



**HAL**  
open science

## Evolution du comportement mécanique d'un matériau modèle soumis à une dissolution progressive

Kajetan Wojtacki, Loïc Daridon, Yann Monerie

► **To cite this version:**

Kajetan Wojtacki, Loïc Daridon, Yann Monerie. Evolution du comportement mécanique d'un matériau modèle soumis à une dissolution progressive. 3èmes Journées Matériaux Numériques, Jan 2017, Tours, France. hal-02143438

**HAL Id: hal-02143438**

**<https://hal.science/hal-02143438>**

Submitted on 29 May 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Evolution du comportement mécanique d'un matériau modèle soumis à une dissolution progressive

Kajetan Wojtacki<sup>1</sup>, Loïc Daridon<sup>1,2</sup>, Yann Monerie<sup>1,2</sup>

kajetan.wojtacki@umontpellier.fr

<sup>1</sup> CNRS, LMGC, Université Montpellier, France

<sup>2</sup> MIST, IRSN, CNRS, Université Montpellier, France

## Résumé

Cet article présente une méthodologie pour prédire l'évolution du comportement mécanique d'une roche au cours de processus d'érosion chimique, symptomatiques du stockage profond du CO<sub>2</sub> dans des aquifères salins. Une méthode permettant d'obtenir des échantillons à microstructure statistiquement équivalente à des échantillons de roche naturelle a été développée. Deux scénarii d'érosion numérique ont été proposés pour le matériau numérique et à l'échantillon réel : l'un pour lequel l'espace poral croît de manière isotrope, l'autre privilégiant l'érosion dans les zones où l'écoulement de la phase interstitielle est plus prononcée. Pour chaque scénario, l'évolution des comportements élastiques a été analysée en lien avec l'évolution de propriétés de transport.

## Introduction

Le stockage géologique du CO<sub>2</sub> est intensivement étudié comme une solution pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Ce type de stockage du dioxyde de carbone (CCS) consiste à l'injecter dans un état supercritique dans un aquifère salin. Après l'injection des réactions chimiques provoquent des changements importants et irréversibles sur les propriétés et la morphologie de la roche [1]. Afin de modéliser la dégradation chimique deux hypothèses principales ont été faites : l'hypothèse du long terme et celle des conditions de champ lointain. Ces hypothèses permettent de considérer la dissolution comme uniforme à l'échelle de l'échantillon [2]. Deux scénarii d'érosion numérique ont été appliqués à un matériau modèle obtenu par reconstruction numérique et à un échantillon réel. L'étude de l'évolution des comportements élastiques en lien avec l'évolution de propriétés de transport est présentée dans ce travail.

## Reconstruction numérique d'échantillons

Le grès est le produit d'une série de processus géologiques et hydrodynamiques complexes. L'objectif, ici, est de reconstruire l'échantillon, par un processus aussi simple que possible en mettant en œuvre des étapes morphologiques inspirées par le processus naturel de formation des grès. Pour ce faire, une approche comparable à celle proposée par de Bake et Øren [3] a été suivie ; la géométrie 3D modèle du grès est obtenue à l'aide de **3 phases** sachant que les informations morphologiques discriminantes sont vérifiées a posteriori : 1/ **la sédimentation** - dépôt de grains, 2/ **le compactage** - réduction de volume et 3/ **la diagenèse** – croissance aléatoire des grains ou réduction aléatoire de l'espace poral.

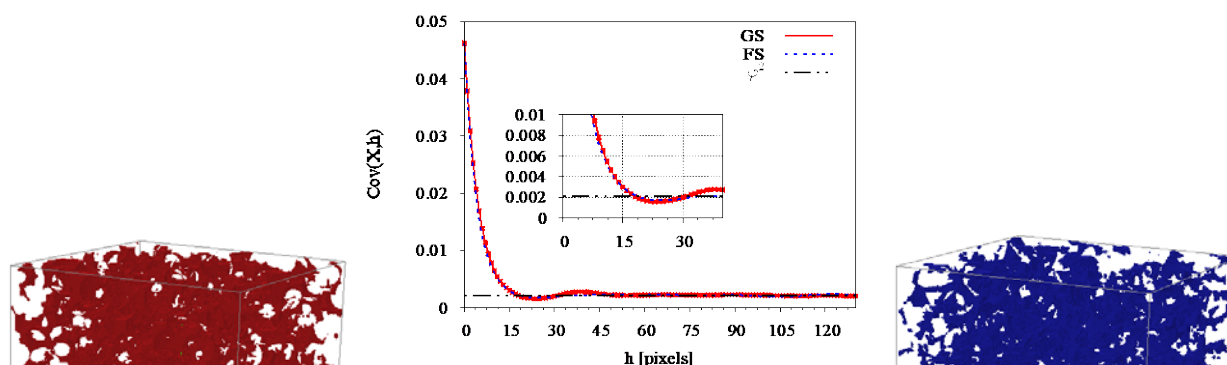


Figure 1 : Visualisation de la géométrie d'un échantillon généré (rouge) et de la géométrie du grès (bleu). La comparaison de la covariances moyennes obtenues pour tous les échantillons générés (GS) avec celle du grès (FS).

