

Jacek Paraszczak

Département de génie des mines, de la métallurgie et des matériaux
Université Laval, Québec, PQ

« Sélection de la méthode de fragmentation du roc pour le minage des gisements filoniens »

1. INTRODUCTION

L'exploitation minière des gisements filoniens représente une grande partie de la production mondiale de l'argent et le pourcentage significatif des gisements d'or, d'étain, de cuivre, de plomb et de zinc. Un filon ou une veine est une couche mince ou tabulaire des minéraux épigénétiques, qui remplissent une faille, fracture ou fissure. On rencontre les veines individuelles ou leurs systèmes, parfois très complexes, souvent irréguliers et erratiques, dont les limites (de point de vue de la teneur en métal) sont parfois très difficiles à établir. La teneur en métal dans ces veines est d'habitude très élevée : par exemple elle peut atteindre quelques dizaines de grammes d'or par tonne et plus. Il y a plusieurs gisements de ce type au Canada et au Québec, soit déjà en exploitation ou en tant que réserves ou ressources minérales. Leur exploitation représente un sérieux défi pour les opérateurs miniers. Parmi les principaux problèmes rencontrés on peut indiquer :

- Détermination des limites des zones minéralisées et contrôle de teneur;
- Risque de dilution excessive qui baisse la valeur du minéral;
- Généralement basse productivité de méthodes d'exploitation;
- Peu d'équipements adaptés à ce type de conditions disponibles sur le marché.

Tous ces problèmes affectent la profitabilité et la compétitivité de minage. Dans cet article on discutera les principaux enjeux au niveau de choix de la méthode de fragmentation et des équipements qui peuvent être utilisés pour ces fins.

2. PRINCIPALES MÉTHODES D'EXPLOITATION DES GISEMENTS FILONIENS

Dans les régions minières du Canada et du Québec, la grande partie de gisements de métaux précieux de grande envergure a été déjà exploitée. Cependant une partie importante de réserves et des ressources minérales se trouve dans les gisements filoniens. Ils peuvent être attrayants pour les opérateurs miniers à condition qu'on définisse une méthode de fragmentation et de minage qui permettrait de les extraire avec profit. Pour maximiser ce dernier il serait souhaitable d'abattre exclusivement la veine métallifère, mais lorsque la largeur de cette dernière est à peine quelques dizaines de centimètres, il nous est impossible de l'exploiter sans dilution, car les dimensions d'ouvertures doivent être suffisamment grandes pour accommoder le personnel et les équipements nécessaires.

Pour éviter la dilution excessive les méthodes sélectives sont souvent préférées, mais celles-ci se caractérisent d'habitude par la basse productivité (aussi bien en termes de tonnage total que de tonnes abattues par homme-quart) et par les coûts de production élevés. Il est possible d'accroître la productivité et réduire le coût par tonne abattue en utilisant les méthodes d'exploitation en vrac (p.ex. sous-niveaux longs trous qui sera discutée plus loin), mais ceci entraîne souvent la croissance de la dilution. Dans les sections qui suivent on présentera les méthodes d'exploitation applicables aux gisements filoniers dont les pendages excéderent 60° , ce qui représente le cas prédominant dans les mines québécoises.

Méthode par chambre-magasin

Traditionnellement, la méthode la plus souvent appliquée pour exploiter les gisements filoniers fort inclinés (60° et plus) était celle par chambre-magasin (angl. « shrinkage »), illustrée à la fig. 1.

