

Vous êtes cordialement invité(e) à  
la soutenance de thèse de **Baptiste LABARTHE**  
intitulée

***Quantification des échanges nappe-rivière au sein de l'hydrosystème Seine,  
par modélisation multi-échelle***

**qui aura lieu mardi 29 mars 2016 à 14 h  
à MINES ParisTech, 60 bd Saint-Michel, 75006 Paris – Salle V334**

devant le jury composé de :

M. Stéphane CALMANT, Université Paul Sabatier de Toulouse, LEGOS	Rapporteur
M. Jean-Michel LEMIEUX, Université Laval (Canada)	Rapporteur
Mme Nathalie DÖRFLIGER, BRGM Orléans, Pôle Eau, Environnement et Ecotechnologie	Examinatrice
Mme Chantal de FOUQUET, MINES ParisTech, Géosciences	Examinatrice
M. Nicolas FLIPO, MINES ParisTech, Géosciences	Examineur
M. Patrick GOBLET, MINES ParisTech, Géosciences	Examineur
M. Julio GONCALVES, Aix-Marseille Université, CEREGE	Examineur
M. Alexandre PRYET, ENSEGID, Pessac	Examineur

**Résumé :** Compte tenu de l'évolution démographique et climatique planétaire, la gestion de la ressource en eau constitue un défi majeur auquel la communauté internationale devra faire face au cours du XXIème siècle. A cet effet, l'identification de la continuité hydrique entre les eaux de surface et les eaux souterraines permet l'introduction de la notion de gestion intégrée de la ressource. L'application de ce principe de gestion au bassin de la Seine, à travers l'estimation des **échanges nappe-rivière**, est rendue possible par la mise en pratique du concept d'**interface nappe-rivière** emboîtées au sein de travaux de modélisation. L'**interface nappe-rivière** peut être conceptualisée comme un objet multi-échelle dont la définition varie avec l'échelle d'étude. A l'échelle régionale, l'**interface nappe-rivière** est définie par la plaine alluviale. Au sein de la plaine alluviale, elle est caractérisée par le corridor fluvial, qui englobe finalement la zone hyporhéique. La géométrie de l'interface, de même que les flux s'y développant, s'emboîtent donc autour du réseau hydrographique. Si la conceptualisation de l'objet **interface nappe-rivière** peut présenter un caractère multiple en fonction de l'échelle d'étude, sa modélisation nécessite l'adoption d'une vision holistique des processus s'y développant. Pour cela une procédure de modélisation multi-échelle peut être mise en place. Elle vise à intégrer des informations locales (hétérogénéités structurales, hydrodynamique ...) au sein de modélisation à une échelle supérieure. Dans ce mémoire, une procédure de modélisation multi-échelle est mise en œuvre afin, d'une part, de préciser la dynamique des échanges au sein de la plaine alluviale de la Bassée et, d'autre part, de quantifier les échanges entre les milieux de surface et les milieux souterrains à l'échelle du bassin de la Seine. Ce protocole de modélisation est initié par une estimation des flux d'eau régionaux au sein de l'hydrosystème Seine. La cohérence globale de ces flux est garantie par le développement d'une méthodologie de calibration de modèles couplés en deux étapes. La première étape consiste à estimer les paramètres de surface. L'optimisation est réalisée par minimisation d'une fonction objectif multiple, dont les différentes parties sont associées à la reproduction de processus physiques. La minimisation de cette fonction objectif permet l'estimation non-biaisée de l'évapotranspiration, de la recharge et du ruissellement sur l'hydrosystème. Durant la seconde étape, les paramètres souterrains sont calibrés conditionnellement à l'estimation de la recharge effectuée lors de la première étape, assurant ainsi la cohérence globale des flux régionaux. Ensuite les informations locales des hétérogénéités de la plaine alluviale de la Bassée et de la représentation des interfaces nappe-rivière du réseau secondaire sont intégrées au modèle régional par une procédure de modélisation emboîtée et de changement d'échelle des paramètres hydrauliques. La mise en place de cette procédure a finalement permis l'estimation fine des échanges nappe-rivière sur la quasi-totalité (83 %) du réseau hydrographique naturel du bassin de la Seine et ainsi de répondre aux recommandations de gestion intégrée de la ressource faites par la directive cadre sur l'eau.

**Mots-clés :** Hydrologie, Hydrogéologie, Modélisation couplée, Echanges nappe-rivière, interface nappe-rivière, modélisation multi-échelle

*Vous êtes cordialement invité(e) au pot amical qui suivra la soutenance*

## Quantizing stream-aquifer fluxes at regional scale by multi-scale modelling of the Seine hydrosystem

**Abstract** : Given the current climate and anthropogenic evolutions, water management becomes one of the greatest challenges of the 21st century. For that purpose, identifying hydraulic continuity between surface and subsurface water leads to the concept of integrated water management. In this work this management concept is applied on the Seine basin by modelling stream-aquifer interfaces through space. Stream-aquifer interface can be seen as a multi-scale object of which description changes according to the scale study. At the regional scale the stream-aquifer interface consists of the alluvial plain. In the alluvial aquifer, the interface can be associated with the fluvatile corridor. Finally, the fluvatile corridor include the hyporh ic zone which represents the stream-aquifer interface at local scale. If stream-aquifer interfaces are differently described through space, modelling the hydrological processes occurring at the interface between aquifer and river system requires the conceptualization of the interface as an holistic entity. The implementation of this concept can be done through multi-scale modelling of stream-aquifer interfaces. This modelling procedure, aimed at embody the local characteristics of the interfaces (such as structural or hydrodynamic heterogeneities) in large scale models. In this work, a multi-scale modelling procedure is applied to the regional Seine basin model (~70000 km<sup>2</sup>) in order, to study the hydrodynamic behavior of the Bassée alluvial plain, and to quantify the stream-aquifer exchanged fluxes at the basin scale. The modelling protocol initiate with the regional fluxes estimation of the Seine hydrosystem. The regional fluxes consistency is assured by a two-step calibration procedure of hydrosystem models. The first step of the calibration methodology consists of a surface parameter estimation. The parameters are optimized by minimizing a multi objective function. This function can be divided in different components referring to the surface water processes (evapotranspiration, infiltration and runoff). The minimization of this objective function hence reflects the actual reproduction of the surface water balance by the model. During the second step, the subsurface parameters are conditionally calibrated to the aquifer recharge estimated during the previous step, and thus, guarantee the hydrosystem fluxes consistency. Then the local characteristics, of the Bassée alluvial plain, and of the secondary stream-aquifer interfaces are implemented in the regional model by nested modelling methodology associated with upscaling procedure of hydraulic properties. Finally, the multi-scale modelling procedure lead to the quantification of distributed stream-aquifer exchanged water fluxes over 83 % of the natural river network of the Seine basin, and thus, achieve to answer the integrated water resources management recommendations of the water framework directive.

**Keywords** : Hydrology, hydrogeology, coupled modeling, stream-aquifer interactions, stream-aquifer interfaces, multi-scale modelling