

Prévision des crues sur le Yangtsé – Application du concept MINERVE

Frédéric Jordan, Javier García Hernández, Jean-Louis Boillat, Martin Bieri, Giovanni De Cesare, Anton Schleiss

Résumé

La gestion des eaux sur le bassin versant du fleuve Yangtsé, dont la surface représente plus de 40 fois celle de la Suisse, est indispensable pour la protection contre les crues mais aussi pour assurer les besoins d'approvisionnement de ses 300 millions d'habitants et des cultures agricoles. Dans le cadre de la coopération Sino-Suisse, l'application du concept MINERVE de prévision hydrologique et de gestion préventive des crues a été initiée en mai 2010. Les développements réalisés concernent le sous-bassin test de la rivière Han, principal affluent du Yangtsé. Après un atelier de transfert de connaissances organisé à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), un modèle de simulation hydrologique a été construit et validé à l'aide du logiciel RS 3.0. Cette application est actuellement greffée sur la base de données de la Changjiang Water Resources Commission (CWRC) et fournit des prévisions hydrologiques à pas de temps horaire en fonctionnement automatique. L'utilisation du modèle et de ses résultats ouvre des perspectives immédiates pour l'évaluation des changements climatiques, l'aide à la décision en situation de crue et son intégration au plan de gestion du risque (RiskPlan) du bassin versant. Les développements réalisés sur la rivière Han pourront alors être progressivement étendus à l'ensemble du bassin versant du Yangtsé.

Zusammenfassung

Planerische Massnahmen zur Wassernutzung und zum Hochwasserschutz im Einzugsgebiet des Yangtse Flusses, das eine über 40-mal grössere Fläche als die Schweiz aufweist, sind unumgänglich für die sichere Versorgung seiner 300 Millionen Einwohner und für die Bewässerung in der Landwirtschaft. Im Rahmen der Kooperation mit China wurde zur Verbesserung der Abflussvorhersage seit Mai 2010 das im Kanton Wallis angewandte MINERVE-Konzept mit dem entsprechenden Computer-Programm eingesetzt und weiterentwickelt. Die Anwendung betrifft das Teileinzugsgebiet des Han-Flusses, eines Hauptzuflusses des Yangtse. Im Januar 2012 wurde an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) ein erster Workshop zum Know-how-Transfer, durchgeführt. Anschliessend wurde basierend auf dem RS 3.0-Code ein Computer-Programm zur Abflussvorhersage aufgebaut und validiert. Dieses Abflussvorhersageprogramm, das in die Datenbank der Changjiang Water Resources Commission (CWRC) integriert wurde, läuft zurzeit vollautomatisch in China und liefert stündliche Abflussvorhersagen. Das Modellkonzept und seine Vorhersagen erlauben den raschen Einbezug und die Auswertung von Klimaänderungen im Einzugsgebiet, und liefern so wichtige Beiträge zum Hochwasser-RiskPlan-Konzept. Das für den Han-Fluss entwickelte Abflussvorhersageprogramm kann zukunftsweisend auf das gesamte Yangtse Einzugsgebiet ausgedehnt werden.

1. Introduction

1.1 La gestion de l'eau

Une gestion moderne de l'eau ne peut être envisagée qu'à l'échelle du bassin versant. Elle requiert une bonne compréhension des processus météorologiques, hydrologiques et hydrauliques et une capacité d'anticipation sur les évolutions pressenties. La modélisation de systèmes aussi complexes est nécessaire pour aborder les problèmes classiques liés aux situations de crue mais également aux conditions d'étiage ainsi qu'à la gestion des ressources pour la production d'électricité, l'alimentation en eau potable, l'irrigation, etc. En d'autres termes, l'intégration d'objectifs multiples doit être prise en compte dans la gestion des eaux des réseaux de rivières.

Ce défi implique une approche glo-

bale du cycle hydrologique incluant non seulement la variation spatio-temporelle des précipitations et de la température et les opérations des aménagements hydrauliques, mais aussi la qualité de l'eau, les impacts sur l'environnement, le transport sédimentaire et les effets liés aux changements climatiques.

Les compétences requises pour traiter cette problématique sur le bassin versant du fleuve Yangtsé en Chine sont rassemblées dans la Changjiang Water Resources Commission (CWRC). Dans ce contexte et malgré l'importance du changement d'échelle pour les applications chinoises, un transfert des connaissances et de l'expérience acquise en Suisse en matière de gestion intégrée des eaux est planifié dans le cadre d'un programme de coopération sino-helvétique.

1.2 Le fleuve Yangtsé (Changjiang River)

Mieux connue chez nous sous le nom de Yangtsé, la rivière Changjiang est la plus longue d'Asie. Depuis sa source au Tibet jusqu'à la mer de Chine à Shanghai, elle court sur quelques 6400 km et draine un bassin versant de 1 800 000 km², soit plus de 40 fois la Suisse. Avec une population d'environ 300 millions d'habitants, cette surface produit 70% du riz chinois. Le Yangtsé a été au cœur de l'actualité ces dernières décennies en relation avec la construction du barrage des Trois Gorges dont les travaux, démarrés en 1994, se sont achevés en 2009.

