

## MODELO DE PREVISÃO HIDROLÓGICA: CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E DINÂMICA DA TRANSFERÊNCIA DE RESULTADOS DE PESQUISA AOS SERVIÇOS OPERACIONAIS NA FRANÇA

*Carina Furusho*<sup>1\*</sup>; *Charles Perrin*<sup>2</sup>; *Vazken Andreassian*<sup>3</sup> & *Maria-Helena Ramos*<sup>4</sup>

**Resumo** – O modelo hidrológico de previsão GRP vem sendo desenvolvido pelo Irstea há quase 10 anos. Concebido para simular a transformação chuva-vazão em modo contínuo e possibilitar a assimilação de dados de vazão coletados em tempo real, o modelo responde a um compromisso entre eficácia, parcimônia, robustez e facilidade de utilização. A plataforma de previsão operacional na qual encontra-se inserido o modelo GRP é difundida pelo SCHAPI, o Serviço central de apoio à previsão de inundações na França. Tal plataforma é atualmente utilizada em mais de 50% dos serviços locais de previsão de enchentes (SPC). O objetivo deste trabalho é de apresentar a evolução do modelo de previsão GRP, com foco na dinâmica de transferência de resultados de pesquisa aos serviços operacionais. Diversas pesquisas foram e têm sido conduzidas visando aprimorar o desempenho do modelo e enriquecê-lo com novas funcionalidades. Em paralelo, busca-se igualmente readaptar o sistema de previsão à partir da experiência dos previsoristas dos centros operacionais responsáveis pelos alertas às cheias. Esta interação tem se revelado uma fonte de reflexão muito rica para pensar novas formas de desenvolver tanto o modelo e suas representações matemáticas como o produto operacional que servirá de base para a tomada de decisão.

**Palavras-Chave** – Previsão hidrológica, modelo hidrológico, assimilação de dados em tempo real, avaliação

### HYDROLOGICAL FORECASTING MODEL: EVALUATION CRITERIA AND DYNAMICS IN TRANSFERRING RESEARCH RESULTS TO OPERATIONAL CENTERS IN FRANCE

**Abstract** – The hydrological model GRP has been developed at IRSTEA for almost 10 years. GRP was conceived to simulate continuous rainfall-runoff transformation and assimilate real-time discharge data, meeting a good compromise in terms of parsimony, efficiency, robustness and simplicity. The operational forecast platform containing GRP is managed by the French central hydrometeorological service for flood forecasting (SCHAPI). This platform is currently used by more than half of the local flood forecasting services (SPC). The objective of this paper is to present the evolution of the GRP model, focusing on the dynamics of transferring research results to operational services. Many research projects have been carried out to enhance the model performance and provide new functionalities. The feedback from the forecasters in charge of flood warning in the operational services is also constantly assessed to better adapt the system to their needs. This has revealed to be a valuable source of interaction to better develop not only the model and its mathematical representation but also the operational products intended to support decisions.

**Keywords** – Flood forecasting, hydrological model, real-time data assimilation, evaluation

<sup>1</sup> Afiliação: IRSTEA. 1 Pierre Gilles de Gennes, 92761 Antony France. [Carina.furusho@irstea.fr](mailto:Carina.furusho@irstea.fr)

<sup>2</sup> Afiliação: IRSTEA. 1 Pierre Gilles de Gennes, 92761 Antony France. [Charles.perrin@irstea.fr](mailto:Charles.perrin@irstea.fr)

<sup>3</sup> Afiliação: IRSTEA. 1 Pierre Gilles de Gennes, 92761 Antony France. [Vazken.andreassian@irstea.fr](mailto:Vazken.andreassian@irstea.fr)

<sup>4</sup> Afiliação: IRSTEA. 1 Pierre Gilles de Gennes, 92761 Antony France. [Maria-helena.ramos@irstea.fr](mailto:Maria-helena.ramos@irstea.fr)

## INTRODUÇÃO

As enchentes são as principais causas de mortalidade e prejuízos socio-econômicos entre os fenômenos naturais no mundo. Assim, é essencial que os países estejam munidos de sistemas de previsões e alertas para antecipar a ocorrência de eventos extremos. O manual de previsões e alerta a enchentes publicado pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2011) fornece uma ampla documentação sobre os diversos aspectos que devem ser considerados no desenvolvimento de sistemas de previsão e alerta, assim como exemplos tirados de diferentes países.

