

# SAUTAGE DU BOUCHON A LA CENTRALE HYDROELECTRIQUE D'IRVING A ST-GEORGE, NB



04/12/2008

*31e Session d'étude sur les techniques de sautage*

Par

Sylvain Lessard, Construction Kiewit Cie

André Pomerleau, Orica Canada Inc.

Régis Desbiens, Genivar



## Table des matières

<b>1.0</b>	<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>2</b>
<b>2.0</b>	<b>LOCALISATION DU PROJET</b> .....	<b>3</b>
<b>3.0</b>	<b>OBJECTIFS DU PROGRAMME DE CONTROLE DES VIBRATIONS</b> .....	<b>5</b>
<b>4.0</b>	<b>ÉQUATION EMPIRIQUE</b> .....	<b>7</b>
<b>5.0</b>	<b>DONNÉES DE SAUTAGE RECUEILLIES</b> .....	<b>9</b>
<b>6.0</b>	<b>RÉGRESSION LINÉAIRE</b> .....	<b>10</b>
<b>7.0</b>	<b>BÂTIMENT LE PLUS PRÈS (10 MILL STREET)</b> .....	<b>12</b>
<b>8.0</b>	<b>BOUCHON</b> .....	<b>13</b>
<b>9.0</b>	<b>CHARGEMENT</b> .....	<b>15</b>
<b>10.0</b>	<b>SÉQUENCE DE TIR</b> .....	<b>18</b>
<b>11.0</b>	<b>RÉSULTATS OBTENUS</b> .....	<b>20</b>
<b>12.0</b>	<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>20</b>

### LISTE DES FIGURES

Figure 1	VUE EN PLAN DE LA CENTRALE .....	3
Figure 2	VUE EN SECTION DE LA CENTRALE .....	3
Figure 3	SORTIE DU TUNNEL SOUS L'EAU.....	4
Figure 4	PARAMÉTRAGE DU SITE .....	5
Figure 5	SAUTAGE EN DEMI-VOLÉE .....	6
Figure 6	EXEMPLE DE SAUTAGE EN DEMI-VOLÉE (UTILISÉ PAR TALPA INC. AU METRO DE LAVAL).....	6
Figure 7	GRAPHIQUES DE LA VITESSE DES PARTICULES EN FONCTION DE LA DISTANCE À L'ÉCHELLE....	7
Figure 8	RÉGRESSION STATISTIQUE DU SITE .....	9
Figure 9	10 MILL STREET.....	12
Figure 10	VUE EN PLAN (10 MILL STREET) .....	12
Figure 11	PROFONDEURS DES TROUS DE LA VOLÉE .....	13
Figure 12	BOUCHON TEL QUE FORÉ.....	14
Figure 13	MINERITE 3 (40X300MM).....	15
Figure 14	TRIMRITE 2C (22MM).....	15
Figure 15	DÉTONATEUR ÉLECTRONIQUE IKON.....	15
Figure 16	ÉCHAFFAUDAGE POUR LE CHARGEMENT .....	16
Figure 17	TRAPPE AVEC FILET D'ACIER .....	17
Figure 18	SÉQUENCE DE TIR .....	18
Figure 19	ISO CONTOUR DU SAUTAGE DU BOUCHON.....	18
Figure 20	EFFET DU SAUTAGE .....	19

# Sautage du bouchon à la centrale hydroélectrique d'IRVING à St-George, NB

31<sup>E</sup> SESSION D'ÉTUDE SUR LES TECHNIQUES DE SAUTAGE

## 1.0 RÉSUMÉ

Ce rapport contient un résumé des travaux fait en 2003 à la centrale hydroélectrique d'Irving à la municipalité de St-George au Nouveau Brunswick.

Ces travaux furent supervisés et planifiés par Régis Desbiens de la compagnie Talpa Inc. maintenant à l'emploi de Genivar SEC, avec la collaboration d'André Pomerleau (ORICA) et de Sylvain Lessard (anciennement d'ETI Canada Inc.).

On y discute des contraintes associées aux niveaux vibratoires émises lors des opérations de sautage et de l'approche utilisée pour développer les outils de prévisions spécifique au site afin de minimiser les plaintes et de respecter les limites établis.

Les données recueillies furent utilisées pour designer le sautage du bouchon à la toute fin des travaux de sautage de la galerie d'évacuation.