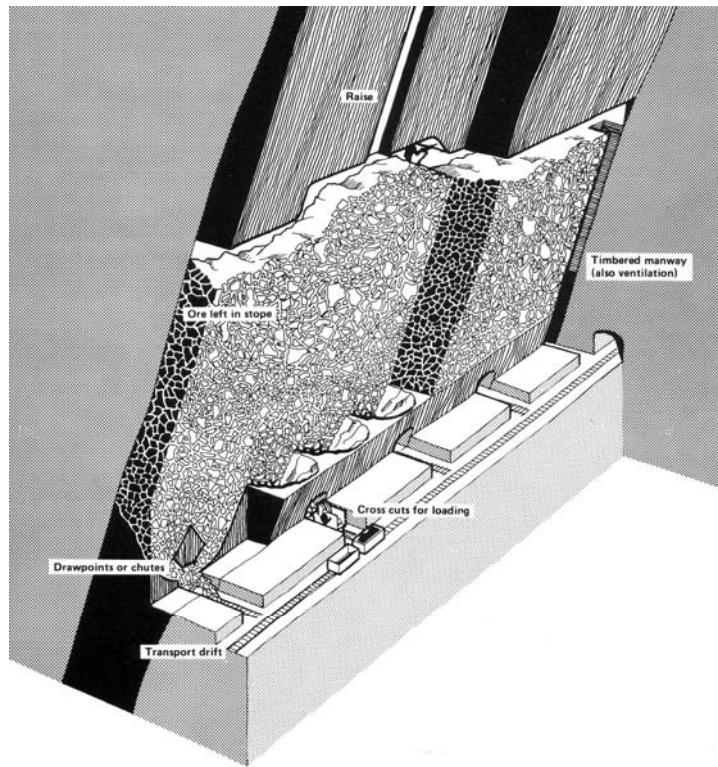


Fig.1 Principe de la méthode par chambre-magasin (d'après Atlas Copco)

Le minerai est excavé par les tranches horizontales, à partir de la partie inférieure du chantier en avançant vers le haut. La partie importante du minerai est laissée dans le chantier où il supporte les parois et sert comme plancher de travail pour les mineurs. Dans une première phase, on ne soutire que la partie du minerai correspondant au foisonnement. Dans la deuxième phase la chambre est entièrement vidée. Le chantier est accessible seulement par les monteries (« manways ») situées à ces extrémités. Étant

donné que la section de ces monteries d'accès est très limitée et le plancher de travail à l'intérieur du chantier est très rugueux (constitué du roc fragmenté), l'usage d'équipements hautement mécanisés s'avère pratiquement impossible. La pratique standard est d'utiliser les marteaux à air comprimé opérés manuellement tel que foreuses sur bêquille (« jackleg drills ») et foreuses de toit (« stopers »). Pour abattre du roc on se sert soit des trous horizontaux (« enlevure » ou « breast »), soit des verticaux, ayant d'habitude le diamètre de 32 mm (1 ¼ po.) et la longueur de 2.4 m (8 pieds). Dans ces conditions, la volée contient à peine quelques trous et le tonnage abattu est relativement petit : à l'ordre de 25 – 30 tonnes (Godin et al., 2001). La productivité est très basse : selon les données provenant des mines québécoises (Marquis, 2001; Dion et Bernard, 2007), pour les chantiers de 1.6 – 1.8 m de large elle est d'environ 15 – 17 tonnes par homme-quart (t/h-q).

L'avantage principal de la méthode est sa bonne sélectivité : étant très discriminatoire elle permet de suivre les veines sans trop de dilution. Par conséquent elle permet le recouvrement élevé des réserves et la minimisation du tonnage usinée. Cependant elle est très difficile à mécaniser (voir ci-dessus), donc elle sollicite physiquement des mineurs et n'est pas trop sécuritaire. Sa basse productivité et le coût de production élevé constituent les autres défauts sérieux. De plus, il doit passer beaucoup de temps entre l'abattage et le moment d'encaisser l'argent pour le métal exploité (mineraï reste longtemps à l'intérieur du chantier).

Méthode par tranches montantes remblayées (TMR)

C'est une méthode dans laquelle le mineraï est abattu et déblayé par tranches horizontales prises en montant et où le remblai est mis en place au fur et à mesure. Elle est adaptable aux gisements dont les contours sont irréguliers et/ou discontinus ce qui permet de récupérer les parties riches en mineraï et laisser en place des zones à faible teneur (sélectivité d'exploitation). L'abattage peut se faire sur un seul front ou sur plusieurs progressant simultanément. Le remblayage d'une tranche peut se faire en une seule fois (« cycle long »), ou progresser en même temps que déblayage (« cycle court »). Le principe de TMR est montré à la fig. 2. Dans cette version de TMR le chantier est accessible par la monterie et les équipements restent captifs jusqu'à la fin de vie du chantier.