Na Europa, novas medidas foram tomadas na luta contra as consequências das inundações, traduzidas pela directiva 2007/60/CE do parlamento europeu. No seu texto introdutório, lê-se: “As inundações constituem uma ameaça que podem provocar perdas de vidas humanas e deslocamento de populações, (...), comprometer gravemente o desenvolvimento econômico e enfraquecer as atividades econômicas da Comunidade”. A nova directiva estabelece um quadro legal para a avaliação dos riscos de inundação, a cartografia de zonas inundáveis e a elaboração de planos de gestão dos riscos. Surgem assim novos desafios para as pesquisas em previsão hidrometeorológica e para os desenvolvimentos operacionais associados a estas pesquisas. Busca-se com estes novos trabalhos desenvolver sistemas de modelagem hidrometeorológicos suficientemente confiáveis para permitir a antecipação dos eventos de inundação e a gestão eficaz dos riscos.

O Sistema de alerta a enchentes europeu, EFAS (Thielen et al., 2009) é um exemplo de sistema desenvolvido para fornecer previsões de 3 a 10 dias de antecedência às autoridades nacionais e contribuir para a prevenção de eventos de enchentes em bacias européias transnacionais. Lançado em 2003 pelo Centro comum de pesquisa europeia (JRC), o projeto foi desenvolvido em colaboração com serviços nacionais de meteorologia e hidrologia. Uma das principais etapas da concepção do sistema foi dedicada a uma análise de pré-requisitos recolhidos junto aos serviços operacionais que seriam os utilizadores das previsões EFAS. Thielen et al., (2003) descrevem um workshop no qual foram identificadas as principais práticas e necessidades futuras do ponto de vista dos usuários finais. Outra fase importante desse processo, segundo Thielen et al. (2009), foi a preparação para a transferência do sistema e sua implementação operacional.

Na França, os esforços voltados para essa problemática culminaram na reestruturação da rede de Serviços de previsão de enchentes (SPC) e na criação do Serviço central de hidrometeorologia e apoio à previsão de inundações (SCHAPI) em 2003. Este último foi criado para coordenar e garantir a coerência nacional entre os serviços locais, assim como para centralizar a informação pública nacional relativa aos riscos de inundações ([www.vigicrues.gouv.fr](http://www.vigicrues.gouv.fr)), associando a carta hidrológica de risco de cheias à carta de vigilância meteorológica já existente. Em termos tecnológicos, tais esforços necessitaram o desenvolvimento de modelos hidrológicos de previsão robustos, capazes de modelar a relação chuva-vazão em tempo real, assimilando dados de redes telemétricas, e a criação de produtos de visualização das vazões previstas e dos riscos de inundações para a tomada de decisão relativa ao alerta a cheias.

Dentro deste contexto, desenvolver de maneira integrada a cadeia de modelagem meteorológica e hidrológica em estreita colaboração com previsionistas de centros operacionais e responsáveis pela tomada de decisão é fundamental, como ressaltam Dale et al. (2012) e Cranston e Tavendale (2012). Para que um sistema de previsão evolua e funcione de maneira satisfatória, é preciso que o canal de comunicação entre os centros de pesquisa e os serviços operacionais esteja sempre aberto. O ponto de vista dos usuários é indiscutivelmente essencial na definição dos objetivos de modelagem, mas igualmente importante na definição da forma de visualização das previsões (Bruen et al., 2010), particularmente para a comunicação das incertezas de previsão (Ramos et al., 2010). Técnicas emergentes como a previsão de conjuntos (ensemble) apresentam novos desafios tanto para a comunidade de pesquisa como para os centros de previsão operacionais (Cloke et Pappenberger, 2009).

Baseando-se no exemplo da dinâmica do desenvolvimento de um modelo utilizado pela maioria dos serviços locais de previsão de enchentes na França, o presente artigo propõe uma reflexão sobre a importância da comunicação com os serviços operacionais no desenvolvimento de modelos de previsão de cheias e ferramentas de suporte à decisão. Um breve resumo da evolução do modelo é seguido pela descrição de sua atual estrutura e dos critérios escolhidos para a avaliação da qualidade das previsões. Ênfase é dada para a dinâmica de transferência de resultados de pesquisa em modelagem hidrológica aos serviços operacionais de previsão

## DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE PREVISÃO HIDROLÓGICA GRP

### Evolução e difusão do modelo operacional

O modelo GRP herdou de uma longa série de trabalhos de pesquisa em modelagem hidrológica orientados para a simulação de vazões e a previsão de cheias. Os primeiros desenvolvimentos operacionais do modelo foram implementados na plataforma HYDROMATH do serviço de alertas da bacia Oise-Aisne, localizada no norte da França, em 2001 (Perrin *et al.*, 2003). Em 2005, o modelo passou a se chamar GR3P: “3” indicando que o modelo possui 3 parâmetros livres a serem calibrados e “P” para marcar sua vocação à previsão. GR3P foi instalado no centro de previsão do sistema hidrográfico formado pelas bacias Seine Moyenne-Yonne-Loing (SMYL), que inclui a cidade de Paris e seus subúrbios, em 2005. Hoje, este serviço utiliza o modelo em mais de 35 sub-bacias, tanto para a vigilância dos rios em tempo real como para as previsões. Ao longo dos anos, o modelo foi sendo calibrado e testado em várias bacias francesas e à partir de 2010, o SCHAPI passou a assegurar a difusão de licenças gratuitas à rede dos serviços locais de previsão de enchentes (SPC). Hoje mais da metade desses serviços utilizam GRP para a vigilância em tempo real e/ou para a previsão de (Figura 1).

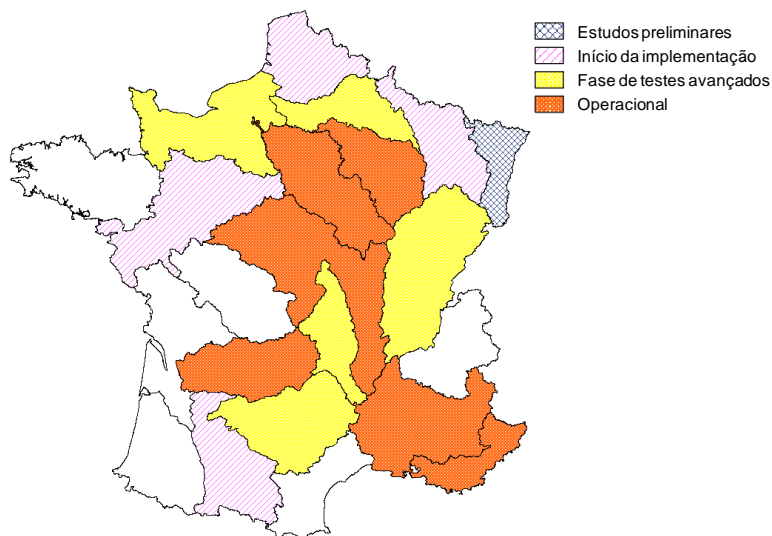


Figura 1 – Utilização do modelo GRP pelos Serviços de Previsão de Enchentes (SPC) na França. Fonte SCHAPI, 2012.

O modelo hidrológico de previsão GRP atualmente utilizado na França compreende um módulo de assimilação de dados de vazão em tempo real que foi desenvolvido nos trabalhos de doutorado de Tangara (2005). O modelo funcionava então em intervalos de tempo diários. Novas técnicas de assimilação de vazões e a adaptação do modelo para funcionar em intervalos de tempo horários foram examinados no trabalho de doutorado de Berthet (2010). Nos últimos anos, foram desenvolvidos e testados novas funcionalidades, como módulos dedicados aos processos de acúmulo e fusão da neve (Valéry, 2010) e métodos de propagação hidráulica para o funcionamento em modo semi-distribuído. Atualmente, esforços de pesquisa têm sido direcionados para a implementação de previsões probabilísticas para a previsão de vazões (Zalachori *et al.*, 2012), para

a previsão em bacias com pouco ou nenhum monitoramento hidrológico (Randrianasolo et al., 2011), assim como para a utilização de sistemas multi-modelos, a comunicação das incertezas das previsões e o uso na tomada de decisão (Ramos et al., 2010)

### Estrutura atual do modelo GRP

GRP é um modelo de previsão contínuo, o que significa que ao contrário dos modelos limitados aos episódios de chuva, ele funciona continuamente ao longo do tempo e utiliza o histórico de chuvas passadas para determinar o estado inicial de umidade da bacia hidrográfica no instante da previsão. Atualmente, GRP é um modelo concentrado, ou seja, a unidade espacial elementar da modelagem hidrológica é a bacia hidrográfica. Supõe-se assim que o comportamento hidrológico da bacia pode ser capturado mesmo sem considerar explicitamente a heterogeneidade espacial de suas características e a distribuição espacial das precipitações. A hipótese é que esta heterogeneidade teria um papel secundário comparado à influência dos valores médios das características da bacia e das quantidades das precipitações e seria representada de forma implícita na modelagem global da transformação chuva-vazão.