## 2.0 LOCALISATION DU PROJET

La centrale de St-George se situe au Sud Ouest du Nouveau Brunswick dans la municipalité du même nom. Cette centrale a été excavée en milieu urbain. On peut voir sur la vue en plan ici bas que plusieurs bâtiments sont situés à moins de 700m des travaux d'excavation.

Les travaux de sautage ont permis l'excavation de la prise d'eau, de la centrale et des galeries d'évacuations.

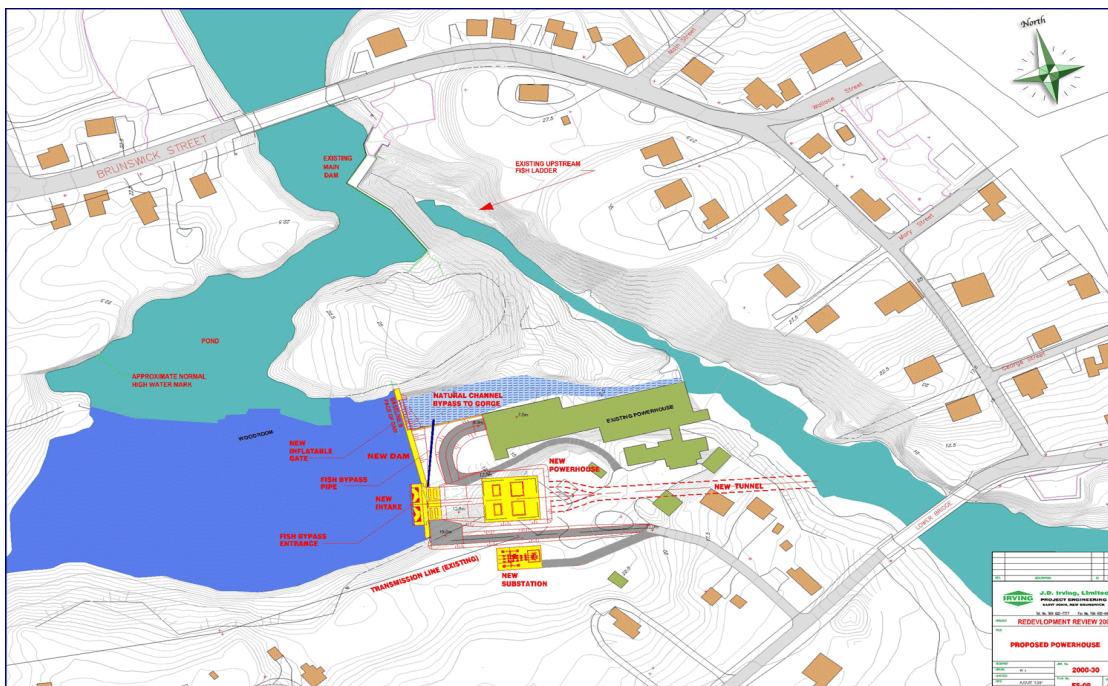


FIGURE 1 VUE EN PLAN DE LA CENTRALE

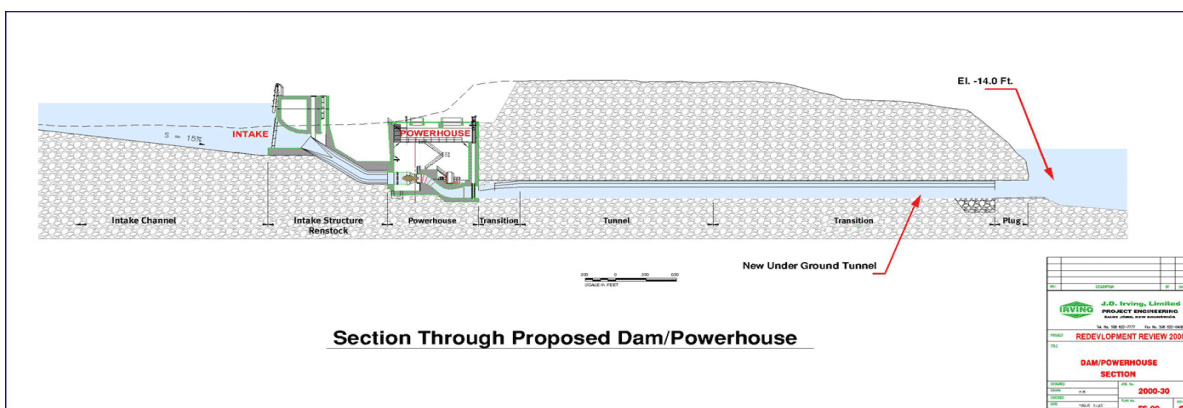


FIGURE 2 VUE EN SECTION DE LA CENTRALE



Le sautage du bouchon se situe à l'extrémité Est de la galerie d'évacuation. Une fois le sautage du bouchon fait, l'eau s'engouffrera dans le tunnel.



FIGURE 3 SORTIE DU TUNNEL SOUS L'EAU

### 3.0 OBJECTIFS DU PROGRAMME DE CONTROLE DES VIBRATIONS

L'objectif du programme est de développer des outils de prévision des niveaux de vibrations générés par les opérations de sautage spécifique au site de la centrale hydroélectrique.

