

Synergies entre acteurs opérationnels et scientifiques au service de l'amélioration de la prévision des crues

Carina FURUSHO¹, Charles PERRIN¹, Julie VIATGÉ¹, Rémi LAMBLIN², Vazken ANDRÉASSIAN¹

¹ Irstea, UR HBAN, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes, CS 10030, 92761 Antony Cedex, carina.furusho@irstea.fr; julie.viatge@irstea.fr; charles.perrin@irstea.fr; vazken.andreassian@irstea.fr

² SCHAPI, 42 avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, Remi.Lamblin@developpement-durable.gouv.fr

RÉSUMÉ. – À partir de 2003, sous l'impulsion du Ministère de l'écologie, le système national d'annonce des crues a progressivement évolué vers un système de prévision de crues. Le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) a été créé pour coordonner cette évolution et la modernisation des dispositifs d'anticipation et d'alerte aux crues, en collaboration avec les Services de Prévision des Crues (SPC) à l'échelle des entités hydrographiques régionales. Ce réseau étatique en charge de la prévision des crues s'est tourné vers divers acteurs de la recherche et de l'ingénierie, dont Irstea. La collaboration pluriannuelle avec Irstea a donné naissance au modèle de prévision des crues GRP, aujourd'hui largement utilisé par les SPC. Cette collaboration pérenne revêt plusieurs aspects : l'appui à la mise en œuvre de l'outil sur les bassins suivis par le réseau, l'évaluation des performances comparative-ment à d'autres outils, l'analyse des retours d'expérience au travers d'un groupe d'utilisateurs ou encore la formation des utilisateurs. Elle conduit en particulier à traduire en questions de recherche les problèmes soulevés, et à proposer des solutions concrètes et efficaces pour faire de GRP un outil plus performant. L'article décrit la démarche globale de développement partenarial et en illustre les avantages au travers d'exemples concrets.

Mots-clés : prévision des crues, SCHAPI, SPC, hydrologie, synergie, modèle GRP

Collaborative work between operational forecasters and scientists for better flood forecasts

ABSTRACT. – In 2003, under the impetus of the French Ministry of ecology, the national flood observation system progressively evolved towards a flood forecasting system. The French national forecasting centre (SCHAPI) was created to coordinate this evolution and the improvement of anticipation tools, in collaboration with regional flood forecasting services (SPC). This national flood forecasting network developed collaborations with scientists and consultancies, among which Irstea. The interannual collaboration with Irstea yielded the GRP model, today widely used in SPCs. This collaboration has several important aspects: the support to the operational implementation of the forecasting tool, the evaluation of its performance comparatively to other tools, the analysis of feedbacks, or the training of professionals. It gives the opportunity to raise important scientific questions, and to propose concrete solutions to improve the efficiency of the GRP model. The article describes the partnership that supports the overall development approach, and illustrates its advantages through a few examples.

Key-words: flood forecasting, SCHAPI, forecasting services, hydrology, synergy, GRP model

I. INTRODUCTION

Malgré les avancées techniques et scientifiques des dernières décennies, les inondations continuent à être la cause de nombreuses catastrophes pour nos sociétés. Pourquoi la prévision d'inondation ne réussit-elle pas à limiter davantage les pertes humaines et les dégâts matériels ? Depuis la réforme de l'organisation de la prévision des crues en France en 2003, un effort important a été réalisé par le Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (SCHAPI) et les Services de prévision des crues (SPC) pour faire évoluer les modèles opérationnels de prévision, en partenariat avec des acteurs de la recherche et de l'ingénierie. La mission d'annonce de crues a en effet évolué vers une mission plus complexe de prévision des crues. C'est dans ce contexte que le modèle de prévision des crues GRP a été développé par Irstea en

partenariat avec le réseau étatique de la prévision des crues, pour renforcer les capacités de prévisions sur les cours d'eau suivis par les SPC, avec des délais d'anticipation allant de quelques heures à quelques jours (voir également <http://webgr.irstea.fr/modeles/modele-de-prevision-grp/>).

Fruit d'une réflexion de recherche initiée au début des années 1990, ce modèle voit aujourd'hui ses développements alimentés par un groupe d'utilisateurs piloté par le SCHAPI, permettant de discuter des retours d'expérience et des perspectives d'évolution.

L'objectif de cet article est de présenter un exemple de développement partenarial d'un modèle de prévision des crues à vocation opérationnelle, associant un groupe de recherche et un ensemble d'utilisateurs.

Dans la suite, nous présenterons tout d'abord l'historique de développement du modèle, puis nous verrons comment l'amélioration de cet outil opérationnel a bénéficié

des synergies entre mondes scientifique et opérationnel du domaine de l'anticipation des crues. Enfin, nous dresserons quelques perspectives de ces travaux.