Les ressources en eau du Yangtsé sont distribuées de manière très inégale, aussi bien dans le temps que dans l'espace. Il en résulte des crues fréquentes durant la saison humide et des étiages pro-

blématiques en saison sèche. Sur cette rivière, les crues représentent la cause principale de dommages naturels même si, plus récemment, l'étiage s'est aussi révélé problématique en raison de pertes agricoles importantes. Toutefois, la réalisation et la mise en service de grands réservoirs comme celui des Trois Gorges sur le cours d'eau principal et celui de Danjiangkou sur son affluent la rivière Han, apportent une flexibilité nouvelle pour la gestion des eaux. En même temps, ils augmentent la complexité liée aux interventions préventives, en particulier lors des situations hydrologiques extrêmes.

Dans cette situation, une gestion appropriée et multi-objectifs des ressources en eau du fleuve Yangtsé est requise. La satisfaction de ce besoin est nécessaire pour permettre un développement socio-économique harmonieux sur le bassin versant, incluant la prise en compte des effets imputables aux changements climatiques.

1.3 Le concept MINERVE

La modélisation de systèmes hydrologiques complexes est essentielle pour les responsables de la gestion des aménagements hydrauliques et de la protection contre les crues. Le contrôle de bassins versants aménagés requiert à cet égard une technologie adéquate permettant la simulation des différents processus en jeu. Un tel développement a été effectué à l'EPFL dans le cadre du projet de recherche MINERVE dans l'objectif de coupler la prévision et la gestion de crues sur le bassin versant du Rhône en amont du Léman (Boillat et al., 2002; Boillat, 2009; García Hernández et al., 2009).

Dans l'optique d'un transfert de connaissances, le Laboratoire de Constructions Hydrauliques de l'EPFL a été sollicité par l'Office Fédéral de l'Environnement pour appliquer le concept MINERVE au bassin versant de la rivière Han, principal affluent du Yangtsé, (1532 km sur 170 000 km²).

Le concept MINERVE est développé depuis 2002 en partenariat avec l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), les Services des Routes et Cours d'Eau, de l'Energie et des Forces Hydrauliques du Canton du Valais et par le Service des Eaux, Sols et Assainissement du Canton de Vaud. L'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) fournit les prévisions météorologiques et les sociétés hydroélectriques communiquent les informations relatives à leurs aménagements. Les développements scientifiques ont été conduits par deux entités



Figure 1. L'équipe de scientifiques chinois et le staff de formation lors de l'atelier de formation au concept MINERVE, organisé à l'EPFL du 9 au 13 janvier 2012.

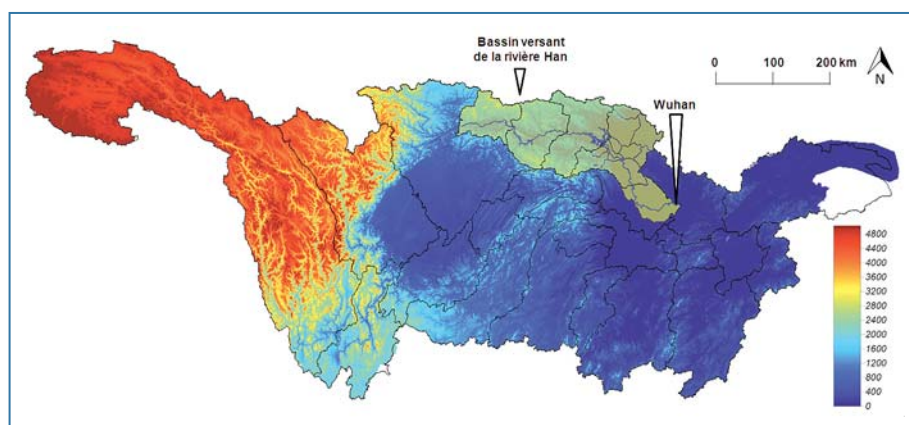


Figure 2. Bassin versant du Yangtsé, avec le sous-bassin versant de la rivière HAN.

de l'EPFL, le Laboratoire d'Ecohydrologie et le Laboratoire de Constructions Hydrauliques, ainsi qu'à l'Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque de l'UNIL.

1.4 Coopération Sino-Suisse entre la DDC, l'OFEV, l'EPFL et le CWRC

Depuis de nombreuses années, une coopération amicale et intensive s'est développée entre la Chine et la Suisse, notamment sur le projet d'assistance à la prévision des crues de la rivière Changjiang, initié en 2003 déjà. Cette coopération a été renforcée par la signature d'un accord sur la gestion des eaux et des catastrophes, le 19 avril 2009 à Shanghai entre Moritz Leuenberger, Conseiller fédéral en charge du département de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et des Communications et M. Chen Lei, ministre responsable des ressources en eau de la république populaire de Chine.

Dans ce contexte, le transfert de

connaissances acquises par le projet MINERVE a été effectué en plusieurs étapes. En mai 2010, un Workshop a été organisé en Suisse avec les experts du CWRC, dans le but de définir les bases d'une gestion intégrée du risque sur le bassin versant de la rivière Chiangjiang (Yangtsé). Les objectifs de cette coopération ont ensuite été précisés lors de rencontres entre le CWRC et l'OFEV à Wuhan en septembre 2010 et à Lausanne en novembre 2010.