Ceux-ci permettront de minimiser les plaintes et d'optimiser les méthodes d'abatage afin de maintenir les coûts d'opération au plus bas.

De plus, nous seront à même de designer plus adéquatement les tirs de développement afin de respecter les limites établis à 25mm/sec.

La méthodologie est la suivante :

- Mesurer avec un sismographe les données vibratoires aux sites à protéger,
- Compiler les résultats dans un tableau (Charge/délai, distance et la vitesse des particules maximale (PPV),
- Faire une régression statistique à partir de ces données,
- Établir des équations afin de prédire les niveaux de vibrations,
- Établir les niveaux de confiance pour chacune de ces équations.

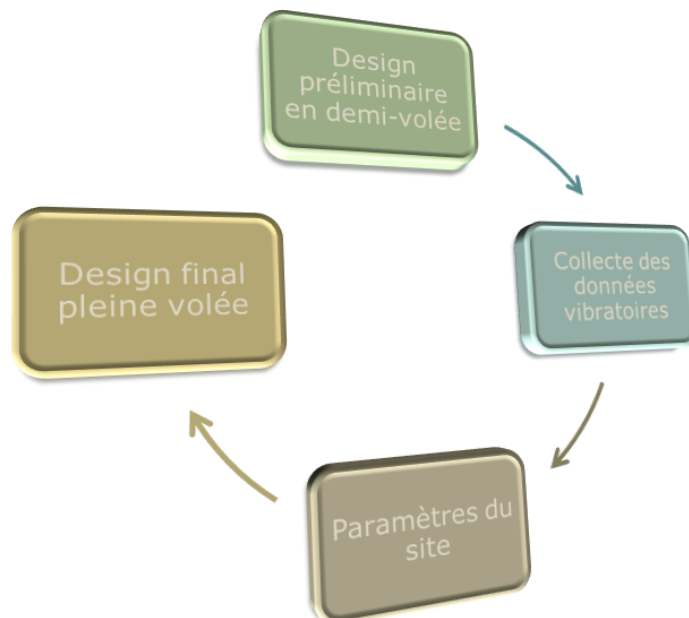


FIGURE 4 PARAMÉTRAGE DU SITE



FIGURE 5 SAUTAGE EN DEMI-VOLÉE

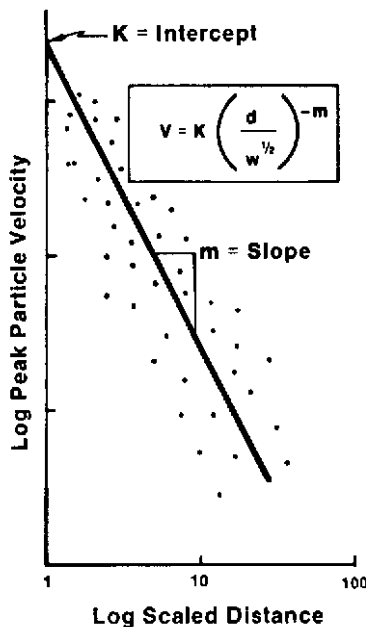


FIGURE 6 EXEMPLE DE SAUTAGE EN DEMI-VOLÉE (UTILISÉ PAR TALPA INC. AU METRO DE LAVAL)