II. DÉVELOPPEMENT DE MODÈLES DE PRÉVISION : DE LA RECHERCHE VERS L'OPÉRATIONNEL

II.1. Qualités attendues

La prévision des crues est un domaine complexe, devant répondre à des attentes et exigences variées. Les qualités attendues d'un système de prévision sont en particulier :

- son efficacité, par exemple sa précision sur les pointes de crues et son niveau d'anticipation de franchissement de certains seuils (vigilance ou alerte),
- sa robustesse, entendue comme sa capacité à fonctionner correctement sur des événements non rencontrés par le passé,
- sa généralité, lui permettant de fonctionner sur un ensemble de bassins suivis par le SPC, représentant des contextes hydrométéorologiques variés.

On attend aussi d'un système de prévision qu'il ait des besoins limités, correspondant aux données effectivement disponibles en temps réel, qu'il puisse s'accommoder de données incomplètes ou de moindre qualité, liées aux aléas du fonctionnement des réseaux de mesure en temps réel, qu'il ait des temps d'exécution compatibles avec les fréquences d'émission des prévisions et qu'il produise des sorties facilement interprétables et utilisables pour la prise de décision.

C'est avec ces différents objectifs qu'Irstea a développé à partir des années 1990 des approches de modélisation orientées sur la prévision des crues. Ces recherches ont eu quelques traits méthodologiques communs importants, notamment :

- le travail sur des échantillons de données aussi larges que possible, de manière à tester la généralité et la robustesse des modèles développés [Andréassian *et al.*, 2006 ; Andréassian *et al.*, 2009] ;
- l'évaluation des modèles dans des conditions de test aussi proches que possible des conditions réelles d'utilisation, par exemple avec des analyses en validation plutôt qu'en calage. L'objectif étant d'avoir une bonne image des performances auxquelles on peut s'attendre dans les utilisations pratiques des modèles proposés [Andréassian *et al.*, 2010] ;
- la comparaison à des outils existants, pour situer les modèles proposés par rapport à des références connues ;
- l'utilisation d'un ensemble d'indicateurs pour qualifier objectivement la performance des modèles relativement à des objectifs prédéfinis.

Partant de ces principes, deux axes complémentaires ont été explorés, la propagation hydraulique simplifiée et la modélisation hydrologique, avant de faire converger ces deux approches.

II.2. Modèles de propagation simplifiée

L'idée de travailler sur des modèles de propagation simplifiée partait du constat de la difficulté de mettre en place des modélisations hydrauliques complètes basées sur la résolution fine des équations de Saint-Venant pour des applications opérationnelles. Les premiers travaux se sont donc intéressés à des modèles faisant des hypothèses sur certains aspects de la propagation, conduisant donc à des modèles plus simples mais dont les qualités peuvent être

suffisantes pour des objectifs opérationnels. Partant du modèle d'Hayami, Baptista et Michel [1989 ; 1990] ont proposé des estimations des paramètres de diffusion et de célérité du modèle en fonction de descripteurs du bief. La comparaison avec un modèle complet de Saint-Venant a montré de bons résultats [Baptista, 1990]. Dans la suite de ces travaux, Bentura [1996] s'est intéressé aux modèles de type délai-stockage, toujours dans l'optique de produire des modèles simples permettant de reproduire autant que possible les résultats des équations de l'hydraulique. La version proposée, associant un délai avec un réservoir de routage quadratique, a montré des résultats satisfaisants [Bentura et Michel, 1997]. De manière intéressante, ce type de fonction de transfert est également utilisé comme fonction de routage de nombreux modèles hydrologiques, et on verra dans les paragraphes suivants qu'ils ont été utilisés par la suite comme constituants essentiels de modèles intégrés.

II.3. Modèles hydrologiques pluie-débit

Les modèles hydrologiques GR (Génie Rural) développés dès les années 1980 à Irstea (à l'époque Cemagref) permettent de réaliser des simulations pluie-débit, et des développements ont été réalisés au cours des vingt dernières années pour les appliquer à la prévision des crues (voir Figure 1). Par rapport aux modèles de propagation précédents qui sont des modèles débit-débit, on utilise donc une entrée différente, impliquant une connaissance des précipitations à l'échelle du bassin. En contexte de prévision, l'application d'un modèle hydrologique peut bénéficier de l'information disponible sur les débits observés. Cette information est souvent cruciale et peut par exemple permettre de combiner efficacement des modèles fonctionnant en parallèle dans le cadre d'approches multi-modèles [Loumagne *et al.*, 1995]. D'autres approches visent à intégrer directement l'information débit au sein du modèle pour corriger les principales sources d'erreur ; il s'agit de techniques d'assimilation de données, aussi appelées mises à jour. De telles approches sont cependant complexes, et des travaux de recherche ont été menés par Yang [1993] pour développer une technique de mise à jour basée sur la variation des paramètres des modèles [Yang et Michel, 2000]. Cette approche a ensuite été reprise pour assimiler d'autres observations que le débit, notamment des mesures d'humidité du sol qui conditionnent fortement la réponse des bassins versants, avec des perspectives d'application à la gestion des ouvrages [Loumagne *et al.*, 2001 ; Weisse *et al.*, 2002 ; Oudin *et al.*, 2003].