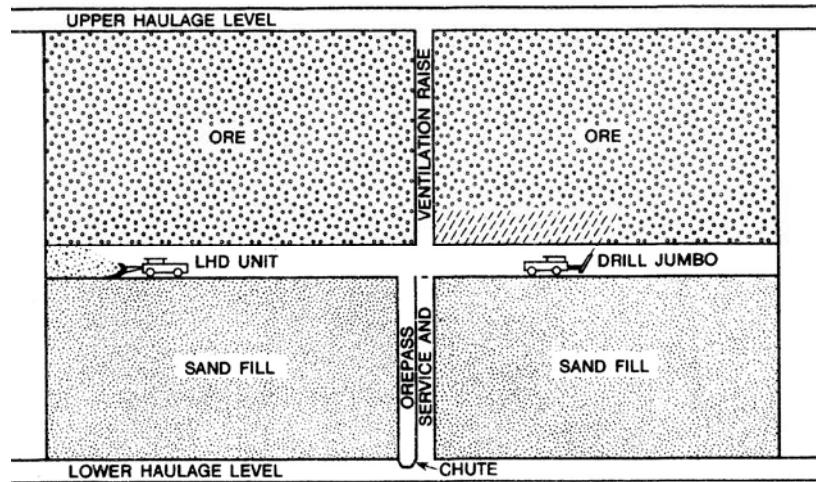


Fig. 2. Schéma de la méthode par tranches montantes remblayées – TMR

Dans les zones minéralisées très étroites, le forage est effectué avec les mêmes types d'équipements que dans la méthode de chambre-magasin et ne pas par les jumbos comme montré à la fig. 2. Dans ces conditions la productivité et les coûts par tonne abattue pour ces deux méthodes sont très proches. Elle a été utilisée par certaines mines québécoises qui exploitaient les gisements filoniens, entre autres Sigma et Joe Mann.

Méthode par sous niveau long trou

Les désavantages des méthodes sélectives, surtout dans le contexte nord-américain où la main-d'œuvre est assez chère, ont instigué les opérateurs miniers à regarder les méthodes dites « en vrac » qui offrent la productivité plus élevée et le coût par tonne inférieur. Celle qui a reçu le plus d'attention est la méthode par sous-niveaux longs trous (« long hole stoping »). Des tranches verticales sont abattues par des longs trous forés à partir d'un niveau supérieur ou inférieur et le vide créé par l'excavation et l'enlèvement du minerai n'est pas comblé ni par remblayage ni par foudroyage pendant le cycle d'exploitation. La fig. 3 présente le principe de cette méthode, mais dans le contexte des gisements assez larges.

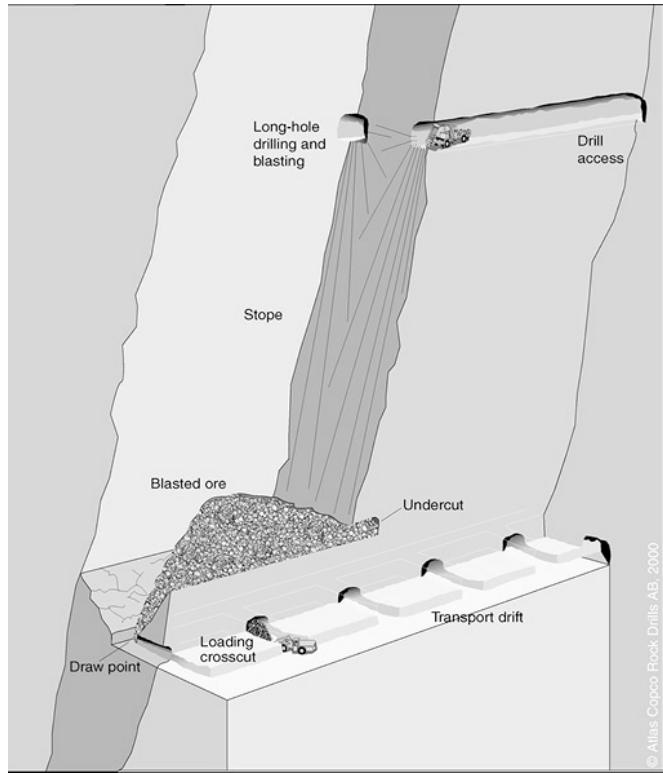


Fig. 3. Méthode d'exploitation par sous-niveaux longs trous (selon Atlas Copco).

