

Le système karstique de la Fontaine des Chartreux : approche couplée par la modélisation et la géochimie pour quantifier les apports du Lot

François Moussu, Valérie Plagnes, Ludovic Oudin, Clément Roulet

UMR 7619 Sisyphe, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex, France

Introduction

La Fontaine des Chartreux est une importante source karstique, elle alimente la ville de Cahors en eau potable. La configuration originale de ce système karstique (SK) où l'eau de la source est un mélange d'eau en provenance du Lot et d'eau karstique demande une connaissance approfondie de cette contribution. L'approche présentée ici s'inscrit dans l'optique d'une meilleure compréhension du fonctionnement du SK des Chartreux, l'objectif étant de quantifier la contribution de la rivière Lot dans le SK. Nous présenterons les caractéristiques de ce SK et, son fonctionnement hydrologique à partir des données à notre disposition. En effet un suivi régulier de la source a commencé en 1976 mais celui-ci n'a pas été réalisé en continu. Ainsi, nous avons à notre disposition deux périodes aux conditions climatiques très différentes : une période humide 1976/1983 (925mm/an) et l'autre sèche 2000/2007(780mm/an). Nous aborderons également le fonctionnement géochimique particulier de la fontaine et comment la détermination de la contribution du Lot a pu être estimée à l'aide d'analyses géochimiques. Enfin à partir de ces informations, nous avons développé un modèle pluie-débit capable de tenir compte des apports, et de les quantifier au cours du temps.

Le système karstique de la Fontaine des Chartreux

La Fontaine des Chartreux est l'exutoire principal d'un SK dont le bassin d'alimentation est estimé à 250km², situé sur le Causse de Limogne au cœur du Parc naturel régional des Causses du Quercy. Le SK est développé dans les calcaires du Jurassique supérieur d'âge Callovien, Oxfordien et Kimméridgien inférieur, faiblement inclinés en direction du Nord-Ouest. Dans la partie aval du bassin versant, les terrains argileux du Kimméridgien supérieur se superposent en continuité stratigraphique, à l'ensemble inférieur. D'un point de vue hydrologique, le SK de la Fontaine des Chartreux reçoit une lame d'eau moyenne de 865 mm par an. L'originalité de ce SK vient du fait que l'alimentation de cet aquifère se fait d'une part par les pluies que reçoit le bassin d'alimentation et d'autre part par plusieurs pertes du Lot.

La mesure du débit de la Fontaine des Chartreux n'est pas directe, la géométrie particulière de la vasque à proximité du Lot et la présence d'un débit de fuite souterraine vers la rivière ne le permet pas. Celui-ci est calculé à partir d'une formule empirique développée par Barrère (2001) qui prend en compte l'enregistrement de plusieurs niveaux entre la vasque et le Lot. (cf. Figure 1)

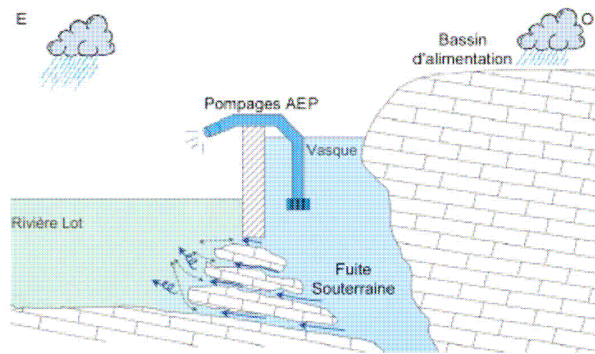


Figure 1 : Représentation du fonctionnement de la Fontaine des Chartreux (Hoareau, 2005)

Variation climatique régionale entre la période 1976/1983 et la période actuelle 2000/2007

