



Equipe Hydrologie des bassins versants

U.R. Hydrosystèmes et Bioprocédés

Offre de stage Année universitaire 2015-2016

1. Sujet

Analyse de la relation entre la valeur économique des prévisions hydrologiques et leur qualité : cas du secteur hydroélectrique

2. Type de stage

Stage de Master 2 ou de dernière année d'école d'ingénieurs

3. Organisme d'accueil et encadrant

Organisme d'accueil :

Irstea
UR Hydrosystèmes et Bioprocédés
1, rue Pierre-Gilles de Gennes CS 10030
92761 Antony Cedex
Web : <http://www.irstea.fr/linstitut/nos-centres/antony>

Encadrant :

Maria-Helena Ramos
Co-encadrant: Guillaume Thirel
Tel : 01 40 96 60 51
Contact : maria-helena.ramos@irstea.fr
Web : <http://webgr.irstea.fr>

4. Indemnité de stage

Indemnité mensuelle de 554.40 €

5. Profil du candidat

- Maitrise de la programmation informatique (R, Matlab et/ou Fortran)
- Notions de base en hydrologie, prévision hydrologique ou gestion d'ouvrages hydroélectriques
- Connaissances de base en statistiques et probabilités
- Aisance rédactionnelle et de communication orale
- Aptitude à dialoguer avec les acteurs opérationnels du secteur hydroélectrique
- Aptitude à travailler en équipe dans un contexte transdisciplinaire et international
- Bonne connaissance de l'anglais à l'oral et à l'écrit (échanges prévus avec des partenaires internationaux du projet européen IMPREX ; voir encadré ci-dessous)

6. Poursuite éventuelle en thèse

Possibilité de poursuite en thèse dans le cadre du projet européen IMPREX, www.imprex.eu

7. Description du sujet

- **Contexte**

L'utilisation de prévisions probabilistes de débits s'affirme de plus en plus en tant qu'approche plus adaptée pour l'évaluation des risques et la mise en vigilance pour la sécurité des personnes et des biens (Lalaurette et van der Grijn, 2002 ; Krzysztofowicz, 2001 ; Cloke et Pappenberger, 2009). En effet, dans la chaîne de prévision de débits, l'incertitude des modèles météorologiques de prévision de pluies joue un rôle important. Pour prendre en compte ces incertitudes, les services opérationnels de prévision des crues font de plus en plus appel aux systèmes de prévision météorologique d'ensemble. Dans la prévision d'ensemble plusieurs scénarios sont générés (Palmer *et al.*, 2005), ce qui permet, d'une part, d'étendre les échéances de prévision des variables à faible prédictibilité, telles les précipitations, et, d'autre part, de donner une mesure de l'incertitude des prévisions.

Par contraste à une solution unique (déterministe), la prévision probabiliste est vue comme mieux adaptée à l'analyse de risque et la prise de décision (Ramos *et al.*, 2013 ; Crochemore *et al.*, 2015). La valeur économique potentielle des prévisions probabilistes ressort notamment face aux utilisateurs exposés aux risques climatiques et hydrologiques à différentes échelles : génération d'électricité, agriculture et irrigation, navigation, sécurité et santé publiques, etc. (Buizza, 2008, 2001 ; Houdant, 2004 ; Boucher *et al.*, 2012 ; Pappenberger *et al.*, 2015).

A côté des incertitudes des forçages météorologiques, les prévisionnistes en hydrologie ont également à faire face aux incertitudes liées à la modélisation hydrologique (conditions initiales, structures des modèles et paramètres de la transformation précipitation-débit). Des choix de modélisation via des approches d'intégration de différentes sources d'incertitude et des approches multi-modèles (ex., Pappenberger *et al.*, 2005, 2008 ; Trang, 2011 ; Velazquez *et al.*, 2011 ; Bourgin *et al.*, 2014) ont ainsi été à la base de plusieurs études. L'intégration des incertitudes dans la chaîne de prévision hydrologique présente cependant différents défis, notamment liés à la qualité des prévisions à différentes échéances et à sa valeur économique (Pagano *et al.*, 2014). La réalisation d'études plus approfondies s'impose pour mieux comprendre :

- le lien entre la qualité d'une prévision et sa valeur économique (ou son utilité) ;
- la valeur d'une prévision d'ensemble pour des utilisateurs à objectifs définis ;
- le meilleur usage des prévisions probabilistes dans la prise de décision.