Cette méthode est applicable dans les conditions suivantes :

- Pendage très élevé (supérieur par rapport à l'angle de repos du minéral);
- Toit et murs forts;
- Minéral compétant;
- Limites du gisement assez régulières.

En principe, la configuration de la méthode permet un haut niveau de mécanisation et l'application des équipements hautement productifs (engins de forage hydrauliques). Par conséquent il devient possible d'atteindre une meilleure productivité et un coût par tonne de minéral moins élevé qu'avec les équipements de forage manuels. Cette méthode a toutefois deux défauts majeurs : elle est peu discriminatoire et, à la fois, les dimensions physiques des équipements (surtout largeur et hauteur) nous forcent à excaver le roc à l'extérieur de la zone minéralisée, ce qui résulte souvent en la dilution excessive.

La méthode par sous-niveaux longs trous a été essayée à plusieurs reprises dans les conditions des mines filonnières, mais le niveau de succès variait substantiellement d'un site à l'autre. La mine Mouska (anciennement Cambior, maintenant Iamgold) exploitait les blocs de 15 m de hauteur par le biais des trous montants et descendants, forés à partir des niveaux dont la largeur était d'environ 1.5 m, à l'aide d'un engin mû par air comprimé (prototype fabriqué par C-Mac). Les résultats ont été comparés avec ceux pour la méthode par chambre-magasin. Le temps nécessaire pour extraire un bloc 60 x 60 m a

été de 10 mois, quatre de moins que pour chambre-magasin. Les coûts par tonne et par once d'or ont été évalué à 34\$/t et 79\$/oz pour la méthode longs trous, comparativement à 38\$/t et 84\$/oz pour chambre-magasin (Godin et al., 2001). L'analyse technique et économique effectuée par la mine (Marquis, 2001) a mené à une conclusion que lorsque la largeur de la galerie de forage dépassait 1.85 m (dilution planifiée de 16%), la méthode par longs trous ne semble plus être compétitive par rapport à celle par chambre-magasin, même si dans le premier cas l'ensemble des travaux d'exploitation et de soutirage du minerai du chantier ont duré 30% moins de temps.

La mine Géant Dormant (anciennement Cambior et Iamgold, aujourd'hui Cadiscor) a utilisé cette méthode à quelques reprises. Ils forraient les trous de 51 mm de diamètre. Le patron de forage utilisé initialement était celui à quinconce (« Dice 5 »), avec un trou central à 0.4 m de la rangée arrière. Le fardeau et l'espacement ont été de 1.2 m. Les trous étaient chargés de façon pneumatique avec AMEX et amorcés au moyen de deux renforçateurs de 90 g. Cependant ce patron n'offrait pas de flexibilité nécessaire pour s'adapter à la complexité de la veine qui était sinuuse et étroite. Cette variation rendait difficile de conserver le patron avec un trou central décalé. Le patron de forage pouvait varier jusqu'à 1.2 m d'espacement par 2.0 m de fardeau (mesuré le long de la veine). Pour palier à ce problème, la mine a établi les nouveaux patrons pour mieux s'adapter aux changements directionnels de la veine qui sont donnés dans le Tableau 1 ci-dessous (Bourcier et al, 2001).

Tableau 1. Patrons de forage longs trous à la mine Géant Dormant (Bourcier et al., 2001)

Distance entre les rangées de trous le long de la veine	Modification du patron (espacement 1.2 m)
1.2 m	Patron typique à quinconce (Dice 5) avec trou au centre, fardeau de 1.2 m
1.4 m	Patron à 6 trous (2-2-2) avec 0.7 m de fardeau
1.6 m	Patron à 7 trous (2-3-2) avec 0.8 m de fardeau
2.0 m	Patron à 9 trous (3-3-3) avec 1 m de fardeau

La largeur théorique de la veine était de 1.4 m et celle planifiée pour accommoder les équipements (foreuse long trou à air comprimé) de 1.7 m (dilution planifiée de 21%). Suite à des sautages, l'arpentage du chantier a permis de constater que la largeur finale a atteint 2.05 m ce qui s'est traduit en dilution de 46%!

