

20e Session d'étude sur les techniques de sautage
Les 30 et 31 octobre 1997

Caractérisation de la fracturation in-situ et de la fragmentation à l'explosif
du massif rocheux à Heath Steele Mines, Nouveau-Brunswick

Martin Grenon, Département de mines et métallurgie, Université Laval
John Hadjigeorgiou, Département de mines et métallurgie, Université Laval
Qian (Ken) Liu, Centre de technologie Noranda

**Caractérisation de la fracturation in-situ et de la fragmentation à
l'explosif du massif rocheux à Heath Steele Mines, Nouveau-Brunswick.**

Martin Grenon et John Hadjigeorgiou
Département de mines et métallurgie
Université Laval, Québec.

Qian (Ken) Liu
Laboratoire des mines et exploration
Centre de Technologie Noranda, Pointe-Claire.

1.0 Introduction

Théoriquement, le processus d'excavation de la masse rocheuse peut être visualisé comme étant la réduction, en dimension, de la fracturation in-situ, figure 1. En pratique, un des grands défis demeure la détermination de ces caractéristiques sur le terrain.

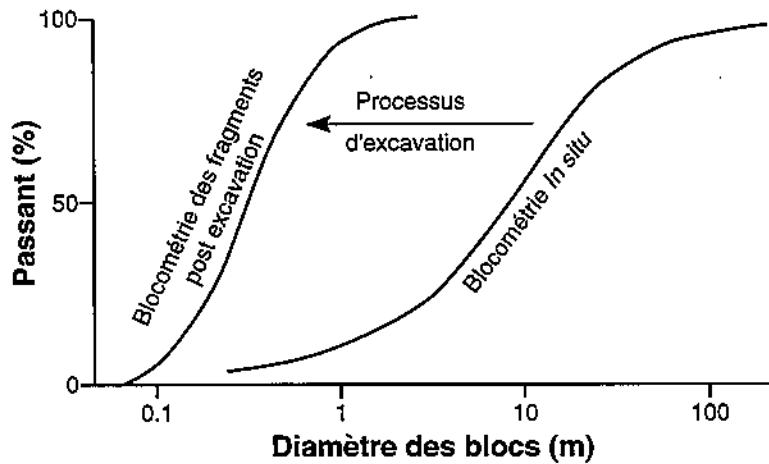


Figure 1. Processus d'excavation, d'après Hudson (1992).

Cet article présente les résultats de travaux de terrain à Heath Steele Mines liant l'évaluation systématique de la fracturation in-situ et la caractérisation de la grandeur des fragments issus du processus d'excavation.

Des relevés par traverses ont été effectués pour caractériser la fracturation de la masse rocheuse à Heath Steele Mines. L'acquisition de données structurales a permis d'évaluer la distribution granulométrique (la blocométrie) des blocs engendrés par l'intersection de joints. Parallèlement à ceci, une analyse photogrammétrique a permis de quantifier la dimension des fragments de roc résultant d'un tir à l'explosif.

2.0 Heath Steele Mines

La propriété de Heath Steele est localisée à 65 km au sud-ouest de Bathurst, de même qu'à 50 km au Nord-Est de Newcastle, dans le Nord-Est du Nouveau-Brunswick, figure 2.

