

**Novembre 2006, 29 ième session d'étude de la SEEQ**

**Sautage en milieu urbain à la carrière Mont-Bruno**

Présenté par : Norman Scully, gérant d'exploitation  
Pierre Groleau, ing., SNC-Lavalin Environnement Inc.

**Général**

La carrière Dulude du mont St-Bruno est exploitée à flanc de montagne au mont St-Bruno sur la rive sud de Montréal.

Cette montagne fait partie de la formation géologique des collines Montérégiennes. Cette formation géologique date d'environ 100 millions d'années. Les collines se sont mises en place sur un axe est-ouest s'étendant de la vallée du St-Laurent aux Appalaches et s'étirant même jusqu'au U.S.A. La chaîne commence avec les collines d'Oka et se termine avec le mont Mégantic. Aux États Unis la formation se termine en s'alignant avec un chaînon volcanique dans la plaine abyssale de Sohm à l'Ouest de la dorsale médio-atlantique. Les collines sont donc des intrusions magmatiques n'ayant jamais pu se rendre à la surface et, ont de ce fait métamorphisé par la chaleur et la pression les roches encaissantes. Ce métamorphisme a conféré à la roche du mont St-Bruno une qualité supérieure à ce que l'on retrouve habituellement dans la vallée du St-Laurent (calcaire, schiste, etc.).

L'exploitation de la carrière a débuté en 1956 et elle porte le nom de Carrière Dulude en raison de son fondateur Ernest Dulude.

Le développement de la carrière a vraiment pris son envol dans le milieu des années 60 alors que l'urbanisation de la rive sud de Montréal et la mise en marche de la construction du réseau autoroutier ont commencé.

Le site est ceinturé d'une station de ski alpin au sud-ouest, d'un parc provincial à vocation de conservation au sud-est et par la municipalité voisine de Sainte-Julie, au Nord-Est.

Notre volume actuel de production se situe à 1.0 millions de tonnes métriques par année. De ce million de tonnes ; 65 % des granulats sont destinés aux matériaux de fondation, alors que le reste est essentiellement destiné à la fourniture d'usine d'enrobé bitumineux.

En 2001 nous avons réalisé la phase 1 d'un programme d'investissement destiné au remplacement de nos installations de concassage. Les efforts ont été dirigés vers le réaménagement et le remplacement du poste primaire. Actuellement ce poste mobile sur chenille modèle LT-140 produit plus de 680 t.m./hr. Via ce même programme d'investissement nous avons aussi fait l'acquisition d'une pelle mécanique Caterpillar model 365 munie d'un godet de 5 mètres cube, pour alimenter notre nouveau concasseur.



*Concassage primaire avec locotrac LT-140 et usines secondaire et tertiaire.*

Il serait important, à ce stade, de spécifier que la méthode de concassage primaire que nous avons choisi demande une exploitation de la carrière très bien planifiée. Les techniques d'alimentation plus conventionnelles (chargeur et transport par camions hors-route vers le concasseur) sont donc bousculées. À la carrière de St-Bruno c'est le concasseur qui se déplace vers le roc dynamité plutôt que l'inverse. Pour optimiser cette opération nous avons décidé d'exploiter la carrière sur des bancs de 20 m de hauteur.

La phase 2 du programme est complétée en depuis le printemps 2006, alors que nous avons remplacé et re-localisé les systèmes de concassage secondaire et tertiaire. Actuellement nous sommes au début de la dernière phase de notre plan de modernisation qui nous amènera à réaliser la phase 3 de notre projet qui consistera à moderniser et à re-localiser le secteur quaternaire de notre usine de concassage.

Le contexte géographique de la carrière est très favorable dû à la proximité des autoroutes qui ceinturent le secteur. Mais cette facilité d'accès a aussi amené un développement urbain important dans la région. Au début de l'exploitation l'environnement de la carrière était essentiellement rural avec quelques concentrations d'habitation qui étaient à plusieurs kilomètres de la carrière. Aujourd'hui la réalité a complètement changé. Les habitations se sont rapprochées des limites de la propriété et maintenant une école primaire est localisée à moins de 200m du site d'exploitation.

