi, sur chaque averse générée stochastiquement, une altitude limite est générée aléatoirement. Si cette valeur est inférieure, la précipitation tombe sous forme de pluie. Dans le cas contraire, elle se transforme en neige et il n'en résulte aucun débit.

4. *Le débit glaciaire:* L'analyse des crues observées montre que les débits glaciaires de base ne sont pas négligeables lors des événements extrêmes. En première approximation, le débit glaciaire a été admis comme constant durant toute la durée de l'événement. Cette valeur a été estimée, en fonction de la surface glaciaire du bassin versant considéré et générée selon la distribution statistique du débit glaciaire de base du glacier d'Aletsch.

5. *La modélisation hydrologique:* La transformation pluie-débit a été réalisée avec le modèle Socont [7]. Celui-ci calcule le débit de base à la sortie d'un réservoir non linéaire et le débit de surface comme une onde cinématique sur plan. La fonction de génération du débit repose ainsi sur des paramètres (voir figure 6), qui prennent en compte la capacité maximale et le taux de remplissage du réservoir sol. Le modèle de ruissellement sur plan est décrit par:

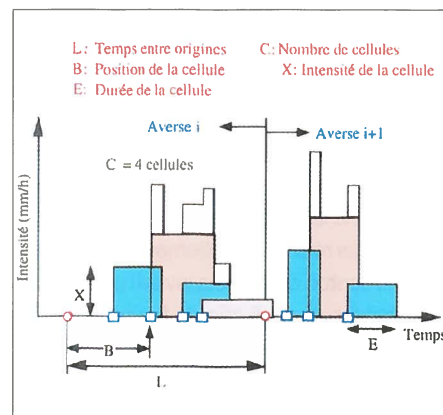


Figure 4. Représentation du processus. Pluviométrique selon NSRPM.

– une pente moyenne, une rugosité de surface selon Manning-Strickler, une longueur et une surface.

Ce modèle est couplé avec les deux fonctions: «limite du zéro degré» et «débit glaciaire» précitées.

6. L'exploitation des barrages en période de crue:

Lors des événements de crues, les exploitants des aménagements hydro-électriques avec ouvrages d'accumulation sont tenus à exécuter certaines opérations en fonction du déroulement de la crue (vitesse de variation du niveau d'eau, dépassement du niveau normal d'exploitation, etc.). Ils essayent également, dans la mesure du possible, de turbiner pour éviter des déversements.

Lors des fortes crues qui se situent généralement à la période où les barrages sont bien remplis (fin août – début octobre), la décision de turbiner peut être fonction d'une forte demande sur le réseau électrique, mais cela est peu probable dans une période de crue où il y a excédent de production hydroélectrique. Cette décision dépend plus généralement de l'expérience de l'exploitant, de son appréciation anticipée de l'évolution de la crue et, last but not least, de sa préoccupation de perdre le moins d'eau possible pour maximiser le profit.

Pour la simulation numérique, que nous allons brièvement présenter ci-après, nous avons admis deux taux de remplissage: T_{min} et T_{max} .

Le turbinage préventif commence à la limite inférieure T_{min} de remplissage et continue jusqu'à la limite supérieure T_{max} , où le turbinage atteint le débit d'équipement.

3. La modélisation numérique

La modélisation numérique de l'ensemble du système décrit a été effectuée avec le programme de simulation «Routing System» [8], [9], [10], qui a été développé au Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) de l'EPFL. Ce modèle offre une bibliothèque de fonctions hydrauliques dont l'assemblage permet de modéliser le passage de crues dans des bassins versants aménagés.

L'environnement de programmation graphique du logiciel LabVIEW de National Instruments sert d'outil de modélisation et de moteur de calcul. LabVIEW est une application destinée au développement de programmes, basée sur le langage graphique G. Il dispose d'une riche bibliothèque de fonctions pour toute tâche de programmation.