A estrutura do modelo GRP é composta por reservatórios (Figura 2), tratando-se assim de um modelo conceitual. A função de produção é baseada em um reservatório de monitoramento da umidade do solo e um coeficiente de ajuste da quantidade de precipitação que é otimizado para cada bacia (CORR). A função de transferência é constituída por um hidrograma unitário e um reservatório de transferência não-linear. O tempo de base do hidrograma unitário (TB) e a capacidade máxima deste último reservatório (ROUT) são também parâmetros a serem otimizados para cada bacia hidrográfica. Desta forma, o modelo só depende de três parâmetros otimizáveis. O baixo nível de complexidade confere ao modelo uma boa estabilidade assim como uma boa robustez.

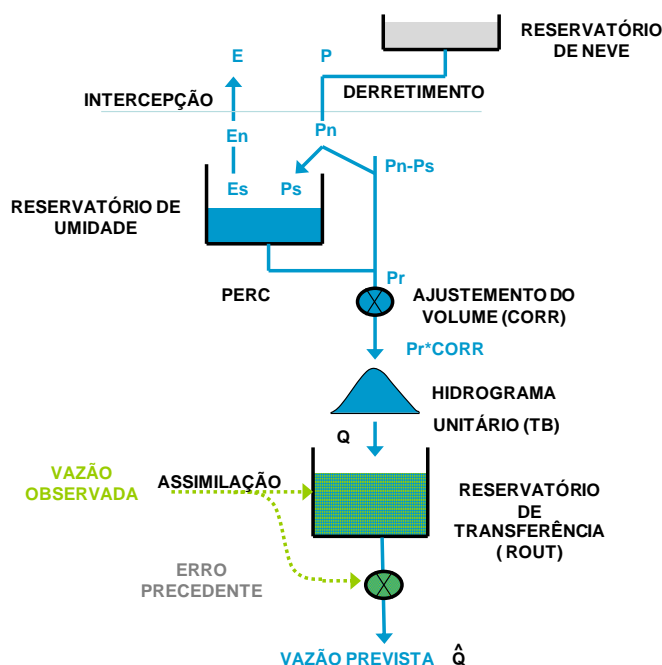


Figura 2 – Esquema da estrutura do modelo GRP, onde  $P$  é a precipitação total,  $E$  a evaporação total. O índice  $n$  indica valores após o processo de intercepção e o índice  $s$  indica entradas e saídas do reservatório de umidade (ou de produção).  $PERC$  é o fluxo de percolação e  $Pr$  o escoamento superficial, que é corrigido pelo parâmetro calibrado  $CORR$  antes de ser transferido pelo hidrograma unitário caracterizado pelo parâmetro de tempo de base  $TB$ . A capacidade máxima do reservatório final de transferência é definida pelo parâmetro  $ROUT$ , que também é otimizado. A vazão assimilada em tempo real é usada para corrigir o conteúdo do reservatório de transferência e o erro precedente para corrigir o valor da vazão prevista  $Q$ .

Outro aspecto que facilita a implementação do sistema é que o modelo precisa somente de dados de chuva, de evapotranspiração potencial e de vazão para ser calibrado e funcionar em modo previsão em tempo real. Quando necessário, o modelo pode ser completado por um módulo que efetua a modelagem do acúmulo e derretimento da neve, que requer dados de temperatura e funciona com dois parâmetros suplementares (Valéry, 2010; Nicolle et al., 2012).

Em tempo real, o modelo assimila dados observados de vazão por um método de atualização direta do reservatório de transferência, completado por uma função auto-regressiva que considera os erros de previsão passados. O trabalho de Berthet (2010) mostra que o método de redes neurais artificiais pode melhorar as correções feitas pela assimilação dos dados de vazão em tempo real, com efeitos mais significativos nos primeiros alcances das previsões. Este método está atualmente sendo implementado no modelo operacional para funcionar junto com a atualização direta do reservatório de transferência, que constitui o método mais eficaz para previsões de longo alcance.

