

Titre : Effet de la percolation de fluides diphasiques sur le réarrangement des géo-matériaux

Mots clés : Écoulement diphasique, chargement hydro-mécanique, digitation, déformation localisée, détection d'interface, corrélation d'images numériques

Résumé : L'objectif de neutralité carbone reposant massivement sur les sources d'énergie renouvelables peut être accéléré en envisageant la séquestration souterraine du CO₂ et le stockage souterrain (i) de l'hydrogène produit par l'électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable et (ii) du méthane synthétisé produit par la méthanisation. Cependant, l'injection de ces fluides dans des aquifères salins profonds peut déclencher des instabilités locales sous la forme de digitations, qui sont les précurseurs d'instabilités macroscopiques telles que la microsismicité, l'affaissement ou le gonflement du sol.

L'interaction entre le fluide injecté, le fluide résidentiel et le milieu poreux hôte est un problème complexe. Pour étudier la réponse d'un squelette solide percolé par un écoulement diphasique instable, une machine originale bi-axiale adaptée aux géo-matériaux partiellement saturés et fournissant un contrôle hydro-mécanique, a été mise en place. Des expériences de drainage ont été menées sur des échantillons de sable saturés en eau et chargés mécaniquement, par

injection d'air via une pression capillaire imposée. Un protocole d'essai détaillant les étapes nécessaires à la réussite du test de drainage, allant de la préparation de l'échantillon à l'injection d'air, a été établi.

Grâce à un système optique haute résolution, l'infiltration de l'air à travers un ou plusieurs chemins préférentiels dans le milieu granulaire, a été acquise. Le suivi du ou des doigts a nécessité le développement d'un algorithme robuste permettant la détection automatique de l'interface pour l'ensemble des images disponibles. De plus, le réarrangement de la squelette granulaire induit par la percolation du fluide a été quantifié via la corrélation d'images numériques par éléments finis. Le couplage entre la propagation de l'interface et la localisation de la déformation a été mesuré quantitativement en fonction du chargement mécanique, contrôlé par la contrainte effective. Les résultats ont montré une corrélation entre le chargement mécanique et la percolation hétérogène sous la forme de digitation et de déformations localisées.

Title: Effect of two-phase fluid percolation on remodeling of geo-materials

Keywords: Bi-phasic flow, hydro-mechanical loading, fluid fingering, localized strain, interface detection, DIC

Abstract: The goal of carbon neutrality relying massively on the renewable energy sources can be accelerated by considering underground CO₂ sequestration and underground storage of (i) hydrogen produced by the water electrolysis from renewable electricity, and (ii) synthesized methane produced by the methanation. However, the injection of these fluids into deep saline aquifers, can trigger local instabilities in the form of fluid fingering, which are precursors of macroscopic instabilities such as micro-seismicity, subsidence or ground swelling.

The interaction between the injected fluid, the residential one and the host porous medium is a complex problem. To investigate the response of a solid skeleton percolated by an unsteady bi-phasic flow, an original bi-axial machine adapted to partially saturated geo-materials and providing a hydro-mechanical control, has been set-up. Drainage experiments have been conducted on mechanically loaded water-saturated sand samples by injecting air via an imposed capillary

pressure. A testing protocol detailing the steps required to achieve successful drainage test, starting from sample preparation to air injection, has been established.

Thanks to a high resolution optical system, the air infiltration through preferential pathway(s) within the granular medium, has been acquired. The monitoring of the propagating finger(s) has required the development of robust algorithm allowing the automatic interface detection for the set of available images. In addition, the skeleton remodeling driven by the fluid percolation has been quantified via finite-element based digital image correlation. The coupling between interface propagation and strain localization has been quantitatively measured as function of the mechanical loading, controlled by the effective stress. The results have shown a correlation between mechanical loading and the heterogeneous percolation in the form of fingering and localized strains.