Les programmes développés sous LabVIEW sont appelés virtual instruments (VI). Ils sont identiques aux procédures et

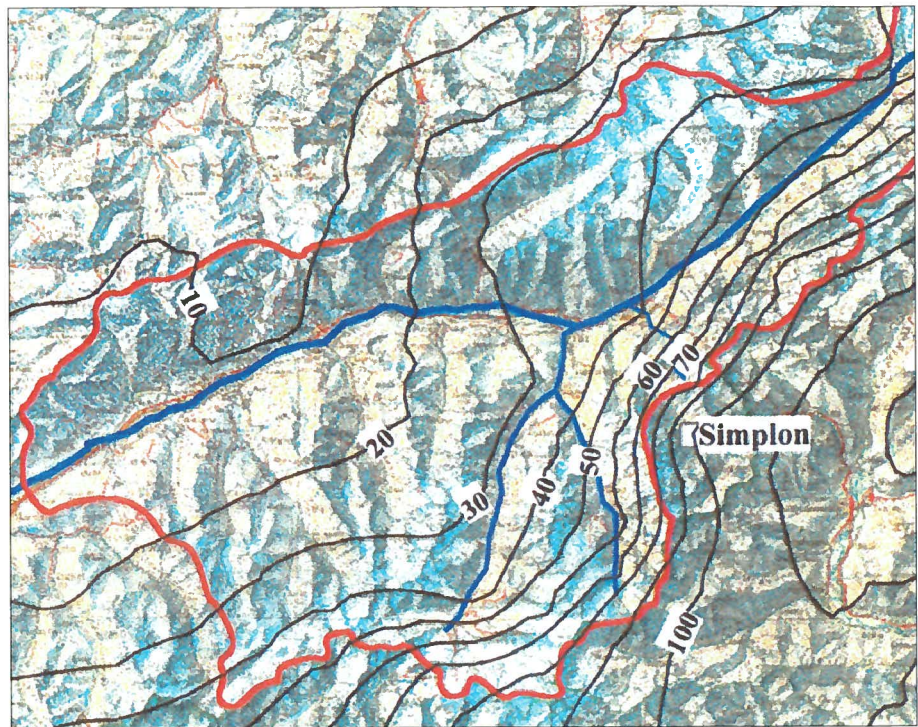


Figure 5. Distribution spatiale des précipitations selon le schéma d'abatement des situations Binn/Simplon pour des pluies de 48 h.

fonctions des langages de programmation conventionnels.

Un réseau hydraulique peut ainsi être décrit par six fonctions différentes qui sont:

- la **génération de débits**: ce terme regroupe toutes les fonctionnalités hydrologiques permettant de générer des débits. Dans notre cas, les fonctions de production et de transfert sont intégrées dans le modèle Socont;
- le **transport du débit**: c'est la fonction d'acheminement d'un hydrogramme le long d'un cours d'eau. Le modèle utilisé ici est celui de Muskingum-Cunge;
- le **stockage**: cette fonction permet le calcul du laminage de crue dans une retenue à partir de la relation $dV/dt = \text{Débit}_{\text{entrant}} - \text{Débit}_{\text{sortant}}$;
- la **bifurcation**: elle simule la séparation du débit comme c'est typiquement le cas à une prise d'eau;
- la **confluence**: elle permet en particulier l'addition de débits à la confluence de cours d'eau;
- la **régulation des débits**: cette fonction permet de générer les relations fonctionnelles de différents ouvrages de régulation (déversoir, orifice, vanne, etc.) pour les introduire ensuite dans les autres fonctions de base.

Ce concept de modélisation se base donc essentiellement sur les fonctions précitées, elles-mêmes alimentées par des données constantes ou variables dans le temps telles que: hydrogrammes, limnigrammes, relations hauteurs-débits, etc.

Chaque bassin versant, articulé autour du modèle hydrologique Socont, est décrit par la macro-fonction représentée sur la figure 7. Celle-ci est appliquée à chacun des 83 bassins versants, afin de générer les hydrogrammes correspondants.

La modélisation d'un système aussi complexe doit être bien structurée pour offrir toute la clarté requise. Ceci est garanti dans «Routing System» par la possibilité offerte de regrouper des parties du système dans des macro-fonctions.