Nous avons à notre disposition des données de débit à la Fontaine des Chartreux avec une lacune des données d'une vingtaine d'années : entre 1983 et 2000 le suivi des différentes hauteurs d'eau des vasques de la fontaine n'a pas été réalisé. L'analyse du débit spécifique annuel moyen entre les données anciennes (1976 /1983) et les données actuelles (2000 /2007) montre une diminution de 38 %. Ainsi pour vérifier la stationnarité des conditions climatiques sur le SK entre les deux périodes de suivi de la Fontaine des Chartreux nous avons étudié l'ensemble des débits spécifiques régionaux sur les quarante dernières années. Roulet (2007) a montré que l'évolution des débits spécifiques régionaux montre de fortes oscillations sur l'ensemble de la période. La première période (1976 /1983) se trouve dans une période de forts débits spécifiques alors que la période actuelle connaît de faibles débits spécifiques (Figure 2). Une telle variation des débits spécifiques régionaux peut être expliquée par la baisse des précipitations ou la modification des périodes de pluviométrie (Solignac, 2006). L'analyse des précipitations montre une diminution de 17 % des précipitations entre la période ancienne et la période actuelle. Notons également une modification de la répartition des précipitations au cours de l'année : lorsqu'elles étaient plus importantes durant les mois d'hiver pour la période ancienne, les précipitations sur la période récente sont plus fortes durant l'été. Ces différences de répartition ont une influence sur la recharge de l'aquifère, les mois d'hiver n'étant pas soumis à une évapotranspiration importante par rapport aux mois d'été. La diminution des précipitations et la modification de leurs répartitions pourraient expliquer en partie les différences de débit spécifique entre les deux périodes étudiées.