Dion et Bernard (2007) mentionnent une autre tentative à la même mine. Pour abattre une veine de 1.9 m large, la mine s'est servie des trous de 54 mm (2 1/8 po.) forés à partir d'une galerie ayant la largeur moyenne de 2.2. m. Dans les trous secs on utilisait de l'ANFO, tandis que dans ceux humides une émulsion encartouchée sensible au détonateur. Les cartouches d'émulsion 40*400 mm étaient chargées librement. Le plus gros problème était la dilution évaluée à 35%.

Makuch (2001) décrit une application de cette méthode dans une mine américaine Ken Snyder en Nevada, dans un chantier filonien ayant le pendage de 75° où la puissance du minerai variait entre 0.5 et 3 mètres. La galerie de forage avait la largeur moyenne de 1.85 m et la hauteur de 3 m. Ils ont foré les trous descendants de 60 mm de diamètre et 15 m longs, parallèles au plan de la veine. Le patron de sautage en quinconce a été utilisé (fig. 4).

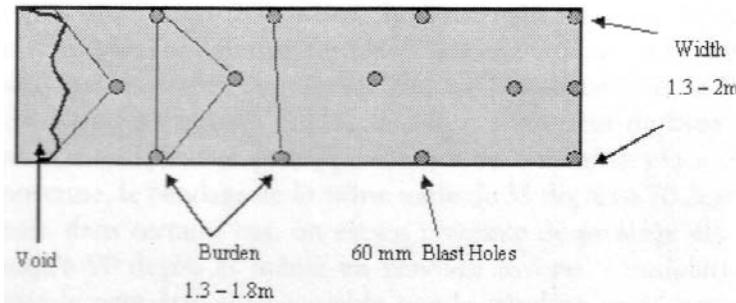


Fig.4 Patron de sautage long trou à la mine Ken Snyder, USA (Makuch, 2001).

Il a été souligné que l'agencement précis de l'engin de forage et le suivi adéquat de l'orientation des trous sont les facteurs clés.

La méthode par longs trous a été utilisée comme alternative à celle par tranches montantes remblayées (TMR) par la mine Zinkgruvan en Suède (Finkel et al., 2001). Cette mine de zinc, de plomb et d'argent exploitait les veines dont la largeur variait de 0.5 à 5 m et le pendage entre 70 et 75°. Pour réduire les bris hors profil, ils ont décidé d'utiliser les trous ayant à peine 38 mm de diamètre, chargés d'ANFO. Cette décision était motivée par la crainte d'avoir la dilution excessive, qui aurait pu se produire avec les trous de 51 mm (voir Tableau 2).

Tableau 2 : Estimation de la dilution en fonction du diamètre des trous et de la largeur de la veine (d'après Finkel et al., 2001)

Diamètre des trous	Largeur de la veine	Bris hors profil estimé	Dilution
38 mm	1.3 m	0.35 m	35%
	1.5 m	0.25 m	25%
	2.0 m	0.25 m	20%
51 mm	1.3 m	0.85 m	57%
	1.5 m	0.75 m	50%
	2.0 m	0.50 m	33%

La mine a employé un engin de forage sur chenilles adapté aux besoins de la mine par Atlas Copco (Trakker 526) ayant la largeur à peine de 1.1 m. Concernant le patron de sautage, chaque rangée consistait de trois trous avec un fardeau de 0.8 m et l'espacement

entre 0.6 et 1 m. La longueur moyenne des trous était de 9.6 m. Le facteur de chargement a été évalué à 4 kg/m³ du roc. La comparaison de la méthode par sous-niveaux longs trous avec celle de TMR est présentée dans le Tableau 3.

Tableau 3. Comparaison des méthodes par tranches montantes remblayées (TMR) et par sous-niveaux longs trous pour les conditions de la mine Zinkgruvan (Finkel et al., 2001)

	TMR	Sous-niveaux longs trous
Productivité, t/h-q	10.5	25.4
Dilution	31%	25%
Pertes de minerai	4%	10%
Coût (SEK/tonne)	316	214

Ces résultats semblent prouver la supériorité de la méthode par longs trous pour les conditions en question. Il faut cependant garder beaucoup de prudence à ne pas généraliser ces conclusions, car les résultats dépendent beaucoup des conditions géologiques, paramètres géométriques de la veine ou des veines, les équipements utilisés, etc. Toutes les méthodes discutées ci-dessus exigent l'utilisation des explosifs. Dans la section qui suit, on discutera brièvement la question d'abattage mécanique.

