

45^e session d'étude sur les techniques de sautage

Évaluation de la zone de dommages causés par le sautage d'un banc avec la méthode combinée d'éléments finis/discrets (FDEM)

Omid Karimi, Étudiant au Doctorat, Université Laurentienne

Marie-Hélène Fillion, PhD, ing., Professeure adjointe, Université Laurentienne/Ingénieure en mécanique des roches, ministère des transports du Québec

RÉSUMÉ

Une méthode commune et économique utilisée pour la fragmentation du roc est par forage et sautage. Dans une mine à ciel ouvert, le niveau de dommage causé par le sautage du roc peut réduire le niveau de stabilité des pentes excavées dans le roc, ce qui est préoccupant au niveau de la sécurité. Le dommage à la paroi rocheuse est la fracturation additionnelle au-delà de la zone de fragmentation ciblée et ceci peut causer des ruptures de pente, du dommage à l'équipement, une perte de production et des blessures au personnel (Silva et al., 2009). Un niveau de connaissances suffisant des propriétés du roc et des discontinuités *in-situ* est nécessaire pour développer un plan de sautage optimal. Les ingénieurs en techniques de sautage se basent souvent sur des critères empiriques et 'règles du pouce' pour la plus grande partie de la conception du plan de sautage (Dyno Nobel, 2020; International Society of Explosive Engineers, 2011), ce qui implique un degré d'incertitude. Souvent, des itérations multiples du patron de sautage sont nécessaires afin d'atteindre des résultats de sautage optimum (e.g. fragmentation et mouvement du roc adéquats, zone de dommages réduite, faibles niveaux de vibrations et réduction des projections). Cette pratique peut être coûteuse et causer des délais pour l'opération minière. Par conséquent, l'utilisation de méthodes quantitatives pour évaluer le niveau de dommage causé par le sautage du roc permet aux ingénieurs d'optimiser la conception du plan de sautage pour des excavations plus sécuritaires.

La fragmentation du roc par sautage implique la propagation d'ondes, les principes mécaniques de fracturation, un important déplacement de matériaux et une interaction entre ces processus (Mitelman & Elmo, 2014; Rogers et al., 2015). La fracturation du roc est causée par la coalescence des fractures existantes et de celles développées dans le massif rocheux. La présence de joints *in-situ* peut donc avoir un impact sur l'étendue de la zone de dommages causés par le sautage du roc. Par conséquent, l'analyse numérique du niveau de dommage induit par le sautage du roc nécessite une simulation réaliste des processus de fracturation et de fragmentation du roc, gouvernés par les propriétés *in-situ* du roc et des discontinuités (joints).

Les systèmes de fractures (DFN) sont des représentations des réseaux de fractures et permettent d'estimer la distribution des fractures *in-situ* à l'intérieur d'un massif rocheux. Une analyse basée sur les modèles DFN utilise les propriétés des joints recueillies sur le terrain et permet d'obtenir des réseaux de fractures réalistes avec l'avantage de préserver les propriétés des joints lors du processus de modélisation numérique. De plus, l'approche DFN peut représenter les caractéristiques des fractures discrètes plus précisément à l'échelle locale comparativement à des méthodes continuum à grande échelle (Elmo et al., 2014; Rogers et al., 2009), ce qui est approprié à l'échelle du sautage d'un banc de production minière. Puisque le processus de sautage débute par une phase statique avant de passer à une phase de grands déplacements, la modélisation doit inclure un modèle continuum et discontinuum pour mieux représenter le phénomène de sautage du roc (Han et al., 2020). La méthode combinée d'éléments finis/discrets (FDEM) présente un outil d'analyse permettant de simuler le sautage du roc (An et al., 2017). La méthode d'éléments finis (FEM) est utilisée pour calculer les distributions de contraintes et les déplacements dans le roc avant la fracturation (phase statique) et, lorsque le processus de fracturation commence, la méthode d'éléments discrets (DEM) est utilisée pour le massif rocheux fracturé (phase de grands déplacements) (Zhang, 2016).

L'objectif principal de cette recherche est d'utiliser une méthode quantitative pour déterminer comment les joints *in-situ* contrôlent la fracturation causée par le sautage du roc, ainsi que le niveau de dommage à la paroi rocheuse qui en résulte. Un modèle DFN est utilisé comme paramètre d'entrée pour une simulation numérique de sautage d'un banc réalisée avec la méthode combinée FDEM. Les sautages de banc sont simulés en 2D, incluant un forage de production, à l'aide du logiciel FDEM Irazu 2D (Geomechanica, 2019). Le logiciel DFN Fracman (Golder Associates, 2020) est utilisé pour générer les fractures stochastiques, basé sur l'intensité de fracture P32 définie comme l'aire totale des fractures par unité de volume du massif rocheux (Elmo et al., 2014).

