

## **Approche spatio-temporelle et modélisation pour l'identification et la quantification des échanges hydrauliques entre une rivière et sa nappe phréatique alluviale – application au fleuve Rhône**

Spatio-temporal approach and modeling for the identification and quantification of water exchange between a river and its alluvial aquifer – application to the Rhone River

Lalot Eric, Paron Frédéric, Batton-Hubert Mireille, Graillet Didier

Centre SPIN – Géo-environnement,  
Ecole nationale supérieure des Mines de Saint-Etienne, 158 Cours Fauriel  
42023 Saint-Etienne cedex 2, Mail : [eric.lalot@emse.fr](mailto:eric.lalot@emse.fr), Tel : 04. 77. 42. 66. 32  
Zone Atelier Bassin du Rhône

### **RÉSUMÉ**

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) impose à l'horizon 2015 de prendre en compte les masses d'eau souterraines pour la durabilité et la disponibilité des ressources en eau. Elle requiert une prise en considération des relations entre les masses d'eau, notamment superficielles et souterraines.

Dans ce cadre la dynamique des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines est étudiée, pour des aquifères alluviaux et à l'aide de trois types d'outils : les modèles déterministes, les modèles boîtes noires et les modèles d'analyse multi-variée spatiale. La complémentarité des résultats obtenus avec ces méthodes est analysée sur un secteur à forts enjeux socio-économiques, concernant l'usage de la ressource en eau, autour de Péage-De-Roussillon.

Les analyses corrélatoires et spectrales, sur les signaux de hauteurs de nappes et de rivières, ont permis de mettre en évidence des zones de comportements différents au sein de la nappe, ainsi que l'importance globale des interactions entre la nappe et la rivière. Un premier modèle hydrodynamique de la nappe a parallèlement pu être établi en intégrant les résultats d'un modèle d'écoulements surfaciques. Ces travaux s'insèrent dans le projet « Echanges nappes/Rhône » de l'accord-cadre entre la ZABR et l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse.

### **ABSTRACT**

The European framework directive on water requires by 2015 to take into account the groundwater bodies for durability and availability of water resources. It requires taking into consideration the relationship between water bodies, especially surface water and groundwater.

In this frame, the exchange dynamics between surface water and groundwater is studied for alluvial aquifers by means of three types of tools: deterministic models, black box models and models of multivariate spatial analysis. The complementarity of the results hence obtained is discussed on an area with high socio-economic stakes concerning the use of water resources around Péage-de-Roussillon (France, Rhône river).

Correlative and spectral analysis, on groundwater and surface water head signals, allowed defining areas of different hydraulic behaviors within the aquifer as well as the importance of the river-aquifer interactions. A groundwater hydrodynamic model has been established by integrating the results of a surface water model. These works are part of the "Rhône aquifer exchanges" project of the framework agreement between the ZABR and the Rhône-Méditerranée-Corse water agency.

### **MOTS CLES**

Analyse spectrale et corrélatoire, échanges nappe-Fleuve (Rhône) et zone d'interface, modèle hydrodynamique

## 1 INTRODUCTION - CONTEXTE

La zone considérée dans l'étude correspond à la couche d'alluvion de la vallée du Rhône située entre Condrieu, au nord, et Andancette, au sud. La longueur de la surface d'étude avoisine les 22km, selon un axe nord sud, pour une largeur comprise entre 2 et 4 km.

Les alluvions ont une épaisseur comprise entre 10 et 30m avec un minimum d'épaisseur sous le Rhône. Le matériau alluvial est globalement très perméable avec une conductivité hydraulique variant de  $10^{-4}$  à  $10^{-2}$  m/s. Le substratum est constitué par une couche argilo-marneuse très peu perméable.

La zone d'étude, fortement anthropisée, est soumise à de forts enjeux socio-économiques. On y trouve ainsi : une centrale nucléaire, de nombreux aménagements hydro-électriques, une forte concentration d'industries chimiques et une réserve naturelle. Des enjeux agricoles et d'alimentation en eau potable s'y rajoutent localement. La nappe alluviale est donc soumise à une forte exploitation (masse d'eau considérée en déficit) et à des conflits d'usages.

Dans ce cadre les échanges entre la nappe alluviale et le Rhône doivent être étudiés. Le Rhône semble en effet jouer un rôle majeur dans l'alimentation de la nappe.

## 2 METHODE

Une période 5,5 ans a été considérée dans l'étude avec un pas de temps de 4h entre les mesures de niveau d'eau. Une vingtaine de points de mesure de niveau en nappe et 5 points de mesure de niveau en rivière ont été utilisés. Ces points sont répartis de façon non homogène sur la zone d'étude : la partie centrale étant la plus riche en données est celle qui est étudiée la plus finement. Les chroniques piézométriques incomplètes et présentant des anomalies ont été reconstituées sur l'ensemble de la période. Cette reconstitution s'est faite par apprentissage à l'aide de modèles autorégressifs linéaires.