3. ABATTAGE DU ROC SANS EXPLOSIFS

L'abattage mécanique du roc sans explosifs est perçu par plusieurs comme une façon de vaincre certains problèmes d'exploitation des gisements filoniers. On s'attend à ce qu'il ne compromette pas le massif rocheux autant que l'action des explosifs et qu'il soit plus sélectif. Depuis longue date nous témoignons de nombreux efforts de recherche et développement visant la conception et l'implémentation des techniques d'excavation des roches dures sans explosifs. Malheureusement, aujourd'hui nous ne disposons d'aucune technologie de ce genre dont le degré d'avancement, les conditions d'application et les coûts la rendraient vraiment compétitive par rapport aux méthodes conventionnelles discutées précédemment. Concernant l'exploitation des gisements filoniers, il faut souligner les travaux faits à l'Université Laval sur l'éclatage radial-axial. Un schéma de cet outil est présenté à la fig. 5.

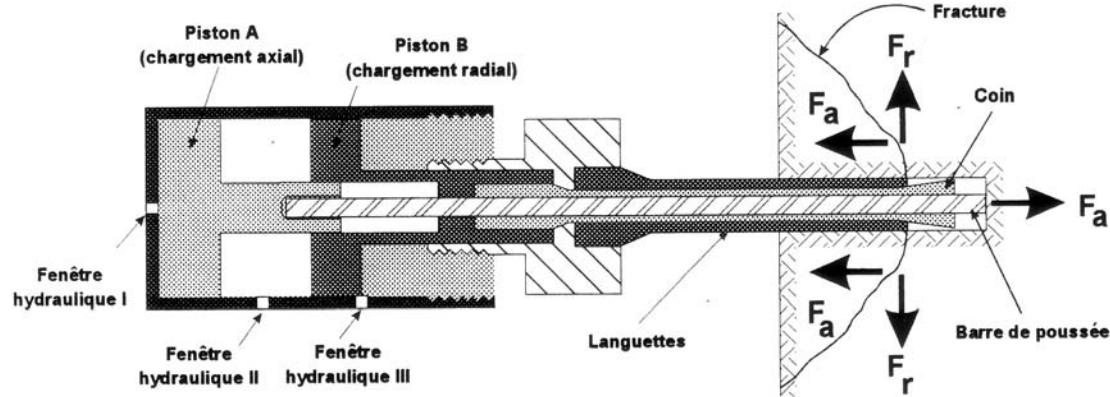


Fig. 5. Éclateur radial-axial (selon Paraszczak et al., 1999)

L'éclateur opère dans un trou préalablement foré. En premier temps l'outil est ancré dans le trou par le biais des languettes (chargement radial) et par la suite l'avancement de la barre de poussée a pour effet l'application de la charge axiale au fond du trou. L'action simultanée de la force axiale et de la force radiale initie des fissures qui prennent racine au point de contact entre les languettes et la paroi (point d'ancrage) et se propagent jusqu'à la surface libre du roc. On excave ainsi une certaine quantité de roc et le cratère résultant de cette action a une forme conique. Le modèle portable de l'éclateur qui opérait dans les trous de 38 mm a été essayé dans le granodiorite dans les conditions souterraines à la mine laboratoire de CANMET à Val d'Or. Les résultats obtenus et les études de préfaisabilité (Paraszczak et al., 1999; Paraszczak et Planeta, 2003) laissent croire que dans les conditions des gisements filoniens un éclateur de la taille plus grande (diamètre du trou de 76 mm) installé sur un engin de forage hydraulique pourrait fournir la performance supérieure par rapport à la méthode d'abattage par tranches montantes remblayées (TMR). Comme mentionné auparavant, l'éclateur est un outil hydraulique qui nécessite une unité d'alimentation (son propre « power pack » ou installé déjà sur un équipement porteur tel que jumbo de forage par exemple). Ceci rend l'application même de l'éclateur manuel dans un chantier chambre-magasin plutôt peu probable, d'autant plus que sa productivité à partir des trous de 38 mm n'est pas très impressionnante.