L'approche variationnelle sur les paramètres, jugée prometteuse, a alors fait l'objet d'un développement opérationnel à partir de l'année 2000, dans le cadre d'une demande initiale du service d'annonce de crue (SAC) Oise-Aisne. L'outil, HYDROMATH, développé avec le bureau d'études Safege a été mis en place sur les bassins de l'Oise et de l'Aisne pour des objectifs de prévision à courte échéance [SAFEGE et Cemagref, 2002]. Un tel modèle hydrologique, fonctionnant en continu, était alors assez novateur dans la culture des services d'annonce de crue qui fonctionnaient plutôt sur la base de modèles événementiels ou de modèles de type hydraulique. Le logiciel HYDROMATH a ensuite été testé pour la DIREN Nord-Pas-de-Calais [Cemagref, 2003] et mis en place au SAC d'Angers sur les bassins de la Sarthe et de l'Huisne [SAFEGE et Cemagref, 2003].

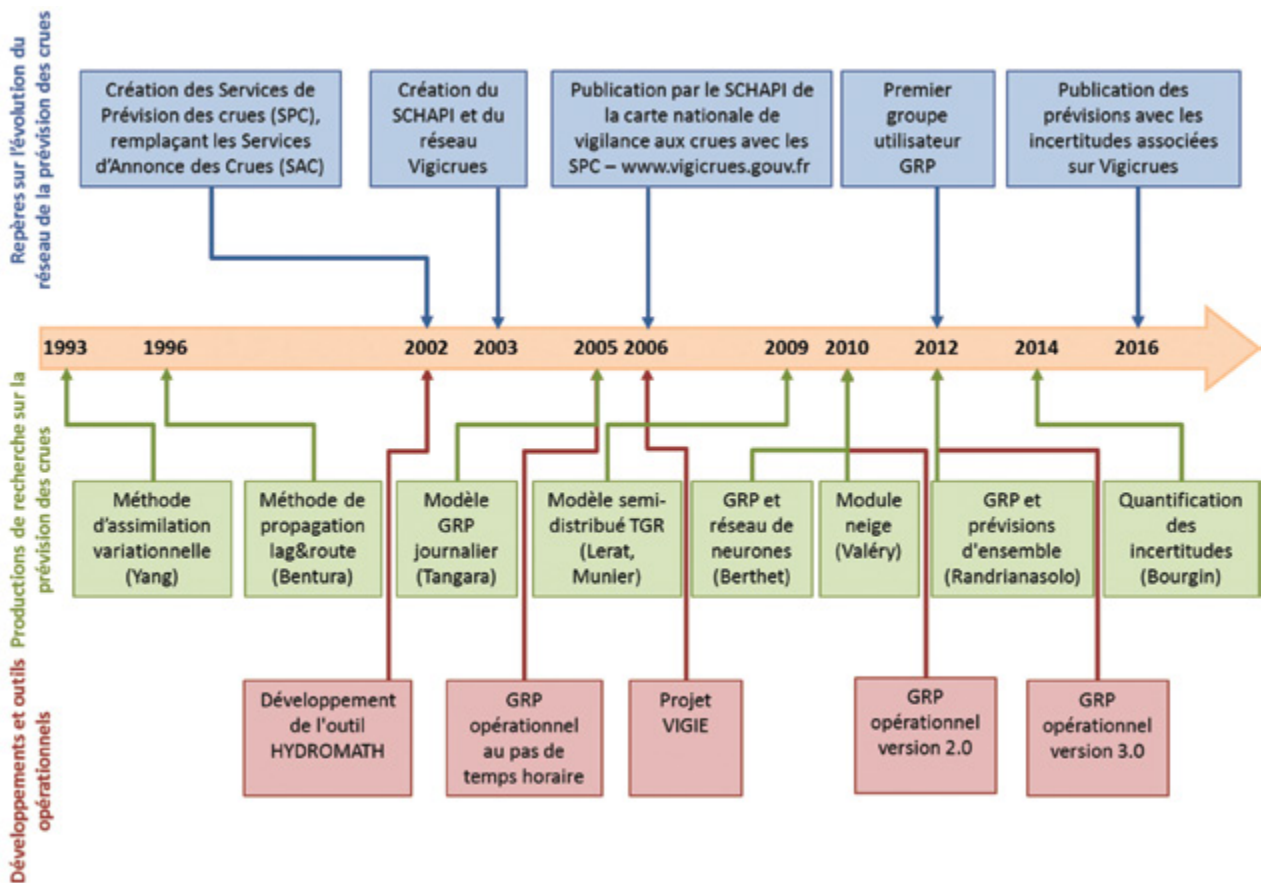


Figure 1 : Illustration des développements autour du modèle GRP pour le réseau de la prévision des crues en France (Vigicrues) [adapté d'après Fusuho *et al.*, 2015].

