

Vers une meilleure compréhension du fonctionnement karstique de la Fontaine des Chartreux : apports de l'hydrochimie et de la modélisation hydrologique

Clément Roulet, Valérie Plagnes, Ludovic Oudin, Émilie Solignac¹.

Présentation de la Fontaine des Chartreux et contexte de l'étude

La Fontaine des Chartreux est une importante résurgence karstique utilisée pour l'alimentation en eau potable (AEP) de la ville de Cahors (Lot, France, Fig. 1). En tant que source d'eau potable, son bassin d'alimentation (environ 250 km²) doit être protégé au moins en partie par un périmètre de protection. Pour définir ses limites, l'hydrogéologue agréé s'appuie sur l'ensemble des connaissances disponibles relatives à la structure et au fonctionnement du système karstique.

Cette étude, réalisée pour la Ville de Cahors, se place dans ce contexte de définition du périmètre de protection de la source. L'alimentation de la Fontaine des Chartreux est assurée par les pluies sur le bassin d'alimentation d'une part, et par une ou plusieurs pertes de la rivière Lot, d'autre part. L'objectif est de proposer un modèle représentant le fonctionnement du système karstique, afin de quantifier les apports du Lot et leurs variations saisonnières sur la période 2000-2007 (Solignac, 2006 ; Roulet, 2007).

Il existe plusieurs types de modèles hydrogéologiques pour représenter les flux d'eau dans les systèmes karstiques, allant de modèles statistiques « boîtes noires » à des modèles tentant de décrire tous les processus physiques. Nous avons opté pour le développement d'un modèle conceptuel à réservoirs qui a déjà été utilisé avec succès pour décrire les hydrogrammes des systèmes karstiques à résurgence vauclusienne (Fleury, 2005 ; Fleury *et al.*, 2007).

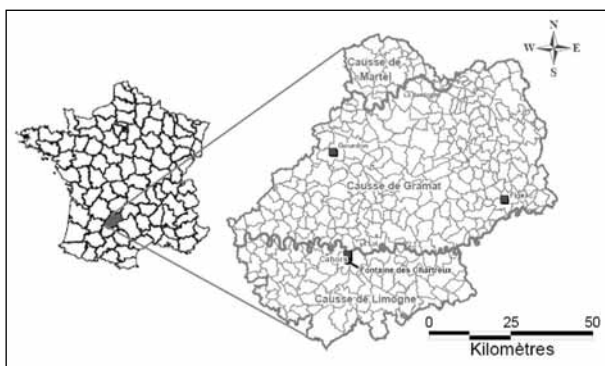


Figure 1. Localisation du secteur d'étude.

Structure générale du modèle hydrologique

Ce modèle comporte deux parties distinctes : la fonction de production qui permet de calculer la pluie efficace à partir des données journalières de pluie et d'évapotranspiration potentielle (ETP), et la fonction de transfert qui permet de transformer la pluie efficace en débit à la source (Fig. 2). La fonction de production est celle du modèle GR4J (Perrin *et al.*, 2003) et la fonction de transfert est celle du modèle de Fleury (2005), fonction qui a montré son efficacité dans différents systèmes karstiques importants, notamment la Fontaine de Vaucluse (Fleury *et al.*, 2007).

La fonction de transfert est composée de deux réservoirs qui se vidangent de manière différente : l'un est à vidange rapide et représente les écoulements rapides dans les drains karstiques (fonction transmissive), et l'autre est à vidange lente et représente l'écoulement des réserves du karst (fonction capacitive).

Afin de simuler les apports du Lot, une fonction a été ajoutée à la fonction de production et détermine le débit en provenance du Lot (voir le schéma de fonctionnement du modèle dans la figure 2). Le modèle final comporte 4 réservoirs et 4 paramètres calés, les détails sont donnés dans l'étude de Roulet (2007).