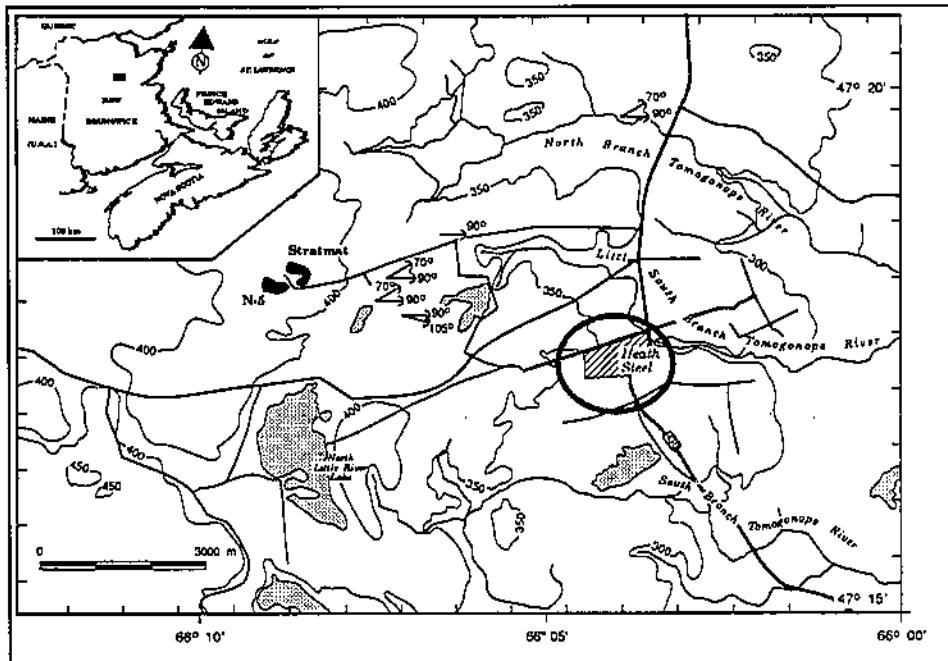


Figure 2. Localisation de Heath Steele Mines, d'après Park et Broster (1996).

Heath Steele Mines est la propriété de Noranda Minerals Inc. La totalité du dépôt de sulfure massif réside dans la formation de Nepisiguit Falls du groupe de Tatagouche. Le gisement de cuivre, zinc et plomb est exploité par la méthode de chambre ouverte.

3.0 Relevés de discontinuités

Dans le but de caractériser la masse rocheuse en profondeur, une campagne de classification géomécanique et de relevés structuraux a été effectuée lors de l'été 1996. Cette campagne visait tout particulièrement à définir la qualité des trois types de roche (sulfure massif, sédimentaire et porphyre) caractérisant les épontes d'une nouvelle zone d'exploitation. Les résultats des relevés de joints par traverses des trois sites à l'étude sont présentés à l'aide de projections stéréographiques, figure 3 à 5. Les orientations moyennes des familles de joints sont présentées au tableau 1. On constate que le site 1 est caractérisé par la présence de trois familles de discontinuités. Le site 2 est peu fracturé, seulement deux familles de joints le traverse. Quatre familles de joints caractérisent la masse

rocheuse du site 3. De plus, l'orientation des familles de discontinuités est particulière à chaque site, aucune tendance générale n'est observable.

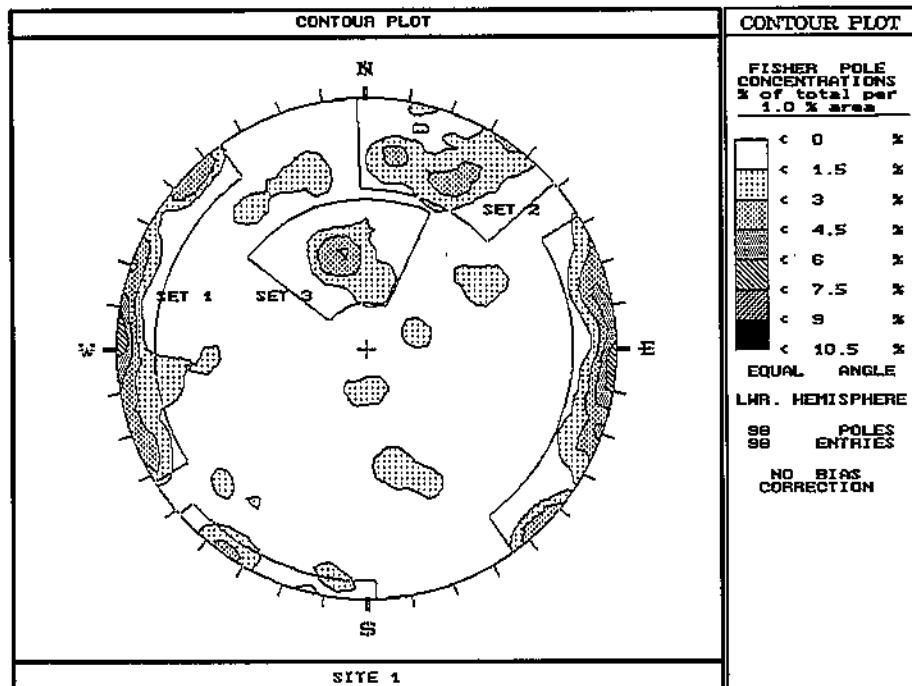


Figure 3. Stéréonet du site no 1.