Dans ce contexte, les travaux de thèse d'I. Zalachori (2013), menées au sein de l'équipe Hydrologie des bassins versants à Irstea Antony et en collaboration avec EDF DTG à Grenoble (où la prévision d'apports en débits sous forme de distribution probabiliste connaît un historique de développement ; Garçon *et al.*, 2008 ; Desaint *et al.*, 2008), ont contribué à initier une réflexion sur les liens entre qualité et valeur d'une prévision de débits.

En effet, dans la gestion des apports aux barrages-réservoirs, il est primordial de pouvoir analyser différents scénarios possibles générés par la modélisation hydrologique pour une meilleure prise de décision relative au stockage/déstockage de l'eau dans les retenues. L'idée est de mesurer les possibilités d'améliorer la gestion en utilisant l'information produite par ces prévisions d'ensemble. Dans sa thèse, I. Zalachori (2013) s'est intéressée à évaluer des approches disponibles pour améliorer la qualité des prévisions pour les applications opérationnelles de la prévision hydrologique d'ensemble (Zalachori *et al.*, 2012) et à développer un modèle capable d'estimer les gains économiques de la gestion des apports en eau aux retenues de production hydroélectrique.

Si, d'une part, l'utilité de l'application d'un modèle de gestion pour évaluer le gain économique des prévisions a été clairement démontrée, d'autre part, les travaux entrepris ont également indiqué des nouvelles pistes d'investigation. Il serait notamment intéressant de i) mieux identifier les forces et faiblesses de l'approche utilisée, ii) mieux évaluer le lien entre qualité et valeur vis-à-vis des objectifs de prévision (hautes eaux ou basses eaux) et l'évolution temporelle des débits (saisonnalité), et iii) évaluer l'apport d'une meilleure prévision des extrêmes hydrologiques (par une meilleure prévision météorologique en entrée ou une meilleure modélisation de la transformation plie-débit) pour la valeur économique de la prévision.

Une telle étude est fondamentale, car elle montrerait l'intérêt de poursuivre des travaux qui cherchent à améliorer la qualité des prévisions hydrométéorologiques, sachant qu'elle aura un impact également en termes d'utilité et de gains économiques.

Les travaux proposés dans ce stage de Master s'insèrent dans ce contexte général. Ils contribueront directement au projet européen IMPREX (voir encadré ci-après) et s'insèrent dans le cadre des activités de l'initiative internationale HEPEX (www.hepex.org : *HEPEX, a community of research and practice for ensemble prediction*). En fonction de l'avancement et des résultats, l'étudiant(e) pourra être amené(e) à présenter ses travaux en communication orale ou poster lors du prochain colloque HEPEX à Québec en juin 2016¹

- **Objectifs du stage**

Le sujet de Master proposé vise à :

- étudier la relation entre la valeur économique des prévisions hydrologiques et leur qualité ;
- apporter des améliorations au modèle de gestion des apports aux réservoir-barrages développé à Irstea pour le secteur hydroélectrique ;
- évaluer l'impact des principales sources d'incertitude dans la chaîne de prévision hydrologique sur la valeur économique de la prévision de débits, en étudiant à la fois l'impact d'une meilleure qualité des prévisions de précipitation et l'impact d'une meilleure modélisation hydrologique.

- **Méthodologie générale et étapes de travail**

Pour ce travail, on s'appuiera sur les données et modèles suivants :

- Bassins versants : on s'intéressera au secteur sud-est de la France et, plus particulièrement, aux bassins versants à forts enjeux économiques et de sûreté pour EDF.
- Données observées : on utilisera les débits observés de la banque HYDRO et, pour les pluies, les données de ré-analyses sur la France de la base SAFRAN de Météo-France.
- Données de prévisions de pluie : on s'appuiera sur l'archive de prévisions de pluie sur la France déjà disponibles à Irstea et qui sera complétée pour les années récentes si besoin.
- Modèles hydrologiques : les modèles de la famille GR développés au sein de l'équipe seront à la base de cette étude et fourniront les prévisions hydrologiques qui seront utilisées par le modèle de gestion de réservoirs (modèles codés en R ou en Fortran).
- Le modèle d'optimisation de la gestion d'une retenue du type éclusée développé pendant la thèse d'I. Zalachori (Irstea) sera repris et amélioré (modèle codé en R).

