

# **PRÉDICTION DE LA GRANULOMÉTRIE DU ROC LORS D'UN TIR À L'EXPLOSIF, À PARTIR DES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA FRAGMENTATION**

R. F. Favreau, Royal Military College; P. Favreau, Blaspa Inc.

(Pour présentation à la 30<sup>e</sup> Session d'Étude sur les Techniques de Sautage, Université Laval, 22 et 23 novembre 2007)

**I) AVANT-PROPOS :** Lors d'un tir à l'explosif, la méthode de tir doit premièrement assurer la qualité du plancher, et assurer qu'il n'y a pas de gros blocs dans la région du collet; l'action des ondes de choc (fig. 1) traite de ces aspects. Ensuite, le champ de contrainte semi-statique SS fragmente pleinement le massif à partir du trou de mine jusqu'aux faces libres, créant la granulométrie du roc excavé. Finalement, le massif fragmenté éclate et se déplace pour former le tas à être mariné; le marinage est efficace si le tas est bien déplacé.

De ces trois aspects, un bon plancher et l'élimination des gros blocs sont clefs pour une opération efficace des travaux; un marinage facile et rapide est aussi clef. Par contre, pour le roc qu'on envoi au concasseur, la granulométrie aussi devient un aspect clef.

## **II) ÉQUATION EXPÉRIMENTALE DE LA GRANULOMÉTRIE :**

Au environ de 1970, alors que j'étais consultant pour CIL(Orica) au Laboratoire de Recherche sur les Explosifs (ERL), j'ai proposé et effectué les expériences suivantes (fig. 2). Une charge d'explosifs entourée de roc concassé a été détonnée dans une chambre fermée. Le concassé a été re-fragmenté par l'explosion, et ensuite tamisé; le processus a été répété, utilisant le même roc.

En bouquinant dans les livres sur la comminution effectuée avec diverses méthodes mécaniques, j'ai appris que pour une méthode mécanique répétitive la partie centrale d'un graphique semi-log du % passant versus la grosseur des fragments était une droite. Inspiré par ceci, j'ai découvert que le même graphique pour le concassé soumis aux explosions successives était

aussi en partie une droite, suggérant que la comminution imposée par un explosif est du même type que celle imposée par des méthodes mécaniques.

Plus tard, d'autres chercheurs chez CIL (référence 1) ont repris mon étude, et l'ont appliquée au roc fragmenté par un tir en banquette, démontrant que le graphique de % passant versus la grosseur des fragments est aussi une droite, du moins dans sa partie centrale (fig. 3). Comme le tamisage du roc en provenance d'une banquette est une tâche énorme, on a développé des méthodes photographiques pour estimer la granulométrie visuellement, dont par exemple 'Fragblast'. Le problème est que cette approche, même pour une seule méthode de tir dans un seul roc, est très laborieuse et coûteuse (disons peut-être \$50,000). Ce dont on avait besoin était une méthode pour calculer la granulométrie basée sur les équations fondamentales de la fragmentation.

### **III) PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA FRAGMENTATION :**

La Physique du Solide (référence 2) démontre que la structure cristalline d'un corps solide, comme par exemple la roche, dépend du fait que tous les molécules adjacentes du corps solide sont retenues ensemble par des liens (fig. 4). Afin de créer une faille dans le solide, il faut briser ces liens, ce qui requiert du travail. Comme il y a des millions de liens dans un cm carré, ce travail doit donc fournir une quantité d'énergie spatiale 'E' par cm carré de faille.

Afin de créer une faille dans le roc d'une banquette, il faut que le champ semi-statique SS, établie dans le massif par les gaz d'explosion dans le trou de mine et par les faces libres (fig. 1), puisse (a) fournir un niveau de contrainte SS qui excède la résistance du roc SSo, ainsi que (b) fournir l'énergie spatiale E par cm carré de faille. Le problème est que les équations du champ SS sont très difficiles (référence 3), surtout comme on doit tenir compte des faces libres. C'a m'a pris une vingtaine d'années à solutionner ces équations de la granulométrie avec une précision satisfaisante, surtout celles qui prédisent comment le champ SS transmet l'énergie spatiale E à la faille.