Cette proximité nous a amené à intégrer cette réalité à nos opérations. Ainsi le contrôle des poussières, du bruit et des effets des dynamitages sont des préoccupations de premier plan pour l'entreprise.

Depuis 2005 nous avons adopté une procédure encore plus stricte. Une procédure de planification de l'exploitation rigoureuse doublée d'une vérification systématique documentée des paramètres de forage, de chargement d'explosifs et de mise à feu sont en place. Aussi les facteurs météorologiques ayant un impact sur les effets environnementaux sont vérifiés et pris en considération dans la décision d'exécuter ou de ne pas exécuter un tir. Toutes ces procédures sont réunies à l'intérieur d'un manuel d'assurance de la qualité : gestion des activités de forage et de dynamitage. Ce manuel, au-delà de fixer les normes de qualité, a aussi comme but de :

- Créer un objectif à long terme.
- Tolérer un niveau d'erreur et de tolérance à un seuil zéro.
- Exiger des fournisseurs des preuves statistiques de la qualité.
- Implanter des techniques de formation.
- Responsabiliser le travail de chacun (chacun doit communiquer avec tous les intervenants)

- Abattre les barrières entre les départements, tous doivent se parler.

Compte tenu que les non-conformités majeures sont désormais et plus que jamais inadmissibles pour tous les sautages effectués à la carrière Mont Bruno, la direction de Construction DJL a mis en place des mesures exceptionnelles et sans précédent à appliquer pour l'exploitation de la carrière aux explosifs. Ces diverses mesures sont énumérées dans le manuel d'assurance qualité de DJL.

### **Contraintes environnementales**

La première contrainte à évaluer réside sur la proximité du site d'exploitation par rapport au quartier résidentiel avoisinant et au centre de ski de St-Bruno.



*Vue en plan de la carrière DJL, Mont Bruno*

On note entre autre un faible couvert de mort terrain au site du quartier résidentiel. Ainsi lors des sautages de production, la transmission sismique est quasi directe chez les résidents. La moindre défaillance de dégagement d'un sautage génère des vibrations qui ne sont que très modestement atténuées au sein du quartier résidentiel du domaine des Haut-Bois à la municipalité de Ste-Julie.

De plus, la majorité des sautages sont dirigés en direction du centre de ski soit opposés au quartier résidentiel. Toutefois les surpressions d'air générées par les sautages frappent le mur de roc adjacent au centre de ski pour ensuite réfléchir en direction opposée c'est-à-dire vers le quartier résidentiel. Nous avons par conséquent, à composer avec des contraintes de vibrations et de surpression d'air au niveau du quartier résidentiel avoisinant.

La seconde contrainte consiste à composer avec une géologie fortement altérée. La formation géologie en place comporte de multiples joints poly-directionnels qui engendrent des bris hors profil arrières importants à l'issu de chaque tir. Les fardeaux des trous de face libre sont par conséquent très variables et l'accessibilité des forages aux emplacements désignés est régulièrement compromise.



*Fardeau de face libre*



*Géologie fortement altérée en façade*

À titre de troisième contrainte, nous notons la hauteur des bancs d'exploitation. La méthode d'exploitation de la carrière avec unité de concassage mobile requiert de bonnes hauteurs de banquette pour fin d'optimisation de la production. Toutefois, au niveau des sautages, des hauteurs de banc élevées occasionnent plus de vibrations et de surpression d'air. Aussi, les hauteurs de banc exploitées sont propices à générer des déviations au sein des forages.