¹ <http://hepex.irstea.fr/2016-hepex-workshop/>

De manière générale, les étapes de travail sont:

Etape 1 : étude bibliographique sur les méthodes d'évaluation de la valeur économique des prévisions hydrométéorologiques ;

Etape 2 : familiarisation avec le contexte et les données disponibles, prise en main des outils de modélisation existants et des méthodes classiques d'évaluation des prévisions en hydrologie ;

Etape 3 : constitution de la base de données et d'une méthodologie de travail pertinente répondant aux questions de recherche ;

Etape 4 : réalisation des simulations à partir des archives de prévisions disponibles ;

Etape 5 : analyse du lien entre qualité et valeur économique des prévisions ;

Ce travail donnera lieu à la rédaction d'un mémoire, et éventuellement celle d'un article si les résultats sont suffisamment novateurs.

The IMPREX project: Improving predictions and management of hydrological extremes

IMPRESX is an EU Research and Innovation project funded under the Horizon 2020 program. It is based on the philosophy that understanding present-day risks is an effective starting point for adapting to unprecedented future events. Taking into account potential climate trajectories and a collection of experiences in various vulnerable water-related sectors, IMPRESX will put current management decisions and practices in the context of an emergent future. In addition, the way in which current operational forecasts of potentially high-impact events at various time scales are utilized can still be improved, not only by enhancing the forecasting skill, but also by customizing the information to the stakeholders' needs, practice and decision context.

Different decisions are taken at different time scales. Hydrological extremes at short-to-medium time scales may trigger an emergency response, but an expected systematic change in the occurrence frequency of these events is what will guide long-term decisions on, for instance, infrastructure design or financial arrangements. For a better anticipation on future high impact hydrological extremes disrupting safety of citizens, agricultural production, transportation, energy production and urban water supply, and overall economic productivity, prediction and foresighting capabilities and their intake in these strategic sectors need to be improved.

IMPRESX uses current operational hydro-meteorological forecasting systems at short-to-medium and seasonal range coupled to core sectoral applications of different water resource management organisations as a starting point. Improvements to these forecasting systems are expected to have an immediate impact on the daily practice of stakeholders across different sectors of water management.

Coordinator: Royal Netherlands Meteorological Institute, The Netherlands

Partners: 23 European organizations

Start: October 2015, for a total duration of 4 years

Role of Irstea: Irstea (Antony) is the leader of the work-package 'Hydropower', where four European partners will study the impact of a better forecasting of hydrological extremes on hydroelectricity production in pilot sites in Europe (Italy, France, Spain and Sweden). In France, Irstea will work in collaboration with EDF DTG Grenoble. We will investigate a decision model based on a heuristic optimisation of energy production to provide insights on how economic gains may vary according to input variability and reservoir operation constraints. In IMPRESX, Irstea also contributes to the work-package "Improved predictability of hydrological extremes", led by ECMWF, the European Center for Medium Range Weather Forecasting, where focus is placed on improving rainfall-runoff modelling.