Il faut souligner aussi que parmi plusieurs autres technologies d'abattage mécanique à diverses étapes de développement il n'y a pratiquement aucune qui serait vraiment applicable pour les conditions de gisements filoniens. Il semble donc que dans l'avenir proche nous devrions utiliser toujours les technologies basées sur l'usage des explosifs.

4. DISCUSSION

Dans le contexte actuel de progrès technique et technologique, les opérateurs miniers qui exploitent ou exploiteront les gisements filoniens devront choisir entre les méthodes sélectives à basse productivité (chambre-magasin, TMR) et la méthode par sous-niveaux

longs trous qui offre une productivité plus élevée et les coûts par tonne abattue inférieurs. Cependant, la supériorité de cette dernière n'est ni universelle ni évidente. Parmi les facteurs qui affectent son efficacité on peut nommer :

- Forme, degré de complexité et taille des veines;
- Diamètre, longueur et précision des trous;
- Dimensions physiques des équipements utilisés pour le forage et, dans certains cas comme la méthode TMR, ceux de marinage.

Tel que mentionné tantôt, la méthode par longs trous n'est pas très discriminatoire. Par conséquent, dans le cas de veines ayant une forme complexe on risque d'avoir une dilution trop importante. Les dimensions géométriques des veines affectent aussi les paramètres des trous. En général, l'efficacité de la méthode devrait augmenter avec le diamètre de ces derniers. Cependant, les diamètres importants demandent la maille de forage plus grande, ce qui dans le cas des galeries de forage étroites rend la planification des forages difficile. Lorsque largeur de la veine est petite, les gros trous peuvent entraîner la fragmentation trop fine et causer les bris hors profil considérables sans toutefois diminuer le facteur de chargement.

Si nous devons limiter les diamètres, le même s'applique à la longueur (profondeur) des trous. Avec le forage longs trous de diamètre à l'ordre de 51 mm (2 po.) nous risquons d'avoir des problèmes avec la précision de forage qui est un facteur clé de point de vue de dilution. Selon Olofsson (2002), l'erreur de forage peut être évaluée avec la formule suivante :

$$E = D/1000 + 0.03 * H$$

Où :

E – erreur de forage, m

D – diamètre du trou, mm

H – longueur du trou, m

Lorsqu'on fore les trous ayant le diamètre de 51 mm et la longueur est de 15 mètres, cette erreur sera de $0.051+0.03*15 = 0.5$ m. Si l'espacement prévu est de l'ordre de 2 m, une telle erreur pourra l'augmenter (ou réduire) par la marge de 25% ou même plus! En réduisant la longueur des trous, nous sommes obligés à augmenter le nombre de sous-niveaux indispensables pour exploiter le bloc du minerai et avec le développement nécessaire nous risquons d'avoir encore plus de dilution qui anéantie certains bénéfices de la méthode.

Selon l'avis de cet auteur une de raisons pour lesquelles la méthode par longs trous ne s'est pas avérée nettement supérieure par rapport à celles sélectives est l'usage des engins de forage à air comprimé dont le taux de pénétration n'est pas trop élevé. Pour que la méthode par longs trous apporte plus de bénéfices, il est crucial qu'on puisse utiliser les marteaux hydrauliques qui sont en mesure de fournir les performances plus intéressantes.

Cependant, la taille de ces équipements peut devenir un facteur adverse. Selon les données de fabricants, les plus petits engins permettant le forage hydraulique de longs trous (15 m et plus) ont la largeur minimale entre 1.4 m (Simba 157 de Atlas Copco) et 1.8 mètres (DL-210-5 de Sandvik). Pour les accommoder dans les galeries de forage la largeur de ces dernières doit être entre 1.9 et 2.4 mètres respectivement. Il va en soi que dans le cas de veines très étroites, ces dimensions seraient la source de la dilution planifiée assez importante. Vu la taille de marché d'aujourd'hui, il n'est pas réaliste de croire que les manufacturiers de premier plan conçoivent de petites foreuses long trou équipées de marteaux hydrauliques. Les seuls équipements destinés explicitement pour les gisements filoniens sont les jumbos de forage comme par exemple Boomer 104 de Atlas Copco (2008), ayant à peine 1.2 m de largeur. Il faut souligner que l'application de ces jumbos se limite aux travaux de développement ou à l'exploitation par la méthode TMR.

