

PROPOSITION DE THÈSE – Automne 2013

Sujet : Modélisation des incertitudes paramétriques et géométriques du sous-sol
Applications aux écoulements en milieux poreux

- **Encadrement:** O. Le Maître (LIMSI - Orsay) et P. Sochala (BRGM - Orléans)
- **Lieu :** BRGM (Orléans)
- **Pour candidater :** CV, notes, lettres de motivation et de recommandation à **envoyer avant fin mars** à olm@limsi.fr, p.sochala@brgm.fr
- **Conditions :**
 - être en master **Analyse numérique** ou **Calcul scientifique** ou **Mathématiques appliquées**
 - être familier des méthodes numériques en éléments finis
 - savoir programmer (python c ou c++)

Contexte (état de l'art et problématique scientifique)

Les performances et la précision des modèles numériques progressant, la prise en compte d'aléas, d'incertitudes et du caractère probabiliste des situations réelles est un élément qui devient incontournable lors des simulations. Ces incertitudes épistémiques présentes dans les modèles résultent d'une connaissance incomplète de la situation réelle ou d'une variabilité intrinsèque. En effet, dans de nombreux cas, l'ensemble des données d'entrée ne peut pas être spécifiée de façon déterministe et une description probabiliste s'avère plus adaptée. L'intérêt de propager et d'analyser les incertitudes dans un système est de fournir une solution plus réaliste en considérant un ensemble plus vaste de situations, contrairement à une simulation déterministe qui traduit une seule configuration. Cette solution plus réaliste permet notamment de définir des intervalles de confiance facilitant ainsi la comparaison avec des observations expérimentales et permettant aussi de mieux juger de la qualité des modèles physiques employés. Dans le cas des écoulements en milieux poreux, des incertitudes paramétriques et géométriques sont présentes. Les incertitudes paramétriques concernent la perméabilité absolue et les perméabilités relatives des différentes phases présentes (e.g. eau et gaz) qui sont déterminés indirectement par méthode inverse, mesures *in situ* et essais en laboratoire. Les incertitudes géométriques sont les positions des interfaces entre les couches géologiques estimées par méthode inverse et par des données issues de forage.

Le traitement des incertitudes dans les simulations numériques requiert trois phases : la modélisation, la propagation et l'analyse. La modélisation d'un champ stochastique de grande dimension (comme la perméabilité) se fait souvent par l'expansion de Karhunen-Loève. La propagation des aléas paramétriques est assez bien maîtrisée puisque les méthodes de type Monte – Carlo et les méthodes spectrales (non-intrusives ou intrusives) ont démontré leur performance dans de nombreux domaines comme l'élasticité, la thermique et en mécanique des fluides [1, 2, 3, 4]. Les méthodes de type Monte-Carlo consistent à explorer l'ensemble des événements possibles de façon aléatoire (ou quasi-aléatoire) en utilisant plusieurs fois le modèle déterministe initial. Lorsque le temps CPU d'une simulation déterministe est trop long pour mettre en œuvre ces méthodes, les méthodes spectrales s'avèrent plus efficaces puisqu'elles construisent un modèle simplifié en supposant une relation fonctionnelle entre la solution et les données. Le traitement des aléas géométriques est moins abordé même si une méthode de mapping aléatoire [5] et une extension de la méthode des éléments finis étendus [6] ont été proposées. L'analyse consiste à l'exploitation des résultats en étudiant notamment les distributions des variables de sortie, les corrélations entre ces variables et en faisant des analyses de sensibilité globale.

Objectifs de la thèse

Nous proposons dans cette thèse de travailler selon les deux axes suivant :

1/ La modélisation des incertitudes paramétriques concernera la perméabilité absolue (représentée par l'expansion de Karhunen-Loève) mais aussi les perméabilités relatives qui s'expriment en fonction de paramètres empiriques de calage.

2/ La modélisation des incertitudes géométriques prendra en compte les indéterminations des positions des interfaces entre les différentes couches géologiques. Les deux méthodes citées plus haut (mapping aléatoire et extension de la méthode des éléments finis étendus) pourront être adaptées.

Domaine d'application

Le domaine d'application de cette thèse est le stockage géologique de CO₂ dont le principe est d'injecter le dioxyde de carbone émis par les sites industriels dans des réservoirs géologiques profonds. Les principales quantités d'intérêts sont la surpression maximale liée à l'injection et l'extension spatiale du nuage de gaz. Les résultats attendus concernent les corrélations entre les quantités d'intérêts mais surtout des probabilités de dépassement de seuil indispensables lors de l'analyse de risque. Par exemple, à partir d'une configuration initiale stochastique du système (i.e. incluant les incertitudes paramétriques et géométriques), la modélisation envisagée permettra de connaître la probabilité que le nuage de CO₂ pollue une nappe phréatique.

Références

- [1] R.G. Ghanem and P.D. Spanos, ***Stochastic Finite Elements: A spectral Approach***, Springer-Verlag, Berlin/New York, 1991.
- [2] O. Knio and O. Le Maître, ***Uncertainty propagation in CFD using Polynomial Chaos decompositions***, Fluid Dynamics Research, (38):9, pp.616-640, (2006).
- [3] O. Le Maître, O. M. Knio, H. N. Najm and R. G. Ghanem. ***Uncertainty propagation using Wiener-Haar expansions***. J. Comput. Phys. 197 (1) 28-57, 2004a.
- [4] J. Tryoen, O. Le Maître, M. Ndjinga and A. Ern, ***Intrusive Galerkin Methods with Upwinding for Uncertain Nonlinear hyperbolic systems***, J. Computational Physics, 228:18, pp. 6485-6511, (2010).
- [5] R.G. Ghanem, V. Brzakala, V., ***Stochastic finite element analysis for randomly layered media***, ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 122, No. 4, pp. 361-369, 1996.
- [6] A. Nouy, A. Clément, F. Schoefs, N. Moës, ***An extended stochastic finite element method for solving stochastic partial differential equations on random domains***, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 197, 51–52, 2008
- [7] M. Rousseau, O. Cerdan, A. Ern, O. Le Maître, P. Sochala, ***Study of overland flow with uncertain infiltration using stochastic tools***, Advances in Water Resources,