### **Critérios de avaliação do sistema de previsão**

Os critérios numéricos e gráficos utilizados para avaliar o desempenho do modelo de previsão GRP evoluíram ao longo do tempo graças a esforços de pesquisa, mas principalmente em resposta às necessidades dos serviços operacionais de previsão.

Um aspecto importante que caracteriza os estudos e o trabalho de desenvolvimento do modelo GRP é o processo de testes e avaliações em amostras amplas, sempre envolvendo um grande número de bacias hidrográficas e uma variedade de condições climáticas e hidrológicas, como proposto por Andréassian *et al.* (2009). Este aspecto é primordial para garantir a flexibilidade do modelo e sua robustez na modelagem de eventos diversos que possam ocorrer na bacia. Uma consequência desta prática é a necessidade de critérios numéricos normalizados que permitam a comparação dos resultados de desempenho do modelo em diversas bacias. Estes critérios fornecem uma visão global do sistema e são bastante utilizados nas pesquisas. Na implementação do modelo em bacias específicas, os critérios calculados focalizam no entanto em cada bacia operada, em função da magnitude das vazões observadas e dos níveis de alerta definidos localmente em cada seção de rio de interesse para o alerta de cheias.

Um dos principais critérios numéricos usado para a avaliação do modelo é o erro quadrático médio (RMSE), definido pela equação abaixo, onde  $Q_{obs}$  é o valor de vazão observado e  $Q_{prev}$  é a vazão prevista pelo modelo no instante de previsão  $i$  e para o horizonte de previsão  $L$ . O RMSE é calculado considerando a média dos erros de previsão para os  $n$  instantes de previsão.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i+L) - Q_{prev}(i+L))^2} \quad (1)$$

Pela figura 3, pode-se constatar a degradação das previsões do modelo para horizontes mais distantes ao examinar a evolução deste critério em função do horizonte de previsão ( $L$ ): por exemplo, para a bacia ilustrada na figura 3, obteve-se um valor de RMSE igual a  $0.6\text{m}^3\text{s}^{-1}$  para as previsões de vazão de alcance de 6 horas e  $0.8\text{m}^3\text{s}^{-1}$  para as previsões de alcance de 24 horas. A avaliação foi feita considerando o período de 1970 à 2009.

Outro critério de interesse operacional é o critério de eficiência que compara as previsões efetuadas pelo modelo às previsões que seriam fornecidas por um modelo “naïf” de persistência (Kitadinis e Bras, 1980). No modelo de persistência, no momento  $i+L$ , para todo e qualquer horizonte de previsão  $L$ , a vazão prevista é igual ao último valor de vazão observado no instante  $i$  da previsão, ou seja,  $Q_{obs}(i)$ . A comparação entre o modelo de previsão e o modelo de persistência é feita usando os erros quadráticos médios em um critério adimensional ( $Eff$ ) definido pelo quociente entre os erros médios do modelo sendo avaliado (numerador) e os erros médios do modelo de referência dado pela persistência (denominador):

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n Q_{obs}(i+L) - Q_{prev}(i+L)}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}(i+L) - Q_{obs}(i)} \quad (2)$$

Este critério pode variar entre  $-\infty$  e 1. Se  $Eff = 1$  o modelo é “perfeito” (o erro médio é nulo). Se  $Eff = 0$ , o modelo avaliado é equivalente ao modelo de persistência. Um critério negativo (positivo) indica que o modelo testado fornece previsões piores (melhores) que as do modelo de persistência. Como os valores fortemente negativos do critério de eficiência  $Eff$  são difíceis de interpretar, sobretudo nos cálculos estatísticos em amostras com um grande número de bacias, uma versão limitada deste critério foi formulada por Mathevet *et al.* (2006) e denominada C2MP. Este novo critério é definido pela expressão:

$$C2MP = \frac{Eff}{2 - Eff} \quad (3)$$

O critério C2MP varia no intervalo  $]-1,1]$  e os valores 1 e 0 conservam os mesmos significados que têm para o critério de persistência  $Eff$ . A vantagem desta adaptação é de evitar que a média deste critério em uma amostra de muitas bacias seja muito influenciada por valores fortemente negativos. Enfim, como a principal responsabilidade dos centros de previsão de cheias operacionais na França é de prever se o nível dos rios irá exceder valores limites específicos, o modelo é também avaliado em termos da capacidade das vazões previstas a prever com antecedência a ultrapassagem de valores críticos. Para tanto são utilizadas tabelas de contingência e os critérios estatísticos típicos derivados destas tabelas (ver Bennett *et al.*, 2013, por exemplo, para maiores detalhes): probabilidade de detecção (*hit rate*), proporção de falsos alertas (*false alarm ratio*) e índice de sucesso crítico (*CSI*). A tabela no canto superior à direita da figura 3 ilustra esses critérios para a bacia do rio *Theil*, utilizada neste artigo como exemplo. Observa-se que o modelo prevê corretamente 80% dos eventos em que a vazão observada excede o limite crítico de alerta fixado para a bacia e que a taxa de alertas falsos é de 35%.

