
Transmissivité d'une fracture et perméabilité d'un milieu poreux en régime glissant

Tony Zaouter^{*1}, Didier Lasseux², Francisco Valdes Parada³, and Marc Prat⁴

¹Institut des Sciences et technologies pour une Economie Circulaire des énergies bas carbone (ISEC) – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DES/Marcoule – CEA Marcoule, France

²Institut de Mécanique et d'Ingénierie – Université de Bordeaux, Institut polytechnique de Bordeaux, Centre National de la Recherche Scientifique, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement, Arts et Métiers Sciences et Technologies – France

³Universidad Autonoma Metropolitana - Iztapalapa – Mexique

⁴Institut de mécanique des fluides de Toulouse – Institut National Polytechnique [Toulouse], Université Toulouse III - Paul Sabatier, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR5502, Institut National Polytechnique (Toulouse), Centre National de la Recherche Scientifique – France

Résumé

Les écoulements de gaz en régime raréfié se rencontrent dans de nombreuses applications en fracture rugueuse (étanchéité) ou en milieux poreux (stockage géologique, extraction gazière dans des roches très peu perméables). Lorsque la raréfaction est modérée (nombre de Knudsen inférieur à 0,1), l'écoulement à l'échelle microscopique est modélisé par les équations de Navier-Stokes et une condition de glissement, typiquement du premier ordre (1), pour la vitesse aux parois. À l'échelle macroscopique, la signature de l'effet du glissement se retrouve de manière implicite dans le tenseur de transmissivité apparente dans le cas d'une fracture (2), ou, de façon analogue, dans le tenseur de perméabilité pour un milieu poreux (3, 4). Un développement en série selon les puissances du nombre de Knudsen moyen permet de scinder la contribution visqueuse de celle du glissement, tous les coefficients étant alors intrinsèques, celui devant chaque monôme d'ordre supérieur ou égal à un étant le tenseur de correction de glissement à l'ordre donné. Chaque tenseur de correction est alors obtenu à partir de la solution d'un problème de fermeture qui lui est propre, séquentiellement couplé avec ceux aux ordres inférieurs néanmoins (2, 3, 4).

Dans ce travail, on propose une méthode efficace permettant de réduire d'un facteur deux le

*Intervenant

nombre
 de problèmes de fermeture à résoudre pour obtenir le tenseur de correction à l'ordre souhaité (6, 7). En particulier, on montre que l'approximation de Klinkenberg (5), communément employée et qui correspond à la troncature de la série au premier ordre, est obtenue uniquement à partir de la solution donnant la transmissivité intrinsèque (resp. la perméabilité intrinsèque dans le cas du milieu poreux). En d'autres termes, la solution du problème de fermeture intrinsèque sans glissement (de type Reynolds en fracture, et Stokes en poreux) obtenue à l'aide d'un solveur standard, permet également de déterminer le tenseur de correction de premier ordre. Ce résultat montre le lien direct qui existe entre ces deux premiers coefficients, souvent observé en pratique. Les développements réalisés permettent également d'établir la symétrie des différents tenseurs ainsi que de statuer sur leur positivité ou négativité selon l'ordre. Enfin, la solution des deux premiers problèmes de fermeture permet d'obtenir suffisamment de tenseurs de correction pour construire un approximant de Padé reproduisant de manière très satisfaisante la dépendance fonctionnelle entre transmissivité (resp. perméabilité) et nombre de Knudsen moyen. (1) E. Lauga, M. P. Brenner & H. A. Stone, *Microfluidics: The no-slip boundary condition*, Springer, (2007). (2) T. Zaouter, D. Lasseux & M. Prat. Gas slip flow in a fracture: local Reynolds equation and upscaled macroscopic model. *Journal of Fluid Mechanics*, 837, pp. 413-442, (2018). (3) D. Lasseux, F. J. Valdés Parada, J. A. Ochoa Tapia & B. Goyeau. A macroscopic model for slightly compressible gas slip-flow in homogeneous porous media. *Physics of Fluids*, 26(5), (2014). (4) D. Lasseux, F. J. Valdés Parada & M. L. Porter. An improved macroscale model for gas slip flow in porous media. *Journal of Fluid Mechanics*, 805, pp. 118-146, (2016). (5) L. Klinkenberg. The permeability of porous media to liquids and gases. *Drilling and Production Practice*, pp. 200-213, (1941). (6) T. Zaouter, F. J. Valdés-Parada, M. Prat & D. Lasseux. Effective transmissivity for slip flow in a fracture. *Journal of Fluid Mechanics*, soumis. (7) D. Lasseux, T. Zaouter & F. J. Valdés-Parada. Determination of Klinkenberg and higher-order correction tensors for slip flow in porous media. *Physical Review Fluids*, 8, 053401, (2023).