Cette collaboration s'est renforcée dans le cadre d'un atelier de formation, organisé à l'EPFL du 9 au 13 janvier 2012 à l'intention d'une délégation d'ingénieurs du CWRC (Figure 1). Un enseignement intensif a permis à la délégation chinoise de repartir avec un modèle hydrologique Routing System (RS 3.0) du bassin versant de la rivière Han. La coopération s'est poursuivie à distance, via Internet, pour faciliter l'évolution du modèle vers des niveaux de détail supérieurs. Finalement, une mission d'ingénieurs suisses en Chine du 21 au 27

mai 2012 a permis de valider les progrès réalisés par les partenaires chinois et de connecter le modèle hydrologique à la base de données du CWRC pour un fonctionnement continu et automatique. Ces développements font l'objet de la présente communication.

2. Concept actuel de prévision et de gestion des crues

2.1 Changjiang Water Resources Commission (CWRC)

La compétence de la gestion des crues sur le bassin versant du fleuve Yangtsé est attribuée à la Changjiang Water Resources Commission (CWRC, <http://eng.cjw.gov.cn/>). Dans cette organisation, la gestion du bassin versant de la rivière Han est confiée à une délégation d'experts dont le siège est à Wuhan, lieu de confluence avec le Yangtsé. Cette entité hydrologique, dont la superficie est supérieure à 4 fois celle de la Suisse, a été prise comme bassin test du présent projet (Figure 2).

La CWRC a pour missions la sauvegarde de toutes les données hydro-météorologiques, le monitoring hydrologique, la prévision hydro-météorologique et la gestion des eaux. Ces tâches sont réparties entre quatre départements:

- Prévisions hydro-météorologiques (Hydro-Meteorological Forecasting)
- Ressources en eau et hydrologie (Hydrology and Water Resources)
- Institut de recherche hygrométrique (Hygrometry Research Institute)
- Centre d'information (Network and Information Centre)

2.2 Système de prévision et gestion de crues

Le système opérationnel de la CWRC gère une base de données interne qui contient toutes les données provenant des stations météorologiques, hydrologiques, ainsi que les données concernant les réservoirs et les aménagements hydroélectriques.

Les mesures de pluie sont analysées par les météorologues pour fournir des prévisions de précipitations, notamment le cumul journalier prévu à un horizon de 4 à 5 jours. Ces prévisions sont disponibles en quatre points répartis de manière équilibrée sur le bassin versant de la rivière Han (Figure 3). Le débit prévu est ensuite calculé par les hydrologues selon une méthode empirique, en différents points de contrôle de la rivière Han (Baihe, Danjiangkou, Yujiahu, Huangzhuang (Figure 4), Shayang et Xiantao).

Dans le concept actuel de prévisi-

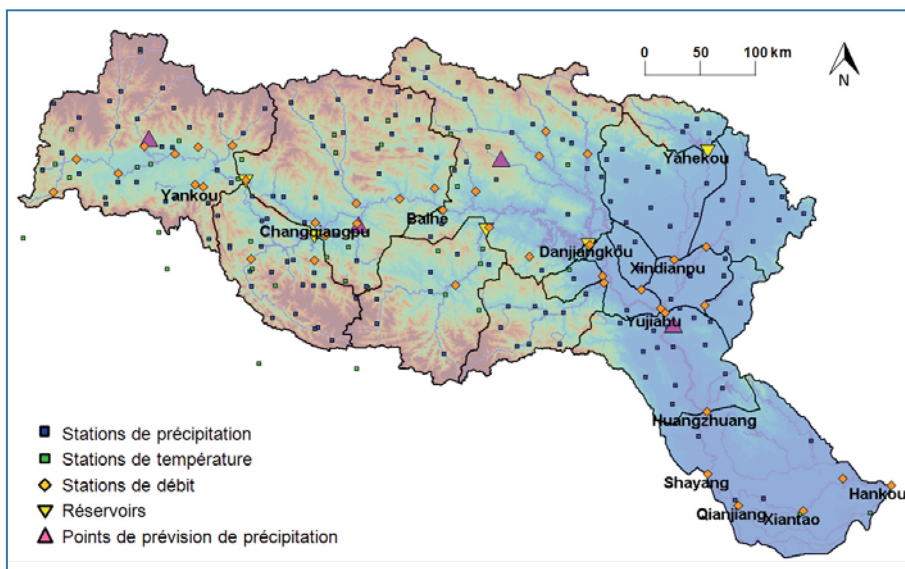


Figure 3. Bassin versant de la rivière Han avec son réseau de mesures et les points de prévision des précipitations.



Figure 4. Rivière Han en basses eaux. A Baihe (à gauche) et à Huangzhuang (à droite).