*Unité de concassage primaire*

Une autre contrainte avec laquelle nous devons composer est le facteur météorologique. Pour éviter que les surpressions d'air ne voyagent à basse altitude et sur de longues distances, chaque sautage est planifié au moins 24 heures à l'avance en considération d'un plafond nuageux élevé et des vents de vitesse inférieure à 20 km/hre.

### **Exigences DJL**

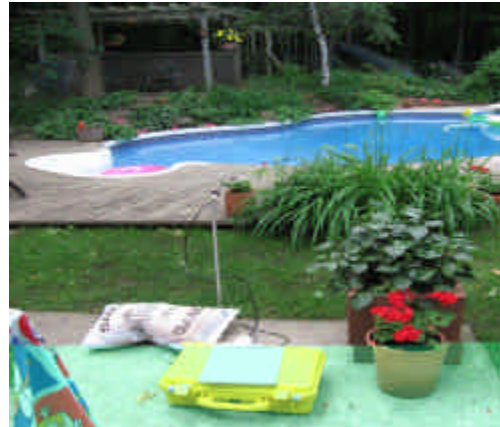
Afin d'assurer un maximum de contrôle à chaque sautage, construction DJL a établi diverses mesures à respecter.

### *Contrôle des vibrations et surpressions d'air*

En ce qui concerne le contrôle des normes environnementales, DJL exige que les vitesses sismiques à toutes structures avoisinantes soient inférieures à 20 mm/sec. La limite imposée pour les surpressions d'air est de 120 dB au quartier résidentiel et de 130 dB à la station de ski du Mont Bruno. À cet égard, un minimum de trois (3) sismographes est requis pour l'enregistrement de chacun des sautages.



*Sismographe Minimate Plus*



*Installation du sismographe*

### *Qualification des intervenants*

L'entrepreneur retenu pour les travaux de forage et de sautage doit bénéficier d'une excellente réputation dans le domaine des sautages. Son personnel doit être hautement qualifié avec curriculum vitae à l'appui. Il est également requis que l'entrepreneur maintienne le même personnel affecté à chacune des étapes.

### *Forage*

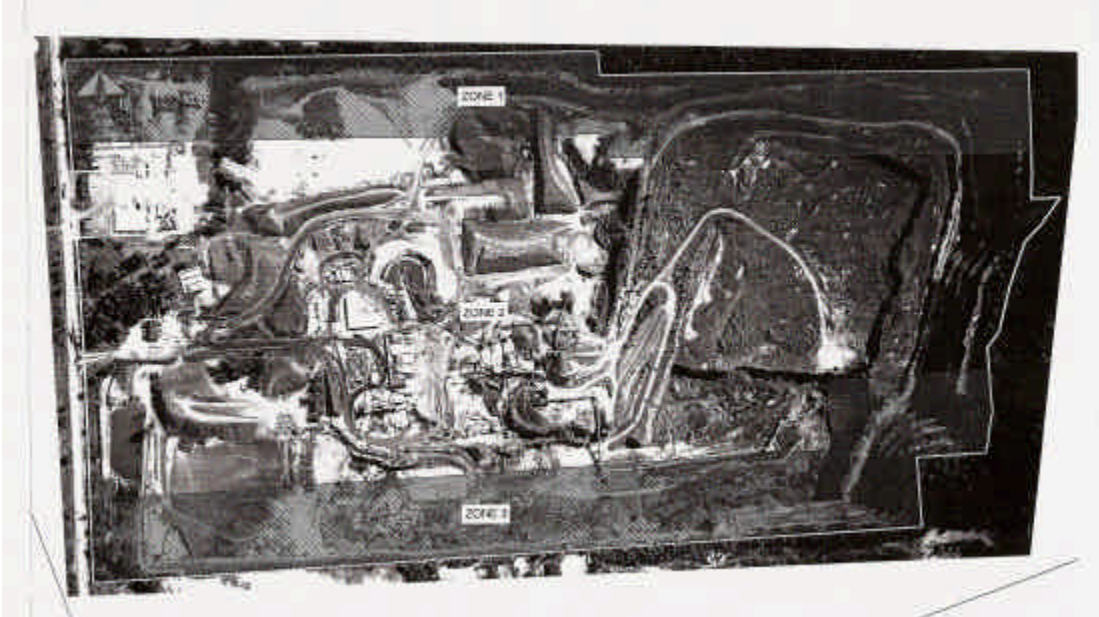
En ce qui concerne les travaux de forage, il est strictement interdit d'effectuer des trous inclinés. De plus, la hauteur des bancs exploités exigent l'utilisation de forage avec marteau fond de trou (DTH). Des rapports détaillés de forage pour chaque trou sont requis.



