

Bourse de thèse en hydrogéologie karstique

aux laboratoires Géosciences Montpellier et BRGM Montpellier

2020 – 2023

Titre : Modélisation du fonctionnement hydrogéologique des aquifères karstiques sous contraintes de données géochimiques et géophysiques

Directeur de thèse : Cédric CHAMPOLLION (Univ. Montpellier - GM)

Co-directeur de thèse : Jean-Baptiste CHARLIER (BRGM DEPA / NRE, Montpellier)

Employeur : GM – Univ. Montpellier

Laboratoires d'accueil : GM & BRGM Montpellier

Financement bourse doctorale : Région Occitanie & BRGM : en attente de validation du financement Région

Ecole doctorale : École doctorale GAIA

Spécialité : STE - Sciences de la Terre et de l'Eau

Début de la thèse espéré : 01 octobre 2020

Date limite de candidature : 31 mai 2020

Mots clés

Karst, géochimie, géophysique, modélisation numérique, ressource en eau souterraine

Présentation détaillée du projet doctoral

L'eau souterraine est la première ressource d'eau douce au monde, indispensable pour l'irrigation et la sécurité alimentaire. De nombreux pays et grandes métropoles sont dépendants de ressources dites non-conventionnelles, car situées en zones karstiques. Dans un contexte d'utilisation croissante de la ressource en eau et de réchauffement, il est nécessaire d'évaluer leur sensibilité (en qualité et quantité) aux forçages anthropiques et climatiques.

Les karsts abritent des aquifères complexes et hétérogènes (Bakalowicz, 2005 ; Goldscheider and Drew, 2007). Cette hétérogénéité engendre une infiltration localisée, des transferts rapides à travers le réseau de drainage souterrain, et en parallèle, un stockage important de l'eau sur des échelles de temps pluriannuelles. Afin de mieux gérer la ressource en eau dans ces territoires, il est nécessaire de mieux comprendre les écoulements et d'améliorer les modèles conceptuels et numériques du cycle de l'eau à l'échelle de l'aquifère.

Aujourd'hui les concepts classiques du karst ne permettent pas d'expliquer la variété des réponses hydrochimiques et géophysiques : des phénomènes de mobilisation de contaminants au cours des crues (Vesper and White, 2003; Huebsch et al., 2014), l'interaction entre les différents compartiments

d'un système (Perrin et al., 2007 ; Charmoille et al., 2009 ; Charlier et al., 2012), les phénomènes de stockage au cours des crues (Einsiedl et al., 2010 ; Perrin et al., 2003; Binet et al., 2017) ou à l'échelle saisonnière (Jacob et al., 2010 ; Mazzilli et al., 2016). Ces processus sont pourtant essentiels pour aborder scientifiquement la qualité et la quantité de l'eau souterraine karstique.

Objectifs & programme prévisionnel

Les résultats issus de la géochimie et de la géophysique révèlent le rôle de la zone non saturée (ZNS) sur la qualité et la quantité de la ressource, qui - en général – est observée uniquement à l'exutoire du système karstique. Combiner ces deux approches dans les modèles de fonctionnement hydrogéologique permet d'intégrer des informations sur l'origine de l'eau, les transferts et les stockages au sein des différents compartiments des systèmes karstiques, et in fine de mieux caractériser les processus de recharge et la sensibilité de ces aquifères aux forçages anthropiques et climatiques. Ce couplage essentiel pour l'étude des milieux complexes comme les karsts n'est quasiment jamais mis en œuvre du fait du cloisonnement disciplinaire. Les objectifs scientifiques portent sur l'utilisation combinée d'observations géochimiques et géophysiques pour comprendre et estimer les variations de la quantité et de la qualité de l'eau souterraine disponible dans les milieux karstiques.

Cette thèse vise à améliorer la compréhension des systèmes karstiques en contraignant les modèles de fonctionnement hydrogéologique par les informations issues de la géochimie et de la géophysique. Le projet de thèse inclut 2 axes de recherche :

- Le rôle de la ZNS (mode de recharge, occupation des sols et variabilité spatiale) sur la qualité et la quantité de la ressource en eau souterraine.
- L'estimation de la recharge et du type de recharge à l'aide de la modélisation des transferts dans la zone d'infiltration et à l'exutoire.

Dans les deux axes, la géophysique est utilisée pour contraindre la quantité de flux infiltrée et doit permettre une estimation plus réaliste du stock d'eau disponible dans la ZNS. La géochimie est utilisée pour caractériser l'origine de l'eau et mieux contraindre les temps de résidence ou les processus de recharge (localisés/diffus).

Méthodes envisagées

Dans un premier temps, des modèles d'écoulement simples seront utilisés (e.g. modèles à réservoir, cf. Charlier et al., 2012 ; Hartmann et al., 2013 ; Mazzilli et al., 2013). L'utilisation de modèles numériques à base physique sera évaluée dans un second temps sur la base de structures simples en 1D (conduit karstique principal dans une matrice fissurée - cf. Dewaide et al., 2016 ; Cholet et al., 2017). Une complexification des modèles d'infiltration sera envisagée selon le type de variables prises en compte et un focus sera réalisé sur les incertitudes associées à l'utilisation de données indépendantes pour simuler les flux hydriques.

