



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2016

TITRE du SUJET : Couplage entre transport et écoulement dans un aquifère

Directeur (trice) :

LAJEUNESSE Eric Physicien (CNAP), lajeunes@ipgp.fr

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) :

DEVAUCHELLE Olivier, CR, devauchelle@ipgp.fr

Equipe d'accueil : à préciser et supprimer la ligne inutile

IPGP- Equipe de Dynamique des Fluides Géologiques – UMR7154

Financement :

Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement

Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres de thèse

Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale

Développement du Sujet : (1 à 2 pages)

Contexte de l'étude

Les crues, même rares et de courte durée, sont responsables de l'essentiel du transport de matière solide et dissoute hors des bassins versants [Dadson et al., 2003, 2004; Hilton et al., 2008]. L'intensité du transport durant les épisodes de crues compense en effet leur intermittence. Comprendre la dynamique de ces écoulements transitoires est donc une étape indispensable vers une meilleure caractérisation des flux d'eau, de sédiments solides (érosion), d'éléments dissous (altération), de carbone dissous et particulaire ou de polluants à l'échelle du bassin versant [Godsey et al., 2009; Kirchner et al., 2011].

La signature géochimique des eaux de rivières révèle qu'une part très importante de ces dernières a séjourné dans un aquifère avant de rejoindre la rivière [Ladouche et al., 2001; Kirchner, 2003; Brutsaert, 2005; Godsey et al., 2009]. C'est la raison pour laquelle nous avons consacré la thèse d'Adrien Guérin (soutenue en 2015) à l'étude de la réponse d'un aquifère à un épisode de pluie. En combinant analyse théorique, expériences de laboratoire et mesures de terrain sur un site de l'Observatoire de l'Eau et de l'Érosion aux Antilles, nous avons montré que les crues sont essentiellement contrôlées par l'existence d'un régime asymptotique de montée rapide du niveau de la nappe souterraine [Guérin et al., 2014; Guérin, 2015]. Nous terminons actuellement cette étude en explorant, grâce au stage de Master 2 de Valentin Jules (débuté en février 2016), la façon dont la géométrie de l'aquifère, notamment sa profondeur, influence sa réponse à un épisode de pluie.

Objectifs de la thèse

Cette réaction rapide de l'écoulement dans l'aquifère contrôle la dynamique de crue du cours d'eau qu'il alimente. Nous souhaitons à présent explorer les conséquences de cette dynamique sur le transport de matière à l'échelle du bassin versant.

Deux processus nous intéressent plus particulièrement :

- **Le transport chimique** : la composition chimique des rivières est en partie contrôlée par l'eau de pluie qui s'infiltré dans l'aquifère où elle interagit avec les roches, et se charge en éléments chimiques avant de rejoindre la rivière. Des mesures à haute fréquence révèlent l'hystérésis de la relation entre la concentration chimique et le débit d'une rivière. Cette hystérésis indique que l'érosion chimique d'un bassin versant ne peut pas être décrite seulement par le débit à l'exutoire : elle dépend du couplage entre écoulement et réaction chimique au sein de l'aquifère. **Comprendre et modéliser ce couplage entre réaction et transport nous permettra de mieux appréhender la dynamique d'altération à l'échelle du bassin versant.**
- **Le transport solide** : l'écoulement souterrain est capable d'entraîner des sédiments au niveau de l'interface nappe-rivière. Une série d'études ont montrée que ce phénomène d'érosion par sape contrôle l'organisation morphologique de certains bassins versants [Devauchelle et al., 2012; Cohen et al., 2015]. Cependant, ces études reposent sur l'hypothèse d'une nappe phréatique en écoulement stationnaire. **L'impact des crues sur l'érosion par sape et l'évolution de la forme du réseau de drainage reste donc un problème ouvert.**

Cette thèse, dirigée par Eric Lajeunesse et co-encadrée par Olivier Devauchelle, étudiera ces questions au sein du Laboratoire de Dynamique des Fluides Géologiques de l'Institut de Physique du Globe de Paris. Il s'agira notamment de :