Ainsi, une région géographique et les aménagements hydroélectriques qui s'y trouvent peuvent être représentés par une seule fonction hydraulique, incluant tous les éléments du système. La région du barrage de Tourtemagne comprenant cinq bassins versants, deux captages et un bassin d'accumulation est représentée à titre d'exemple sur la figure 8. Il apparaît clairement que l'écoulement

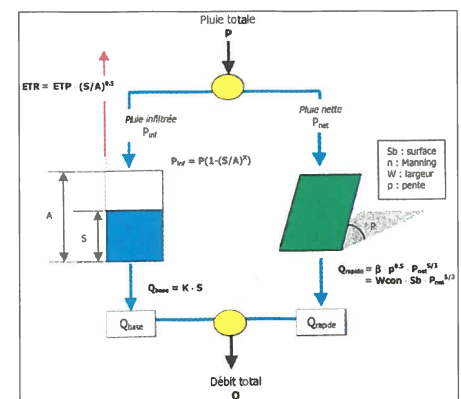


Figure 6. Schéma simplifié du modèle Socont.

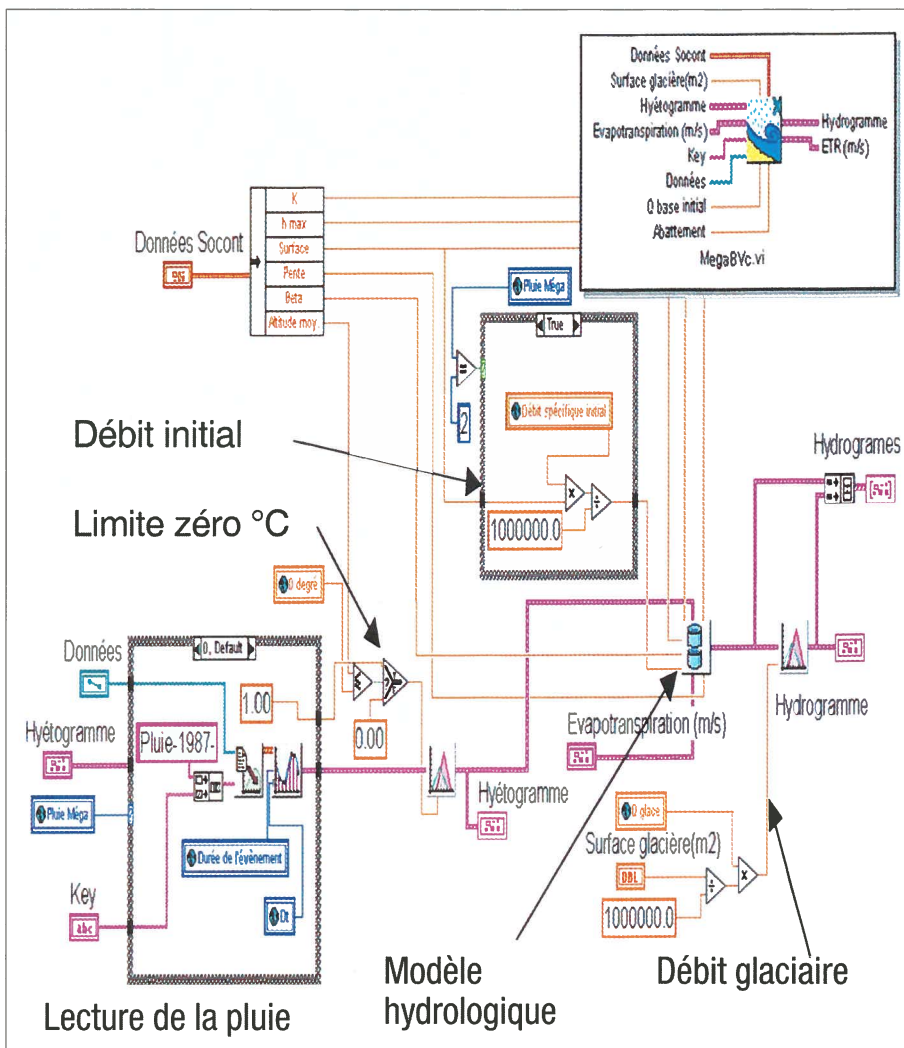


Figure 7. Exemple d'une macrofonction de Routing System. L'assemblage des fonctions de base permet la définition d'un système hydrologique complet, représenté dans le cadre supérieur droit, qui peut être utilisé pour chaque sous-bassin versant.

