

## **Proposition d'un sujet de contrat doctoral Ecole doctorale SDUEE 2024**

### **Modélisation des flux d'éléments au sein d'un aquifère karstique via une approche distribuée**

Les aquifères karstiques contribuent à 40 % de l'alimentation en eau potable en France. Leur caractère particulier est lié à l'hétérogénéité du réservoir issue du processus de karstification. La présence de cette perméabilité multi-échelle permet aux systèmes karstiques de constituer une ressource en eau abondante mais souvent difficilement exploitable, en lien avec la dualité entre écoulements lents dans l'encaissant matriciel et rapides dans les conduits karstiques. Le comportement hydrologique des systèmes karstiques s'avère donc fortement non linéaire et non stationnaire les rendant particulièrement vulnérables à la variabilité de la recharge notamment en contexte de changement climatique.

Ces aquifères sont souvent modélisés par des approches globales ou conceptuelles en proposant des processus dissociés pour les aspects quantitatifs et qualitatifs de la ressource en eau. Le projet ROCKAT (2021-2024) a permis de proposer pour la première fois un modèle couplé hydrogéochimique basé sur le modèle semi-distribué LuKARS (Bittner et al., 2018, Journal of Hydrology). Ce modèle a notamment été testé sur le bassin du Baget (intégré au sein du SNO Karst et sur lequel de longues chroniques de mesures de variables hydrogéochimiques sont disponibles). Cependant, cette approche fondée sur la mise en place d'hydrotopes ne permet pas de prendre en compte la variabilité spatiale de la recharge, ni l'existence de zones imperméables au sein du bassin karstique avec des phénomènes d'infiltration préférentielle.

Le modèle ISPEEKH (Al-Khoury et al., 2023, Journal of Hydrology) développé récemment au sein du laboratoire Géosciences Environnement Toulouse en collaboration avec l'université d'état du Colorado permet pour la première fois de coupler un modèle distribué de surface (SWAT+) avec une modélisation spécifique des différents compartiments du karst (épikarst, conduits et matrice). Cette approche a notamment été validée sur le bassin karstique du Baget.

**Ce projet de thèse vise à proposer des méthodes innovantes de simulations hydrogéochimiques de la ressource en eau karstique et se basera sur une collaboration interdisciplinaire (GET, université du Colorado, Université Technologique de Munich) qui aura pour site d'étude le bassin karstique du Baget intégré au sein du SNO Karst et comme base conceptuelle l'approche ISPEEKH.**

En prenant en compte les avancées obtenues dans le cadre du programme ROCKAT (Richieri et al. 2022, Hydrological Processes), nous proposons d'inclure au sein du modèle ISPEEKH différentes approches des transferts des éléments majeurs au sein des compartiments épikarst, conduit et matrice fondées sur des modèles de type fonction de transfert, transport advectif/diffusif et enfin via une modélisation basée sur le logiciel PHREEQC en faisant l'hypothèse d'un mélange parfait à chaque pas de temps. L'objectif à l'issue des trois ans de thèse est d'obtenir un modèle distribué hydrogéochimique des flux d'éléments majeurs au sein d'un aquifère karstique non soumis à des influences anthropiques afin de pouvoir à plus long terme inclure ces perturbations (notamment en termes de changement d'occupation des sols ou d'intrants agricoles).

Ceci permettra in fine de proposer de nouvelles estimations de l'impact des changements de l'occupation des sols sur la ressource en eau karstique, en termes quantitatif et qualitatif.



## Proposal for a subject for a doctoral contract SDUEE Doctoral School 2024

### Modeling major elements variability within a karst aquifer based on a distributed approach

Karst aquifers contribute to 40% of the drinking water supply in France. Their particular character is linked to the heterogeneity of the reservoir resulting from the karstification process. The presence of this multi-scale permeability allows karst systems to constitute an abundant but often difficult to exploit water resource, linked to the duality between slow flows in the matrix surroundings and rapid flows in the karst conduits. The hydrological behavior of karst systems is therefore highly non-linear and non-stationary, making them particularly vulnerable to recharge variability, particularly in the context of climate change.