Les retours d'expérience sur l'outil de prévision montrèrent cependant des résultats mitigés, et des comparaisons réalisées en parallèle avec d'autres types d'outils de prévision basés sur des réseaux de neurones [Ancitl *et al.*, 2003] montrèrent la nécessité de revoir la stratégie de modélisation. Une nouvelle approche, plus simple, a alors été proposée par Tangara [2005]. Elle permettait, sur la base d'une mise à jour directe d'un état du modèle, d'avoir un modèle épuré (appelé GRP) et d'améliorer la robustesse des résultats. Ce modèle a suscité très rapidement l'intérêt du SPC Seine-Moyenne-Yonne-Loing (SMYL), qui en a demandé une mise en opérationnel. Des noyaux de calcul, pouvant être pilotés depuis les plateformes du SPC, ont alors été développés et implémentés sur le bassin de la Seine en amont de Paris [Cemagref, 2005]. Les sorties de ces modèles alimentaient ensuite un modèle hydraulique développé à l'échelle du bassin. C'est ce modèle qui constituera la base de travail des développements ultérieurs de GRP. Berthet [2010] a en particulier optimisé la structure du modèle GRP au pas de temps horaire, et proposé une correction de sortie par réseau de neurones artificiels, plus flexible que l'approche autorégressive de la version de Tangara. Valéry [2010] a par ailleurs proposé un module de prise en compte de la fonte de la neige, qui sera ensuite intégré au modèle opérationnel.

Le modèle GRP est aujourd'hui assez largement utilisé dans le réseau national de la prévision des crues, dénotant une bonne appropriation par les services, comme le montre la Figure 2. Cette utilisation s'explique à la fois par des résultats du modèle qui présentent une certaine utilité pour

les prévisionnistes, par une dynamique de diffusion assurée par le SCHAPI allant de pair avec une politique de formation dédiée (module de formation GRP proposé au réseau de la prévision), et par une amélioration progressive et constante de l'outil.

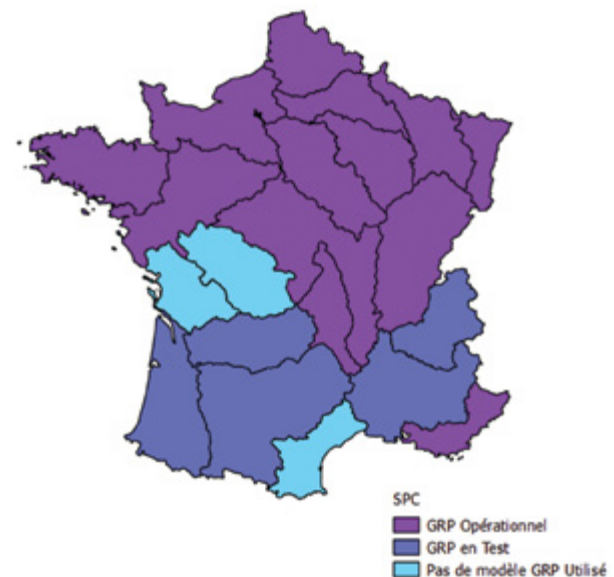


Figure 2 : Etat du déploiement du modèle GRP (janvier 2015 ; Source : SCHAPI).

II.4. Modèles intégrés hydrologie-hydraulique

Le test du modèle GRP sur des bassins de divers SPC (SMYL, Loire-Cher-Indre, Dordogne, Grand Delta) entre 2005 et 2009 a soulevé des questionnements sur la pertinence du schéma global adopté (pas de discrétisation spatiale) pour des contextes climatiques fortement hétérogènes ou pour pouvoir bénéficier des informations disponibles sur des points jaugés amont. Cela a conduit au développement d'approches semi-distribuées impliquant des modélisations hydrologiques sur des bassins amont et les bassins intermédiaires (entre stations) et une modélisation hydraulique simplifiée. Lerat [2009] a ainsi proposé des schémas de modélisation simples et robustes pour la simulation des crues sur un ensemble de bassins emboîtés. L'approche proposée allie des modèles GR et des modèles de type délai-stockage ou hydrogramme unitaire pour la propagation [Lerat *et al.*, 2012]. Cette approche a ensuite été reprise pour des tests opérationnels sur le bassin de la Seine pour le SPC SMYL [Perrin *et al.*, 2009 ; Perrin *et al.*, 2010] et a donné naissance au modèle TGR [Munier, 2009 ; Munier *et al.*, 2014], actuellement développé comme produit opérationnel conjoint à GRP.

III. PARTAGE D'IDÉES ENTRE SCIENTIFIQUES ET OPÉRATIONNELS

III.1. Phases de développement et liens entre acteurs

Les travaux décrits précédemment peuvent être regroupés en quatre phases successives :

1. Phase de définition d'objectifs scientifiques et techniques : Cette première phase comprend les discussions autour de la programmation des axes de recherche à prioriser. Des compromis sont faits pour satisfaire à la fois les besoins opérationnels plus généraux mais aussi les questions scientifiques au service du savoir disciplinaire.
2. Phase de recherche : Des développements de modèles ou d'approches génériques, souvent dans le cadre de travaux de thèse, sont réalisés, avec des produits de recherche potentiellement applicables en contexte opérationnel ;
3. Phase de transfert : Cette phase correspond à la valorisation de ces produits de recherche pour des partenaires opérationnels, avec un développement d'outils adaptés aux besoins et la réalisation d'analyses spécifiques sur des cas d'étude ;
4. Phase de développements conjoints : Cette phase correspond à l'évolution des outils, que ce soit sur le fond avec des recherches associées, ou sur la forme en termes de fonctionnalités ou d'ergonomie des outils. Dans cette phase, l'utilisateur final est un acteur majeur dans l'orientation des développements.