Deux scénarios principaux sont considérés pour les simulations numériques : 1. Le sautage d'un banc sans DFN; et 2. Le sautage d'un banc en incluant un système de fractures *in-situ* (DFN). Les propriétés du roc et les paramètres de conception du plan de sautage sont obtenus d'une mine à ciel ouvert opérée par lamgold. La comparaison des deux scénarios, en termes d'intensité de fractures à la suite du sautage du banc, a permis de quantifier l'influence du système de fractures *in-situ* lors de l'évaluation du niveau de dommage induit par le sautage du roc. L'approche quantitative utilisée est basé sur la méthode abordée par Lupogo et al. (2014) pour caractériser la zone et l'intensité de dommage associés aux éléments du massif rocheux ayant cédé sous l'effet des contraintes dans le modèle numérique 2D. Cette méthode d'analyse permet de quantifier l'effet des joints *in-situ* sur la fracturation du massif rocheux et sur le niveau de dommage à la paroi rocheuse. Les résultats montrent qu'une simulation du processus de sautage et du niveau de dommage à la paroi plus réaliste est obtenue lorsque le modèle DFN est inclus dans la modélisation numérique, étant donné la possibilité de considérer la direction et l'intensité de propagation des fractures. Une meilleure caractérisation de la zone de dommages causés par le sautage du roc peut permettre d'améliorer les analyses subséquentes de stabilité des parois rocheuses.

RÉFÉRENCES

- An, H., Liu, H., Han, H., Zheng, X., & Wang, X. (2017). Hybrid finite-discrete element modelling of dynamic fracture and resultant fragment casting and muck-piling by rock blast. *Computers and Geotechnics*, 81, 322–345. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2016.09.007>
- Dyno Nobel. (2020). *Explosives Engineers' Guide*. Dyno Nobel Asia Pacific Pty Limited. <https://www.dynonobel.com/apac/~media/Files/Dyno/ResourceHub/Brochures/APAC/Explosives%20Engineers%20Guide.pdf>
- Elmo, D., Liu, Y., & Rogers, S. (2014). Principles of discrete fracture network modelling for geotechnical applications. In: *Proceedings of the First International DFNE Conference, 19-23 October, Vancouver, British Columbia, Canada*. 8 p.
- Geomechanica, Inc. (2019). *Irazu 2D Geomechanical Simulation Software (Computer Software). Theory Manual*. Geomechanica Inc., Toronto, ON, Canada. 67 p.
- Golder Associates. (2020). *FracMan: DFN software suite [Computer software]*. Golder Associates, Toronto, ON, Canada. Retrieved from <http://www.golder.com/fracman/>.
- Han, H., Fukuda, D., Liu, H., Salmi, E., Sellers, E., Liu, T., & Chan, A. (2020). Combined finite-discrete element modelling of rock fracture and fragmentation induced by contour blasting during tunnelling with high horizontal in-situ stress. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 127, 104214. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104214>
- International Society of Explosives Engineers. (2011). *ISEE blasters' handbook*. (18th ed.). Cleveland, Ohio: International Society of Explosives Engineers.
- Lupogo, K., Tuckey, Z., Stead, D., & Elmo, D. (2014). Blast damage in rock slopes: potential applications of discrete fracture network engineering. In *Proceedings of the 1st International Discrete Fracture Network Engineering Conference, Vancouver, Canada*. p (Vol. 14).
- Mitelman, A., & Elmo, D. (2014). Modelling of blast-induced damage in tunnels using a hybrid finite-discrete numerical approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(6), 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.09.002>
- Rogers, S., Elmo, D., Beddoes, R., & Dershowitz, W. (2009). Mine scale DFN modelling and rapid upscaling in geomechanical simulations of large open pits. In: *Proceedings of the International Symposium on 'Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering'*, November 2009, Santiago, Chile: 11 p.
- Rogers, S., Elmo, D., Webb, G., & Catalan, A. (2015). Volumetric Fracture Intensity Measurement for Improved Rock Mass Characterisation and Fragmentation Assessment in Block Caving Operations. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48(2), 633–649. <https://doi.org/10.1007/s00603-014-0592-y>
- Silva, J., Worsey, T., & Lusk, B. (2019). Practical assessment of rock damage due to blasting. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(3), 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.003>
- Zhang, Z.-X. (2016). *Rock fracture and blasting: Theory and applications*. Elsevier Inc., Cambridge, MA, USA.