



Earth Sciences and Environmental Technologies Division
Computational Physics of Porous Media Department
1 et 4 avenue de Bois-Préau, 92852 Rueil-Malmaison Cedex – France

Open Ph.D. Thesis Position (duration: 3 years)

Field of skills: Quantitative geosciences, statistical physics, applied mathematics, programming, numerical simulation

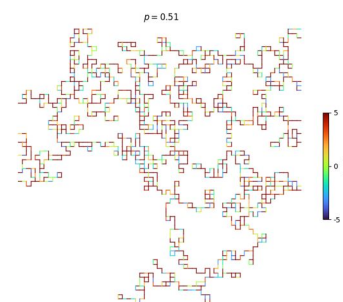
Up-scaling and averaging of flows in karstic networks

THIS PROJECT IS PART OF THE ERC SYNERGY KARST, one of the laureates of an ERC synergy grant. The overall goal consists of developing a predictive flow model in an entire karst network. It will be necessary to simulate water flows possibly marked with tracer in networks that may be described with millions of nodes. The flows will not necessarily be saturated, and nonlinear flow/Dp relationships between the inlet and outlet of the ducts lead to the resolution of a large system of nonlinear equations. We recall that 30 % of drinkable water flows through karstic aquifers that are very sensitive to global climate change.

Ultimately, we will have to focus on large systems of equations of discretized Laplacian type, with a hollow character, and destructured in the majority of cases, since karst networks can be made up of large conduits intersecting a large number of other poorly connected conduits. The weights related to the edges of the graph correspond to the hydraulic conductivity of the ducts, and are themselves random. It is therefore necessary to solve large linear systems of the Laplacian type, on weighted graphs with complex topology. The PhD student will be interested in the question of up-scaling on a discrete network, allowing to manage in particular the intrinsic hazard of this modeling chain, due to uncertainties on the values of conductivities and volumes of ducts. We will work with fixed network topology by focusing on the averaging on conductivities. The difficulty is to give meaning to homogenization when working in a discrete context where the underlying Euclidean metric is lost, making the notion of change of scale delicate. One idea will be to work on the spectra of Laplacian matrices generalizing the notion of Fourier transform to graphs, a technique very close to convolutional neural networks.



Grotte des Faux-Mormayeurs



A karstic cave, Flow rate in a cave network.

Supervision by a joint team of several physicists and geoscientists Dr Benoît Noettinger; Interactions with the karst team and work periods in the partners institutions will be organized.

FOR FURTHER INFORMATION, PLEASE CONTACT:
Benoît Noettinger benoit.noettinger@ifpen.fr





Direction Sciences de la Terre et Technologies de l'Environnement
Département Physique Numérique des Milieux Poreux
1 et 4 avenue de Bois-Préau 92852 Rueil-Malmaison Cedex – France

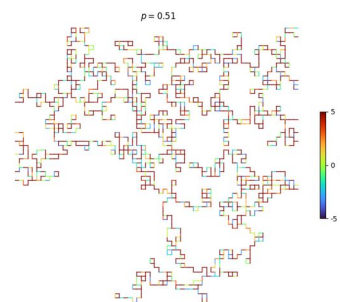
Offre de Poste de Thèse de Doctorat (durée : 3 ans)

Domaine de compétences : Géosciences quantitatives, physique statistique, mathématiques appliquées, programmation, simulation numérique

Changement d'échelle et prise de moyenne des écoulements dans des réseaux karstiques

CE PROJET SE SITUE DANS LE TROISIÈME VOLET DU PROJET ERC KARST, qui consiste à développer un modèle d'écoulement dans un réseau karstique entier, en pouvant à terme utiliser les acquis des volets 1 et 2 du projet, à savoir : déterminer les lois d'écoulement dans les conduits seuls; procéder à la simulation de réseaux karstiques à grande échelle (réseaux construits par l'action de l'acidité de l'eau chargé en CO₂ sur la roche). Rappelons que les aquifères karstiques sont responsables de 30% de l'adduction d'eau douce mondiale, Ils sont particulièrement sensibles au changement climatique. On devra simuler des écoulements d'eau éventuellement marquée de traceur dans des réseaux comportant des millions de nœuds.

Les écoulements ne seront pas forcément saturés, pouvant se traduire par des relations non-linéaires débit / Dp entre l'entrée et la sortie des conduits. En écrivant les relations de conservation, cela amène à la résolution d'un système d'équations non-linéaire. In fine, il faut donc résoudre de systèmes de type laplacien, sur des graphes pondérés à la topologie complexe. Les poids associés aux arêtes du graphe correspondent à la conductivité hydraulique des conduits, eux-mêmes aléatoires. Un code C++/Python permettant la simulation d'écoulements sur de tels réseaux aura été développé au préalable, en collaboration directe avec M Dentz, un autre porteur du projet Karst. Le doctorant s'intéressera à la question du changement d'échelle/prise de moyenne sur réseau discret, permettant de gérer notamment l'aléa intrinsèque de cette chaîne de modélisation, aléa dû aux incertitudes sur les valeurs des conductivités et des volumes des conduits. On travaillera à topologie de réseau fixe en s'intéressant à la prise de moyenne sur les conductivités, en donnant un sens au changement d'échelle sur un réseau discret. Une idée consiste à travailler sur les spectres des matrices laplaciennes qui permettent de généraliser la notion de transformée de Fourier à des graphes et à des espaces discrets, idée proche des réseaux de neurones convolutifs. En outre, un phénomène de localisation de l'écoulement contrôlé par quelques conduits est fréquemment observé et doit être convenablement restitués par les calculs. Des approches basées sur l'utilisation de la « landscape fonction », (Arnold et al, <https://arxiv.org/abs/1712.02419>) permettant un découpage rapide du réseau en morceaux essentiellement découplés pourront être suivies. En une phase finale, on fera évoluer dynamiquement le réseau karstique en modélisant les changements de géométries du réseau liées à sa vidange ou bien son remplissage dus aux aléas météo extérieurs, pouvant amener des réorganisations majeures des écoulements.



Une grotte karstique, niveaux de flux dans un réseau karstique modèle

Encadrement par Benoît Nœtinger, directeur de thèse ; une équipe de physiciens IFPEN et l'équipe internationale KARST

POUR EN SAVOIR PLUS, MERCI DE CONTACTER
Benoît Nœtinger benoit.noetinge@ifpen.fr