
Modélisation numérique méso-échelle du mécanisme d'érosion régressive dans le phénomène de renard

Francesco Froiio*¹, Carlo Callari², and Andrea Francesco Rotunno³

¹Univ Lyon, École Centrale de Lyon – Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR 5513 CNRS – France

²Université du Molise – Italie

³Italferr SPA – Italie

Résumé

Le "renard hydraulique" est l'un des processus d'érosion interne les plus dommageables pour l'aptitude au service et la stabilité des barrages et digues en remblai [1,2]. Ce phénomène consiste en le déclenchement à l'aval de l'ouvrage et la progression, vers l'amont, d'un front d'érosion régressive qui mène à la formation d'un véritable conduit d'érosion. La progression du conduit est suivie par son expansion latérale, due à l'érosion tangentielle de ses parois.

Nous avons récemment proposé un modèle aux éléments finis permettant la description de l'évolution temporelle du phénomène de renard à l'échelle de l'ouvrage [3-5], en prenant en compte aussi bien le mécanisme d'érosion régressive que celui d'expansion latérale [cf. 6]. Nous avons également proposé un modèle numérique préliminaire du premier mécanisme, à l'échelle de l'interface sol-conduit, à l'aide de la méthode des éléments discrets (Discrete Element Method, DEM) couplée avec la méthode de Boltzmann sur réseau (Lattice Boltzmann Method, LBM), respectivement pour la description des phases granulaire et fluide [7] (cf. [8] pour le deuxième mécanisme) ; nous avons récemment développé un modèle plus avancé, s'appuyant sur les mêmes outils numériques mais visant la description de ce mécanisme à l'échelle de la région du front du conduit d'érosion (meso-échelle).

Nous décrivons ici, d'abord, l'architecture générale du code de calcul couplé DEM-LBM, développé en interne et utilisé pour cette modélisation. Nous détaillons aussi les solutions techniques ayant permis de franchir cette nouvelle échelle de modélisation (optimisation du code, parallélisation, etc.). Nous présentons ensuite un essai représentatif du mécanisme d'érosion régressive. La description de l'essai porte sur l'évolution temporelle du phénomène et sur son analyse micro-mécanique. Ces observations confirment nos précédentes conjectures concernant les principaux mécanismes de résistance et de dégradation, du squelette granulaire, intervenant dans l'érosion régressive du front (notamment l'effet de voûte et l'endommagement du réseau des liens cohésifs [7]).

Remerciements : Recherche soutenue par GIS VOR 2012, LTDS 2012 et 2018, PRIN 2010-2011 (2010BFXRHS 004) ainsi que par deux bourses de doctorat (MESR, MIUR). Cette recherche a également bénéficié de plusieurs invitations de C. Callari à l'École Centrale de Lyon – LTDS et d'un Programme de mobilité VINCI (Université franco-italienne).

*Intervenant

†Auteur correspondant: francesco.froiio@ec-lyon.fr

Références :

R. Fell and J.J. Fry (dir.), Internal erosion of dams and their foundations, Taylor & Francis, 2007

S. Bonelli (dir.), Érosion des géomatériaux, Lavoisier, 2013

A.F. Rotunno, C. Callari, F. Froiio, Computational modeling of backward erosion piping, Dans : M. Frémond, F. Maceri, G. Vairo (dir.), Models, simulation, and experimental issues in structural mechanics, Springer, 2017, p. 225–234

A.F. Rotunno, C. Callari, F. Froiio, A finite element method for localized erosion in porous media with applications to backward piping in levees, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., DOI: 10.1002/nag.2864

.F. Rotunno, C. Callari, F. Froiio, A numerical approach for the analysis of piping erosion in hydraulic works, Dans : S. Bonelli, C. Jommi, D. Sterpi (dir.), Internal erosion in earthdams, dikes and levees, Springer, 2019, p. 189-167

S. Bonelli, O. Brivois, The scaling law in the hole erosion test with a constant pressure drop, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. 32 (2008) 1573–1595

D.K. Tran, N. Prime, F. Froiio, C. Callari, E. Vincens, Numerical modelling of backward front propagation in piping erosion by DEM-LBM coupling, Eur. J. Environ. Civ. En. 21 (2017) 960-987

F. Lominé, L. Scholtès, L. Sibille, P. Poullain, Modeling of fluid-solid interaction in granular media with coupled lattice Boltzmann/discrete element methods: application to piping erosion, Int. J. Numer. Anal. Met. 37 (2013) 577–596

Mots-Clés: méthode des éléments discrets (DEM), méthode de Boltzmann sur réseau (LBM), érosion interne, renard hydraulique