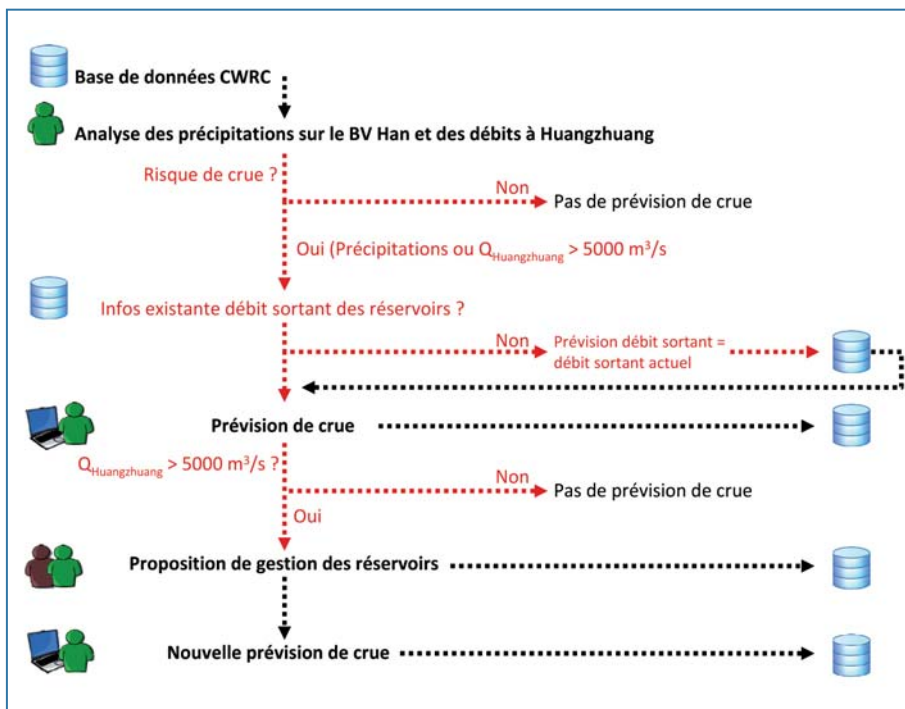


Figure 5. Concept actuel de prévision et gestion des crues du CWRC à Wuhan.

ons (Figure 5), si une forte pluie est attendue, ou si le débit observé ou prévu à Huangzhuang dépasse le seuil de 5000 m³/s, une analyse plus détaillée de la situation est requise. La première étape de cette analyse consiste à vérifier les débits sortants des principaux réservoirs à l'amont. Si aucun calcul précis n'a été réalisé auparavant, celui-ci est immédiatement effectué. Les résultats sont sauvegardés dans la base de données, puis analysés.

Si le débit prévu continue d'augmenter, le bureau de contrôle des crues (Flood Control and Drought Relief Office) est chargé de proposer une gestion adéquate des réservoirs. Le cas échéant, les prévisionnistes hydro-météorologiques et le bureau de contrôle des crues décident, en concertation, de la gestion optimale pour minimiser la pointe de crue. Les résultats de l'optimisation sont enregistrés dans la base de données pour visualisation et utilisation future.

3. Modélisation du bassin versant et des aménagements hydrauliques

3.1 Modèle de simulation RS 3.0

La modélisation hydrologique du bassin versant de la rivière Han repose sur le transfert pluie-débit. Il s'agit dès lors de simuler l'ensemble des processus concernés, depuis les précipitations jusqu'à l'écoulement en rivière. Les transformations physiques telles que l'évapo-transpiration, l'infiltration, le ruissellement de surface, l'écoulement dans les cours d'eau sont ainsi modélisés à l'aide d'équations comportementales (Schaeffli et al., 2005). Dans le même temps, le comportement des ouvrages hydrauliques significatifs du bassin versant, est également considéré. Il s'agit en particulier des réservoirs utilisés pour le contrôle des crues, la production hydroélectrique ou l'irrigation.

Le logiciel Routing System (García Hernández et al., 2007), dans sa version enrichie RS 3.0 (Jordan et al., 2012), permet la modélisation pluie-débit avec prise en compte des ouvrages hydrauliques pour une utilisation de type prévision opérationnelle. Le principe de construction du modèle combine une approche fonctionnelle sur une base géographique (Figure 6). Les processus physiques sont modélisés individuellement par des objets aux fonctions propres, qui peuvent être combinés entre eux en toute liberté. Cette démarche conceptuelle permet d'intégrer très aisément la simulation comportementale d'ouvrages complexes dans le modèle