## 4.0 ÉQUATION EMPIRIQUE

Typiquement, les données vibratoires peuvent être recueillies pour établir une relation statistique entre la vitesse des particules maximales et un terme habituellement appelé la *distance à l'échelle*. Ce terme est proportionnel à la distance des tirs et la quantité d'explosif utilisé pour un délai donné.



$$PPV = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-n}$$

PPV	Vitesse des particules maximale (mm/sec)
K et n	Constantes d'atténuation spécifiques au site
D	Distance entre le site à protéger et le sautage (m)
W	Charge maximale pour un délai unique (kg)

$$Distance \ à \ l'échelle = \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)$$

FIGURE 7 GRAPHIQUES DE LA VITESSE DES PARTICULES EN FONCTION DE LA DISTANCE À L'ÉCHELLE

Ce type d'équation est utilisé pour prévoir les niveaux de vibration à des distances plus grande qu'un ratio de quatre fois la profondeur du trou dynamité.

Cette équation est obtenue à partir d'une régression par moindre carré.

*Le facteur n représente les pertes d'énergie vibratoire en fonction de la distance. En effet, lorsque l'onde sismique provenant d'un tir se propage au travers du massif rocheux, son amplitude décroît avec l'étalement géométrique et les pertes de frictions. Une valeur basse indique la présence d'une roche compétente avec un module de Young élevé avec peu de failles ou de discontinuités (ex : roches ignées). Une valeur élevée indique une atténuation plus grande en fonction de la distance et est synonyme d'une roche de compétence moindre avec beaucoup de discontinuités.*



*Le facteur K est relié à la source d'énergie explosive et à son efficacité à transmettre son énergie aux parois du trou de production. Une valeur élevée indique un bon transfert d'énergie entre l'explosif et le massif rocheux. Toutefois, une valeur faible indique un explosif soit découplé ou de plus faible énergie. Lorsque l'on change le type d'explosif utilisé, on devrait procéder à une revalidation de l'équation établie.*

## 5.0 DONNÉES DE SAUTAGE RECUEILLIES

Nous avons recueilli les données provenant de 69 sautages que nous représentons ici sous forme graphique. Les distances à l'échelle entre le sautage et les points de mesures variant de 7 à 27. Cette plage assure une régression plus fiable.

En effet, les équations sont normalement plus représentatives lorsque l'on a un vaste éventail de données recueillies sur différentes distances et de charge par délai.



FIGURE 8 RÉGRESSION STATISTIQUE DU SITE

## 6.0 RÉGRESSION LINÉAIRE

Afin de simplifier la méthode de calcul qui permet l'utilisation d'une régression linéaire, nous appliquerons la loi logarithmique sur l'équation empirique présentée à la section 4.0. Ce qui nous donne une équation linéaire simple de forme  $Y = m X + C$ . Soit :

$$\log_{10} PPV = n \log_{10} \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right) + \log_{10} K$$

où

$$Y = \log_{10} PPV$$

$$m = n$$

$$X = \log_{10} \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)$$

$$C = \log_{10} K$$

Le facteur  $m$  représente la pente de notre droite et  $C$  l'ordonnée à l'origine. On obtient ainsi une pente ou un facteur  $n$  de -1.26 et un facteur  $K$  de 280.

Ce qui donne l'équation suivante :

$$PPV = 280 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.26}$$

L'équation avec 95% de degré de confiance est calculée à partir de l'écart type estimé de l'ensemble des valeurs  $Y$  par rapport à la régression. On utilise la loi de la distribution  $t$  avec un degré de confiance de 5% pour la déterminée. Ce qui nous donne l'équation suivante :

$$PPV_{95\%} = 554 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.26}$$

En partant de l'équation de la régression ci-haut mentionnée, et en assumant la limite de vitesse acceptée de 25 mm/sec, cela nous donne une distance à l'échelle de 11.69.

$$25 = 554 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.26}$$

$$\left( \frac{25}{554} \right)^{-\frac{1}{1.26}} = \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)$$

$$\left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right) = 11.69$$

Ce qui procure une équation simple à utiliser. Par exemple, pour une charge de 100 kg/délai, nous devrions respecter une distance minimale de 117 mètres.

$$D_{\text{minimale}} = \sqrt{W} \times 11.69 = \sqrt{100kg} \times 11.69 = 117 \text{ mètres}$$