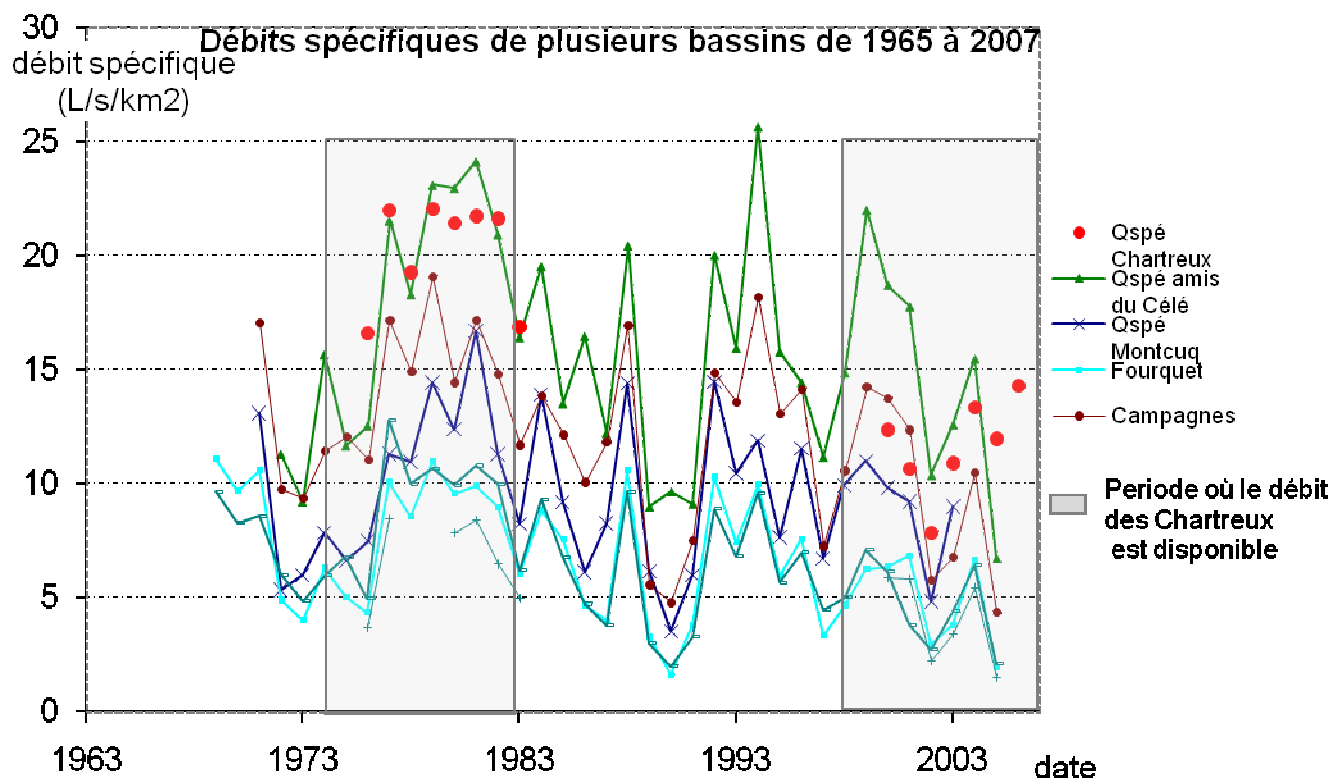


Figure 2 : Evolution des débits spécifiques régionaux (Roulet, 2007)

L'apport de la géochimie dans la compréhension du fonctionnement du SK de la Fontaine des Chartreux

La configuration originale du SK où l'eau de la source est un mélange d'eau en provenance du Lot et d'eau karstique nécessite de quantifier ce taux de mélange. L'étude des analyses géochimiques a pour but d'estimer la proportion d'eau du Lot dans les eaux du SK. Nous avons pour cela caractérisé chimiquement les eaux impliquées dans ce mélange : d'un côté l'eau du Lot et de l'autre une eau karstique pure. Nous avons utilisé la concentration en calcium dans le Lot et à la Fontaine des Chartreux. Les concentrations en calcium des prélèvements d'eau dans le Lot varient peu dans le temps et sont faibles [17mg/L] en comparaison des concentrations à la Fontaine des Chartreux [70mg/L]. Le pôle « eaux de surface » est déduit des concentrations dans le Lot alors que le pôle « eau karstique » est estimé à partir des prélèvements à la Fontaine en période de crue, période pour laquelle les apports sont négligés. Les résultats présentés sur la Figure 3 montrent que les pourcentages d'eau en provenance du Lot oscillent entre 0 et 46%, les apports étant importants quand le débit à la source est faible, et plus faibles quand le débit augmente.

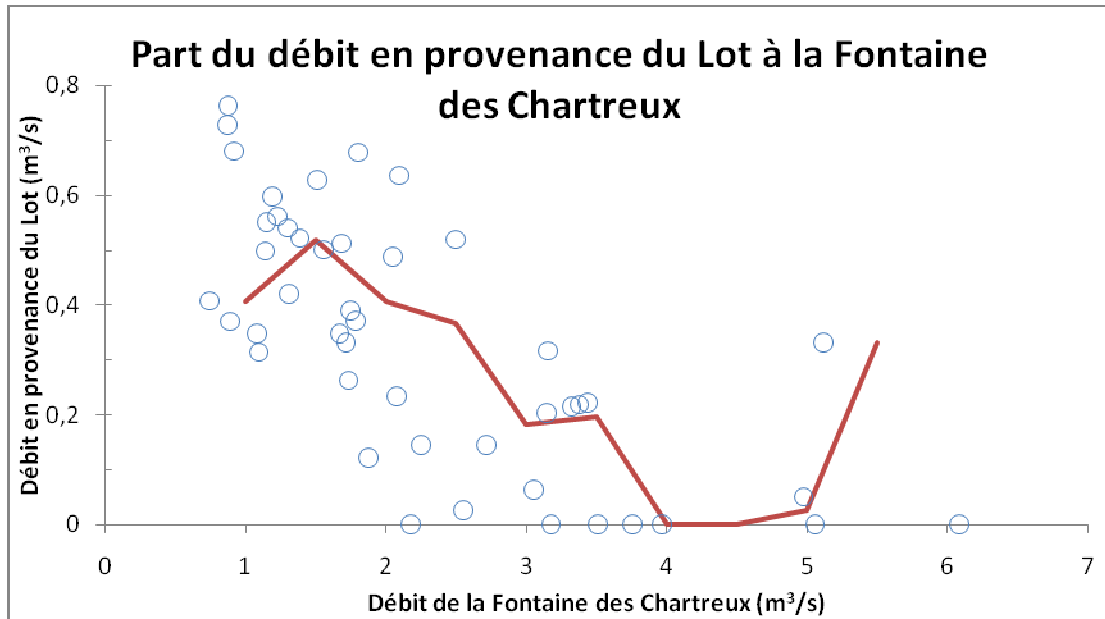


Figure 3 Relation entre le débit de la Fontaine des Chartreux et le débit du Lot (modifié à partir de Roulet, 2007)