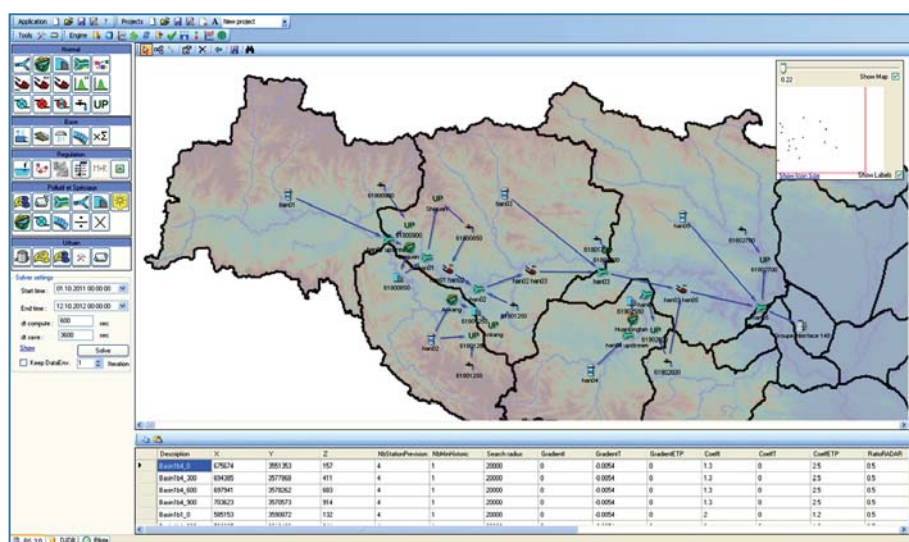


Figure 6. Interface RS 3.0 avec le modèle de simulation de la partie amont du bassin versant de la rivière Han (au centre), les objets de calcul (à gauche) et les paramètres des objets «station météo» (en bas). Les objets du modèle de calcul sont positionnés sur les bassins versants de manière géoréférencée. Les réservoirs se situent à l'aval de sous-bassins versants.

(Bieri et al., 2012, Jordan et al., 2007). De plus, la modélisation du système est réalisée avec une disposition spatiale géoréférencée des objets, permettant une interprétation aisée du modèle et facilitant l'accès à ses composants.

3.2 Modélisation des écoulements

Les écoulements de la rivière Han sont principalement associés aux fortes précipitations frontales, caractéristiques de la saison humide. Les processus de séparation pluie-neige et de fonte de neige ne sont requis que très localement. Par contre, l'évapo-transpiration, fortement dépendante de l'humidité de l'air et de la température, doit être considérée avec attention.

Les écoulements dans les cours d'eau sont modélisés par un calcul d'onde diffusive, les pentes longitudinales de talweg étant extrêmement faibles. En effet, le niveau d'eau moyen du Yangtsé à Wuhan, à 1300 km de l'embouchure du fleuve dans la mer de Chine, ne se situe qu'à 20 m s.m.

L'influence des réservoirs est très importante, car ces ouvrages sont principalement dédiés au contrôle des crues et à la régulation du débit pour la navigation. Ils conditionnent les débits en période sèche, mais s'effacent lors des crues les plus importantes qui surviennent chaque année. La prise en compte des volumes de stockage et leur régulation devient ainsi primordiale pour une représentation réaliste des débits de la rivière Han.

Les données d'entrée du modèle sont les précipitations et températures, permettant le calcul des débits qui alimen-

tent le réseau hydrographique. Les débits relâchés par les réservoirs sont également considérés comme données d'entrée pour la prévision hydrologique. Ils sont combinés avec les débits déversés en cas de fonctionnement des évacuateurs de crue.

3.3 Calage et validation du modèle pluie-débit

Le calage et la validation du modèle de simulation sont réalisés en exploitant au mieux les données météorologiques et de fonctionnement des ouvrages. L'existence et la qualité de ces dernières étant très variable, seules quelques années de mesure peuvent être exploitées à satisfaction. Au final, le calage du modèle hydrologique a été réalisé en 15 points de contrôle. Lorsque les stations de mesure sont situées en amont des ouvrages, seules les données météo sont utilisées. Dans le cas contraire, les débits mesurés sortant des réservoirs sont également introduits dans les modèles et complétés, le cas échéant, par les valeurs calculées provenant des bassins versants amont.

La Figure 7 présente la comparaison entre simulation et mesure en deux points du bassin versant: le premier, dans la région de Baokang, avec une surface de 6400 km², se situe au Sud du barrage de Danjangkou et comporte un certain nombre de réservoirs régulés, mais non documentés avec précision. Le modèle RS 3.0 est alors adapté et dispose de réservoirs régulés automatiquement pour reproduire au mieux le régime hydrologique mesuré. Le deuxième bassin versant représente l'entier de la rivière Han à son embou-

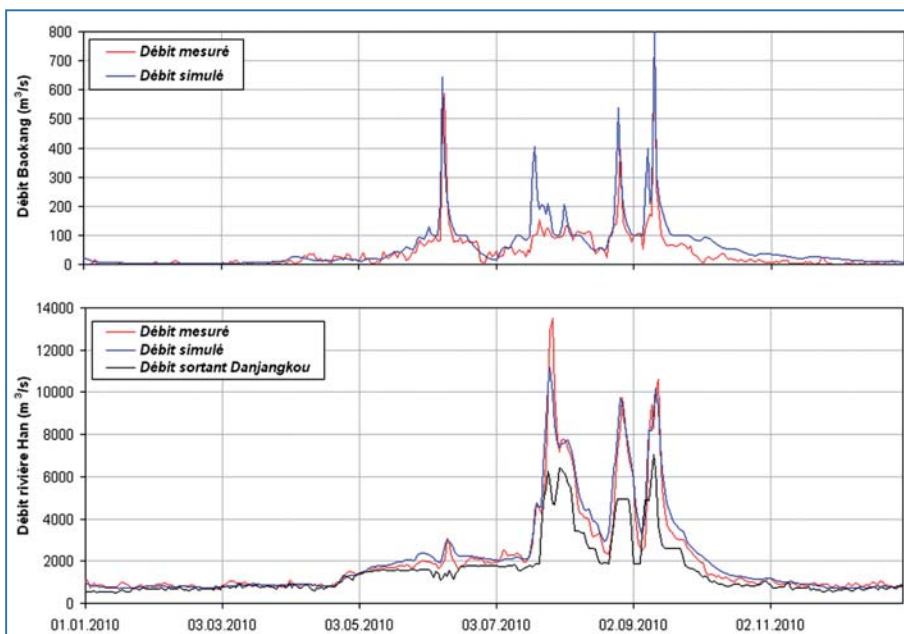


Figure 7. Comparaison entre mesures et simulations de l'année 2010. En haut, le bassin versant de Baokang (6400 km²). En bas, à l'embouchure dans le Yangtsé (170000 km²).