À l'inverse, si l'on recherche la charge maximale permise selon une distance connue, assumons 50 mètres à titre d'exemple, cela nous donnera une charge de 18.3kg/délai.

$$W_{\text{maximale}} = \left( \frac{D}{11.69} \right)^2 = \left( \frac{50m}{11.69} \right)^2 = 18.3 \text{ kg/délai}$$



## 7.0 BÂTIMENT LE PLUS PRÈS (10 MILL STREET)

Le bâtiment le plus près du sautage du bouchon se situe au 10 Mill Street. Cette maison unifamiliale est localisée à 50 mètres de la charge explosive la plus près.



FIGURE 9 10 MILL STREET

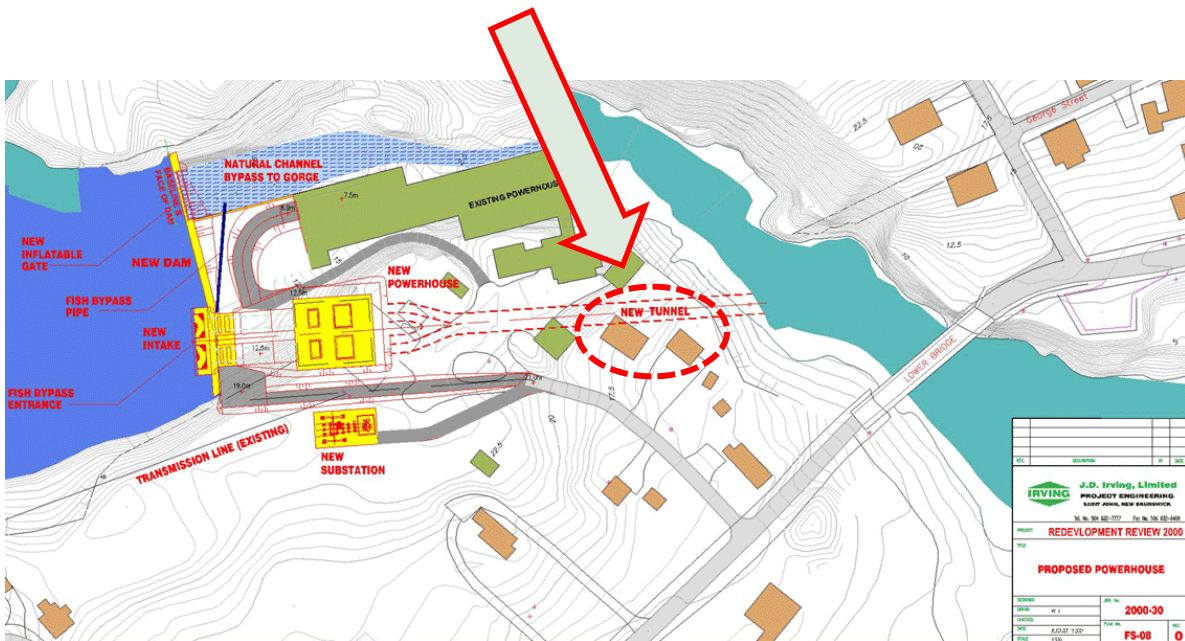


FIGURE 10 VUE EN PLAN (10 MILL STREET)

## 8.0 BOUCHON

La profondeur des trous varie de 18 pieds (5.5m) à 29.5 pieds (9.0m). Le bouchon de la volée a été positionné dans la partie la plus mince afin d'assurer un bris maximal.

Les trous de production de la volée sont de 48mm de diamètre. Il y a 5 trous de bouchon qui ont été alésés à un diamètre de 125mm. Une particularité de ce projet a été que le forage c'est fait au mois de février et que le chargement et le sautage c'est fait uniquement au mois de décembre. 80% des trous de la volée ont été défoncés et colmatés par injection de façon à connaître exactement le profil du massif du côté submergé.