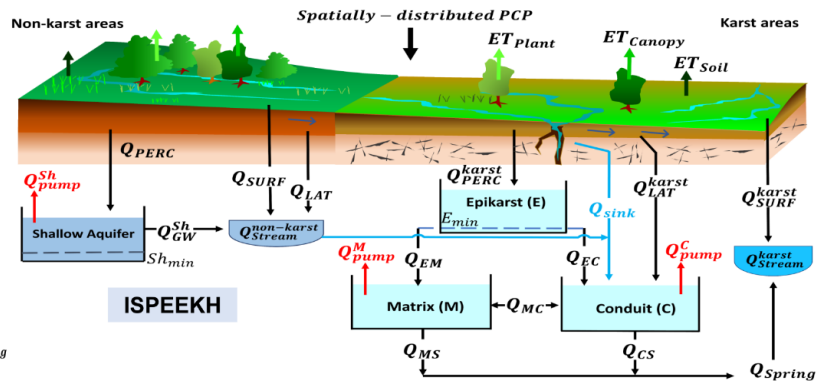
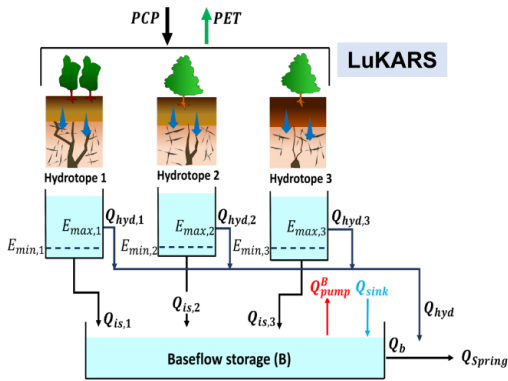
These aquifers are often modeled using global or conceptual approaches by proposing dissociated processes for the quantitative and qualitative aspects of the water resource. The ROCKAT project (2021-2024) made it possible to propose for the first time a coupled hydrogeochemical model based on the semi-distributed LuKARS model (Bittner et al., 2018, Journal of Hydrology). This model was notably tested on the Baget basin (integrated within the SNO Karst and on which long records of measurements of hydrogeochemical variables are available). However, this approach based on the establishment of hydrotopes does not take into account the spatial variability of recharge, nor the existence of impermeable zones within the karst basin with preferential infiltration phenomena.

The ISPEEKH model (Al-Khoury et al., 2023, Journal of Hydrology) recently developed within the Géosciences Environnement Toulouse laboratory in collaboration with Colorado State University makes it possible for the first time to couple a distributed surface model (SWAT+) with specific modeling of the different karst compartments (epikarst, conduits and matrix). This approach was notably validated in the Baget karst basin.

**This thesis project aims to propose innovative methods for hydrogeochemical simulations of karst water resources and will be based on an interdisciplinary collaboration (GET, University of Colorado, Munich Technological University) which will have the Baget karst basin as its study site. Integrated within the SNO Karst and as a conceptual basis the ISPEEKH approach.**

Taking into account the advances obtained within the framework of the ROCKAT program (Richieri et al. 2022, Hydrological Processes), we propose to include within the ISPEEKH model different approaches to the transfer of major elements within the epikarst, conduit and matrix compartments. based on transfer function type models, advective/diffusive transport and finally via modeling based on PHREEQC software, assuming perfect mixing at each time step. The objective at the end of the three-year thesis is to obtain a distributed hydrogeochemical model of the flows of major elements within a karst aquifer not subject to anthropogenic influences in order to be able to include these disturbances in the longer term ( particularly in terms of change in land use or agricultural inputs).

This will ultimately make it possible to propose new estimates of the impact of changes in land use on karst water resources, in quantitative and qualitative terms.



Comparaison des approches LuKARS et ISPEEKH. Le projet de thèse consiste à proposer des modèles de transferts d'éléments majeurs au sein des compartiments Epikarst, Matrice et Conduit du modèle ISPEEKH



Photos de deux points clés de mesure au sein du bassin du Baget intégré au sein du SNO Karst (<https://sokarst.org/>)

**Profil du candidat ou de la candidate**

Formation en Géosciences (Hydrogéologie et hydrogéochimie) ou mécanique des fluides avec à la fois des compétences en modélisation avérées (une expérience sur SWAT en stage de master 1 ou master 2 serait un plus indéniable) et des compétences en terme d'analyses hydrogéochimiques et prélèvements de terrain (lors de stages académiques par exemple).

**Candidate Profile**

Training in Geosciences (Hydrogeology and hydrogeochemistry) or fluid mechanics with both proven modeling skills (experience on SWAT in a master 1 or master 2 internship would be an undeniable plus) and skills in terms of hydrogeochemical analyzes and sampling in the field (during academic internships for example).

Contact pour envoi de CV, lettre de motivation et notes académiques (M1 et M2)

Pr. David LABAT ([david.labat@univ-tlse3.fr](mailto:david.labat@univ-tlse3.fr))  
 Dr. Laurie BOITHIAS ([laurie.boithias@get.omp.eu](mailto:laurie.boithias@get.omp.eu))