Ces quatre phases ont chacune leurs spécificités et contraintes. On pourra par exemple mentionner, au sein de la phase de transfert, la question toujours délicate du passage de codes informatiques de recherche à des codes opérationnels, avec les problématiques de pérennité et d'évolutivité de ces codes. A ce titre, plusieurs options ont été explorées dans le cadre des développements mentionnés plus haut, avec initialement un partenariat avec une société extérieure, ensuite des développements dans une équipe interne spécialisée (projet VIGIE, 2006-2009), et enfin des développements propres au sein de l'équipe produisant le modèle.

Ces phases ont fait intervenir différents acteurs :

- Irstea, moteur des développements de recherche et chargé des évolutions de l'outil. Les travaux de recherche ont notamment nécessité des partenariats spécifiques externes, en particulier avec Météo-France ;

- le SCHAPI, financeur extérieur principal des développements, assurant la diffusion des outils dans le réseau national de la prévision avec l'appui méthodologique associé, veillant à la coordination des démarches et permettant la centralisation des retours d'expérience ;

- les utilisateurs des outils en conditions opérationnelles, qu'ils soient dans le réseau national de la prévision, des opérateurs privés (par ex. la Compagnie nationale du Rhône) ou des bureaux d'études.

Les discussions entre acteurs sont aujourd'hui assurées dans le cadre d'un groupe utilisateur du modèle GRP, qui se réunit à une fréquence environ annuelle. Ce groupe a plusieurs objectifs :

- présenter des retours d'expériences sur le modèle et échanger sur les limites de l'outil ;
- faire émerger les besoins en fonctionnalités complémentaires de l'outil et les souhaits d'évolutions de la part des utilisateurs ;
- discuter des priorités dans les évolutions futures.

En ce sens, ce groupe permet de faire émerger des questions essentielles, souvent complexes, appelant potentiellement des recherches spécifiques. Il s'agit donc d'un véritable lieu d'inspiration pour la recherche.

III.2. Exemples d'évolutions sur un processus collaboratif

Nous donnons ici à titre d'illustration trois exemples d'évolutions réalisées au sein de l'outil GRP ayant été le résultat d'un travail de collaboration entre acteurs opérationnels et scientifiques.

III.2.1. Comparaisons pour orienter des choix entre modèles

Dans les années 1990, les équipes d'Irstea développaient en parallèle deux types de modélisations hydrologiques pour la prévision des crues : l'approche continue décrite précédemment et l'approche événementielle, basée sur le modèle GR3H et mise en œuvre à la fin des années 1990 dans la plateforme de modélisation SOPHIE. Le modèle GR3H présentait l'avantage de ne pas avoir besoin d'un long historique de données pour fonctionner. Cependant, les retours d'expérience en SPC montraient des résultats très variables d'une crue à l'autre, avec la difficulté d'initialiser le modèle. A la demande du SCHAPI, une comparaison a alors été réalisée sur un large échantillon de bassins versants, montrant une meilleure efficacité de l'approche continue [Javelle *et al.*, 2008 ; Berthet *et al.*, 2009]. Ces résultats importants ont alors résolument orienté les travaux vers le modèle GRP par la suite.

Plus récemment, à la demande de différents SPC (Rhin-Sarre et Meuse-Moselle notamment), des travaux de comparaison de modèles opérationnels ont été réalisés par Irstea. L'objectif était d'évaluer les forces et faiblesses du modèle GRP relativement à d'autres outils de prévision des crues déjà utilisés (modèles LARSIM, ATHYS, GESRES notamment) de manière à identifier les domaines de fiabilité respectifs [Lilas *et al.*, 2012 ; Riffiod, 2013 ; Furusho *et al.*, 2014]. Ces études, réalisées avec des protocoles de comparaison rigoureux, ont produit des résultats qui ont ensuite guidé les services opérationnels dans l'utilisation des modèles.

III.2.2. Identification des limites de l'outil

Les retours d'expérience sont toujours riches d'enseignement, surtout quand il s'agit d'échecs [Andréassian *et al.*, 2010]. Ils mettent en évidence les limites de l'outil, qui

appellent des développements spécifiques. Par exemple, au cours des événements de crue du printemps 2013 sur le bassin amont de la Seine, le modèle GRP a été mis en échec, avec des difficultés accrues pour le SPC SMYL dans la gestion de ces événements. Des analyses de sensibilité spécifiques ont alors été menées, montrant des améliorations potentielles avec des options de calage différentes initialement non envisagées dans l'outil [Stomp, 2014]. Confirmées sur un plus large échantillon de bassins versants, ces améliorations ouvrent la voie à une procédure de calage améliorée du modèle.