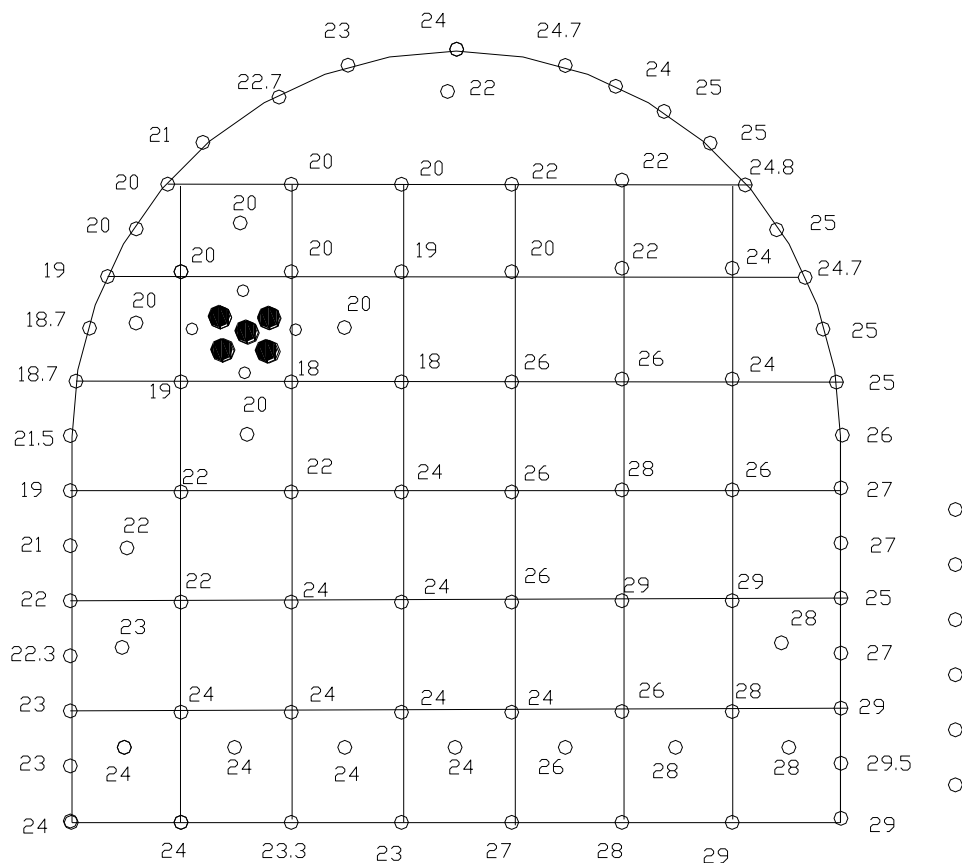


FIGURE 11 PROFONDEURS DES TROUS DE LA VOLÉE

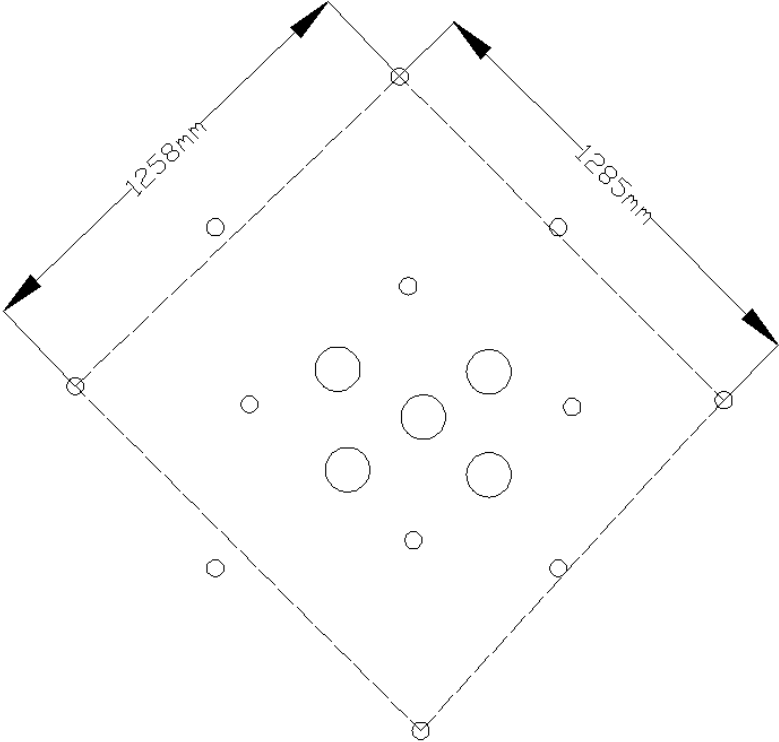


FIGURE 12 BOUCHON TEL QUE FORÉ

## 9.0 CHARGEMENT

Le chargement c'est fait avec des produits emballés uniquement. Les produits tels que l'ANFO (nitrate d'ammonium avec fuel) n'étaient pas autorisés par Environnement Canada en bordure d'un cours d'eau.