5. CONCLUSION

Malgré le grand progrès technologique, les méthodes et équipements employés pour exploiter les gisements filoniens n'ont pas changé beaucoup depuis plusieurs années. Les opérateurs miniers restent toujours pris avec le choix entre les méthodes sélectives à basse productivité et celle par longs trous qui offre en général la meilleure productivité, mais résulte en plus de dilution. Vu les avantages et désavantages de ces méthodes et les techniques de forage et sautage disponibles, il est impossible de proposer une solution universelle. Chaque cas doit être considéré et étudié séparément dans le contexte de conditions géologiques et géotechniques, techniques et opérationnelles. Il est important de souligner que dans toutes les analyses le facteur clé doit être obligatoirement le coût de production par unité de poids de métal (p.ex. \$/onze d'or produit) et ne pas celui par tonne de minerai sortie du chantier comme ça arrive parfois dans la vie. À l'heure actuel, il n'y a pas encore les alternatives aux explosifs pour les mines des roches dures et il ne semble pas que dans l'avenir proche les technologies d'excavation mécanique soient disponibles commercialement.

Bibliographie

Atlas Copco, 2008. Site Internet : http://sg01.atlascopco.com/SGSite/default_prod.asp, consulté en novembre 2008.

Bourcier, C, Dubois, S., Vachon, M. et Robitaille D., 2001. « Abattage longs trous à la mine Géant Dormant ». Recueil des conférences du symposium international sur les techniques d'extraction des gisements filoniens, Val d'Or, Québec, Canada 1- 4 octobre, p.11-16.

Dion, S. et Bernard, A., 2007. « Utilisation d'une unité de chargement miniature adaptée à l'utilisation d'émulsion en vrac dans les sous niveaux captifs à la mine Géant Dormant ». 30^e Session d'études sur les techniques de sautage, Université Laval, Québec, PQ, 22-23 novembre 2007.

Finkel, M., Olsson, M, Thorsdag, H., Wernström, J. et Johansson, G., 2001. « Narrow Ore Mining in Zinkgruvan, Sweden » (en :) « Underground Mining Methods – Engineering Fundamentals and International Case Studies », Hustrulid, W.A. et Bullock, R.L. (éditeurs), SME, Littleton, CO, USA, p.221-227.

Godin, P., Marchand, R. et Doucet, C., 2001. « Shrinkage Stoping at the Mouska Mine ». Recueil des conférences du symposium international sur les techniques d'extraction des gisements filoniers, Val d'Or, Québec, Canada 1- 4 octobre, p.1-6.

Makuch, A.P., 2001. “No Job Takes Priority over Safety – Dynatec’s Approach to Narrow-Vein Longhole Stoping at Midas, Nevada ». Recueil des conférences du symposium international sur les techniques d'extraction des gisements filoniers, Val d'Or, Québec, Canada 1- 4 octobre, p.7-10.

Marquis, K., 2001. « Méthode long trou à la mine Mouska ». Recueil des conférences du symposium international sur les techniques d'extraction des gisements filoniers, Val d'Or, Québec, Canada 1- 4 octobre, p.67-72.

Olofsson, S.O., 2002. “Applied Explosives Technology for Construction and Mining”, Applex AB, Arla, Sweden, 2nd edition. 341 p.

Paraszczak, J. and Planeta, S., 2003. Feasibility of Narrow Vein Mining Using a Mechanical Rock Splitter”, Proc. 12th. Intl Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES 2003); Kuruppu, M.D. and Lilly, P.A. (eds.), Kalgoorlie, WA, Australia, 23 – 25 April, pp. 415-422.

Paraszczak, J., Routhier, F. et Savard, M., 1999. « Détermination du potentiel d'éclatage en tant qu'une technologie d'abattage sans explosifs - phase 3: Expérimentation dans un milieu minier souterrain », Rapport final soumis au Ministère des ressources naturelles du Québec, février, 54 p.