III.2.3. Quantification des incertitudes

La quantification des incertitudes est un élément essentiel dans l'interprétation des prévisions et leur communication dans la chaîne de décision [Ramos *et al.*, 2013]. Conscient de l'importance de ce point, le SCHAPI a soutenu à partir de 2010 des travaux de recherche à Irstea sur le développement de méthodes permettant d'apprécier les incertitudes associées aux prévisions. Deux approches ont été suivies. D'un côté, des abaques de quantification des probabilités de dépassement d'un seuil en fonction des incertitudes météorologiques futures ont été développés. Ils permettaient d'aider le prévisionniste à évaluer la sévérité d'un événement sur la base d'un très grand nombre de scénarios de pluies futures. Parallèlement à ces abaques, une méthode d'estimation des intervalles de confiance associés aux prévisions a été bâtie [Bourgin, 2014]. Cette approche a ensuite été reprise par un groupe de travail du SCHAPI pour développer un outil générique applicable aux modèles utilisés dans le réseau de la prévision (OTAMIN). Des travaux ont également été réalisés sur la communication des incertitudes [Ramos *et al.*, 2010]. Ces différentes actions ont été le lieu d'échanges intenses entre acteurs, permettant de développer des méthodes scientifiquement solides tout en répondant aux besoins opérationnels.

Ces travaux, ainsi que d'autres non détaillés ici [par ex. l'ajout d'un module neige, Valéry, 2010 ; Nicolle *et al.*, 2012], ont permis d'améliorer la généralité de l'outil opérationnel, en le dotant de fonctionnalités supplémentaires et en améliorant son ergonomie générale.

IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La recherche dans le domaine de la prévision hydrométéorologique doit nécessairement être à l'écoute des préoccupations, attentes et contraintes opérationnelles. Les travaux menés à Irstea au cours des 25 dernières années sur cette thématique ont conduit à des outils opérationnels, notamment autour du modèle GRP. Ils sont le résultat d'un dialogue permanent entre différents acteurs, opérationnels et scientifiques. Les résultats encourageants obtenus dans l'utilisation de ces outils montrent tout l'intérêt de ces synergies entre acteurs.

Pour poursuivre ces développements collaboratifs, différentes voies sont à explorer aujourd'hui. D'un point de vue technique sur le modèle lui-même, on pourra notamment citer :

- la question des bassins non jaugés, qui reste une préoccupation forte, au sein et au-delà du réseau étatique. Des travaux ont déjà été réalisés au sein d'Irstea au sein de l'outil AÏGA [Javelle *et al.*, 2010] mais d'autres approches complémentaires peuvent également apporter des résultats intéressants [Randrianasolo *et al.*, 2011].

- le développement de modélisations flexibles, s'adaptant à différents pas de temps, allant de l'infra-horaire jusqu'au journalier pour différentes problématiques ou contextes.

- le transfert des méthodologies développées pour la prévision probabiliste sur la base des prévisions d'ensemble météorologiques.

D'un point de vue organisationnel, l'utilisation d'outils de type collaboratif, que ce soit pour le développement partagé de l'outil ou pour le partage d'expériences via des forums, serait certainement à explorer à l'avenir. Enfin, les efforts de formation, réalisés dans les cycles coordonnés par le SCHAPI et l'IFORE, sont à poursuivre, que ce soit sur les aspects théoriques ou pratiques, de manière à renforcer les compétences globales au sein du réseau.

V. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les acteurs et partenaires qui ont permis de réaliser les travaux détaillés ici, en particulier le SCHAPI, Météo-France et les personnels des SPC.

VI. REFERENCES

- ANCTIL F., C. PERRIN ET V. ANDREASSIAN (2003) — ANN output updating of lumped conceptual rainfall/runoff forecasting models. *Journal of the American Water Resources Association*. **39(5)** 1269-1279
- ANDREASSIAN V., A. HALL, N. CHAHINIAN ET J. SCHAAKE (2006) — Introduction and Synthesis: Why should hydrologists work on a large number of basin data sets? *Large sample basin experiments for hydrological model parameterization: Results of the Model Parameter Experiment - MOPEX*, Paris. 1-5
- ANDREASSIAN V., C. PERRIN, L. BERTHET, N. LE MOINE, J. LERAT, C. LOUMAGNE, L. OUDIN, T. MATHEVET, M. H. RAMOS ET A. VALERY (2009) — HESS Opinions - Crash tests for a standardized evaluation of hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences*. **13** 1757-1764
- ANDREASSIAN V., C. PERRIN, E. PARENT ET A. BARDOSSY (2010) — Editorial: The court of miracles of hydrology: can failure stories contribute to hydrological science? *Hydrological Sciences Journal*. **55(6)** 849-856
- BAPTISTA M. (1990) — Contribution à l'étude de la propagation de crues en hydrologie. *PhD dissertation, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*. 287 p.
- BAPTISTA M. ET C. MICHEL (1989) — Une utilisation simple du modèle HAYAMI en hydrologie. *La Houille Blanche*. **2** 123-130
- BAPTISTA M. ET C. MICHEL (1990) — Influence des caractéristiques hydrauliques des biefs sur la propagation des pointes de crue. *La Houille Blanche*. **2** 141-148
- BENTURA P. L. F. (1996) — Développement d'une méthode de propagation de crue (méthode « délai stockage »). *PhD dissertation, Université Paris XII Val-de-Marne, France*. 489 p.
- BENTURA P. L. F. ET C. MICHEL (1997) — Flood routing in a wide channel with a quadratic lag-and-route method. *Hydrological Sciences Journal*. **42(2)** 169-189
- BERTHET L. (2010) — Prévision des crues au pas de temps horaire : pour une meilleure assimilation de l'information de débit dans un modèle hydrologique. *Thèse de Doctorat, Cemagref (Antony), AgroParisTech (Paris)*. 603 p.
- BERTHET L., V. ANDREASSIAN, C. PERRIN ET P. JAVELLE (2009) — How crucial is it to account for the antecedent moisture conditions in flood forecasting? Comparison of event-based and