*Foreuse avec marteau en fond de trou (DTH)*

### *Zone d'exploitation*

Pour les sautages, la carrière a été divisée en trois zones distinctes en considération du palier d'exploitation et des limites de la fosse. Selon la zone et la période de l'année du sautage, des autorisations, justifications et type de recouvrement du sautage sont établis.



*Zones d'exploitation à la carrière Mont Bruno*

### *Détonateur électronique*

Selon la zone du sautage, le nombre de rangée par tir est limité à 2 ou 3 rangées. De plus, afin de minimiser les vibrations, construction DJL a opté pour l'utilisation exclusive de détonateur électronique de type IKON. La qualité de la séquence de mise à feu, de la fragmentation obtenue jumelée à la flexibilité d'attribution des temps nominaux justifient grandement ce choix.



*Programmation des détonateurs électroniques IKON*

### *Recouvrement des sautages*

Également, chaque sautage doit obligatoirement être totalement recouvert d'une membrane géotextile. Pour les tirs effectués lors de la période hivernale, les sautages doivent être entièrement recouvert de matelas de pneu recyclé.



*Couverture avec membrane géotextile*

### *Ouverture de palier*

Dans le but de minimiser les projections de pierre verticale hors contrôle, aucun tir de foncée initiale n'est autorisé. Les ouvertures de palier seront plutôt effectuées par l'avancement progressif de sautages de rampe.

### *Sélection des explosifs*

Dans la sélection des explosifs, il est interdit d'utiliser des explosifs de type émulsion en vrac gazéifiés. Ce type de produit nécessite des contrôles de collet beaucoup plus minutieux et présente des risques élevés de surcharge par montée de colonne au sein d'un trou de forage.

## **Ingénierie des sautages**

La principale particularité d'un sautage réside sur le nombre d'heures requis de travaux préparatoires en planification, forage et chargement des explosifs en chantier alors que l'événement lui-même, soit la mise à feu ne dure généralement que moins d'une demie seconde pour les tirs en carrière.

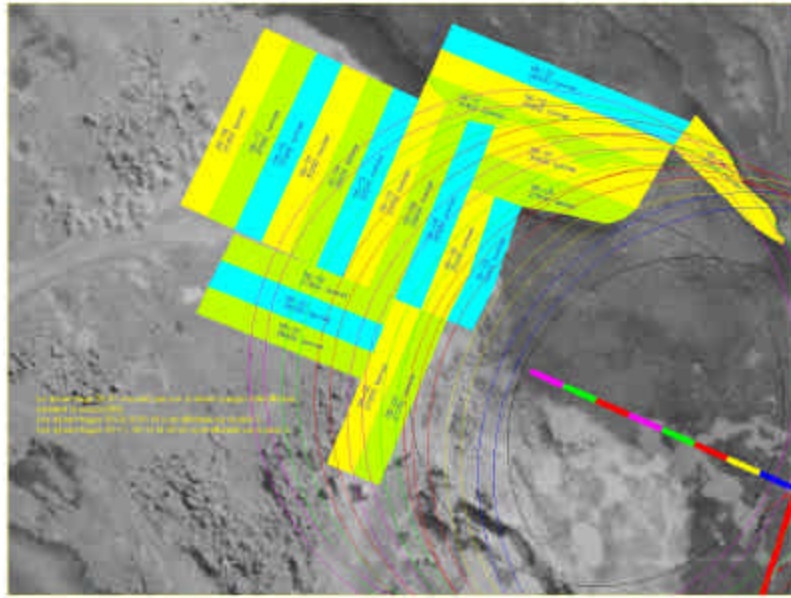
Nul doute qu'à l'issue de la mise à feu d'un sautage, le boutefeu n'a plus aucune marge de manœuvre et qu'il devra ainsi composer avec les résultats et conséquences de son tir. Il ne faut jamais oublier qu'il ne suffit que d'un seul trou raté pour mettre toute l'équipe dans une situation précaire.

