

Modélisation d'un milieu discret cohésif par l'approche dynamique des contacts : Application à la rupture d'un matériau cimentaire

M. Guessasma¹, J. Fortin²

¹ LTI, IUT de l'Aisne 48 rue d'Ostende 02100 Saint-Quentin, France, mohamed.guessasma@u-picardie.fr

² LTI, INSSET 48 rue Raspail 02100 Saint-Quentin, France, jerome.fortin@u-picardie.fr

Résumé — Dans de nombreux domaines de l'industrie tels que la géomécanique, la mécanique, la maçonnerie ou bien l'alimentaire, les matériaux issus des procédés de transformation sont loin d'être parfaitement continus. On est plutôt en présence de matériaux dont la structure s'apparente plus à un système discret comportant un grand nombre de particules liées par des forces de cohésion (Figure 1). Cependant, l'hétérogénéité de la taille des particules, des interactions de contact, des forces de cohésion ainsi que des paramètres physiques rendent souvent le comportement mécanique de ces matériaux très complexe [1, 2]. En prenant en compte les effets locaux au niveau du contact entre particules (réactions de contact, coefficient de frottement local, forces de cohésion,...), la modélisation discrète devrait donc conduire à un comportement macroscopique assez réaliste. En effet, des travaux antérieurs ont été déjà menés en vue de la détermination de la résistance à la rupture, sous sollicitations uniaxiales, de matériaux discrets cohésifs [3, 4].

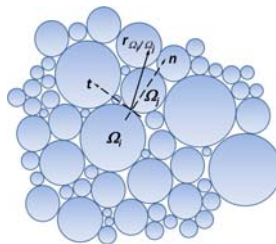


FIGURE 1 – Système discret cohésif

Dans le cadre de cette étude, le milieu discret est un agrégat de particules cohésives formant un matériau cimentaire. Pour chaque paire de particules Ω_i et Ω_j l'adhésion est assurée par des forces de cohésion au point de contact. L'état cohésif entre une paire de particules en contact est vérifié pour tout vecteur $F(r_n, r_t, m_t)$ appartenant au domaine φ_{cohe} ; avec φ_{cohe} l'ensemble des interactions de contacts admissibles défini comme suit :

$$\varphi_{cohe} = \{ F(-r_n, r_t, m_t) \in \mathcal{R}^3 \text{ avec } -r_n < r_{cohe}, r_t < r_{trup} \text{ et } m_t < m_{trup} \}$$

où $-r_n$, r_t et m_t sont respectivement les forces de traction, de cisaillement et le moment de roulement au point de contact, r_{cohe} , r_{trup} et m_{trup} sont respectivement les résistances en traction, au cisaillement et au roulement. La modélisation discrète du problème mécanique est basée sur l'approche dynamique des contacts [6]. La condition de cohésion entre particules est associée à une loi de contact exprimée à partir de la formulation du bipotentiel [7, 8]. Les interactions de contacts entre particules sont obtenues à partir d'un schéma de prédiction et de correction sur le cône de Coulomb :

$$\begin{aligned} \text{prédiction : } \tau &= r - \gamma[\dot{u}_t + (\dot{u}_n + \mu\|\dot{u}_t\|.n)] - \text{correction : } r = \text{proj}(\tau, K_\mu) \\ \text{avec } \tau_n &= (r_n + r_{cohe}) - \gamma_n(\dot{u}_n + \mu\|\dot{u}_t\|) ; \tau_t = r_t - \gamma_t \dot{u}_t \end{aligned}$$

où \dot{u}_n et \dot{u}_t sont respectivement les vitesses normale et tangentielle au point de contact, μ est le coefficient de frottement local, K_μ est le cône de Coulomb, γ_n et γ_t sont des paramètres numériques.

A titre d'exemple, considérons une poutre modélisée par un empilement discret monodisperse constitué de 3000 particules cohésives de diamètre 3 mm. Les résistances au cisaillement r_{trup} et au roulement m_{trup} sont obtenues à partir de la cohésion normale r_{cohe} ($r_{cohe} = 200 \text{ N/m}$). La poutre est sollicitée en flexion 3 points avec une vitesse de chargement moyenne de 0.5 mm/s (Figure 2).