Différents tests, utilisant des techniques de traitement du signal, ont été réalisés pour caractériser le comportement de la nappe. Ces tests ont consisté en une analyse en composantes principales spatialisées des signaux de hauteurs de nappe (Longuevergne et al., 2007). Des analyses corrélatoires et spectrales, fondées sur l'analyse de Fourier et en ondelettes (Salerno, 2009) ont également été réalisées sur ces mêmes signaux.

Parallèlement, un modèle physique déterministe a été mis en place. Ce modèle comporte une composante d'écoulement surfacique utilisant les équations de Barré Saint-Venant afin de reproduire le niveau du Rhône en tous points de la zone d'étude en fonction du temps. Les résultats ainsi obtenus ont ensuite été introduits dans un modèle hydrodynamique de la nappe. Un schéma de calcul aux différences finies est utilisé pour le module surfacique tandis que la méthode des éléments finis est utilisée par le module de résolution des écoulements souterrains.

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse en composantes principales a permis de dégager les deux principaux facteurs explicatifs des fluctuations de la nappe : respectivement les variations du niveau du Rhône et les fluctuations des volumes prélevés en nappe. Le niveau du Rhône explique la majeure partie de la variance des signaux de nappe.

Parallèlement, les analyses corrélatoires et spectrales sur les signaux de hauteurs de nappes et de rivières ont permis de mettre en évidence des zones de comportements différents au sein de la nappe.

Ces zones ont été caractérisées à partir :

- D'un filtrage fréquentiel entre le signal de hauteur d'eau de la rivière et le signal piézométrique de la nappe (diminution au sein de la nappe des périodes à fortes variations de hauteur pour des courtes durées quand on s'éloigne du Fleuve),
- Du calcul du temps de retard et de l'atténuation du signal de la nappe vis-à-vis de celui de la rivière,
- De l'analyse de la cohérence entre signaux, soit la corrélation entre le signal de nappe et de rivière (une corrélation significative entre le niveau du Rhône et le niveau piézométrique de la

nappe a pu être observée sur l'ensemble de la partie centrale de la zone d'étude).

Ces paramètres de caractérisation ne sont pas toujours corrélés. Ceci peut s'interpréter par la présence de conductivités hydrauliques, de coefficients d'emmagasinements et de niveaux d'eau variables dans la nappe.

Le modèle déterministe a permis une reconstitution relativement bonne des fluctuations du Rhône. Le niveau piézométrique en rive droite du Rhône a pu être assez finement reconstitué. Ce résultat a permis de mettre en valeur le rôle important joué par le Rhône sur les fluctuations de niveau de nappe qui sont observées. Cependant, la non prise en compte de l'inondabilité de la plaine alluviale ne permet pas pour l'instant de reconstituer les niveaux piézométriques en rive gauche du vieux Rhône.

De nombreux essais de modélisation ont dû être menés pour mieux comprendre les processus de colmatage qui se déroulent à l'interface nappe-rivière. Malgré cela les incertitudes sur les variations du niveau de la nappe demeurent car elles sont influencées par les volumes prélevés qui ne sont connus qu'imparfaitement.

#### 4 CONCLUSION

Des processus d'échanges peuvent être établis entre la nappe et le fleuve à l'aide des différentes méthodes mises en œuvre qui consistent à déterminer les principaux facteurs explicatifs du signal (pluie, piézométrie, pompage). Les analyses corrélatoires et spectrales sont par conséquent susceptibles de fournir dans ce cas une aide à l'implémentation d'un modèle déterministe.

Il est prévu de compléter ce travail de modélisation en intégrant les variations de niveau d'eau des annexes hydrauliques du fleuve Rhône (lônes, contre-canaux, affluents).

#### BIBLIOGRAPHIE

- Longuevergne, L., Florsch N., Elsass P. (2007). *Extracting coherent regional information from local measurements with Karhunen-Loève transform: Case study of an alluvial aquifer (Rhine Valley, France and Germany)*, In Water resources research, 43, W04430
- Salerno, F., Tartari, G. (2009). *A coupled approach of surface hydrological modelling and Wavelet Analysis for understanding the baseflow components of river discharge in karst environments*, In Journal of hydrology, 376, 295-306
- Vernoux, J.F., Lions, J., Petelet-Giraud, E., et al. (2010). *Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE*, In rapport BRGM/RP-57044, 1-207