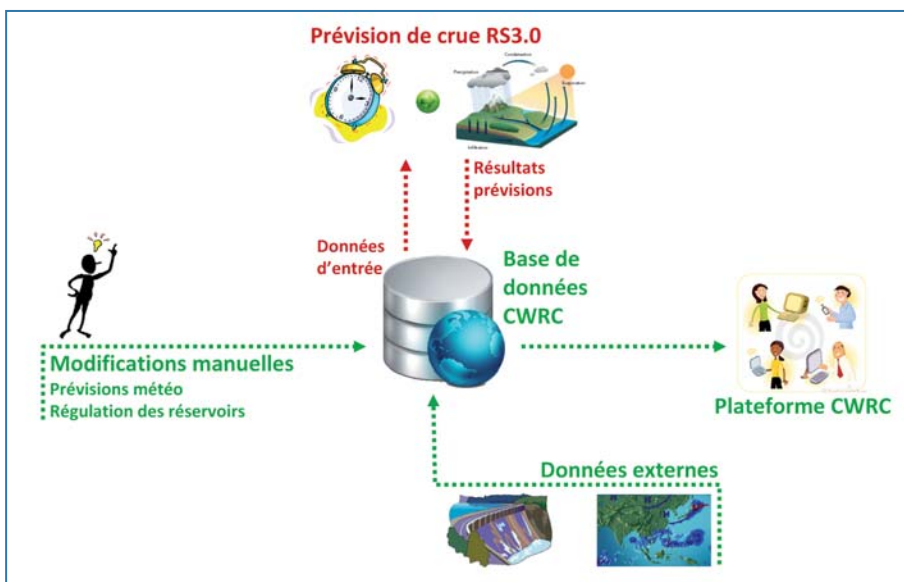


Figure 8. Principe d'intégration du système de prévision hydrologique RS3.0 (rouge) dans les processus opérationnels du CWRC à Wuhan (vert).

chure dans le Yangtsé, soit une surface totale de 170 000 km² équivalent à 4 fois la Suisse. Dans le calcul présenté ici, le débit sortant du réservoir de Danjiangkou, situé au centre du bassin versant, est introduit dans le modèle et représente environ le 50% du débit total à l'embouchure dans le Yangtsé. La figure met en évidence le régime hydrologique tropical typique, avec une saison des pluies allant de juin à octobre et un hiver sec durant lequel les débits sont à l'étiage. La simulation à pas de temps journalier est ainsi capable de reproduire correctement les écoulements de cet immense bassin versant dans lequel l'influence des nombreux réservoirs est déterminante.

4. Prévision hydrologique opérationnelle

4.1 Principe général de fonctionnement

Le premier principe adopté lors du développement de l'outil de prévision concerne le fonctionnement automatique du modèle. En effet, un tel système doit pouvoir tourner sans intervention particulière et fournir des résultats en continu, tout en permettant une adaptation du modèle et des hypothèses par le personnel sur place. Ainsi, l'acquisition et le traitement des données de simulation, leur archivage, le calcul des écoulements et la diffusion des résultats sont renouvelés automatiquement chaque heure. Au besoin, un calcul

supplémentaire intégrant des informations modifiées peut être réalisé en tout temps.

L'intégration du système dans les processus organisationnels du CWRC est un facteur déterminant de réussite du projet. Pour y parvenir, un arrimage du système de calcul RS 3.0 sur la base de données CWRC à été opéré. Il garantit un fonctionnement continu malgré les contraintes imposées par les opérations effectuées par le personnel du CWRC. Celles-ci concernent en particulier:

- L'acquisition des différentes données externes par les robots du CWRC
- La modification manuelle des prévisions de précipitations
- La modification manuelle des opérations de régulation des réservoirs
- Le traitement manuel des données historiques des précipitations et températures

Ces opérations pouvant être effectuées à toute heure, il est nécessaire de permettre au système de les intégrer sans générer de travail supplémentaire de mise en forme de l'information. Le système de prévision RS 3.0 se nourrit donc uniquement de la base de données centrale du CWRC pour réaliser les simulations (Figure 8). Les résultats de calcul sont également poussés vers cette base de données, permettant leur visualisation par le biais de la technologie existante au CWRC. Ainsi, cette nouvelle information prévisionnelle s'insère dans un ensemble cohérent, sans nécessiter d'adaptations particulières.

4.2 Intégration du modèle RS 3.0 dans l'organigramme décisionnel du CWRC

La Figure 9 présente la place occupée par la nouvelle prévision de crue RS 3.0 dans l'organigramme décisionnel du CWRC. Dès lors, l'analyse manuelle des précipitations et les données à disposition relatives aux ouvrages deviennent des inputs du modèle hydrologique. Par ailleurs, la modification éventuelle de la gestion des réservoirs est prise en considération par le système et une nouvelle prévision est calculée automatiquement dans ce cas.