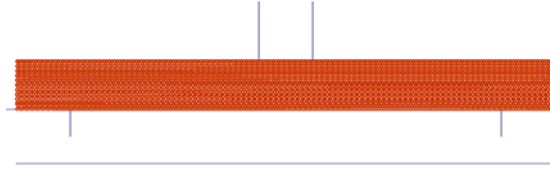


FIGURE 2 – Flexion 3 points d'un empilement monodisperse de particules cohésives

La figure 3 montre la distribution de la contrainte équivalente de von Mises au cours du chargement. Le modèle discret rend bien compte des effets de concentration de contraintes au voisinage des appuis et de la partie mobile (Figure 3(a)). La rupture de l'empilement se produit nettement au niveau de ces zones et conduit à l'apparition de fragments de part et d'autre de la zone centrale (Figure 3(b)).

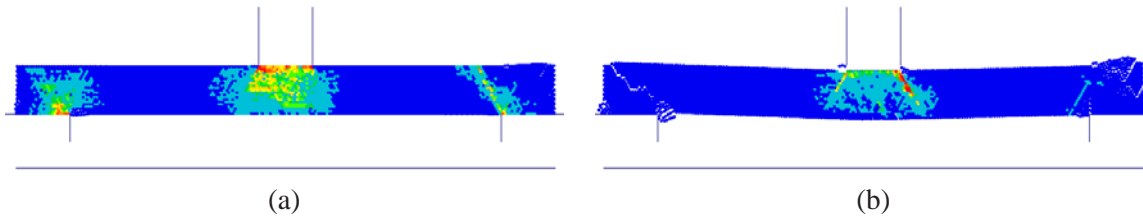


FIGURE 3 – Distribution de la contrainte équivalente de von Mises

La modélisation discrète présente donc l'intérêt de traduire la propagation des fissures survenant dans un matériau par la succession de plusieurs décohésions inter-particulaires. L'étude de l'influence des paramètres locaux (polydispersité, taille des particules, coefficient de frottement local, forces de cohésion,...) devra nous aider à mieux décrire les mécanismes de rupture. Outre l'intérêt pour les matériaux cimentaires, cette étude offre aussi la possibilité de reproduire les mécanismes de fragmentation activés au niveau des interfaces de contact.

Mots clés — MED, cohésion, matériaux cimentaires, rupture.

Références

- [1] F. de Larrad, A. Belloc. *The influence of aggregate on the compressive strength of normal and high-strength concrete*, AIC Mater. J, 94, 417-426, 2002.
- [2] A. Benhamida, F. Bouchelaghem, H. Dumontet. *Effective properties of a cemented or an injected granular material*, Int. J. Numer. Anal. Method Geomech, 29, 187-208, 2005.
- [3] F. Radjai, Preechawuttipong I., and Peyroux R. *Cohesive granular texture*, publisher : Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [4] M.S. el Youssoufi , J.-Y. Delenne , F. Radjaï. *Self-stresses and crack formation by particle swelling in cohesive granular media*, Phys. Rev. E, 71, 1-5, 2005.
- [5] J.-Y. Delenne, M.S. el Youssoufi, J.-C. Bénéat. *Comportement mécanique et rupture de milieux granulaires cohésifs*, C. R. Mécanique, 330, 475-482, 2002.
- [6] M. Jean. *The non-smooth contact dynamics method*, Comput. methods appl. mech. eng., 177, 235-257, 1999.
- [7] H. Haddad, M. Guessasma, J. Fortin. *Non smooth contact dynamics approach for cohesive multi-contact systems*, Engineering Computational Technology, Spain (Valencia), 2010.
- [8] G. De Saxcé, Z.Q. Feng. *The bipotential method : a constructive approach to design the complete contact law with friction an improved numerical algorithms*, Int. J. Math. Comput. Model., 28, 225-245, 1998.