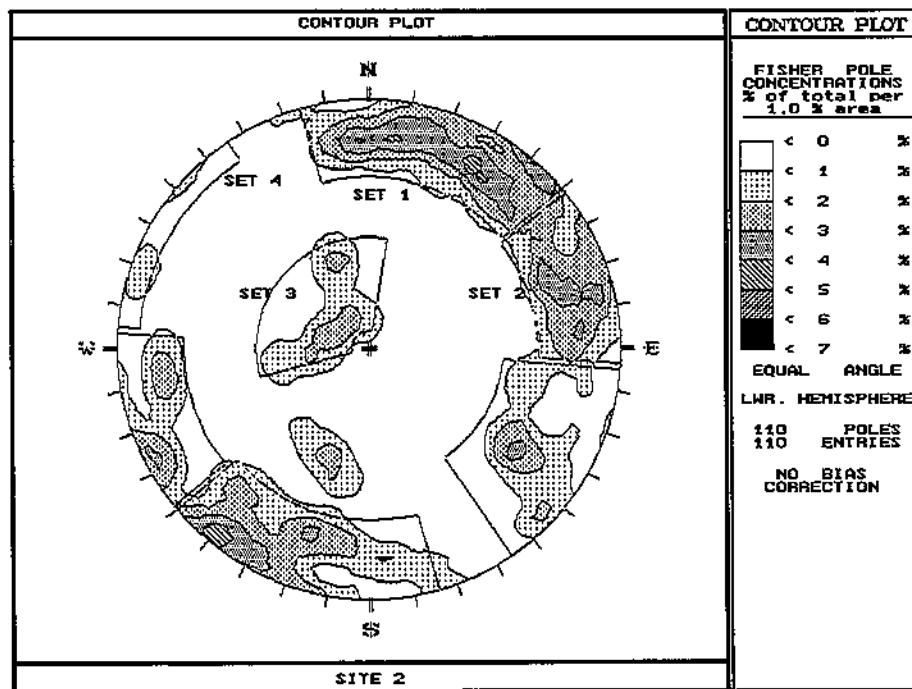


Figure 4. Stéréonet du site no 2.

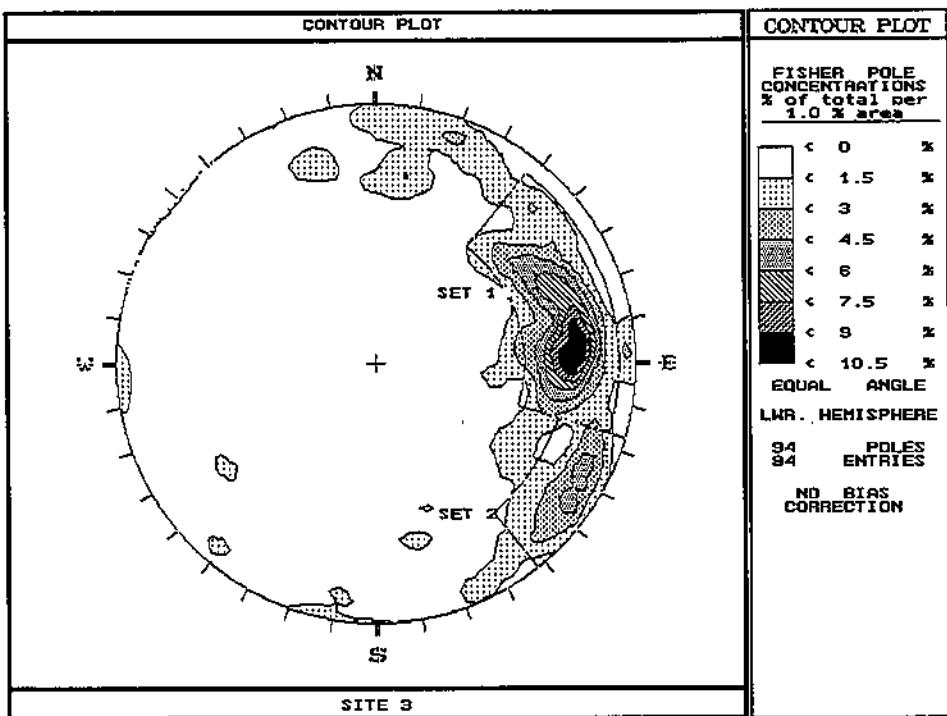


Figure 5. Stéréonet du site no 3.

Tableau 1. Orientation moyenne des familles de joints.

	Famille 1	Famille 2	Famille 3	Famille 4
Site 1	89/277	75/204	32/172	---
Site 2	88/201	83/254	18/127	72/300
Site 3	63/255	78/304	---	---

4.0 Stereoblock

Le logiciel Stereoblock a été utilisé pour caractériser les trois sites. Stereoblock est un modèle informatique, développé à l'Université Laval, permettant d'évaluer la distribution granulométrique des blocs rocheux in-situ d'un massif rocheux relativement au données obtenues sur le terrain, Hadjigeorgiou et al. (1995). Stereoblock est basé sur le modèle de Baecher et al. (1977) et sur les travaux de Villaescusa (1991) et Lessard (1996). Le modèle de Beacher et al. suppose que les joints peuvent être représentés par des disques distribués aléatoirement dans l'espace.