- continuous approaches on 178 catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*. **13**(6) 819-831
- BOURGIN F. (2014) — Comment quantifier l'incertitude prédictive en modélisation hydrologique ? Travail exploratoire sur un grand échantillon de bassins versants. *Thèse de Doctorat, AgroParisTech (Paris), Irstea (Antony)*.
- CEMAGREF (2003) — Modélisation pluie-débit et prévision des crues sur des bassins versants du Nord-Pas-de-Calais (Helpe Mineure, Helpe Majeure, Solre, Aa et Liane). *DIREN Nord-Pas-de-Calais, Rapport d'étude*. 121
- CEMAGREF (2005) — Inventaire et diagnostic des modèles simples de prévision des crues déjà existants sur le bassin de la Seine. *Cemagref, DIREN Ile-de-France, Antony, Rapport d'étude*. 133
- FURUSHO C., C. PERRIN ET D. DORCHIES (2014) — Evaluation de modèles de prévision des crues sur le bassin de la Meuse Amont. SPC Meuse-Moselle. *Convention MEDDE – DGPR / SRNH 2013 Prévention des inondations, Rapport final d'étude*.
- FUSUHO C., C. PERRIN, R. LAMBLIN, D. DORCHIES, L. BERTHET ET V. ANDREASSIAN (2015) — Dynamique de collaboration entre acteurs opérationnels et scientifiques pour une amélioration des systèmes de prévision des crues en France. Sciences, Eaux et Territoires. *Revue L'innovation ouverte au service de l'environnement*. **17** 40-45
- JAVELLE P., L. BERTHET, P. ARNAUD, J. LAVABRE ET C. PERRIN (2008) — Comparaison de deux versions du modèle GR pour la prévision des crues sur un grand échantillon de bassins versants français. *Colloque SHF-191e CST « Prévisions hydrométéorologiques », Lyon, 18-19 novembre 2008, Lyon, France*. 5
- JAVELLE P., C. FOUCHIER, P. ARNAUD ET J. LAVABRE (2010) — Flash flood warning at ungauged locations using radar rainfall and antecedent soil moisture estimations. *Journal of Hydrology*. **394**(1-2) 267-274
- LERAT J. (2009) — Quels apports hydrologiques pour les modèles hydrauliques ? Vers un modèle intégré de simulation des crues. *Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie (Paris), Cemagref (Antony, Montpellier)*. 300 p.
- LERAT J., C. PERRIN, V. ANDREASSIAN, C. LOUMAGNE ET P. RIBSTEIN (2012) — Towards robust methods to couple lumped rainfall-runoff models and hydraulic models: A sensitivity analysis on the Illinois River. *Journal of Hydrology*. **418** 123-135, doi10.1016/j.jhydrol.2009.1009.1019
- LILAS D., C. PERRIN ET V. ANDREASSIAN (2012) — Comparaison et évaluation de trois modèles de prévision de crues sur le bassin de la Sarre. *SPC Meuse-Moselle CONVENTION MEDDE – DGPR / SRNH 2011 Prévention des inondations., Rapport final d'étude*.
- LOUMAGNE C., M. NORMAND, M. RIFFARD, A. WEISSE, A. QUESNEY, S. LE HEGARAT-MASCLE ET F. ALEM (2001) — Integration of remote sensing data into hydrological models for reservoir management. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*. **46**(1) 89-102, DOI 10.1080/02626660109492802
- LOUMAGNE C., J. J. VIDAL, C. FELIU, J. P. TORTEROTOT ET P. A. ROCHE (1995) — Procédure de décision multimodèle pour une prévision des crues en temps réel. Application au bassin supérieur de la Garonne (A multimodel weighting decision process for real time flood forecasting: Application to the upper Garonne watershed). *Revue des Sciences de l'Eau*. **8**(4) 539-561
- MUNIER S. (2009) — Modélisation intégrée des écoulements pour la gestion en temps réel d'un bassin versant anthropisé. *Thèse de Doctorat, Cemagref Montpellier, AgroParisTech*. 180 p.
- MUNIER S., X. LITRICO, G. BELAUD ET C. PERRIN (2014) — Assimilation of Discharge Data into Semidistributed Catchment Models for Short-Term Flow Forecasting: Case Study of the Seine River Basin. *Journal of Hydrologic Engineering*.