Chacun des trous périmétriques a été chargé avec une bouillie aqueuse de 22mm de diamètre en continu. Les trous de masse ont été chargés avec des cartouches de bouillie aqueuse de 40 x300mm compacté à chacune des cartouches.

Tous les trous de masse furent amorcés à des distances de 1/3 et 2/3 de la profondeur des trous avec des amorces de 90 grammes et initiés avec des détonateurs électroniques.

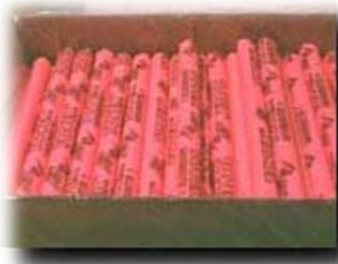


FIGURE 13 MINERITE 3 (40X300MM)



FIGURE 14 TRIMRITE 2C (22MM)



FIGURE 15 DÉTONATEUR ÉLECTRONIQUE IKON



La charge pour un trou, d'une profondeur moyenne de 7.6m, rempli et bourré avec du MINERITE 3 (40 x 300mm) est de 12.5 kg/trou.

Le même trou rempli avec du TRIMRITE 2C (22mm) possédera une charge de 2.89 kg/trou.

En utilisant l'équation développée à la section 6.0, on obtient les résultats suivants :

$$W_{maximale} = \left( \frac{D}{11.69} \right)^2 = \left( \frac{50m}{11.69} \right)^2 = 18.3 \text{ kg/délai}$$

On peut se permettre de dynamiter qu'un trou à la fois chargé avec du Minerite 3 et jusqu'à 6 trous avec du Trimrite 2C.

Le chargement des trous de la volée c'est fait à partir d'échafaud démontable.



FIGURE 16 ÉCHAFFAUDAGE POUR LE CHARGEMENT

Une trappe avec filet d'acier a été également installée pour contenir les débris rocheux transportés par l'eau après l'ouverture de la volée.



FIGURE 17 TRAPPE AVEC FILET D'ACIER

### 10.0 SÉQUENCE DE TIR

La séquence de tir a été établie afin de maintenir le niveau de vibration à 25 mm/sec. De plus, afin de minimiser le coup de bélier sur les vannes de contrôle, la durée du sautage devait avoir un temps de mise à feu minimum de 15 secondes.