Pour réaliser cette convergence géochimie-géophysique, il est nécessaire de disposer de sites instrumentés et suivis à des échelles de temps variées. Les suivis continus physico-chimiques semi-conservatifs à l'échelle de la crue tels que la conductivité électrique, ou les nitrates nous renseignent sur les dynamiques de mélange et de mobilisation des différents compartiments (eau nouvelle/eau

ancienne, mobilisation d'éléments, etc.). Depuis plusieurs années, un suivi à hautes fréquences des nutriments par un spectromètre a été développé et testé en contexte karstique dans le cadre de la mise en place d'un réseau de la qualité des eaux sur la Loue dans le Jura (réseau QUARSTIC - BRGM).

Les suivis continus géophysiques (gravimétrie, sismologie, météorologique) mis en place sur l'Observatoire du Larzac apportent des contraintes quantitatives sur les variations de stock d'eau dans la zone non saturée à toutes les échelles de temps (Fores, 2017). La zone d'investigation (> 100 m) des méthodes géophysiques utilisées permet de s'affranchir des plus petites hétérogénéités du karst. Pour les hétérogénéités à plus grande échelle, des expériences géophysiques spatialisées peuvent être mises en place (Jacob et al., 2010).

Les sites d'étude visés sont donc des aquifères karstiques comportant déjà des suivis à haute fréquence sur plusieurs cycles hydrologiques. Un focus sera fait sur les sites du Durzon sur le Larzac (hydrochimie et géophysique continue – <http://hplus.ore.fr/en/larzac>), de la Loue et du Verneau dans le Jura (hydrochimie continue – suivi BRGM), de la Fontaine de Nîmes (hydrochimie - <http://sokarst.org>).

Encadrement

L'encadrement sera assuré par Cédric Champollion (MCF, Laboratoire Géosciences Montpellier, UM - 50%) spécialisé en hydro-géophysique et Jean-Baptiste Charlier (chercheur, DEPA / NRE, BRGM, Montpellier – 50%) spécialisé en hydrogéologie et hydrochimie des aquifères karstiques.

Profil et compétences recherchées

Le (la) candidat(e) devra posséder un master (ou niveau équivalent) en hydrogéologie avec des connaissances en géochimie et géophysique. Un intérêt pour le terrain et des connaissances en hydrogéologie karstique sont des éléments déterminants pour le recrutement du candidat. Une appétence pour la modélisation numérique est requise ; la maîtrise d'outils de programmation (code Matlab/Fortran/R...) est un plus.

Candidature

Pour candidater, envoyez CV+LM ainsi qu'une lettre de recommandation à Jean-Baptiste Charlier (j.charlier@brgm.fr) et Cédric Champollion (cedric.champollion@umontpellier.fr) – date limite de réception des dossiers par mail le 31 mai 2020.

Une sélection des candidats pour audition sera effectuée début juin, pour un entretien prévu fin juin - début juillet 2020.

Contacts pour tout renseignement (privilégier l'email en période de confinement Covid-19) :

Jean-Baptiste Charlier
j.charlier@brgm.fr
+33 (0)4 67 15 79 77
BRGM - DEPA / NRE
1039, rue de Pinville
34000 Montpellier

Cédric Champollion
cedric.champollion@umontpellier.fr
+33 (0)4 67 14 36 39
Géosciences Montpellier
Univ. Montpellier
Campus triolet cc060
Place Eugène Bataillon
34095 Montpellier cedex 05

