

Le **jeudi 19 Avril 2018 à 14h** - Université Aix-Marseille, Salle des Voûtes –Bâtiment 9 - Campus **Saint-Charles, 3, place Victor Hugo, 13003 Marseille**

**Cécile Baudement « Évaluation des capacités d'écoulement et de stockage d'un aquifère karstique dynamique par caractérisation géologique et modélisation pluie-débit. Sources de Dardennes, Toulon, France. »**

Jury

Directeur de these	Yves GUGLIELMI	Lawrence Berkeley National Laboratory
Rapporteur	Anne JOHANNET	Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel, Ecole des Mines d'Alès
Rapporteur	Catherine BERTRAND	Laboratoire Chrono-Environnement, Université de Bourgogne Franche-Comté
Examineur	Jean BORGOMANO	CEREGE, Aix-Marseille Université
Examineur	Jean-Baptiste CHARLIER	BRGM
CoDirecteur de these	Bruno ARFIB	CEREGE Aix-Marseille Université

## Résumé de la thèse

Cette thèse a pour but de contribuer à l'étude des aquifères karstiques en (1) identifiant les facteurs influençant le stockage et l'écoulement de l'eau souterraine et en (2) localisant et estimant de manière quantitative les ressources en eau au sein d'une série sédimentaire carbonatée. Des mesures de porosité et de géochimie isotopique sur les roches carbonatées sont mise en relation dans le but de localiser et d'expliquer les vides créés au sein de la série sédimentaire. Des coupes équilibrées et des analyses structurales ont été réalisées pour évaluer la géométrie profonde de l'aquifère. L'acquisition de données en continu (conductivité électrique, température et pression de l'eau) et de données hydrochimiques (ions majeurs et isotopes stables de l'eau) permet d'étudier le dynamisme et le fonctionnement d'un aquifère. Une approche de modélisation pluie-débit basée sur les chroniques de précipitations et de débits a été utilisée afin d'estimer la part de l'écoulement disponible pour l'eau potable et celle générant des crues éclair. Cette étude a été réalisée sur l'aquifère de Dardennes, près de Toulon, en France. L'eau de l'aquifère est utilisée pour l'alimentation en eau potable de Toulon et alimente le fleuve Las qui est susceptible de provoquer de fortes crues. Le bassin versant de l'aquifère est estimé à 70 km<sup>2</sup>. La zone non-saturée de l'aquifère peut atteindre plus de 500 mètres d'épaisseur en moyenne. L'aquifère est composé de calcaires de faciès Urgonien d'âge Crétacé inférieur, et de calcaires et dolomies datant du Jurassique supérieur. Dans cette région, plusieurs phases tectoniques ont conditionné les aquifères. Les mesures de porosité réalisées indiquent une très faible porosité dans les calcaires à faciès Urgonien et de fortes valeurs dans les dolomies du Jurassique supérieur. Ces dernières ont subies des transformations diagénétiques et des phases de karstification importantes ayant pour conséquence la création de vides disponibles pour l'écoulement. Les calcaires d'âge Crétacé inférieur, sont peu poreux mais intensément karstifiés et fracturés, avec des formes karstiques de surface nombreuses (dolines, avens verticaux, lapiaz...). Lors de la compression Pyrénéo-Provençale, des grands chevauchements se mettent en place impliquant une remontée du socle imperméable, grâce aux structures inverses. Un synclinal est identifié au droit des sources, toutes ces structures jouent alors le rôle de barrière à l'écoulement au niveau des sources de Dardennes. En 3D, cela implique une réserve en eau souterraine importante en profondeur. Avec trois années de chroniques de débit journalier, un modèle pluie-débit a été réalisé, permettant également d'améliorer la plateforme de modélisation KarstMod. Le modèle a été proposé avec trois réservoirs: Epikarst, Matrice et Conduit. Une déconvolution du débit des sources a été effectuée à l'échelle annuelle et à l'échelle des crues. Cela permet de séparer le débit de base (provenant du réservoir Matrice) disponible pour les besoins en eau potable et l'écoulement rapide (provenant du réservoir Conduit) générant des crues éclair. Selon l'année, la proportion de débit de base varie entre 27 et 61% du débit total, respectivement pour une année pluvieuse ou sèche. Lors des crues en période de hautes-eaux, la proportion du débit rapide augmente considérablement jusqu'à plus de 90% du débit total des sources. L'analyse des relations entre la pluie et la hauteur de mise en charge du karst a montré que le système a la capacité de stocker l'eau d'infiltration rapide lorsqu'il n'a pas été rechargé préalablement. A l'échelle annuelle, les résultats du modèle ont été comparés avec la gestion actuelle de l'aquifère, montrant une exploitation actuelle équilibrée, et ouvrant des perspectives pour la mise en place d'une gestion active, combinant une exploitation plus importante de l'eau, un écrêtage des crues et un respect de l'écologie du cours d'eau en aval.

## Thesis resume

The aim of this PhD is to contribute to the karst aquifers understanding by (1) identifying the factors influencing the groundwater storage and flow and by (2) locating and quantitatively estimating water resources within the carbonate sedimentary series. Measurements of porosity and isotopic geochemistry on carbonate rocks are compared in order to locate and explain created voids within the sedimentary series. Balanced cross-sections and structural analyses were performed to evaluate the geometry of the aquifer at depth. Continuous data acquisition (specific conductivity, temperature and water

depth-pressure) and hydrochemical data (major ions, stable isotopes of water and carbon-13) allow to study the aquifer dynamism and functioning. A daily rainfall-discharge modeling approach was used to estimate the flow part available for drinking water and the part that generates karst flash-floods. This study was conducted on the Dardennes aquifer, near Toulon, in France. Dardennes groundwater is used to supply drinking water to the Toulon city and flows downstream to the Las river generating important floods. The recharge area of this aquifer is estimated at 70 km<sup>2</sup>. The unsaturated zone thickness can reach more than 500 meters in average. The aquifer is composed of early Cretaceous of Urgonian limestone and upper Jurassic limestones and dolomites. In this region, several tectonic phases structured the aquifers. Porosity measurements show very low values in the Urgonian limestones and high values in the upper Jurassic dolomites. These previous rocks were affected by diagenetic transformations and karstification phases resulting in the voids creation available for groundwater flow. Limestones from early Cretaceous have a low porosity and are intensely karstified and fractured, with many shallow karst features (sinkholes, caves, lapiaz...). During the Pyrenean-Provence compression, major thrust structures were created implicating the impervious basement, rising-up near the surface. Moreover, a syncline structure is identified at depth, under the Dardennes springs. In 3D, this implies an important groundwater reserve located at depth. A rainfall-discharge model was applied with three years of daily discharge data. This work also aimed at improving the KarstMod modeling platform. The model proposed includes three reservoirs: Epikarst, Matrix and Conduit. A hydrograph separation of springs discharge was carried out at annual and floods scales. It allows to separate the baseflow (from the Matrix reservoir) available for the drinking water supply and the quickflow (from the Conduit reservoir) generating flash floods. Depending on the year, the baseflow proportion varies between 27 and 61% of the total discharge, respectively for a rainy or a dry year. During flood in high-water periods, the quickflow proportion increases considerably to more than 90% of the total springs discharge. The analysis of the rainfall and karst hydraulic head relationship showed that the system has the capacity to store quick infiltration water when it has not been recharged previously. At annual scale, model results have been compared with the current groundwater management, showing a balanced current exploitation. In new perspective, it would be interesting to establish active management, combining a greater groundwater exploitation, floods mitigation and stream ecology respect.