La figure 6 permet de visualiser la méthodologie à adopter lors de l'utilisation de Stereoblock. La première étape consiste à effectuer un relevé de joints par traverses. Pour tous les joints interceptant cette traverse, on note: le pendage, la direction du pendage, la position le long de la traverse et la longueur trace. L'étape suivante consiste à créer une projection stéréographique de nos joints et d'en déduire visuellement le nombre de familles caractérisant le massif rocheux du site à l'étude. Par la suite, une analyse statistique est effectuée afin de déterminer les distributions de probabilité de l'orientation, de l'espacement normal et des longueurs traces de chacune de ces familles. Connaissant ces paramètres, nous sommes en mesure de modéliser la fracturation d'un massif.

La génération tridimensionnelle des joints du massif rocheux, à l'aide de Stereoblock, repose sur des principes statistiques et stéréologiques. L'évaluation de la dimension des blocs repose également sur des principes stéréologiques simples.

Cette méthodologie a été utilisée à Heath Steele Mines. La réalisation de relevés par traverses a permis d'évaluer certains paramètres statistiques. L'utilisation de Stereoblock a permis la génération d'un massif rocheux simulé. La blocométrie des sites fut, par la suite, déterminée. Les résultats obtenus pour les trois sites à l'étude sont présentés au tableau 2 et à la figure 7. Le diamètre des blocs a été choisi pour représenter la dimension de la blocométrie. La notation D_{50} indique que 50% des blocs ont une dimension inférieure à cette dernière valeur.

Tableau 2. Résultats des distributions granulométriques des blocs.

	Site 1	Site 2	Site 3
D_{25} (m)	3.18	2.62	4.86
D_{50} (m)	4.08	2.92	5.66
D_{75} (m)	5.00	3.66	8.12
C_s	1.58	1.40	1.67