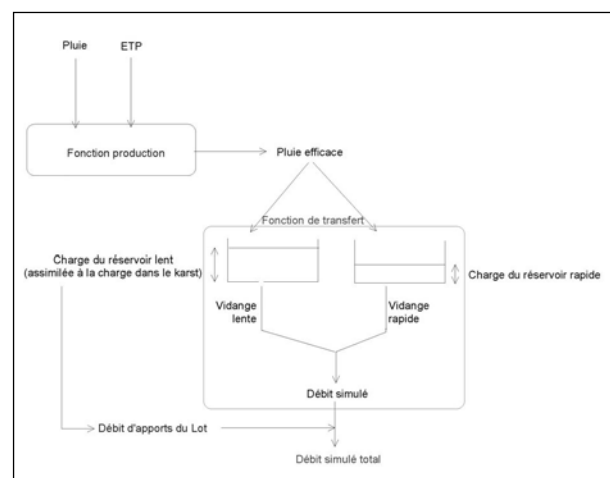


Figure 2. Structure simplifiée du modèle à réservoirs de la Fontaine des Chartreux.

¹ Université Pierre et Marie Curie – Paris 6, UMR 7619 Sisyphé, cc 105, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex. Contact : valerie.plagnes@upmc.fr

Détermination de la contribution du Lot au débit de la Fontaine des Chartreux

Apport de l'hydrochimie

Nous avons utilisé des données chimiques mensuelles acquises par le SATESE² sur la source et dans le Lot en amont des pertes sur la période 2000-2006. Les analyses n'étant pas complètes sur les deux sites, nous avons choisi deux éléments (calcium et sulfate) qui, bien que non conservatifs, permettent de distinguer les deux pôles du mélange. L'eau du karst présente les plus fortes concentrations en Ca à cause de la dissolution des calcaires et l'eau du Lot présente les plus fortes concentrations en sulfates (Danneville, 1991). Il est apparu que lors des étiages, le débit en provenance du Lot est le plus important et atteint environ 50 % du débit observé à la Fontaine, voire plus. En crue, ce débit est pratiquement nul. C'est aussi ce que Barrère suppose à partir de ses suivis (Barrère, 2004).

Prise en compte des apports du Lot dans le modèle

Les informations issues de la chimie ont permis de contraindre la forme des apports du Lot dans le modèle. À la fonction de production a donc été ajouté un réservoir représentant les apports du Lot, et dont la vidange dépend linéairement de la charge dans le karst, matérialisée dans ce modèle par le niveau dans le réservoir lent (Fig. 2).

Si la charge hydraulique est importante dans le karst (période hivernale), le débit d'apport du Lot est nul et si la charge diminue (période estivale), le débit d'apport du Lot croît. Il existe un maximum au débit d'apport du Lot, et ce maximum est déterminé lors de la phase de calage du modèle.

Résultats des simulations

Avec cette structure d'apports du Lot, la simulation des débits de la Fontaine des Chartreux obtenue est satisfaisante et les critères de qualité sur les débits (erreurs sur les forts débits prédominantes) ou les racines carrées des débits (erreurs sur les faibles débits prédominantes) sont recevables (Fig. 3). L'hydrogramme simulé manque un peu de réactivité par rapport à l'hydrogramme observé (les fortes crues de courte durée sont souvent sous estimées), mais les débits d'étiage et de crue sont globalement bien représentés. Le débit simulé en provenance du Lot est assez variable, ce qui montre que le modèle utilise toutes les caractéristiques de la fonction d'apports.

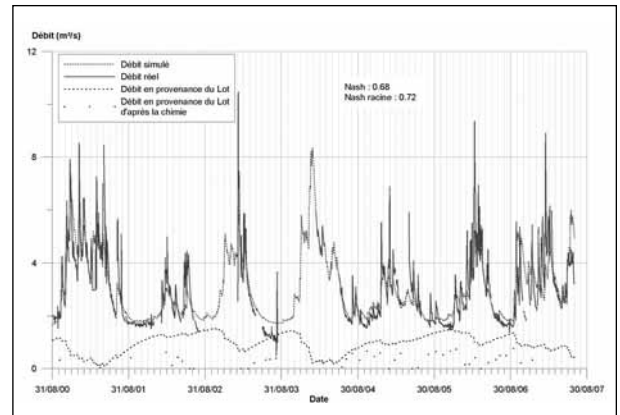


Figure 3. Résultat des simulations (Roulet, 2007).