#### **IV) LE SIMULATEUR ‘FRAGMENTATION - % PASS’ :**

Le simulateur ‘Fragmentation - % Pass’ est maintenant accessible sur le Web, avec les autres simulateurs de sautage Blaspa (référence 4); il comprend des équations basées sur les principes fondamentaux de la fragmentation énoncés ci-haut, et il semble prédire la granulométrie avec une précision tout à fait adéquate (fig. 3). Afin de valider les équations dans ‘Fragmentation-% Pass’, ainsi que leur précision, il faut comparer les résultats simulés avec des résultats expérimentaux du tamisage du roc fragmenté, ou avec des mesures de fragmentation obtenues à l'aide de méthodes photographiques, pour une situation de roc de propriétés mécaniques connues, d'explosifs connus, et de méthode de tir connue.

Or, de telles informations aussi complètes sont rares. Nous avons pu en trouver, e. g. (référence 5), et ainsi les points sur la fig. 3 présentent les résultats expérimentaux dans cette référence, superposés sur la courbe simulée à partir des équations fondamentales dans ‘Fragmentation - % Pass’. La précision de la comparaison est tout à fait adéquate, surtout compte tenu du degré limité de précision avec lequel on connaît habituellement les paramètres d'un tir (référence 6).

#### **V) CONCLUSIONS :**

Mesurer la granulométrie, même pour une seule méthode de tir dans un seul roc, est très laborieuse et couteûse (peut-être de \$50,000 à \$200,000). Une simulation avec ‘Fragmentation - % Pass’ est très facile; on entre la méthode de tir, l'explosif utilisé à partir de la banque d'explosif, les propriétés mécaniques du roc à partir de la banque de roc, et la courbe de granulométrie est simulé. On peut ainsi optimiser cette granulométrie en resimulant pour d'autres méthodes de tir, ou d'autres explosifs.

Surtout que ceci ouvre les portes à un but que plusieurs visent depuis longtemps, qui est le suivant. Dans beaucoup de mine, il y a un responsable pour le forage et dynamitage et peut être aussi les pelles; mais il y une autre personne qui est responsable pour les concasseurs et le broyage. Or, ils ne travaillent pas toujours étroitement ensemble, car un spécialiste en concasseur et broyage afin d'évaluer la fragmentation doit connaître la courbe de granulométrie, et le responsable des tirs ne pouvait pas la lui fournir; maintenant il le peut en simulant avec Blaspa.

Dans une mine ou une carrière, l'excavation du roc et le traitement du mineraï dépendent essentiellement de processus qui fragmente le roc, des procédés qui sont très gourmands en énergie. Or, que ce soit fragmentation par l'explosif ou par le concasseur, l'énergie spatiale E requise par cm carré de faille est la même. Souvent le coût unitaire de l'énergie de fragmentation fourni par l'explosif est inférieur à celui fourni par le concasseur ou le broyeur. À l'aide de simulations Blaspa de la courbe de granulométrie due à la fragmentation à l'explosif, et celles pour la fragmentation due au concasseur et au broyeur, on peut évaluer les coûts relatifs de ces deux processus et ainsi optimiser le coût globale. Ceci ouvre de nouveaux horizons encore jamais exploités.

## RÉFÉRENCE :

- 1) P. R. Michaud, J. Y. Blanchet, 'Establishing a quantitative relation between post blast fragmentation and mine productivity : A case Study', 5<sup>th</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Montreal, Canada, August 1996.
- 2) K. Krane, *Modern Physics*, chapt. 14, John Wiley and Sons, New York.
- 3) Love, *Theory of Elasticity*.
- 4) R. Favreau, P. Favreau, 'Étude de sautage à l'aide de simulations sur le modèle informatisé Blaspa via le Web', 27<sup>e</sup> Session d'Étude sur les Techniques du Sautage, Université Laval, octobre 2004.
- 5) S. Esen, H. A. Bilgin, 'Effect of explosive on Fragmentation', Department of Mining Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- 6) Daniel Roy, 'Stratégie de développement des meilleures pratiques de chargement d'explosifs pour diverses conditions de forage long trou à l'aide du logiciel iRing', 29<sup>e</sup> Session d'Étude sur les Techniques du Sautage, Université Laval, novembre 2006.