- Développer une expérience de laboratoire permettant d'évaluer le *temps de séjour de l'eau* et les *taux de dissolution* dans un aquifère bi-dimensionnel (collaboration avec Julien Bouchez et Jérôme Gaillardet);
- En déduire la façon dont le *couplage entre écoulement et réaction chimique* contrôle l'hystérésis de la relation concentration-débit dans cette géométrie simplifiée (collaboration avec Julien Bouchez et Jérôme Gaillardet);
- Mettre en place un suivi de l'écoulement et de la composition chimique dans la nappe du bassin de la ravine Quiocq, site instrumenté dans le cadre de l'Observatoire de l'Eau et de l'Érosion aux Antilles (collaboration avec Céline Dessert);
- Développer une expérience de laboratoire destinée à reproduire l'érosion par sape, en mesurant in situ le débit sédimentaire dans la rivière formée. Ce travail s'appuiera sur des méthodes développées au sein du Laboratoire de Dynamique des Fluides Géologiques et améliorées au cours de la thèse d'Anaïs Abramian [Lajeunesse et al., 2010; Seizilles et al., 2014].

Le travail de thèse comprendra une part importante de développements expérimentaux et théoriques (analyse des régimes asymptotiques). Nous recherchons donc un candidat avec une solide formation en physique non-linéaire et en dynamique des fluides.

Références

- Brutsaert, W., Hydrology : an introduction, Cambridge Univ Pr, 2005.
- Cohen, Y., O. Devauchelle, H. F. Seybold, S. Y. Robert, P. Szymczak, and D. H. Rothman, Path selection in the growth of rivers, Proceedings of the National Academy of Sciences, 112 (46), 14,132–14,137, 2015.
- Dadson, S., et al., Links between erosion, runoff variability and seismicity in the taiwan orogen, Nature, 426(6967), 648–651, 2003.
- Dadson, S., et al., Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt, Geology, 32, 733–736, 2004.
- Devauchelle, O., A. P. Petroff, H. F. Seybold, and D. H. Rothman, Ramification of stream networks, Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(51), 20,832–20,836, 2012.
- Godsey, S. E., J. W. Kirchner, and D. W. Clow, Concentration-discharge relationships reflect chemostatic characteristics of us catchments, Hydrological Processes, 23(13), 1844, doi :10.1002/hyp.7315, 2009.
- Guérin, A., Dynamique de l'écoulement dans un aquifère non confiné, Ph.D. thesis, Paris 7, 2015.
- Guérin, A., O. Devauchelle, and E. Lajeunesse, Response of a laboratory aquifer to rainfall, Journal of Fluid Mechanics, 759, R1, 2014.

- Hilton, R., A. Galy, N. Hovius, M. Chen, M. Horng, and H. Chen, Tropical-cyclone-driven erosion of the terrestrial biosphere from mountains, *Nature Geoscience*, 1(11), 759–762, 2008.
- Kirchner, J., A double paradox in catchment hydrology and geochemistry, *Hydrological Processes*, 17(4), 871–874, 2003.
- Kirchner, J., C. Austin, A. Myers, and D. Whyte, Quantifying remediation effectiveness under variable external forcing using contaminant rating curves, *Environmental science & technology*, 2011.
- Ladouche, B., A. Probst, D. Viville, S. Idir, D. Baque, M. Loubet, J. Probst, and T. Bariac, Hydrograph separation using isotopic, chemical and hydrological approaches (strengbach catchment, france), *Journal of Hydrology*, 242(3-4), 255–274, 2001.
- Lajeunesse E., L. Malverti & F. Charru, Bedload transport in turbulent flow at the grain scale: experiments and modeling, *J. Geophys. Res* (2010) 115, F04001, doi:10.1029/2009JF001628
- Seizilles, G., E. Lajeunesse, O. Devauchelle, and M. Bak, Cross-stream diffusion in bedload transport, *Physics of Fluids* (1994-present), 26(1), 013,302, 2014.