Além dos critérios acima citados, outras informações que não são detalhadas aqui podem ser encontradas na ficha de avaliação do modelo de previsão GRP ilustrada na figura 3, como, por exemplo, os dados de área da bacia, valores médios das vazões observadas, a dispersão dos erros em função da magnitudes das vazões previstas e o horizonte de previsão.

### DINÂMICA DA TRANSFERÊNCIA OPERACIONAL DO MODELO GRP

Os retornos de experiência relativos à utilização do modelo no contexto operacional são principalmente recolhidos em reuniões anuais junto aos usuários do modelo (“Le Groupe Utilisateurs”- GU), mas também através dos estudos de caso realizados em parceria SPC-SCHAPI-Irstea e durante workshops de formação.

As reuniões do GU são organizadas para que as evoluções recentes do modelo sejam amplamente divulgadas e, principalmente, para que os centros locais de previsão (SPCs) compartilhem suas experiências entre eles e expressem as dificuldades encontradas que necessitam de futuros desenvolvimentos. Estas reuniões são também importantes para acompanhar a evolução dos recursos que encontram-se disponíveis para os previsionistas (ou cuja disponibilidade é prevista à curto ou médio prazo), revelando novas fontes de dados que podem, potencialmente, ser incorporados no processo de modelagem para melhorar a qualidade das previsões e dos alertas emitidos pelo sistema. Por exemplo, este é o caso das previsões de precipitação pour conjunto (ensemble), indispensáveis para poder aumentar o alcance das previsões e a antecipação aos eventos de cheias, ou ainda das previsões de precipitação estimadas por radares meteorológicos, que oferecem informações complementares à curto prazo sobre a extensão espacial dos fenômenos meteorológicos e sobre o deslocamento dos sistemas precipitantes na bacia.

A priorização das ações de pesquisa e desenvolvimento previstas para cada ano é assim feita em função das discussões com os usuários. De acordo com a ordem estabelecida, é possível planejar os recursos para fomentar as colaborações nas áreas de pesquisa identificadas como prioritárias e para manter (ou reforçar) o suporte técnico necessário.

Além destas vias formais e periódicas, ressalta-se que manter um canal de comunicação aberto com as redes de previsão operacionais permite recolher informações importantes sobre o uso do modelo no dia-a-dia e, particularmente, após eventos severos de cheias, quando a capacidade de robustez do modelo é verdadeiramente colocada à prova.