4.3 Retour d'expérience

Le système de prévision des crues fonctionne en mode automatique depuis le 25 mai 2012 et produit chaque heure une nouvelle simulation. Les principaux écueils rencontrés concernent la maintenance à distance d'un tel système d'information. En particulier, chaque changement de version du système d'exploitation ou de nom sur le réseau nécessite une nouvelle

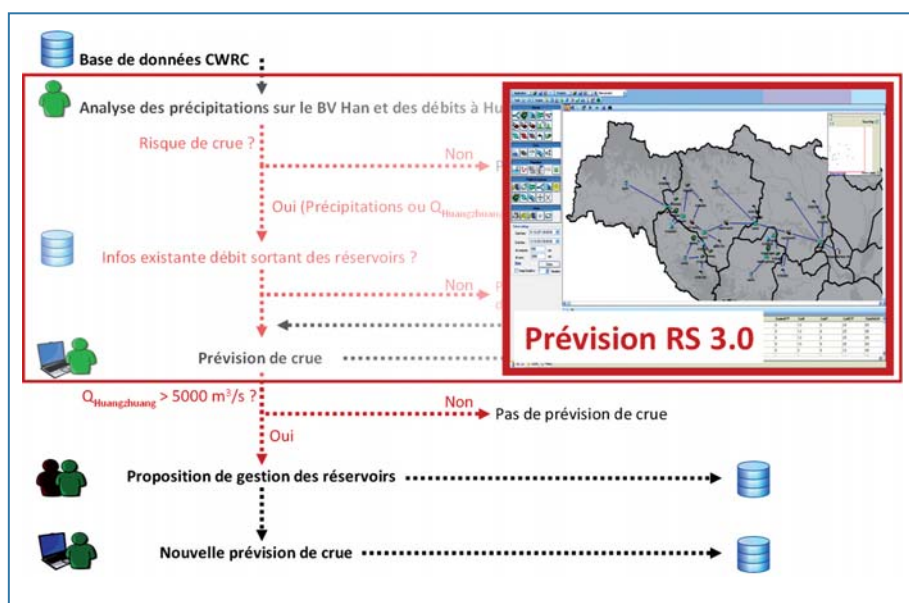


Figure 9. Intégration du modèle RS 3.0 dans le système de prévisions CWRC de la rivière Han.

installation. Toutefois, le problème majeur réside dans la qualité des informations. Les données externes brutes sont acquises et archivées telles quelles dans la base de données du CWRC. Le nettoyage des données erronées ou le remplissage des valeurs manquantes ne sont réalisés qu'épisodiquement par les spécialistes locaux, conduisant à l'utilisation de valeurs parfois douteuses par le système RS 3.0. Des filtres grossiers sont déjà appliqués dans le système, mais la créativité des systèmes automatiques de concentration des mesures conduit toujours à des erreurs de données imprévues. Pour pallier ce risque, les valeurs aberrantes ou associées à des dates erronées se retrouvent naturellement écartées du processus de calcul. La non-adéquation des données opérationnelles avec les données utilisées lors du calage est dès lors réduite, mais influence néanmoins la qualité de la prévision.

Malgré ces problèmes particuliers, le personnel du CWRC dispose aujourd'hui d'un outil robuste de prévision des crues, sur les résultats duquel il peut s'appuyer pour prendre des décisions en situation de crise.

5. Conclusions et perspectives

La principale difficulté rencontrée dans la gestion des eaux du Yangtsé réside dans la manière d'intervenir activement et efficacement. Le choix des décisions est complexifié par la modification perceptible du régime hydrologique sous l'effet des changements climatiques.

Une meilleure utilisation des ressources en eau est ainsi nécessaire pour

réduire les dommages dus aux crues et atténuer les problèmes induits par l'étiage. Par une régulation appropriée de la ressource en eau, la notion actuelle de contrôle des crues doit évoluer vers un concept de gestion des crues, qui vise à préserver la sécurité des personnes et des biens. Ce nouveau concept doit également intégrer les influences liées aux changements climatiques, à la dotation environnementale, à l'évolution démographique et à l'urbanisation, pour ne citer que les plus significatives.

Dans ce cadre, le concept MINERVE permet d'établir une prévision de crue pour alimenter le système de gestion du bassin versant. Le modèle hydrologique RS 3.0, opérationnel sur le bassin versant de la rivière Han, peut dès lors être intégré dans le concept de gestion des crues piloté par la Changjiang Water Resources Commission (CWRC).

Le modèle fonctionne de manière automatique depuis le 25 mai 2012 et délivre une nouvelle prévision hydrologique chaque heure, en plus de 20 points stratégiques du bassin versant. L'application du concept MINERVE sur la rivière Han peut être considérée comme un réel succès. Grâce à l'excellente collaboration avec les partenaires chinois, le transfert de connaissances a pu être opéré avec une étonnante rapidité. Le développement du modèle RS 3.0, son calage, la qualité de ses résultats et sa mise en service opérationnelle ont aussi bénéficié de l'enthousiasme collectif du projet.