Website: www.imprex.eu

- **Références bibliographiques**

- Boucher M.-A., D. Tremblay, L. Delorme, L. Perreault, F. Anctil (2012). Hydro-economic assessment of hydrological forecasting systems. *Journal of Hydrology*, 416–417, 133–144.
- Bourgin, F., M.-H., Ramos, G., Thirel, V., Andréassian (2014). Investigating the interactions between data assimilation and post-processing in hydrological ensemble forecasting, *Journal of Hydrology*, 519, Part D, 2775–2784, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.07.054.
- Buizza R. (2001) Accuracy and economic value of categorical and probabilistic forecasts of discrete events. *Monthly Weather Review* 129: 2329–2345.
- Buizza, R. (2008) The value of probabilistic prediction. *Atm. Sci. Letters*, April 2008: 36-42. DOI: 10.1002/asl.170.
- Cloke, H.L., F. Pappenberger (2009) Ensemble flood forecasting: a review. *Journal of Hydrology*, 375 (3), 613-626.
- Crochemore, L., M.H. Ramos, F. Pappenberger, S.J. van Andel, and A. Wood, 2015: An experiment on risk-based decision-making in water management using monthly probabilistic forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* doi:10.1175/BAMS-D-14-00270.1, in press.
- Desaint, B., Nogues, P., Perret, C., Garçon, R., (2008) La prévision hydrométéorologique opérationnelle : l'expérience d'Electricité de France. *Proc. Colloque SHF «Prévisions hydrométéorologiques»*, Lyon, 18-19 novembre 2008, 43-50.
- Garçon, R., Houdant, B., Garavaglia, F., Mathevet, T., Paquet, E., Gailhard, J. (2008). Expertise humaine des prévisions hydrométéorologiques et communication de leurs incertitudes dans un contexte décisionnel. *Proc. Colloque SHF «Prévisions hydrométéorologiques»*, Lyon, 18-19 novembre 2008, 115-126.
- Houdant, B. (2004) *Contribution à l'amélioration de la prévision hydrométéorologique opérationnelle. Pour l'usage des probabilités dans la communication entre acteurs*. Thèse doctorat, ENGREF, EDF, 209 p.
- Krzysztofowicz, R. (2001) The case for probabilistic forecasting in hydrology. *J. of Hydrology* 249: 2-9.
- Lalaurette, F., van der Grijn, G. (2002) Ensemble forecasts: can they provide useful early warnings? *ECMWF Newsletter* 96: 10-18, Winter 2002/03.
- Pagano, T. C., Wood, A. W., Ramos, M.-H., Cloke, H. L., Pappenberger, F., Clark, M. P., Cranston, M., Kavetski, D., Mathevet, T., Sorooshian, S. and Verkade, J. S. (2014). Challenges of Operational River Forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, 15, 1692–1707, DOI: 10.1175/JHM-D-13-0188.1.
- Palmer, T., Buizza, R., Hagedorn, R., Lawrence, A., Leutbecher, M., Smith, L. (2005) Ensemble prediction; a pedagogical perspective. *ECMWF Newsletter* 106: 10-17, Winter 2005/06.
- Pappenberger, F., Bartholmes, J., Thielen, J., Cloke, H.L., Buizza, R., de Roo, A. (2008) New dimensions in early flood warning across the globe using grand-ensemble weather predictions. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L10404, doi:10.1029/2008GL033837.
- Pappenberger, F., Beven, K.J, Hunter, N.M., Bates, P.D., Gouweleeuw, B.T., Thielen, J., De Roo, A. (2005) Cascading model uncertainty from medium-range weather forecasts (10 days) through a rainfall-runoff model to flood inundation predictions within the European Flood Forecasting System (EFFS). *Hydrological and Earth Syst. Sci.* 9 (4): 381-393.
- Pappenberger F., H. L. Cloke, D. J. Parker, F. Wetterhall, D. S. Richardson, J. Thielen (2015). The monetary benefit of early flood warnings in Europe. *Environmental Science & Policy*, Vol. 51, 278–291.
- Ramos, M.H., S.J., Van Andel, and F., Pappenberger, 2013. Do probabilistic forecasts lead to better decisions? *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (6), pp. 2219-2232, doi:10.5194/hess-17-2219-2013.
- Van Pham, T., 2011. *Tracking the uncertainty in streamflow prediction through a hydrological forecasting system*. Master Civil Engineering and Management, University of Twente, The Netherlands, 74 p.
- Velazquez, J.A., Anctil, F., Ramos, M.H., Perrin, C. (2011). Can a multi-model approach improve hydrological ensemble forecasting? A study on 29 French catchments using 16 hydrological model structures. *Advances in Geosciences*, 29: 33-42, doi:10.5194/adgeo-29-33-2011.
- Zalachori, I. (2013). *Prévisions hydrologiques d'ensemble : développements pour améliorer la qualité des prévisions et estimer leur utilité*. Thèse de Doctorat, Irstea (Antony), AgroParisTech (Paris).
- Zalachori, I., Ramos, M.H., Garçon, 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. doi:10.5194/asr-8-135-2012.