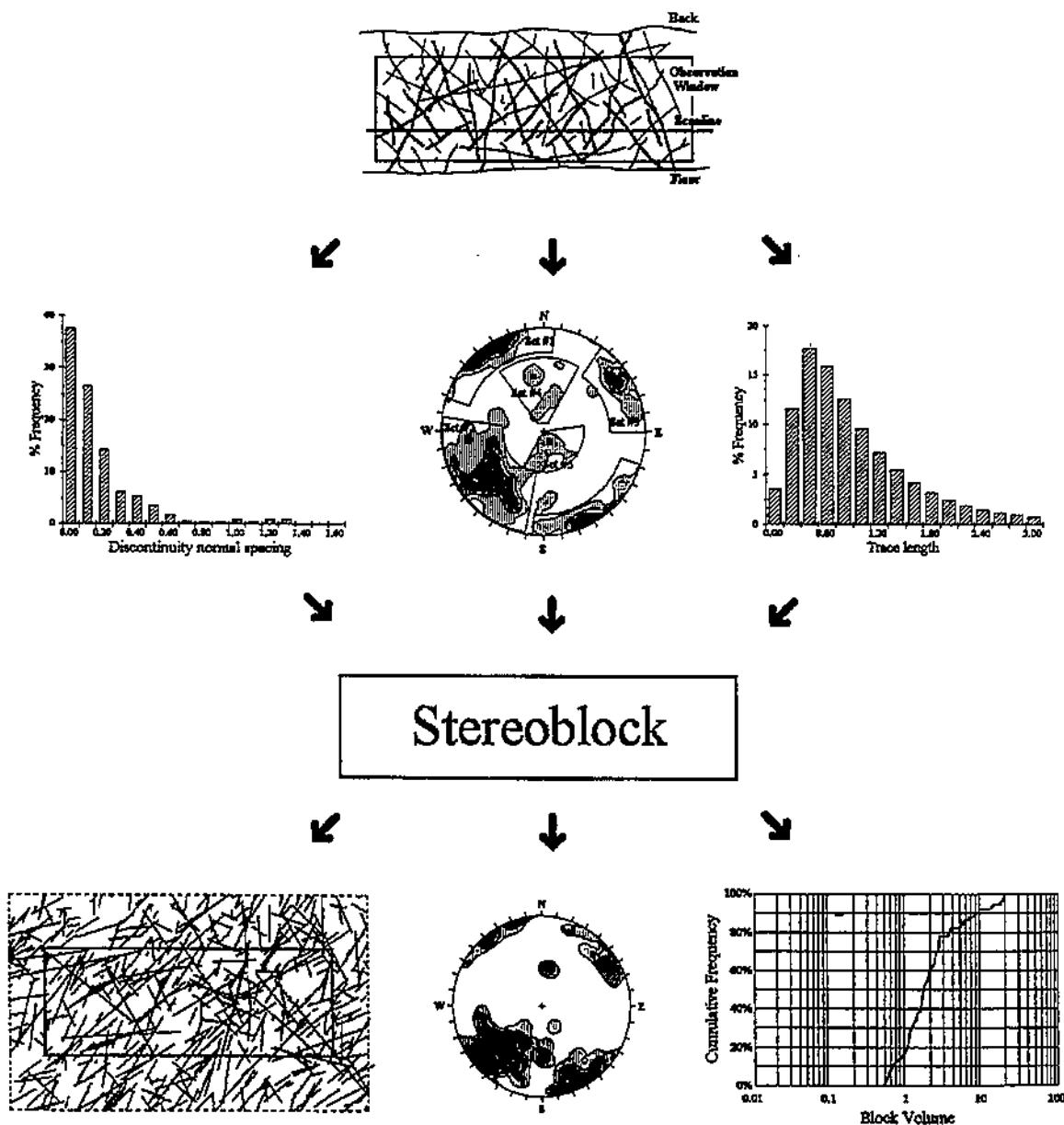


Figure 6. Détermination de la blocométrie à l'aide de Stereoblock, Hadjigeorgiou et al. (1995).

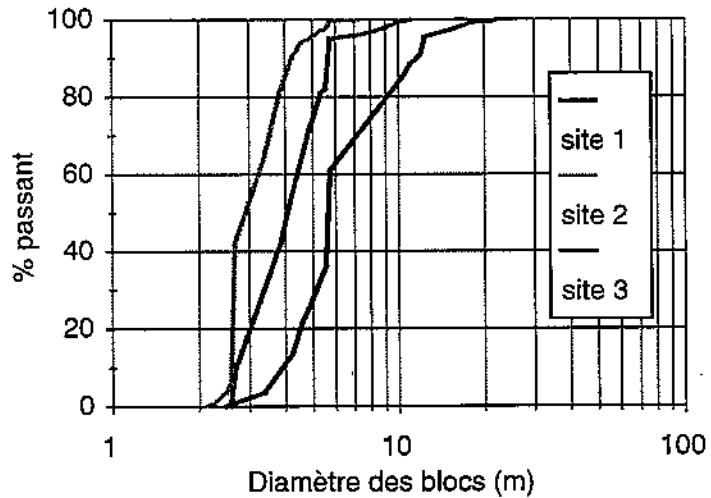


Figure 7. Blocometrie des trois sites.

Le site 2 est caractérisé par des blocs de dimension plus faible tandis que le site 3 est plus grossièrement fracturé. Le coefficient de partage C_s (D_{75}/D_{25}), une mesure de la dispersion des données autour de la valeur moyenne, est sensiblement le même pour tous les sites. L'uniformité de la fracturation des trois sites est donc similaire.

5.0 Tir à l'explosif

Le site 1 fut dynamité au cours du mois du juillet 1996. La méthode d'abattage par chantier long trou fut préconisée. Le diamètre des trous de forage était de $3\frac{1}{2}$. Les trous furent chargés à l'aide d'émulsion. Le facteur poudre fut estimé à 0.51 kg/tonne. Le facteur poudre élevé s'explique par un angle aigu entre les trous de forage et la monterie.

6.0 Analyse photogrammétrique

Aujourd'hui, avec l'évolution rapide de la technologie de l'image digitale, il est possible de chiffrer la distribution granulométrique des blocs constituant une pile de mineraux à l'aide de photos ou d'images vidéo. En effet, plusieurs systèmes d'analyse d'images sont présentement disponibles sur le marché. Cependant, certains problèmes sont liés à ce type

d'analyses, Liu et Tran (1996). En effet, un échantillon représentatif n'est pas facile à obtenir, certaines difficultés sont associées à la quantification des fines et des très gros blocs (le système ne semble efficace qu'à l'intérieur d'une certaine plage de valeurs). Finalement, l'ensemble des logiciels sous-estime la portion de fines (possiblement lié à un échantillonnage inadéquat). Une calibration doit donc être effectuée pour obtenir des résultats significatifs.