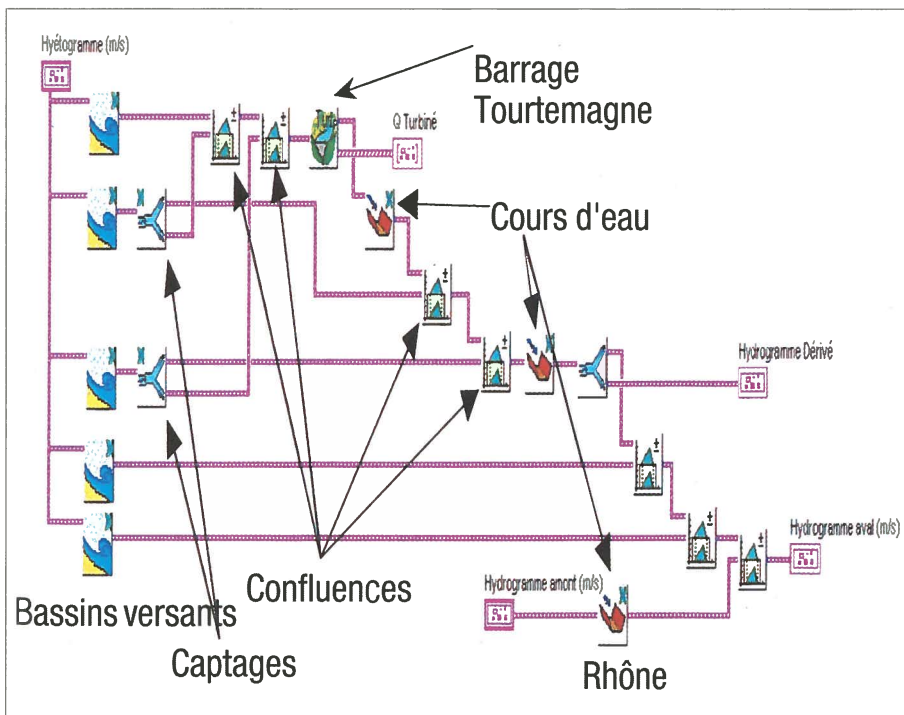


Figure 8. Modélisation de la région du barrage de Tourtemagne.

ment est considéré comme un flux qui se propage dans les cours d'eau, est partiellement dérivé dans un captage ou encore retenu dans un bassin d'accumulation. En aval, l'hydrogramme calculé se combine avec celui du Rhône, à sa jonction.

La macro-fonction, qui simule le comportement hydraulique d'une région, apparaît ainsi dans un schéma à plus grande échelle. Cette modélisation, à échelles imbriquées, montre toute la flexibilité de «Routing System» dans la simulation de systèmes hydrauliques complexes.

4. Quelques résultats de simulation de l'effet des barrages

Le modèle Minerve, constitué des éléments et paramètres définis ci-dessus, a permis de simuler différentes crues, à pas de temps d'une heure, avec ou sans la présence des barrages. Les hydrogrammes sont obtenus en différents points du réseau compris entre le glacier du Rhône et Branson/Fully, soit un territoire de quelques 3800 km².

Quelques résultats de calcul sont présentés sur les figures 9 et 10 pour Branson et Viège. Ces résultats mettent en évidence l'influence des barrages sur les crues et en particulier celle du taux initial de remplissage des retenues et le mode de turbinage.

Pour modéliser le mode de turbinage, deux taux de remplissage de la retenue ont été choisis, T_{min} et T_{max} , pour marquer le début du turbinage préventif, respectivement le turbinage à pleine capacité. L'enclenchement des différentes turbines se fait selon une progression linéaire entre ces deux taux de remplissage, en commençant par les turbines de plus grande capacité.

