

Résumé

Les roches carbonatées constituent une part très importante des roches présentes à la surface de la Terre. Les réservoirs qui y sont associés représentent des ressources indispensables aux sociétés humaines, quelles soient directes (eau, gaz, hydrocarbures) ou indirectes (géothermie, stockage du CO₂). La forte réactivité des roches carbonatées est responsable de la karstification, processus de réaction dû au déséquilibre thermodynamique entre la roche et l'eau qui circule dans le réservoir. Il en découle la formation d'aquifères karstiques, caractérisés par de fortes hétérogénéités structurales accompagnées d'un comportement hydrologique complexe. Ceci en fait un système vulnérable, mais aussi très productif. Afin de mieux gérer ces réservoirs et la ressource en eau qu'ils contiennent, une meilleure compréhension de la formation et de la localisation des conduits karstiques est nécessaire.

Pour cela, des expériences en laboratoire peuvent être réalisées afin de reproduire le phénomène de karstification à petite échelle. Des échantillons de roche provenant de trois types de roches carbonatées sont extraits de blocs de roche homogènes dans le but d'être dissous. Les roches étudiées sont une craie, un calcaire crinoïdal et une dolomie, et les échantillons représentent des VER. Avant les expériences, les échantillons sont caractérisés par des méthodes de laboratoire et d'imagerie, pour connaître leurs propriétés structurales, élastiques, mécaniques, minérales et hydrodynamiques. Ils sont ensuite soumis à une injection de fluide acide dans un dispositif expérimental développé au cours de la thèse. Pour les échantillons de craie, deux fluides avec des concentrations en acide différentes sont utilisés, contrairement au calcaire crinoïdal et à la dolomie, où un seul acide est utilisé. Différents débits, associés à différentes conditions de Pécelet, sont appliqués aux échantillons. Pendant les dissolutions, les données hydrodynamiques et hydrochimiques sont enregistrées en continu. Après les expériences, les mêmes mesures qu'avant les expériences sont réalisées.

La caractérisation des échantillons a permis de montrer que la microstructure contrôle les propriétés d'une roche, et que les relations établies entre les propriétés pétrophysiques à l'échelle de l'échantillon se retrouvent à grande échelle. Pour toutes les roches, l'injection de fluide acide dans les échantillons est à l'origine d'une dissolution de la roche, induisant la formation de conduits préférentiels, associée à une augmentation de la perméabilité et de la porosité. De plus, les régimes de dissolution observés sont directement corrélés à la concentration de l'acide injecté et à son débit, mais aussi aux propriétés structurales initiales de la roche. Pour les expériences menées sur la craie, qui est une roche très hétérogène de par sa forte proportion de micropores, les hétérogénéités sont responsables des figures de dissolution obtenues, notamment de la formation de chenaux quand les conditions expérimentales suggèrent une dissolution uniforme. Pour ce qui est des expériences impliquant les trois types de roches, la roche contenant de la dolomite présente un taux de dissolution plus faible que les roches n'en contenant pas, ce qui est dû à la cinétique de réaction plus faible de la dolomite comparée à la calcite. Avec son importante microporosité, la craie est la roche qui présente le plus haut taux de dissolution. De plus, les conduits créés dans la dolomie sont nettement plus localisés et linéaires que les conduits dans les autres roches. Pour une même quantité d'acide injectée, la minéralogie de la roche, associée à sa structure, est donc principalement responsable des figures de dissolution dans une roche.

Résumé

Carbonate rocks constitute a very important part of the rocks present on the Earth's surface. The reservoirs associated with them represent essential resources for human societies, whether direct (water, gas, hydrocarbons) or indirect (geothermal energy, CO₂ storage). The high reactivity of carbonate rocks is responsible for karstification, a reaction process due to the thermodynamic imbalance between the rock and the water circulating in the reservoir. This results in the formation of karstic aquifers, characterized by strong structural heterogeneities accompanied by a complex hydrological behavior. This makes it a vulnerable system, but also a very productive one. In order to better manage these reservoirs and the water resource they contain, a better understanding of the formation and location of karst conduits is necessary.

For this purpose, laboratory experiments can be performed to reproduce the karstification phenomenon at small scale. Rock samples from three types of carbonate rocks are extracted from homogeneous rock blocks in order to be dissolved. The rocks studied are a chalk, a crinoidal limestone and a dolomite, and the samples represent VERs. Prior to the experiments, the samples are characterized by laboratory and imaging methods for structural, elastic, mechanical, mineral and hydrodynamic properties. They are then submitted to an injection of acidic fluid in an experimental device developed during the thesis. For chalk samples, two fluids with different acid concentrations are used, unlike crinoidal limestone and dolomite, where only one acid is used. Different flow rates, associated with different Péclet conditions, are applied to the samples. During the dissolutions, hydrodynamic and hydrochemical data are recorded continuously. After the experiments, the same measurements as before the experiments are performed.

The characterization of the samples has shown that the microstructure controls the properties of a rock, and that the relationships established between petrophysical properties at the sample scale are found at large scale. For all rocks, the injection of acidic fluid into the samples causes dissolution of the rock, leading to the formation of preferential conduits, associated with an increase in permeability and porosity. Moreover, the observed dissolution regimes are directly correlated to the concentration of the injected acid and its flow rate, but also to the initial structural properties of the rock. For the experiments conducted on chalk, which is a very heterogeneous rock due to its high proportion of micropores, the heterogeneities are responsible for the dissolution patterns obtained, in particular the formation of channels when the experimental conditions suggest a uniform dissolution. For experiments involving all three rock types, the dolomite-containing rock shows a lower dissolution rate than the non-dolomite-containing rocks, which is due to the lower reaction kinetics of dolomite compared to calcite. With its high microporosity, chalk is the rock with the highest dissolution rate. Moreover, the conduits created in dolomite are much more localized and linear than the conduits in other rocks. For the same amount of acid injected, the mineralogy of the rock, associated with its structure, is therefore mainly responsible for the dissolution figures in a rock.