Les travaux de terrain à Heath Steele Mines auront également permis de photographier les piles de minerai résultant d'un tir à l'explosif. La figure 8 présente un exemple de photographie digitale du site 1, obtenue à l'aide d'une caméra de type Logitech. Les photos obtenues à l'aide de ce type d'appareil se présentent sous la forme de fichier TIF.



Figure 8. Exemple de photographie digitale du site 1.

Dans le cadre de cette étude, deux systèmes ont été utilisés : Split, développé à l'université de l'Arizona (décrit par Liu et Tran (1996)), et le système utilisé par Canmet, Doucet et Lizotte (1996). Ces deux outils seront décrits brièvement dans les sections suivantes.

6.1 Le système Split

Le programme Split est utilisé pour évaluer la dimension des fragments issus d'un sautage. Ce logiciel est utilisé conjointement au système d'analyse d'images « Image » du National Institute of Health. Ce programme fonctionne sous l'environnement informatique Macintosh.

Le logiciel Split délimite automatiquement les fragments de roc. Pour ce faire, deux étapes sont nécessaires. Premièrement, un algorithme recherche les grandes variations de gris caractérisant les cavités présentes dans la pile de minerai ainsi que les arêtes de deux fragments qui se touchent. Le deuxième algorithme délimite les fragments qui se superposent. Finalement, le programme calcule la dimension des fragments de roche et évalue leur distribution granulométrique. La grosseur d'une particule est évaluée en superposant une ellipse à cette dernière puis en évaluant l'équation suivante:

$$G = 1.05 \cdot m \cdot \left((M/m)/1.35 \right)^{0.5} \quad (1)$$

où

M est l'axe principal majeur de l'ellipse.

m est l'axe principal mineur de l'ellipse.

6.1.2 Mesure de la fragmentation du site 1 à l'aide du système Split

Au cours du mois de juillet 1996, le site 1 a été dynamité. Plusieurs photos des piles de minerai ont été prises puis analysées à l'aide du logiciel Split à l'University of Arizona. La figure 9 et le tableau 3 résument l'analyse granulométrique réalisée pour trois journées particulières. Les courbes granulométriques obtenues pour les trois journées sont similaires. Il est à noter que les blocs ayant une dimension inférieure à deux centimètres n'ont pas été considérés à cause de la mauvaise qualité des photographies. Un éclairage inadéquat explique la piète qualité des photos.

Tableau 3. Granulométrie obtenue à l'aide de Split.

	17 juillet	1 ^{er} août	19 août
D ₂₅ (cm)	8.31	7.09	10
D ₅₀ (cm)	15.88	14.11	18.7
D ₇₅ (cm)	27.35	23.49	30.8
C _s	3.29	3.31	3.08

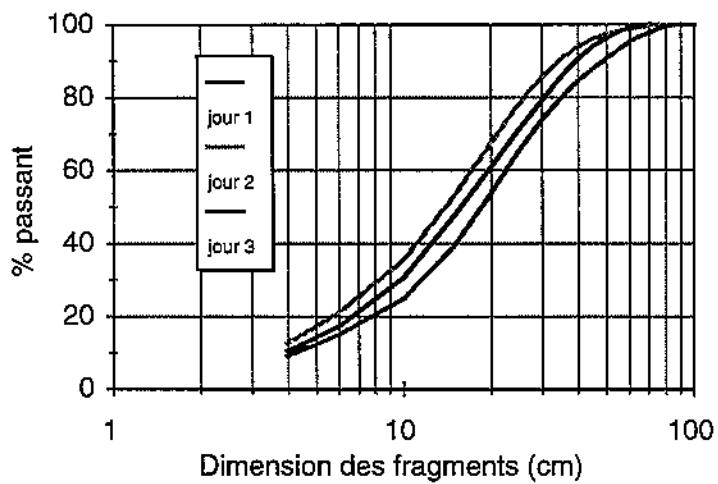


Figure 9. Granulométrie obtenue à l'aide du logiciel Split.

Le tableau 3 chiffre les distributions granulométriques. Les diamètres et les coefficients de partage C_s sont très similaires pour les trois journées à l'étude. Les dimensions caractérisant les fragments résultant du sautage sont distribuées uniformément pour les trois jours.

6.2 Le système Canmet

Une analyse photogrammétrique a été réalisée à l'Université Laval à l'aide du système utilisé à Canmet. Ce système est semi-automatique. Les fragments de roche photographiés doivent être délimités manuellement sur une acétate. Puis, cette image est digitalisée à

l'aide d'une caméra vidéo. Un système d'analyse d'images est dès lors en mesure de calculer l'aire des fragments et leur diamètre équivalent.