- NICOLLE P., A. VALERY, M. H. RAMOS, C. PERRIN ET V. ANDREASSIAN (2012) — Mieux prévoir les crues nivales : évaluation de prévisions probabilistes de débit sur des bassins versants de montagne français. *La Houille Blanche*. **2** 26-33
- ODIN L., A. WEISSE, C. LOUMAGNE ET S. LE HEGARAT-MASCLE (2003) — Assimilation of soil moisture into hydrological models for flood forecasting: a variational approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*. **29**(6) 679-686
- PERRIN C., L. CORON, T. C. FORTIER, FILION L., BERTHET V., ANDREASSIAN X., LITRICO S., MUNIER J., LERAT P., JAVELLE Y., LACAZE S., CHESNEAU R., LAMBLIN J., P. SILVA, C. CHALEON ET O. PIOTTE (2010) — Evaluation de modèles de prévision des crues sur le bassin de la Seine. Risques d'inondation en Ile de France, 100 ans après les crues de 1910. *Colloque d'hydraulique - 197ème session du Comité Scientifique et Technique, 24/03/2010 - 25/03/2010, Paris*.
- PERRIN C., L. CORON, T. FORTIER, S. MUNIER, X. LITRICO, L. BERTHET, J. LERAT, J. PESCHARD, P. JAVELLE ET V. ANDREASSIAN (2009) — Analyse et modélisation des sous-bassins amont du bassin de la Seine. *Rapport final. Cemagref, UR HBAN (Antony) et UMR G-Eau (Montpellier), DIREN Ile-de-France*. 261 p.
- RAMOS M. H., T. MATHEVET, J. THIELEN ET F. PAPPENBERGER (2010) — Communicating uncertainty in hydro-meteorological forecasts: mission impossible? *Meteorological Applications*. **17**(2) 223-235, doi 10.1002/met.1202
- RAMOS M. H., S. J. VAN ANDEL ET F. PAPPENBERGER (2013) — Do probabilistic forecasts lead to better decisions? *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **17**(6) 2219-2232
- RANDRIANASOLO A., M. H. RAMOS ET V. ANDREASSIAN (2011) — Hydrological ensemble forecasting at ungauged basins: using neighbour catchments for model setup and updating. *Adv. Geosci.* **29** 1-11
- RIFFIOD F. (2013) — Comparaison de deux modèles hydrologiques dans un contexte de prévision des crues. *Mémoire de Mastère Hydraulique, ENSEEIHT, Irstea Antony et Montpellier*. 36 p.
- SAFEGE ET CEMAGREF (2002) — Modélisation hydrologique sur les bassins versants amont de l'Oise, de l'Aisne et de l'Aire. *Rapport final. Entente interdépartementale pour la protection contre les inondations de l'Oise, de l'Aisne et de l'Aire, Rapport d'étude*. 155 p.
- SAFEGE ET CEMAGREF (2003) — Etude de mise au point de modèles de prévision des crues sur le bassin de l'Huisne et de la Sarthe amont. *DDE de la Sarthe, Rapport d'étude*. 146 p.
- STOMP Q. (2014) — Comment améliorer les performances du modèle GRP grâce au retour d'expérience sur les événements de crue de mai 2013 sur le bassin Seine ? *Ecole des Ponts ParisTech, Irstea, Antony, Mémoire de Master 2*. 54 p.
- TANGARA M. (2005) — Nouvelle méthode de prévision de crue utilisant un modèle pluie-débit global. *Thèse de Doctorat, EPHE*. 374 p.
- VALERY A. (2010) — Modélisation précipitations – débit sous influence nivale. Élaboration d'un module neige et évaluation sur 380 bassins versants. *Thèse de Doctorat, Cemagref (Antony), AgroParisTech (Paris)*. 405 p.
- WEISSE A., S. LE HEGARAT, D. AUBERT ET C. LOUMAGNE (2002) — Le projet européen AIMWATER : utilisation de l'humidité superficielle des sols mesurée par radar embarqué ERS/SAR pour la modélisation pluie-débit. *La Houille Blanche*. **(1)** 35-40, DOI 10.1051/lhb/2002003
- YANG X. (1993) — Mise au point d'une méthode d'utilisation d'un modèle pluie-débit conceptuel pour la prévision des crues en temps réel. *Thèse de Doctorat, ENPC/CERGRENE*. 350 p.
- YANG X. ET C. MICHEL (2000) — Flood forecasting with a watershed model: a new method of parameter updating. *Hydrological Sciences Journal*. **45**(4) 537-546, DOI 10.1080/02626660009492355