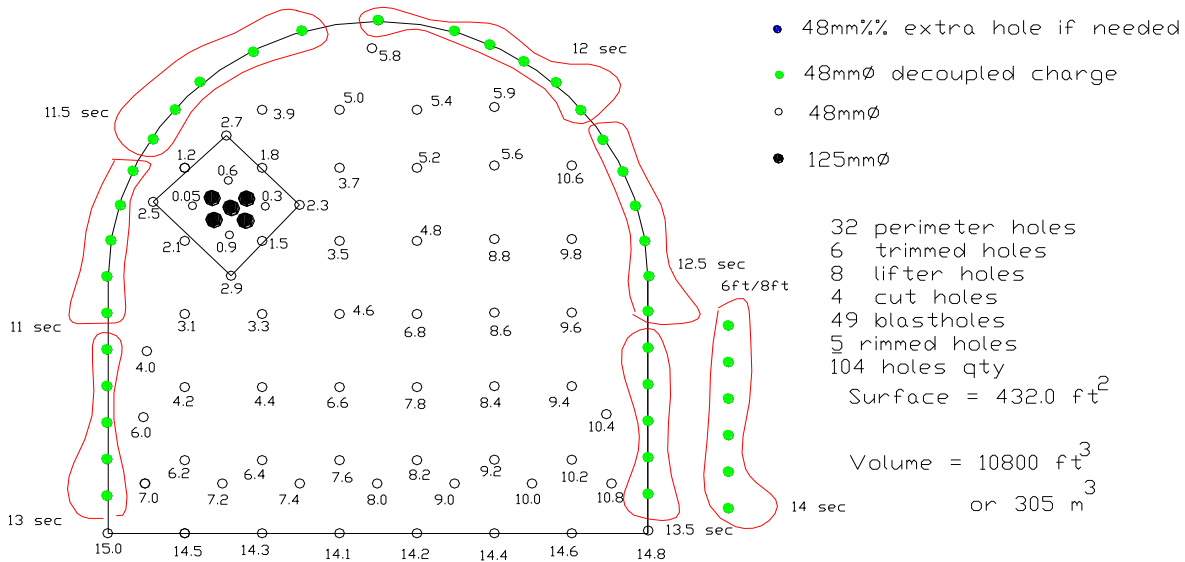


FIGURE 18 SÉQUENCE DE TIR

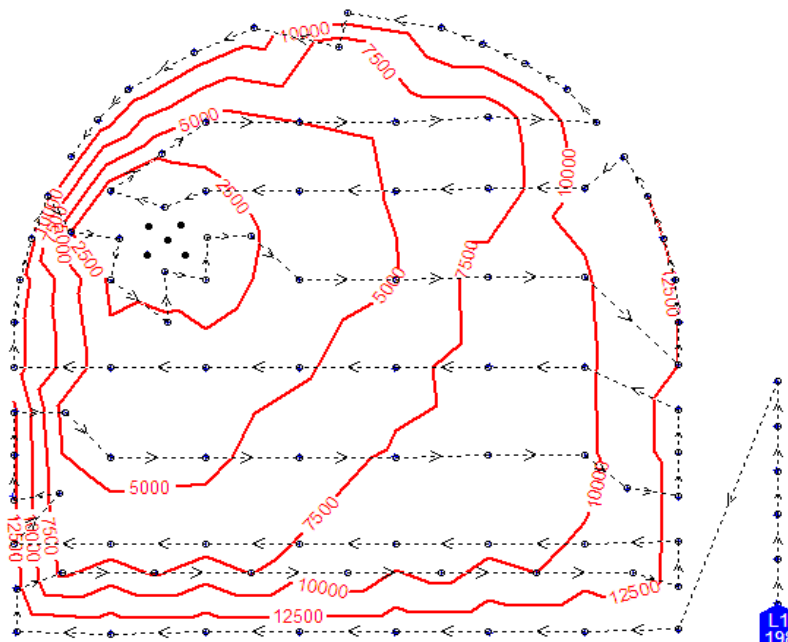


Figure 19 ISO CONTOUR DU SAUTAGE DU BOUCHON



Suite au sautage, une turbulence a été provoquée par l'air pressurisé sortant du tunnel, faisant place à l'eau pénétrant à l'intérieur du tunnel. La turbulence a duré environ 12 minutes.

Il n'y a eu aucune projection provenant du sautage. Un matelas d'eau d'une épaisseur de 7 mètres a servi de moyen de protection contre les projections.

Suite au contrôle de qualité faite par les scaphandriers, on a estimé l'ouverture du tunnel à 100% des résultats escomptés.



FIGURE 20 EFFET DU SAUTAGE



## 11.0 RÉSULTATS OBTENUS

Finalement, l'approche utilisée pour développer les outils de prévisions spécifique au site afin de minimiser les plaintes a très bien fonctionnée. Les dépassements ont été très rares et très limités en amplitude (PPV de moins de 30 mm/sec).

Lors du sautage du bouchon, le niveau de vibrations émises fût égal au 25 mm/sec prédit par l'équation paramétrée selon les données recueillies à partir du début du projet.

Le sautage du bouchon à permis un bris contrôlé sur les parois du tunnel. Une économie substantielle a été réalisée en évitant la construction d'une digue d'étanchéité du côté de la baie de Fundy.

## 12.0 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la société Irving et principalement Monsieur Peter Higgins, directeur du projet (Irving), pour leur soutien et leur collaboration lors de la conception et l'exécution des travaux.

Merci spécial à Monsieur Michel Rodrigue, directeur de la mine Louvicourt (Aur Ressources), pour avoir libéré Sylvain Lessard afin de participer au chargement et au sautage du bouchon.

Finalement, merci à la SEEQ d'avoir accepté la présentation de ce projet fait au Nouveau-Brunswick mais conçu au Québec.