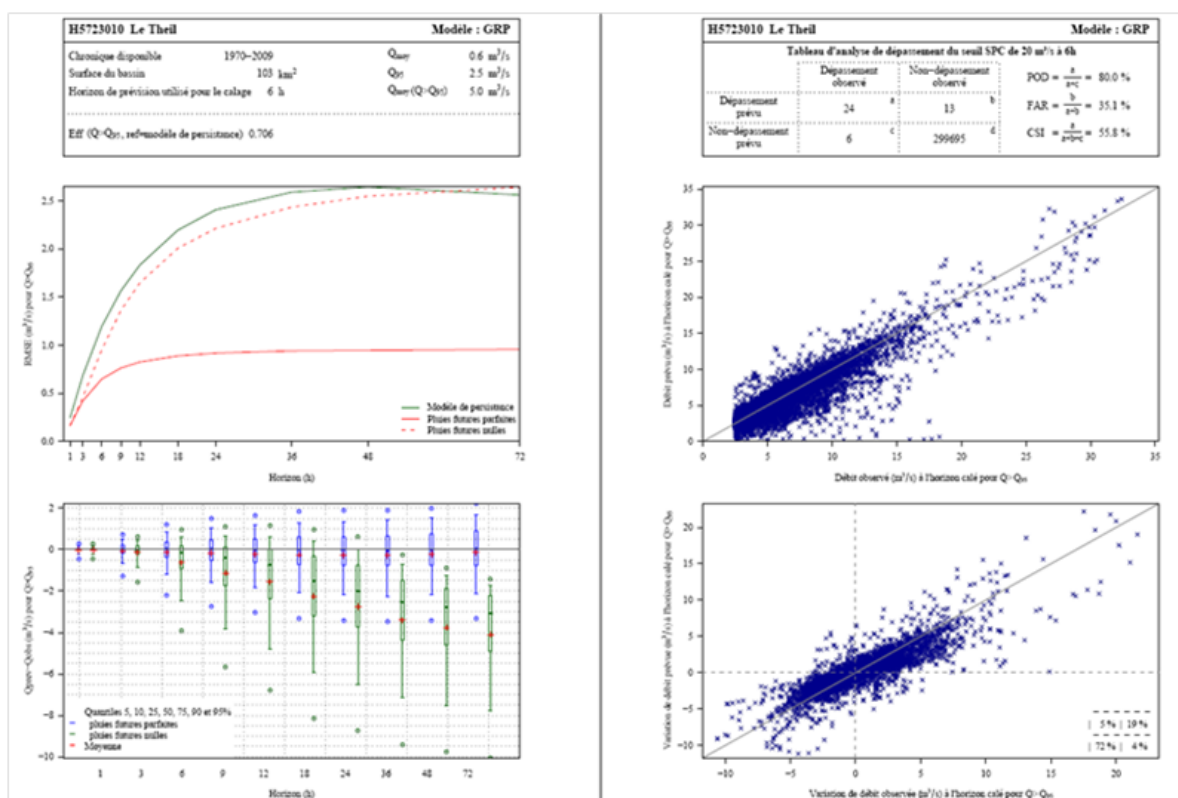


Figura 3: Exemplo da representação dos resultados do modelo GRP aplicado à bacia do rio Theil (França). À esquerda, o quadro apresenta os detalhes da calibração realizada (nome e superfície da bacia, período da série de dados, horizonte de previsão e estatísticas dos dados de vazão observados). Abaixo, seguem gráficos que mostram a evolução do erro quadrático médio (RMSE) com o alcance da previsão, e a diferença entre os valores de vazão previstos e observados em função do horizonte de previsão, para previsões acima do limite de um nível de monitoramento  $Q_{vig}$ . À direita o quadro no alto da figura mostra a tabela de contingência e os critérios relativos à ultrapassagem de níveis de alerta. Os gráficos que seguem mostram os valores de vazão previstos em função dos valores observados e as variações dos mesmos com as porcentagens correspondentes.

## CONCLUSÕES

Nesse artigo, foram apresentados um breve histórico do desenvolvimento do modelo de previsão hidrológica GRP, os principais critérios escolhidos para a avaliação do modelo e as ações programadas para manter a dinâmica de transferência dos resultados de pesquisa aos centros operacionais ao longo do desenvolvimento e da aplicação do modelo de previsão.

Destaca-se a importância de envolver os serviços operacionais em todas as fases do desenvolvimento do sistema de previsão, desde a concepção do modelo e a aquisição de dados a serem assimilados, passando pela definição dos critérios de avaliação das previsões, até a concepção de produtos de visualização e de comunicação eficiente das previsões para aumentar sua utilidade na tomada de decisões. Esta dinâmica pode ser enriquecida com atividades de treinamento

e workshops favorecendo o retorno de experiências e estudos de casos. No mais, favorecer o diálogo constante entre pesquisadores e previsoristas de centros operacionais é fundamental para que técnicas novas e avançadas de previsão possam ser integradas nos sistemas operacionais, trazendo benefícios para todos. Os atuais progressos na estimação e na comunicação das incertezas de previsões para a gestão de riscos hidrológicos poderão com certeza beneficiar de uma dinâmica de transferência bem estabelecida, principalmente se considerarmos os desafios operacionais que eles representam.