Il est donc essentiel d'effectuer les travaux préparatoires avec rigueur et minutie à chacune des étapes établies afin d'assurer des sautages sécuritaires et productifs. Cette planification réside dans l'ingénierie de sautage.

L'ingénierie des sautages tel qu'appliqué systématiquement à la carrière Mont Bruno s'établit ainsi ;

#### 1) Planification des sautages (plan d'action)

Tenue d'une réunion de démarrage en début de saison avec les intervenants décisionnels afin d'établir les séquences et localisations des sautages planifiés.



*Planification d'exploitation de la carrière*

## 2) Planification d'un sautage type

- a) Émission d'un plan de sautage avec mise en plan de chaque point de forage clairement identifié.
- b) Émission d'un plan de localisation du tir indiquant le périmètre de sécurité.
- c) Suivi et analyse détaillée des rapports de forage. À cette étape, la communication entre le foreur et le concepteur du tir est cruciale. Le concepteur doit prendre en considération toute anomalie géologique significative pour planifier les étapes ultérieures.
- d) Vérification de tous les trous de forages. La base des travaux de sautage aux explosifs est le forage. Le forage est générateur de près de 90% des problèmes associés aux résultats d'un sautage. Cette étape est donc fort importante.

Chaque trou est évalué en fonction de la régularité du patron de forage, de la profondeur forée et de la verticalité de forage.

Pour procéder aux vérifications des verticalités de forage, la méthode la plus simple consiste à fixer une lampe de poche sur le ruban à mesurer à l'aide de ruban collant électrique en s'assurant que la direction de la lumière soit projetée vers le haut.

Après la mise en fonction de la lumière, le vérificateur introduit le ruban à mesurer à l'intérieur du trou de forage. En plus de mesurer la profondeur totale du trou, cette méthode identifie la profondeur à laquelle la lumière n'est plus visible ainsi que la direction sous laquelle la lumière se perd.

Ces informations sont essentielles pour permettre d'identifier, entre autres, les trous ayant des fardeaux plus légers en fond de trou et adapter le chargement d'explosifs en conséquence pour éviter toute projection imprévue. De même, l'identification d'un fardeau plus lourd en fond de trou permettra d'ajuster à la hausse, la charge explosive en fond de trou afin d'optimiser la qualité du plancher de marouflage.



*Vérification des verticalités de forage*

Dans l'éventualité d'anomalie majeure, les reprises de forage sont requises et doivent être complétées au moins 24 heures avant le sautage.

- e) Arpentage des faces libres avec mise en plan des variations de fardeaux de chaque trou de façade. L'arpentage au laser permet d'identifier les variations de fardeau de chacun des trous de façade en fonction des diverses élévations.



*Arpentage des fardeaux de face libre*

À l'issue de ce relevé, nous procédons à la mise en plan des profils réels de chaque trou de face libre.

- f) Planification du chargement des explosifs.

En premier lieu, il est primordial de bien connaître la puissance de chaque explosif et le travail qu'il peut accomplir. Il est fort pratique d'établir un barème simple et clair définissant les spectres d'utilisation de chaque type d'explosif.