Bien que la réduction de la pointe de crue soit du même ordre de grandeur à Viège et à Branson/Fully, leurs valeurs relatives diffèrent considérablement puisqu'elles valent respectivement env. 30 et 15 %. Les résultats présentés en figure 10 montrent que la valeur du seuil de mise en route préventive des turbines a les effets suivants:

- à Branson, quelle que soit la valeur du seuil, celle-ci n'a pratiquement aucune influence sur la contribution des barrages;
- à Viège, la valeur du seuil n'a qu'une faible influence.

Le taux initial moyen de remplissage des barrages a par contre une grande importance aux deux endroits.

Mentionnons qu'une réduction par les barrages du débit de crue de 100 m³/s, mesurée sur le Rhône à Branson, équivaut à une lame d'eau de 50 cm de hauteur.

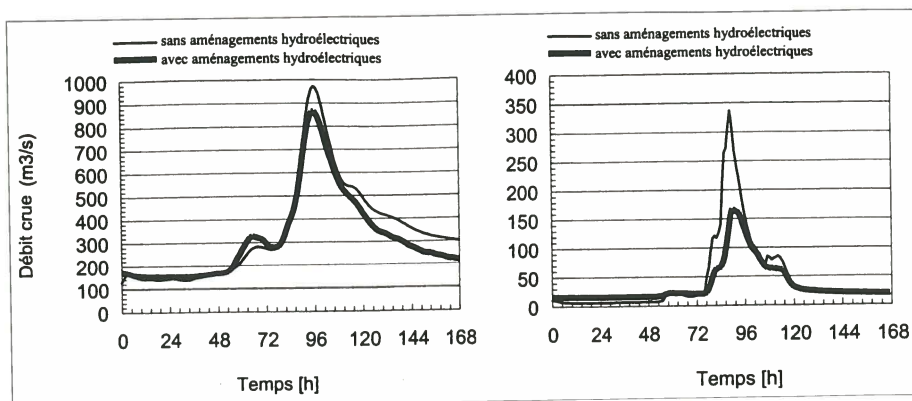


Figure 9. Exemples d'hydrogrammes de crue simulés avec et sans barrages. A gauche pour Branson, à droite pour Viège.

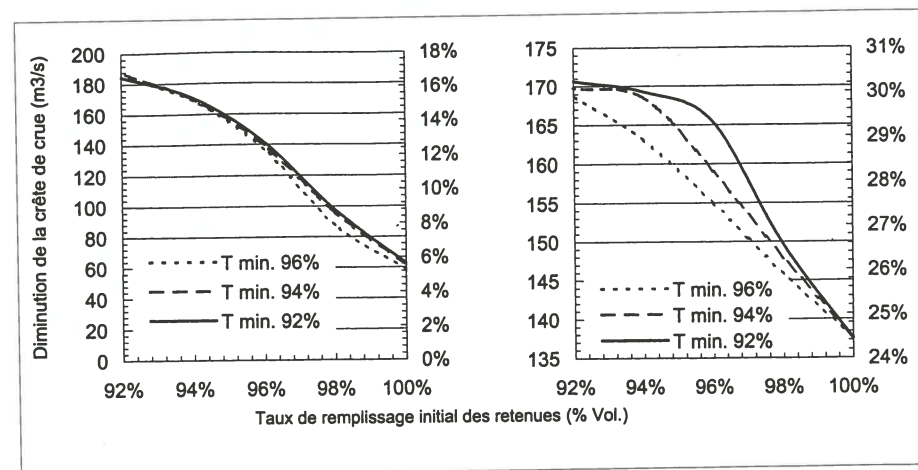


Figure 10. Analyse de sensibilité du taux initial de remplissage des retenues (en amont de Branson) et du taux T_{min} marquant l'enclenchement préventif du turbinage. A gauche pour Branson, à droite pour Viège.

5. Conclusions

Cette première version du modèle Minerve constituait une étape nécessaire pour cerner les problèmes, définir des solutions et préciser les étapes futures à franchir pour mieux maîtriser les crues. Il est ainsi apparu nécessaire de développer un deuxième modèle Minerve capable de s'alimenter des grandeurs mesurées en temps réel et d'intégrer des prévisions météorologiques. Ce modèle contribuera à améliorer les bases de décision nécessaires à la Cellule Catastrophe (CECA) du canton du Valais. Un groupe d'appui scientifique, désigné CERISE (CELLule de cRISE), sera chargé de la gestion de ce modèle.