Références bibliographiques

- BAKALOWICZ, M. (2005). KARST GROUNDWATER : A CHALLENGE FOR NEW RESOURCES. *HYDROGEOLOGY JOURNAL* 13 (1), 148–160. BARTH, J. A.,
- BINET, S., E. JOIGNEAUX, H. PAUWELS, P. ALBÉRIC, C. FLÉHOC, AND A. BRUAND (2017). WATER EXCHANGE, MIXING AND TRANSIENT STORAGE BETWEEN A SATURATED KARSTIC CONDUIT AND THE SURROUNDING AQUIFER: GROUNDWATER FLOW MODELING AND INPUTS FROM STABLE WATER ISOTOPES. *JOURNAL OF HYDROLOGY* 544, 278 – 289.
- CHARLIER J.-B., C. BERTRAND, AND J. MUDRY, 2012. CONCEPTUAL HYDROGEOLOGICAL MODEL OF FLOW AND TRANSPORT OF DISSOLVED ORGANIC CARBON IN A SMALL JURA KARST SYSTEM. *JOURNAL OF HYDROLOGY*, 460-461:52–64, DOI 10.1016/J.JHYDROL.2012.06.043.
- CHARMOILLE, A., S. BINET, C. BERTRAND, Y. GUGLIELMI, AND J. MUDRY (2009). HYDRAULIC INTERACTIONS BETWEEN FRACTURES AND BEDDING PLANES IN A CARBONATE AQUIFER STUDIED BY MEANS OF EXPERIMENTALLY INDUCED WATERTABLE FLUCTUATIONS (COARAZE EXPERIMENTAL SITE, SOUTHEASTERN FRANCE). *HYDROGEOLOGY JOURNAL* 17 (7), 1607.
- CHOLET, C., CHARLIER, J.-B., MOUSSA, R., STEINMANN, M., AND DENIMAL, S., 2017. ASSESSING LATERAL FLOWS AND SOLUTE TRANSPORT DURING FLOODS IN A CONDUIT-FLOW-DOMINATED KARST SYSTEM USING THE INVERSE PROBLEM FOR THE ADVECTION-DIFFUSION EQUATION, *HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES*, 21:3635-3653. DOI: 10.5194/HESS-21-3635-2017.
- DEWAIDE L, BONNIVER I, ROCHEZ G, HALLET V (2016) SOLUTE TRANSPORT IN HETEROGENEOUS KARST SYSTEMS: DIMENSIONING AND ESTIMATION OF TRANSPORT PARAMETERS VIA MULTI-SAMPLING TRACER TESTS MODELLING USING THE OTIS (ONE-DIMENSIONAL TRANSPORT WITH INFLOW AND STORAGE) PROGRAM. *J HYDROL* 534:567–578
- EINSIEDL, F., M. RADKE, AND P. MALOSZEWSKI (2010). OCCURRENCE AND TRANSPORT OF PHARMACEUTICALS IN A KARST GROUNDWATER SYSTEM AFFECTED BY DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANTS. *JOURNAL OF CONTAMINANT HYDROLOGY* 117 (1), 26–36.
- FORES B. (2016) GRAVIMETRIE ET SURVEILLANCE SISMIQUE POUR LA MODELISATION HYDROLOGIQUE EN MILIEU KARSTIQUE : APPLICATION AU BASSIN DU DURZON (LARZAC, FRANCE). PHD THESIS. UNIVERSITE MONTPELLIER, FRANCE. [HTTPS://HAL.ARCHIVESOUVERTES.FR/TEL-01649606](https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01649606)
- GOLDSCHIEDER, N. AND D. DREW (2007). *METHODS IN KARST HYDROGEOLOGY : IAH : INTERNATIONAL CONTRIBUTIONS TO HYDROGEOLOGY*, 26. CRC PRESS.
- HARTMANN, A., WAGENER, T., RIMMER, A., LANGE, J., BRIELMANN, H. AND WEILER, M. 2013. TESTING THE REALISM OF MODEL STRUCTURES TO IDENTIFY KARST SYSTEM PROCESSES USING WATER QUALITY AND QUANTITY SIGNATURES, *WATER RESOUR. RES.*, 49, 3345–3358, DOI:10.1002/WRCR.20229.
- HUEBSCH, M., O. FENTON, B. HORAN, D. HENNESSY, K. G. RICHARDS, P. JORDAN, N. GOLDSCHIEDER, C. BUTSCHER, AND P. BLUM (2014). MOBILISATION OR DILUTION ? NITRATE RESPONSE OF KARST SPRINGS TO HIGH RAINFALL EVENTS. *HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES* 18 (11), 4423–4435.
- JACOB, T., BAYER, R., CHERY, J., & LE MOIGNE, N. (2010). TIME-LAPSE MICROGRAVITY SURVEYS REVEAL WATER STORAGE HETEROGENEITY OF A KARST AQUIFER. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: SOLID EARTH*, 115(B6).
- MAZZILLI N., H. JOURDE, T. JACOB, V. GUINOT, N. LE MOIGNE, M. BOUCHER, K. CHALIKAKIS, H. GUYARD, A. LEGTCHENKO. 2013. ON THE INCLUSION OF GROUND-BASED GRAVITY MEASUREMENTS TO THE CALIBRATION PROCESS OF A GLOBAL RAINFALL-DISCHARGE RESERVOIR MODEL: CASE OF THE DURZON KARST SYSTEM (LARZAC, SOUTHERN FRANCE). *ENVIRON EARTH SCI* (2013) 68:1631–1646. DOI 10.1007/S12665-012-1856-Z.
- MAZZILLI, N., BOUCHER, M., CHALIKAKIS, K., LEGTCHENKO, A., JOURDE, H., & CHAMPOLLION, C. (2016). CONTRIBUTION OF MAGNETIC RESONANCE SOUNDINGS FOR CHARACTERIZING WATER STORAGE IN THE UNSATURATED ZONE OF KARST AQUIFERS. *GEOPHYSICS*, 81(4), WB49-WB61.
- PERRIN, J., P.-Y. JEANNIN, AND F. CORNATON (2007). THE ROLE OF TRIBUTARY MIXING IN CHEMICAL VARIATIONS AT A KARST SPRING, MILANDRE, SWITZERLAND. *JOURNAL OF HYDROLOGY* 332 (1–2), 158–173.
- PERRIN, J., P.-Y. JEANNIN, AND F. ZWAHLEN (2003). EPIKARST STORAGE IN A KARST AQUIFER : A CONCEPTUAL MODEL BASED ON ISOTOPIC DATA, MILANDRE TEST SITE, SWITZERLAND. *JOURNAL OF HYDROLOGY* 279 (1), 106–124