Modélisation du fonctionnement du système karstique des Chartreux

Notre approche consiste à utiliser un modèle conceptuel pluie-débit pour simuler l'hydrogramme de la source au pas de temps journalier. Le modèle utilisé est constitué d'une fonction de production qui calcule une pluie efficace à partir de la pluie et de l'évapotranspiration (cette fonction est celle du modèle GR4J (Perrin, 2003)). La fonction de transfert transforme la pluie efficace en un débit à la source (cette fonction consiste en un réservoir à vidange linéaire). Un module complémentaire est ajouté pour simuler les apports du Lot en fonction du débit simulé par le modèle de façon anti-proportionnelle à celui-ci. Les deux paramètres de cette fonction linéaire ont été fixés à partir de l'étude des analyses chimiques (cf. figure 3). La Figure 4 indique le schéma général du modèle hydrologique qui comporte 2 réservoirs et 4 paramètres.

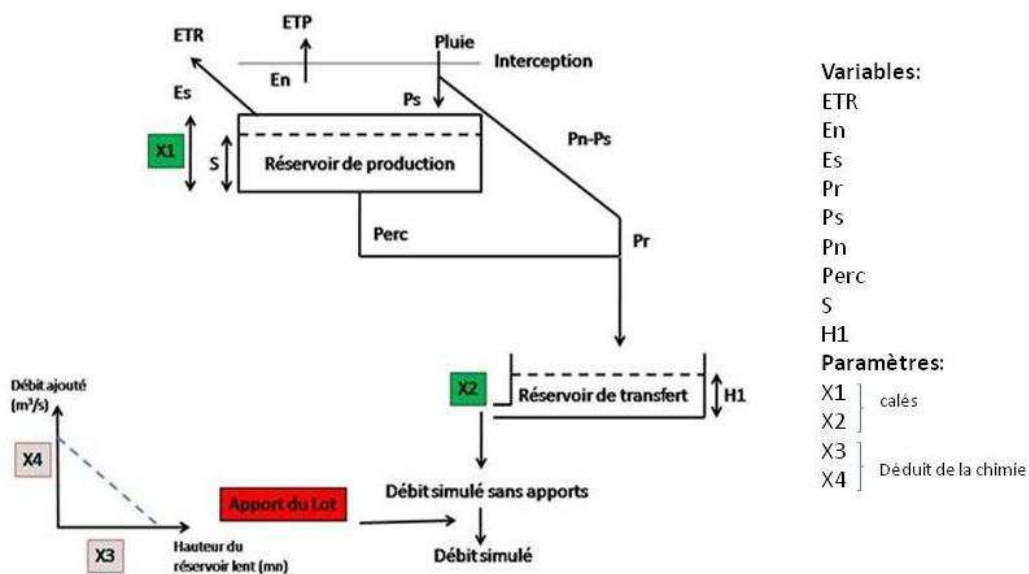


Figure 4 : schéma de la structure du modèle

Nous avons vu qu'il existe une différence nette entre les débits spécifiques sur les deux périodes de suivi du débit à la Fontaine des Chartreux. Si nous considérons ces deux périodes indépendamment l'une de l'autre nous pouvons à l'aide de notre modèle simuler correctement le débit de la Fontaine des Chartreux (critère de Nash au calage : période ancienne=72.6 % période actuelle =67.5 %). Cependant les paramètres obtenus sur la période (1976 /1983) ne permettent pas d'obtenir de bonnes simulations sur la période actuelle et vice versa. La structure du réseau de drainage et les écoulements vers la source doivent être les mêmes entre le début de la période d'étude et aujourd'hui, mais son fonctionnement ne doit pas être identique suivant l'intensité de la recharge. Malgré la nette diminution du débit spécifique entre la période (1976 /1983) et la période actuelle, nous avons choisi de réaliser un calage sur l'ensemble de la période 1976-2007, afin d'obtenir une modélisation avec un jeu de paramètres qui permette de simuler correctement le débit de la source pour toutes les conditions climatiques on obtient un critère de Nash de 69.5 %(Figure 5).