L'application MINERVE de la rivière Han mérite dès lors quelques développements supplémentaires pour élever

le niveau de détail du modèle, d'une part, et donner un accès élargi à l'information, d'autre part. Ces améliorations passent par un enrichissement des données relatives aux aménagements hydrauliques et par une connexion internet du système. Par ailleurs, des études spécifiques relatives à l'utilisation de données satellites devraient permettre d'améliorer la répartition spatiale des précipitations.

L'étape suivante concerne l'utilisation des prévisions météorologiques pour la prévision hydrologique et le développement d'un modèle d'aide à la décision pour la gestion préventive des aménagements en situation de crue (Jordan, 2007; García Hernández, 2011). Finalement, le modèle sera mis à profit pour la simulation de scénarios climatiques. Ces derniers développements permettront d'intégrer le concept MINERVE dans le plan de gestion du risque (RiskPlan) de la rivière Han (Elsener Metz et Willi, 2012) et de l'étendre progressivement à plus large échelle sur le bassin versant du Yangtsé.

Remerciements

L'application Minerve-CWRC de la rivière Han est réalisée en collaboration avec la Direction du Développement et de la Coopération (DDC), la section dangers naturels de l'Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) et le bureau Ernst Basler + Partner à Zurich. Nous remercions également tous les partenaires qui ont contribué au projet MINERVE ainsi que les collaborateurs de la Changjiang Water Resources Commission (CWRC) impliqués dans le projet.

Références

- Bieri, M., Schleiss, A.J. & Fankhauser, A. 2010. Modelling and simulation of floods in alpine catchments equipped with complex hydro-powerschemes. River Flow; Proc. intern. symp., Braunschweig, 8–10 September 2010, Karlsruhe, Bundesanstalt für Wasserbau, A. Dittich et al. (eds.).
- Boillat, J.-L., Dubois J., Schleiss, A. 2002. Flood Modeling and Prevention in the Rhone Basin upstream of Lake Geneva, Proc., Int. Conf. on Flood Estimation, Bern.
- Boillat, J.-L. (2009). Prévision hydrologique et aide à la décision. Swiss Engineering, Vol. 7/8, p.10.
- Elsener Metz, J., Willi, Ch. 2012. Hochwasser-Risikomanagement mit RiskPlan am Yangtze Fluss in China. «Wasser Energie Luft», N° 4. 278–281.
- García Hernández, J., Horton, P., Tobin, C. and Boillat, J.-L. 2009. MINERVE 2010: Prévision hydrométéorologique et gestion des crues sur

le Rhône alpin. «Wasser Energie Luft», N° 4, 297–302.

García Hernández, J., Jordan, F., Dubois, J. & Boillat, J.-L. 2007. «Routing System II, Modélisation d'écoulements dans des systèmes hydrauliques», Communication LCH N° 32, Lausanne, EPFL, A. Schleiss (ed.).

García Hernández, J. (2011). «Flood Management in a Complex River Basin with a Real-Time Decision Support System Based on Hydrological Forecasts», thèse EPFL, N° 5093, Lausanne.

Jordan, F. 2007. Modèle de prévision et de gestion des crues – optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue,

Communication LCH N° 29, Lausanne, EPFL, A. Schleiss (ed.).

Jordan, F., García Hernández, J., Dubois, J. & Boillat, J.-L. 2008. MINERVE: Modélisation des intempéries de nature extrême du Rhône valaisan et de leurs effets. Communication LCH n° 38, Lausanne, EPFL, A. Schleiss (ed.).

Jordan, F., García Hernández, J., Boillat, J.-L., Bieri, M., Schleiss, A. (2012). «RS 3.0 User's Guide», à paraître, Communication LCH, Lausanne, EPFL, A. Schleiss (ed.).

Schaefli, B., Hingray, B., Niggly, M. & Musy, A. 2005. A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments. *Hydrology and earth system sciences* 9: 95–109.

Adresse des auteurs

Frédéric Jordan

e-dric.ch, ch. du Rionzi 54

CH-1052 Le Mont-sur-Lausanne

fred.jordan@e-dric.ch, www.e-dric.ch

Javier García Hernández

Centre de recherche sur l'environnement alpin

(CREALP), rue de l'Industrie 45, CH-1951 Sion,

javier.garcia@crealp.vs.ch, www.crealp.ch

Jean-Louis Boillat, Martin Bieri, Giovanni De

Cesare, Anton Schleiss

Laboratoire de constructions hydrauliques

(LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lau-

sanne (EPFL), Station 18, CH-1015 Lausanne

secretariat.lch@epfl.ch, lch.epfl.ch



Werden Sie Mitglied beim Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband

Abonnieren Sie unsere Fachzeitschrift «Wasser Energie Luft»

Bestellen Sie unsere Verbandsschriften

Näheres finden Sie unter: www.swv.ch

Devenez membre de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux

Abonnez notre revue technique «Eau énergie air»

Commandez nos publications

Pour plus de détails: www.swv.ch

**100+ 1910
JAHRE 2010**

**Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Association suisse pour l'aménagement des eaux
Associazione svizzera di economia delle acque**

swv · mmi · 10/05