6.2.1 Mesure de la fragmentation du site 1 à l'aide du système Canmet

Afin d'évaluer la granulométrie de la fragmentation à l'aide du système Canmet, les photos précédemment utilisées pour le système Split ont été réutilisées. Les résultats se retrouvent dans le graphique 10 et le tableau 4.

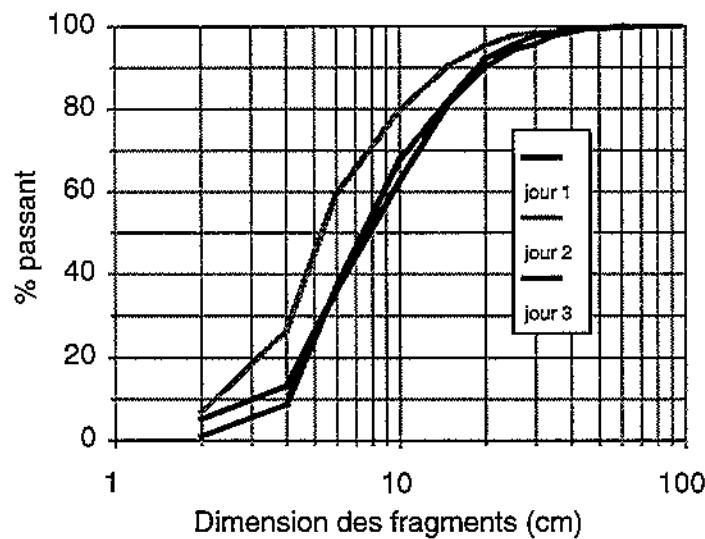


Figure 10. Granulométrie obtenue à l'aide du logiciel Canmet.

Tableau 4. Granulométrie obtenue à l'aide du logiciel Canmet.

	17 juillet	1 ^{er} août	19 août
D ₂₅ (cm)	5.02	3.84	5.15
D ₅₀ (cm)	8.09	5.43	7.70
D ₇₅ (cm)	13.29	9.08	12.54
C _s	2.64	2.36	2.43

Les dimensions des blocs sont très similaires les uns par rapport aux autres. Toutefois, les dimensions caractérisant les photos du 1^{er} août sont, comme pour le système Split,

légèrement plus faibles que celles des autres jours. Les distributions des trois jours sont très uniformes.

6.3 Comparaison entre les deux systèmes d'analyses d'images

Les résultats obtenus à l'aide du système de Canmet nous donnent des valeurs significativement plus petites que celles de Split, figure 11.

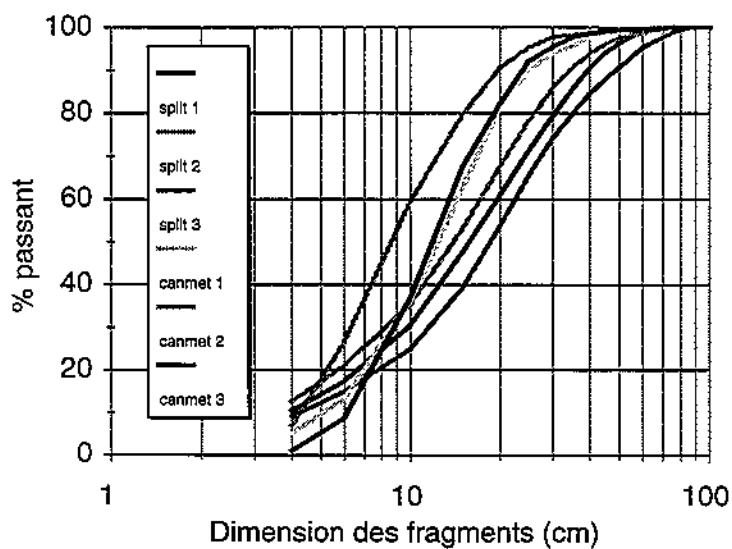


Figure 11. Comparaison des courbes granulométriques.

Ce résultat est probablement attribuable au fait que la détermination automatique des contours des blocs réalisée à l'aide de Split considère des concentrations de fines comme étant un seul et même bloc. Le mauvais éclairage est possiblement la cause de ce problème. Le coefficient de partage nous indique que les distributions prédictes par le logiciel utilisé à Canmet sont significativement plus homogènes que celles de Split.

7.0 Processus d'excavation

Cette section présente une comparaison entre l'analyse blocométrique in-situ et celle photogrammétrique des fragments. Au tableau 5, ainsi qu'à la figure 12, on peut remarquer que la blocométrie des fragments est toujours inférieure à celle in-situ.