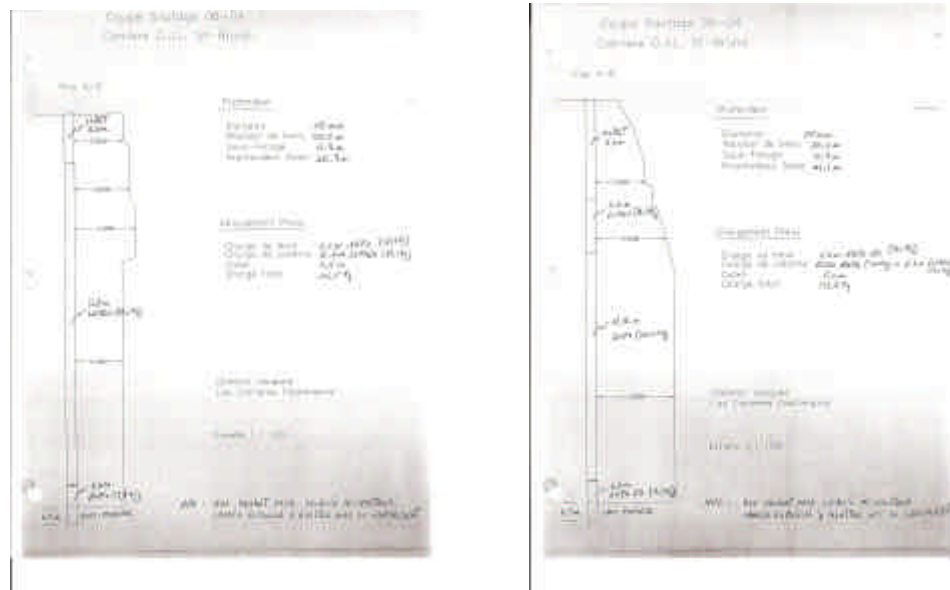
**Barème de chargement d'explosifs**

Produit	Densité (g/cc)	RWS	Valeur Énergie	Écart %
ANFO régulier	0,85	100	85,0	-----
ANFO HD	0,95	100	95,0	11,8%
LOMEX	0,53	96	50,9	-40,1%
AMEX K	0,88	43	37,8	-55,5%

### Règle de base pour la sélection de l'explosifs

Pour Fardeau supérieur à 4,0m	ANFO HD
Pour Fardeau variant de 3,5m à 4,0m	ANFO régulier
Pour Fardeau variant de 2,7m à 3,4m	AMEX K
Pour Fardeau inférieur à 2,7m	Collet ou bourre

Par la suite, en se référant au barème établi, nous procédons au chargement théorique des explosifs de chaque trou de façade.



*Planification du chargement des trous de façade*

La dernière étape correspond à l'établissement du chargement théorique global du sautage soit incluant les trous des rangées 2 et 3.

#### g) Simulation des sautages.

Le logiciel Blaspa est utilisé pour valider le contrôle sismique et le contrôle des projections de pierre de chaque sautage. Le logiciel Blaspa offre l'avantage d'être adapté spécifiquement à la géologie de la carrière Mont Bruno et aux divers types d'explosifs qui y sont utilisés. Suite à des prises de mesure in situ et calibration du logiciel, nous avons été en mesure d'obtenir des prévisions d'une très grande précision particulièrement en ce qui concerne le contrôle des projections.





*Réunion de démarrage*



*Harnais de sécurité obligatoire*

Les travaux débutent avec les vérifications et ajustements finaux des profondeurs de forage.

Par la suite, l'expert et le boutefeu procèdent à la dernière vérification des profils de face libre de chaque trou de façade et ajustent les charges explosives si requis.

La séquence de mise à feu est ensuite établie et analysée conjointement entre l'expert, le boutefeu et le représentant des explosifs qui programme les détonateurs électroniques.