Lors de cette deuxième phase de développement, prévue sur plusieurs années, les compléments apportés au modèle Minerve seront:

- l'acquisition et la représentation on-line de toutes les grandeurs mesurées (débits, précipitations, températures, etc.) aux différentes stations de mesure réparties dans le canton du Valais. L'acquisition de données de régions périphériques sera aussi intégrée;

- l'intégration de prévisions météorologiques;
- une meilleure estimation du débit glaciaire et de la fonte des neiges;
- une amélioration du modèle de transformation pluie-débit;
- une aide à la décision par l'intégration d'un système expert.

Le premier modèle, qui comportait 83 bassins versants pour simuler 3800 km², sera amélioré par un découpage plus fin adapté à la position des prises d'eau et étendu jusqu'au Léman. Le deuxième modèle Minerve comportera ainsi plus de 530 bassins versants sur une surface de 5200 km². Sa fonction sera essentielle pour le canton du Valais, puisqu'un tel modèle est destiné à:

- Permettre de mieux anticiper les crues, en demandant aux exploitants de certains barrages de turbiner ou d'activer préventivement des vannes de vidange pour augmenter le laminage des crues sur les cours d'eau.
- Permettre de déclencher les alarmes anticipées pour permettre une évacuation des populations et la protection de biens particuliers dans les meilleures conditions.

Littérature

- [1] Grebner, D., 1994: Meteorologische Analyse des Unwetters von Brig und Saas Almagell vom 24. September 1993, wasser, energie, luft 1/2, pp 41-44.
- [2] CRSFA, 1993: Intempéries du Haut-Valais: les précipitations des 22-25 septembre 1993 sur le massif du Simplon.
- [3] Montavon, C., 1996: Estimation des précipitations orographiques maximales probables par modélisation numérique, Conf. Recherche dans le domaine des barrages, Crues Extrêmes, Communication N° 5, LCH-EPF-Lausanne.
- [4] M. Niggli, D. Consuegra et D. Béro, 1997: Etude Consecru, Bases hydrologiques de dimensionnement, Modélisation des crues du Rhône en Valais, Rapport IATE/HYDRAM, EPFL, Lausanne.
- [5] Biederman, R. et al., 1996: Protection contre les crues dans le canton du Valais. Aménagements hydro-électriques à accumulation et protection contre les crues, eau, energie, air 10, pp 221-265.
- [6] P. S. Cowpertwait, 1991: Further developments of the Neyman-Scott Clustered Point Process for Modelling Rainfall, Water Resources Research, 27(7), pp 1431-1438.
- [7] D. Béro, 1995: Modélisation à base quasi-physique de la crue extrême des petits bassins versants alpins, Document IATE/HYDRAM, EPFL, Lausanne.
- [8] J. Dubois, J.-L. Boillat, 2000: Routing System, Modélisation du routage de crues dans des systèmes hydrauliques à surface libre. Communication N° 9, LCH-EPF-Lausanne.
- [9] J. Dubois and J.-L. Boillat, 1999: Numerical simulation of flood routing in complex hydraulic schemes: the Routing System computer program, Proc. XXVIII Congress IAHR, Graz, Austria.
- [10] J.-L. Boillat, J. Dubois, A. Schleiss, 2000: Utilisation possible de la retenue de Mattmark pour la protection contre les crues et la production d'énergie. Proc. XX Congress ICOLD, Beijing.
- [11] David Consuegra, Markus Niggli et André Musy, 1998: Concepts méthodologiques pour le calcul des crues. Application au bassin supérieur du Rhône, wasser, energie, luft, 90. Jahrgang, Heft 9/10, 1998.

Adresse des auteurs

Pierre-Benoît Raboud, Service des forces hydrauliques, Département de la santé, des affaires sociales et de l'énergie, CH-1950 Sion.

Jérôme Dubois, Jean-Louis Boillat, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), EPFL, CH-1015 Lausanne, et Serge Costa, Pierre-Yves Pitteloud, Service des forces hydrauliques, CH-1950 Sion.