## REFERÊNCIAS

- ANDRÉASSIAN, V.; PERRIN, C.; BERTHET, L.; LE MOINE, N.; LERAT, J.; LOUMAGNE, C.; OUDIN, L.; MATHEVET, T.; RAMOS, M.H.; VALÉRY, A. (2009) *Crash tests for a standardized evaluation of hydrological models*. Hydrology and Earth System Sciences, 13: 1757–1764.
- BENNETT, N. D.; CROKE, B. F. W.; GUARISO, G.; GUILLAUME, J. H. A.; HAMILTON, S. H.; JAKEMAN, A. J.; MARSILI-LIBELLI, S.; NEWHAM, L. T. H.; NORTON, J. P.; PERRIN, C.; PIERCE, S. A.; ROBSON, B.; SEPPELT, R.; VOINOV, A.A.; FATH, B. D.; ANDREASSIAN, V. (2013). *Characterising performance of environmental models*. Env. Modelling & Software 40: 1-20.
- BERTHET, L. (2010). *Prévision des crues au pas de temps horaire : pour une meilleure assimilation de l'information de débit dans un modèle hydrologique*. Tese de Doutorado, 603 pp, Cemagref (Antony), AgroParisTech (Paris).
- BRUEN, M.; KRAHE, P.; ZAPPA, M.; OLSSON, J.; VEHVILAINEN, B.; KOK, K.; DAAMEN, K. (2010). *Visualizing flood forecasting uncertainty: some current European EPS platforms—COST731 working group 3*. Atmosph. Sci. Lett., 11: 92–99.
- CLOKE, H.; PAPPENBERGER, F.; VAN ANDEL, S.J.; SCHAAKE, J.; THIELEN, J.; RAMOS, M.H. (2013) *Hydrological Ensemble Prediction Systems. Preface to the Special Issue: Hydrological Ensemble Prediction Systems (HEPS)*. Hydrological Processes, 27, 1-4.
- CRANSTON, M.D.; TAVENDALE, E.C.W (2012). *Advances in operational flood forecasting in Scotland*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management, Vol.165 WM2 pp 79–87
- DALE, M.; DAVIES, P.; HARRISON, T. (2012). *Review of recent advances in UK operational hydrometeorology*. Proceedings of the Inst. of Civil Engineers Water Management. Volume 165, WM2.
- KITANIDIS, P.K.; BRAS, R.L. (1980). *Real-time forecasting with a conceptual hydrologic model*. 2. Applications and results. Water Resources Research, Vol. 16, No. 6, pp. 1034:1044
- MATHEVET, T.; MICHEL, C.; ANDRÉASSIAN, V.; PERRIN, C. (2006). *A bounded version of the Nash-Sutcliffe criterion for better model assessment on large sets of basins*, IAHS Red Books Series, 307, 211–219.
- PERRIN, C.; LOUMAGNE, C.; ANDRÉASSIAN, V.; MICHEL, C.; ROSIQUE, J.L. (2003). *Real time flood forecasting with rainfall-runoff models on the Oise River basin in France*. In Geophysical Research Abstracts do EGS-AGU-EUG joint assembly, Nice, 7-11 Abril 2003.
- RAMOS, M.H.; MATHEVET, T.; THIELEN, J.; PAPPENBERGER, F. (2010). *Communicating uncertainty in hydro-meteorological forecasts: mission impossible?* Meteorological App., 17: 223-235.
- RANDRIANASOLO, A., RAMOS, M.H.; ANDRÉASSIAN, V (2011). *Hydrological ensemble forecasting at ungauged basins: using neighbour catchments for model setup and updating*. Adv. in Geosciences, 29: 1-11
- TANGARA, M. (2005). *Nouvelle méthode de prévision de crue utilisant un modèle pluie-débit global*. Tese de Doutorado, 374 pp, EPHE, Paris.
- THIELEN, J.; DE ROO, A.; SCHMUCK, G. (2003): *First LISFLOOD ALERT workshop – practical benefit from European research*, <http://efas.jrc.it/workshop2003/reports/Summary-Report-1st EFAS-ws.pdf>, 2003.
- THIELEN, J.; BARTHOLMES, J.; RAMOS, M.H.; DE ROO, A. (2009) *The European Flood Alert System – Part 1: Concept and development*. Hydrology and Earth System Sciences, 13 (2): 125–140
- VALÉRY, A. (2010). *Modélisation précipitations – débit sous influence nivale. Élaboration d'un module neige et évaluation sur 380 bassins versants*, Tese de Doutorado, 405 pp, Cemagref (Antony), AgroParisTech (Paris).
- ZALACHORI, I.; RAMOS, M.H.; GARCON, R.; MATHEVET, T.; GAILHARD, J. (2012). *Statistical processing of forecasts for hydrological ensemble prediction: a comparative study of different bias correction strategies*. Advances in Science & Research, vol. 8, p. 135 – 141
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, WMO (2011). *Manual on flood forecasting and warning*, WMO-No 1072.