Le débit d'apport simulé est sensiblement plus élevé que celui déduit des données chimiques (d'après la chimie, le pourcentage d'eau du Lot varie de 0 à 46 % ; d'après la simulation, ce pourcentage varie de 0 à 80 % pour certains étiages). L'écart peut être attribué à la plus ou moins bonne représentativité des deux pôles de mélange à partir des analyses chimiques disponibles. Non seulement, les éléments choisis pour le calcul des mélanges ne sont pas conservatifs, notamment les concentrations en calcium qui augmentent dans les eaux karstiques lors de l'étiage du fait du temps de séjour prolongé dans le système. Mais en plus, le site de prélèvement sur le Lot (Saint-Pierre-Toirac) est trop en amont des pertes supposées.

Conclusions et perspectives

Le modèle réalisé sur la période 2000-2007 permet de simuler correctement le débit de la Fontaine des Chartreux. Dans son état actuel, ce modèle a permis d'améliorer la connaissance sur le fonctionnement des pertes du Lot. À partir de prévisions de précipitations, ce modèle peut aussi constituer un outil de gestion (des crues et des étiages) pour les services techniques de la Ville de Cahors.

La proportion d'eau du Lot à la Fontaine des Chartreux pourra être vérifiée dans le futur par un suivi chimique approprié à la source et dans le Lot, juste en amont des pertes supposées du Lot (Arcambal). Ce suivi permettra d'une part, de vérifier les résultats fournis par le modèle en ce qui concerne la fonction d'apport du Lot, et d'autre part d'affiner les paramètres du modèle de manière à se rapprocher le plus possible du débit d'apport réel.

D'autre part, les conditions climatiques se sont révélées non stationnaires entre les deux périodes de suivi du débit de la Fontaine des Chartreux : la période 1976-1983 a connu une pluviométrie de 25% supérieure à

celle de la période 2000-2007, et le débit spécifique a baissé de près de 40% entre les deux périodes. Le modèle calé sur la période « sèche » n'est pas performant sur la période « humide » et inversement. Une fonction de trop plein, active uniquement en cas de charge élevée dans le karst et dont la mise en fonctionnement serait fixée par seuil, pourrait être ajoutée au modèle. Le modèle serait alors en mesure de simuler les débits de la source ainsi que le débit d'apport du Lot quelles que soient les conditions de recharge de l'aquifère karstique.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention avec la Ville de Cahors, nous remercions Mr Tassan de sa confiance. L'étude a aussi bénéficié de la contribution de Messieurs Barrère, Caussanel, Delporte, Mangin, Marchet, Ricard et Tarrisse, qu'ils en soient remerciés.

Bibliographie

- Barrère R., 2004. Fontaine des Chartreux à Cahors - Études hydrauliques V - Réflexions au sujet d'entrées d'eau du Lot dans le système de la Fontaine. Rapport d'expertise de la DDAF du Lot, 28p.
- Danneville L., 1991 : Étude de la fontaine des Chartreux à Cahors (application des analyses multidimensionnelles et des analyses corrélatoires et spectrales). Mémoire de DEA National d'Hydrologie, Université Paris XI, 176 p.
- Fleury P., 2005 : Sources sous-marines et aquifères karstiques côtiers méditerranéens. Fonctionnement et caractérisation. Thèse de doctorat, Université Pierre & Marie Curie (UPMC), Paris, 286p.
- Fleury P., Plagnes V., Bakalowicz M., 2007 : Modelling of the functioning of karstic aquifers and flow-rate simulation: Fontaine of Vaucluse (SE France). Journal of Hydrology, Vol. 345, Issues 1-2, 38-49.
- Perrin C., Michel C., Andréassian V., 2003 : Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Journal of Hydrology, Volume 279, Issues 1-4, 275-289.
- Roulet C., 2007. Modélisation du système karstique de la Fontaine des Chartreux (Lot, France). Mémoire de Stage de fin d'étude, École Polytechnique Paris, UPMC (Université Paris VI). 58 p.
- Solignac E., 2006 : Modélisation du fonctionnement du système karstique de la Fontaine des Chartreux (Lot, France). Mémoire de Master 2, Université Pierre & Marie Curie. 62 p.