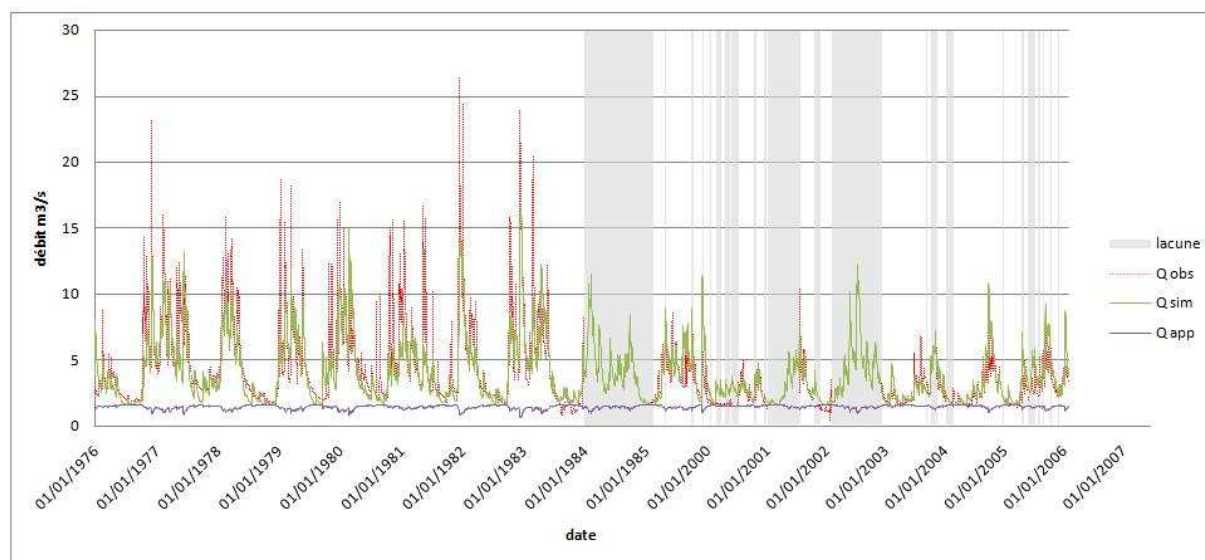


Figure 5 : Hydrogrammes observés et simulés à la Fontaine des chartreux sur l'ensemble de la période 1976/2007

Conclusion

Ce travail montre qu'un modèle conceptuel simple peut représenter avec des performances assez bonnes un système aussi complexe. De plus la modélisation permet de quantifier la contribution du Lot au cours du temps. Cet outil peut ainsi servir au gestionnaire en charge de la gestion de la ressource et de l'alimentation en eau potable de la ville de Cahors. De plus, cette approche peut être appliquée facilement à d'autres systèmes karstiques avec des enjeux similaires.

Bibliographie

Barrère R., 2001. Fontaine des Chartreux à Cahors – Etudes hydrauliques – Révision du mode de calcul du débit par suite de diverses modifications. *Rapport d'expertise de la DDAF du Lot*, 28p.

Hoareau J., 2005. Contribution à l'étude du système karstique de la Fontaine des Chartreux (Lot, France). *Mémoire de Master 2, Univ. Pierre & Marie Curie, Paris*, 50p.

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 polytech' Paris

Solignac E., 2006. Modélisation du fonctionnement du système karstique de la Fontaine des Chartreux (Lot, France). Mémoire de Master 2, Université Pierre et Marie Curie