À l'issue de ces premières étapes, le boutefeu débute le chargement des explosifs avec suivi systématique par l'expert. Ce dernier s'assure du contrôle des collets et du matériel de bourre utilisé. Ce matériau doit exclusivement correspondre à de la pierre concassée. Aucun résidu de forage n'est accepté à titre de matériel de bourre.

À la fin du chargement du sautage, l'expert complète le rapport du chargement du tir et le rapport d'autorisation de mise à feu.

#### 4) Sautage

Le technicien installe les sismographes et microphones au trois (3) endroits sélectionnés.

Le technicien installe ensuite la caméra numérique.

Le responsable du sous-traitant, le boutefeu et le gérant de la carrière s'assurent de l'évacuation de la fosse et de la garde du périmètre de sécurité.

Lorsque tout est en place, le gérant de la carrière confirme au boutefeu l'autorisation de procéder à la mise à feu.



*Avant mise à feu*



*Mise à feu*

## 5) Analyse du sautage

Avec l'autorisation du boutefeu, les intervenants retournent au site du sautage pour procéder à une première analyse visuelle des résultats.

Cette première analyse est suivie d'une réunion post mortem avec les intervenants décisionnels et les assistants du boutefeu. Au cours de cette réunion, l'analyse globale du sautage est effectuée. Le comité analyse en détail le film du sautage et les résultats sismiques et sonores obtenus. Des discussions ouvertes permettent de recueillir divers commentaires constructifs et mettre en garde toute non-conformité signalée.

L'expert complète le rapport du bilan de sautage et s'il y a lieu, s'occupe de traiter toute plainte reçue. Ce dernier recueille et adapte les résultats pour planifier les sautages subséquents.

## Résultats

Depuis le début de la mise en place des nouvelles méthodes de tir aux explosifs à la carrière Mont Bruno tel qu'exigé par la direction de DJL, nous obtenons un excellent contrôle de chacun des sautages effectués malgré plusieurs sautages effectués sous conditions géologiques capricieuses.

L'application continue des normes précitées, nous a permis de régulariser tir après tir les succès obtenus. Les résultats obtenus permettent de sécuriser les sautages, d'optimiser les opérations de traitement de la pierre et d'harmoniser graduellement les relations avec le voisinage.

On constate en outre, une amélioration sur la fragmentation du matériel abattu. Ce résultat est une combinaison de l'adaptation du chargement des explosifs issus des diverses mesures effectuées et de l'utilisation des détonateurs électroniques. Ce type de détonateur permet d'obtenir une séquence de mise à feu de haute précision qui offre des avantages prouvés sur la fragmentation ainsi que sur le contrôle sismique.

La méthodologie préconisée à carrière Mont Bruno nous permet d'obtenir un bon contrôle des projections de pierre, du bruit et des vibrations émises lors des sautages. Nous notons une baisse spectaculaire des plaintes associées aux sautages.

## Conclusions

La carrière de Mont Bruno constitue de par sa proximité au voisinage et ses particularités géologiques, une carrière difficile à exploiter dans un environnement urbain sensible.

Les succès obtenus jusqu'à maintenant ne sont pas issus de la chance mais bel et bien de l'implication de tous les intervenants et de leurs rigueurs au travail. Il est important de s'assurer d'éviter la routine dans le travail à accomplir car il faut toujours tenir compte qu'un seul raté peut anéantir les efforts et résultats obtenus à date.

Nous avons été en mesure d'atteindre nos divers objectifs suite à l'application des points suivants;

- Ingénierie des sautages;
- Communication active entre les divers intervenants;
- Utilisation d'outil de simulation;
- Étroite collaboration des dirigeants de la carrière.

Il est ainsi possible d'exploiter sainement une carrière en milieu urbain avec l'utilisation des explosifs. L'expérience vécue à la carrière de Mont Bruno démontre hors de tout doute qu'il est possible

d'atteindre des objectifs élevés. Le succès obtenu jusqu'à ce jour à la carrière Mont Bruno est un succès d'équipe.