Tableau 5. Comparaison du site 1.

	Stereoblock (m)	Split (cm)	Canmet (cm)
D ₂₅	1.59	8.46	4.67
D ₅₀	2.04	10.94	7.07
D ₇₅	2.5	27.21	11.63
C _s	1.58	3.21	2.49

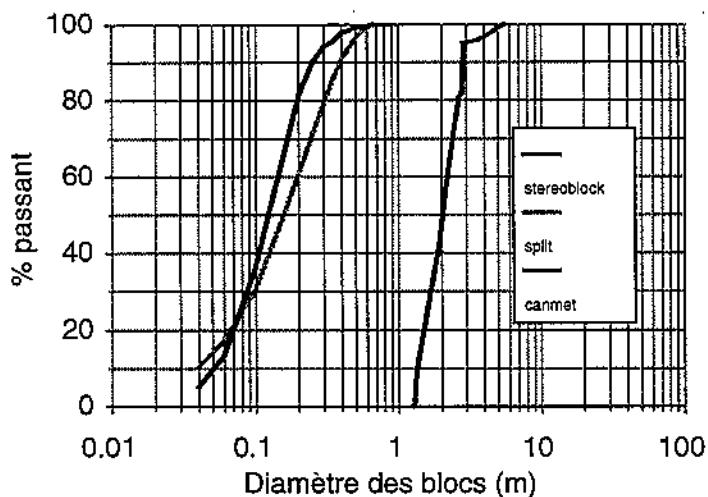


Figure 12. Processus de sautage du site 1.

Ce résultat était prévisible. L'analyse des coefficients de partage nous indique que la fracturation de la masse rocheuse est plus homogène que celle issue du sautage. La prochaine étape consistera à établir une relation entre les paramètres du tir à l'explosif, la blocométrie in-situ ainsi que celle des fragments issus du sautage. Évidemment, il est nécessaire d'élaborer plusieurs cas d'études bien documentés avant de pouvoir développer un modèle de prédiction adéquat.

8.0 Conclusion

Le but premier d'une telle approche est de maximiser l'utilisation des résultats d'études portant sur la blocométrie. Le travail de caractérisation est lent et fastidieux, mais essentiel. Il est cependant beaucoup plus facile de justifier le temps et l'effort consacrés à

cette tâche si plusieurs types d'analyses en découlent. L'applicabilité de l'évaluation de la blocostatique in-situ pour évaluer la stabilité d'une excavation a déjà été démontrée. L'utilisation de ces mêmes données permettra l'élaboration de stratégies de sautage qui tiendront compte de la géologie du site à l'étude.

9.0 Remerciements

Les auteurs voudraient remercier le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et Génie du Canada et le Centre de Technologie Noranda pour leur support financier. La coopération du personnel de Heath Steele Mines a été très appréciée. Les auteurs aimeraient également remercier Canmet qui a permis l'utilisation de son système d'analyse d'images ainsi que l'Université of Arizona qui a effectué les analyses à l'aide du logiciel Split.

10.0 Références

- Baecher G.B., Lanney N.A. & Einstein H.H. 1977. Statistical Description of Rock Properties and sampling. Proc. 18th. U.S. Symp. on Rock Mechanics, Colorado, pp. 5C1.1-5C1.8 (1977).
- Doucet C. et Lizotte (1996). Rockmass rating systems and the assessment of blasting efficiency. Proceedings of 2nd North American Rock Mechanics Symposium, Balkema, pp. 591-597.
- Hadjigeorgiou J., Lessard J.F. et Flament F. (1995). Characterizing In-Situ Block Size Distribution Using a Stereological Model. Canadian Tunneling, pp. 111-121.
- Hudson J.A. (1993). The Construction Process. Comprehensive Rock Engineering, vol. 4, Excavation, Support and Monitoring, Pergamon Press Ltd pp 1-37.

Lessard J.F. 1996. Évaluation de la blocométrie des massifs rocheux. Mémoire de Maîtrise, Université Laval.

Liu Q. et Tran H. 1996. Essais de validation sur différents systèmes de mesurer des fragments résultant d'un sautage: FragScan, WipFrag et Split. 19e Session d'étude sur les techniques de sautage. Université Laval, Québec.

Park A.F. and Broster B.E. 1996. Influence of glaciectonic fractures on wall failure in open excavations : Heath Steele Mines, New Brunswick, Canada. Canadian Geotechnical Journal, Volume 33, Number 5, pp 720-731.

Villaescusa E. 1991. A Three Dimensional Model of Rock Jointing. Ph.D. thesis. University of Queensland.