



Homogenization and Numerical Modeling of Flow and Transport in Heterogeneous Porous Media. Applications to Energy and Environmental Studies.

Brahim Amaziane

► To cite this version:

Brahim Amaziane. Homogenization and Numerical Modeling of Flow and Transport in Heterogeneous Porous Media. Applications to Energy and Environmental Studies.. Mathematics [math]. Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2005. tel-00010339

HAL Id: tel-00010339

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00010339>

Submitted on 30 Sep 2005

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.

Homogénéisation et Modélisation Numérique d'Écoulements en Milieux Poreux Hétérogènes. Applications à des Problématiques Énergétiques et Environnementales.

Brahim Amaziane

Résumé

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire portent sur des méthodes d'homogénéisation et d'approximation numérique pour des écoulements mono ou multiphasiques en milieux poreux hétérogènes.

Les applications visées proviennent des problèmes de l'ingénierie pétrolière, la gestion des déchets radioactifs et la gestion des ressources en eau souterraines. On s'intéresse à des méthodes numériques pour le calcul des coefficients effectifs obtenus par des méthodes asymptotiques de mise à l'échelle, à des méthodes d'éléments finis mixtes, à des méthodes de volumes finis et à leur implémentation. Des méthodes numériques ont été développées pour la simulation des écoulements miscibles ou immiscibles en milieux poreux hétérogènes.

Trois thèmes sont abordés.

Le premier traite de l'homogénéisation pour des écoulements mono ou multiphasiques en milieux poreux. Les résultats de convergence obtenus sont établis à l'aide de la convergence à deux échelles et/ou la L-convergence. Le calcul des paramètres effectifs nécessite la résolution de problèmes locaux sur une cellule de base. Les méthodes numériques utilisées sont de type éléments finis conformes, éléments finis mixtes et volumes finis. Nous avons développé une plate-forme (Homogenizer++), en Java, de calcul de paramètres effectifs. Homogenizer++ est basée sur une Interface Homme Machine conviviale et utilisée comme un pré-processing à des simulations numériques d'écoulements en milieux poreux hétérogènes.

Le deuxième thème porte sur l'approximation numérique de systèmes d'écoulements diphasiques miscibles ou immiscibles en milieux poreux. Le modèle miscible fait intervenir une équation elliptique couplée à une équation de diffusion-convection-réaction linéaire. Tandis que le modèle immiscible fait intervenir une équation elliptique couplée à une équation de diffusion-convection nonlinéaire et dégénérée. On utilise une méthode d'éléments finis mixtes pour l'approximation de l'équation elliptique combinée à un schéma volumes finis pour l'équation de diffusion-convection. Pour chaque système, on montre que le schéma est L^∞ et BV stables, sous une condition CFL, et satisfait le principe du maximum discret. Ensuite, on établit des résultats de convergence vers la solution faible du problème. Les simulations numériques réalisées confirment l'efficacité des schémas numériques proposés. Un estimateur a posteriori d'un schéma volume finis pour l'équation de Darcy a été développé pour des maillages anisotropiques. On montre théoriquement et numériquement l'efficacité de cette méthode d'adaptation de maillage.

Enfin le dernier thème concerne des méthodes d'approximation numérique pour des problèmes de ressources en eau souterraines. Une méthode sans maillage couplée à un algorithme génétique a été développée et implémentée pour une équation de diffusion modélisant un écoulement monophasique en milieux poreux. Puis on montre numériquement l'efficacité d'une méthode combinant les éléments frontières et un algorithme génétique pour un problème d'intrusion d'eau marine dans les nappes aquifères.

Homogenization and Numerical Modeling of Flow and Transport in Heterogeneous Porous Media. Applications to Energy and Environmental Studies.

Brahim Amaziane

Abstract

Single and multiphase flow and transport processes in heterogeneous porous media are involved in a wide variety of engineering applications, such as oil recovery, radioactive nuclear waste and groundwater remediation. In this work, we study flow and transport through heterogeneous porous media using homogenization methods and numerical modeling. We are concerned with approximating effective coefficients for such problems using conforming, mixed finite elements and finite volume methods and their implementation. Numerical methods have been developed for the simulation of miscible or immiscible two-phase flow in heterogeneous porous media.

Three topics are investigated.

The first one deals with the homogenization of single and multiphase flow in porous media. The convergence results are obtained by mean of the two-scale convergence and/or L-convergence. Each homogenization method leads to the definition of a global or effective model of a homogeneous medium defined by the computed effective coefficients. Homogenization methods allow the determination of these effective coefficients from knowledge of the geometrical structure of a basic cell and its heterogeneities by solving appropriate local problems. The technique is based on numeric. We assume that data given on a fine grid fully represents the important physical scales and that a practical computational grid must be somewhat coarser. In the homogenization methods described and implemented in this work we use conforming, mixed finite elements and FV methods to compute approximate solutions of the local problems used in the calculation of the effective coefficients. We have developed a user friendly computational tool, Homogenizer++, for the computation of effective parameters. The platform Homogenizer++ is based on Object Oriented Programming approach.

The second topic concerns numerical methods for miscible or immiscible two-phase flow in porous media. The mathematical models used to describe these fluid flow processes are coupled system of partial differential equations. The miscible model under consideration includes an elliptic pressure-velocity equation coupled to a linear convection-diffusion-reaction concentration equation. While the immiscible model is described by an elliptic pressure-velocity equation coupled to a nonlinear, degenerate, convection-diffusion saturation equation. For each model, it is shown that the scheme satisfies a discrete maximum principle. We derive L^∞ and BV estimates under an appropriate CFL condition. Then we prove the convergence of the approximate solutions to a weak solution of the coupled system. Several numerical simulations prove the efficiency of these schemes. A posteriori error estimation for a finite volume scheme on anisotropic meshes for Darcy equation has been derived. The scheme is analyzed theoretically and numerically. Numerical simulations underline the applicability of the scheme in adaptive computations.

Finally, we present some numerical methods applied to groundwater flow problems. These include a meshless method, genetic algorithms, and stochastic boundary element algorithms. A meshless method based on radial basis functions is coupled with genetic algorithms for parameter identification to a diffusion equation with some specific boundary conditions describing the groundwater fluctuation in a leaky confined aquifer system near open tidal water. Then a stochastic boundary element method coupled to a genetic algorithm is employed for the optimization of groundwater pumping in coastal aquifers under the threat of saltwater intrusion. Numerical examples of deterministic and stochastic problems are provided to demonstrate the feasibility of the proposed schemes.