

Méthodes de changement d'échelles et applications

organisation : Philippe Angot et Zoubida Hassaine

9h30 – 10h : Accueil café

Session 1 – chairman : Philippe Angot

10h – 11h : J. Alberto Ochoa-Tapia (Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico)

Fluid Flow at the fluid/porous medium inter-region

In the first part of the talk, we use the methodology based on the volume averaging of the Stokes equation to derive the Darcy-Brinkman equation. In this way, the salient steps to obtain the spatially smoothed equation and the effective coefficients are outlined. The characteristic length restrictions of the model obtained, that are valid in the bulk of homogeneous porous media, are identified. Latter, I discuss the one-domain approach (ODA) and the two-domain approach (TDA). These are introduced to deal with the breaking of the above-mentioned restrictions. This occurs due to the abrupt change of the microstructure at the boundary of the porous medium region.

11h – 12h : Grégoire Allaire (Ecole Polytechnique, CMAP)

Homogenization of a Conductive-Radiative Heat Transfer Problem

(with Zakaria Habibi)

Motivated by an application to gas-cooled nuclear reactors, we consider the homogenization of heat transfer in periodic porous media where the fluid part is made of long thin parallel cylinders, the diameter of which is of the same order than the period. The heat is transported by conduction in the solid part of the domain and by conduction, convection and radiative transfer in the fluid part (the cylinders). A non-local boundary condition models the radiative heat transfer on the cylinder walls. To obtain the homogenized problem we first use a formal two-scale asymptotic expansion method. The resulting effective model is a convection- diffusion equation posed in a homogeneous domain with homogenized coefficients evaluated by solving so-called cell problems where radiative transfer is taken into account. In a second step we rigorously justify the homogenization process by using the notion of two-scale convergence. One feature of this work is that it combines homogenization with a 3D to 2D asymptotic analysis since the radiative transfer in the limit cell problem is purely two-dimensional. Eventually, we provide some 3D numerical results in order to show the convergence and the computational advantages of our homogenization method.

12h – 13h30 : Déjeuner buffet

Session 2 – chairman : Grégoire Allaire

13h30 – 14h30 : Benoît Goyeau (CentraleSupélec, EM2C)

Asymptotic modeling for momentum transport at a fluid-porous interface

(with Philippe Angot and Alberto Ochoa-Tapia)

Transport phenomena in partially porous configurations are present in a large variety of industrial applications but also in environmental situations or biological systems where the description of mechanisms at the fluid-porous interfacial region is of first importance. In this sense, different analyses have been performed at the different scales of the systems. Due to the different characteristic length scales of these configurations, macroscopic models are often recommended. Actually, the derivation of these averaged models is very challenging and gives rise to two macroscopic approaches with a different concept of the interfacial region. In the single-domain approach, the fluid-porous interface is viewed as a thin transition layer where the averaged properties (porosity, permeability,...) are continuously space-dependent. The determination of these spatial evolving heterogeneities can be obtained by using an upscaling procedure based on the volume averaging method. At the contrary, the multi-domain approach considers a discrete interface (dividing surface) between the homogeneous fluid and porous regions with associated jump boundary conditions whose derivation represents another challenge. Recent studies have shown that the jump boundary conditions imposed at the dividing surface actually represent the integration of transport phenomena within the inter-region of the single-domain approach.

A recent original asymptotic modelling for a multi-dimensional unsteady viscous fluid flow at a fluid-porous interface is presented here. This asymptotic model is based on the fact that the thickness of the interfacial transition region in the one-domain representation is very small compared to the macroscopic length scale. The analysis leads to an equivalent two-domain representation where transport phenomena in the transition layer of the one-domain approach are represented by algebraic jump boundary conditions at a fictive dividing interface between the homogeneous fluid and porous regions. The originality and great interest of this new asymptotic model lies in its general and multi-dimensional character. In addition, for multi-dimensional flows the general asymptotic model yields the different components of the jump conditions including a new specific equation for the cross-flow pressure jump on the dividing surface.

14h30 – 15h30 : Ali Sili (Université Toulon, I2M)

Une équation non-locale unidimensionnelle obtenue comme limite d'une équation tridimensionnelle

Dans cet exposé, je donne un exemple simple d'une équation non-locale obtenue comme limite dans un problème de réduction de dimension 3d-1d. L'effet non local provient du contraste entre les coefficients de l'opérateur à petite échelle. Je ferai ensuite le lien et montrerai les similitudes avec un problème d'homogénéisation périodique.

15h30 – 16h : Pause café

Session 3 – chairman : Benoît Goyeau

16h – 17h : Didier Lasseux (CNRS, I2M Bordeaux)

Changement d'échelle pour l'écoulement faiblement compressible d'un gaz en régime glissant en milieu poreux

Dans cet exposé, on présente un modèle macroscopique pour l'écoulement faiblement compressible en régime glissant (i.e. avec effets Knudsen) d'un gaz dans un milieu poreux homogène obtenu par changement d'échelle du problème initial et aux limites à l'échelle microscopique (du pore). Après avoir brièvement rappelé la méthodologie de prise de moyenne utilisée pour le changement d'échelle et comment on obtient le modèle macroscopique pour le problème considéré, on montrera des résultats de résolution numérique des problèmes auxiliaires dits "de fermeture" à l'aide d'une méthode intégrale et d'éléments de frontière. On discutera de comparaisons entre la solution du modèle macroscopique, des solutions analytiques approchées en géométrie de milieu simple et des solutions numériques directes du problème microscopique dans des structures plus complexes.

17h – 17h40 : Claire Beauchesne (CentraleSupélec, EM2C)

Modélisation multi-échelles d'un bioréacteur à perfusion : application à l'ingénierie tissulaire osseuse

En traumatologie ou chirurgie maxillo-faciale, des substituts osseux sont souvent nécessaires afin de traiter les larges défauts osseux. L'autogreffe, qui est le traitement actuel de référence présente un certain nombre de limitations dont l'ingénierie tissulaire osseuse permettrait de s'affranchir.

La reconstruction serait assurée par le dépôt de matériaux bio-hybrides, associant matériaux biocompatibles résorbables et cellules ostéo-compétentes, au niveau de la lésion. L'intérêt de l'utilisation d'un bioréacteur pour cultiver des cellules ostéo-compétentes a été montré : il permet un meilleur transfert de masse (apport en nutriments et évacuation des déchets) ainsi qu'une stimulation de la prolifération cellulaire par mécano-transduction.

Cette technologie reste cependant encore immature et doit s'affranchir de la conception empirique des bioréacteurs en vue de leur optimisation et pour assurer un meilleur contrôle de la prolifération. L'enjeu est de proposer un modèle à l'échelle du bioréacteur le plus pertinent possible en prenant en compte les phénomènes aux échelles locales. À cette fin, une double approche associant expériences de culture cellulaire en bioréacteur et modélisation d'écoulement et de transferts en milieux poreux est adoptée.