La validité de la reconstruction des échantillons générés est vérifiée sur quatre descripteurs morphologiques discriminants [4] : **les mesures de base, la granulométrie de la phase solide, la covariance spatiale de la phase poreuse et la connectivité de l'espace poral.**

## Erosion de la matière

Pour les géométries binarisées de la roche réelle et les géométries tridimensionnelles numériques, des

scénarii de dissolution chimique ont été proposés. La microstructure obtenue par microtomographie X ne donnant qu'une approximation de la connectivité réelle de l'espace poral, deux scénarii de dissolution ont été mis en œuvre : a/ **la dissolution isotrope** - consiste à appliquer une croissance isotrope de tout l'espace poral, et b/ **la dissolution du réseau percolant** - consiste à appliquer une croissance isotrope uniquement des pores constituant le réseau percolé. Cette dernière hypothèse de dissolution vise à supposer que l'écoulement de la phase interstitielle (le CO<sub>2</sub>) est le mécanisme prépondérant d'érosion. Le modèle de la dissolution numérique est basé sur une opération de base des mathématiques morphologiques : la dilatation. Une étape de dissolution correspond à une dilation des pores associés au scénario choisi.

### Estimation du comportement élastique et de la perméabilité

L'estimation des propriétés élastiques est obtenue par la méthode d'homogénéisation périodique [5]. Les hypothèses de périodicité géométrique n'étant généralement pas vérifiées sur les échantillons numériques ou réels, les volumes élémentaires considérés sont revêtus d'une couche de matériau auto-cohérent implicite estimé par une méthode de point fixe [6]. L'influence de la discrétisation aux éléments finis et de la convergence de la méthode sur l'estimation des propriétés élastiques effectives est étudiée. La perméabilité est estimée de manière classique en utilisant la méthode de mise à l'échelle de la loi de Darcy. Une approche standard pour la simulation d'écoulement de fluide dans des milieux poreux est utilisée : maillage structuré avec attribution des propriétés physiques selon la microstructure considérée.

Ces deux études – élasticité et perméabilité – menées sur les deux scénarii de dissolution conduisent à proposer une loi reliant les modules d'élasticité normalisés au coefficient de perméabilité effectif [7] :

$$P(K) = 1 - \frac{K^\beta}{\alpha}$$

où **P** est le module élastique normalisé, **K** le coefficient de perméabilité,  $\alpha$  et  $\beta \in [0, 1]$  des nombres réels.

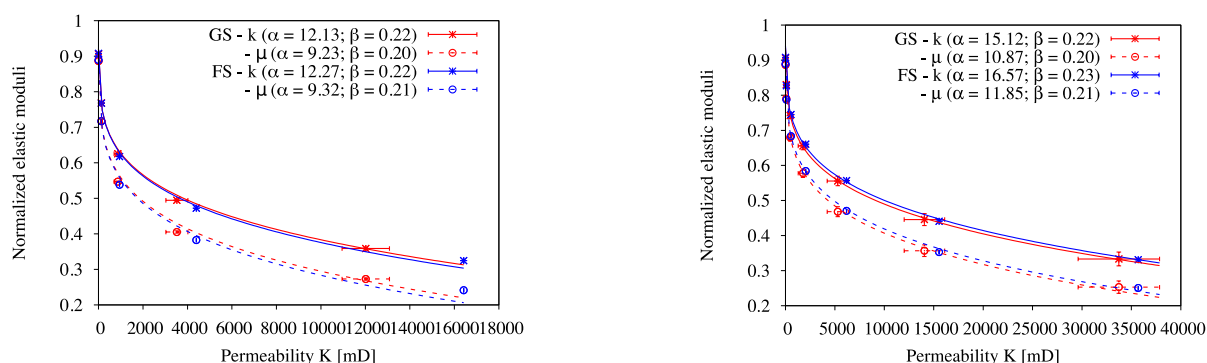


Figure 2 : Module élastique normalisé par celui du squelette en fonction du coefficient de perméabilité, pour le grès (FS) et des matériaux modèle (GS). Dissolution isotrope à gauche et dissolution du réseau percolé à droite.

### Conclusions

Une méthode de reconstruction inspirée du processus naturel de formation des grès a été développée afin d'obtenir des représentations statistiquement équivalentes à de véritables échantillons. Une méthodologie d'estimation des propriétés mécaniques équivalentes des échantillons générés, fondées directement sur des maillages réguliers considérés comme images binaires, a été présentée. Le comportement mécanique équivalent est obtenu dans le cadre de l'homogénéisation périodique. L'évolution de la perméabilité a été estimée de manière classique en utilisant la méthode de mise à l'échelle de la loi de Darcy. Une relation entre les propriétés morphologiques - perméabilité - modules d'élasticité a été obtenue.

[1] S. Bachu, D. Bonijoly, J. Bradshaw, R. Burruss, S. Holloway, N.P. Christensen, O.M. Mathiassen, CO<sub>2</sub> storage capacity estimation : Methodology and gaps , International Journal of Greenhouse Gas Control, Elsevier, 430-443, 2007.

[2] J. Bemmer, J.M. Lombard. From injectivity to integrity studies of CO<sub>2</sub> geological storage. Chemical alteration effects on carbonates petrophysical and geomechanical properties , Oil & Gas Science and Technology, IFP Energies nouvelles, 445-459, 2009.

[3] S. Bakke, P.E. Oren. 3-D pore-scale simulation modelling of sandstone and flow simulations in the pore network ,SPE Journal, Society of Petroleum Engineers, 136-149, 1997.

[4] D. Jeulin. Random texture models for material structures , Statistics and Computing, Springer, 121-132, 2001.

[5] M. Bornert, T. Bretheau, P. Gilormini. Homogénéisation en mécanique des matériaux 1 et 2, Hermes Science, 2001, Paris

[6] K. Wojtacki, L. Daridon, Y. Monerie. Computing the elastic properties of sandstone submitted to progressive dissolution, Int. Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, accepté, 2016

[7] K. Wojtacki, L. Daridon, Y. Monerie. Chemical degradation of a numerical material - application to fontainebleau sandstone, 15th European Mechanics of Materials conference (EMMC15), Sept 7-9, 2016, Bruxelles