

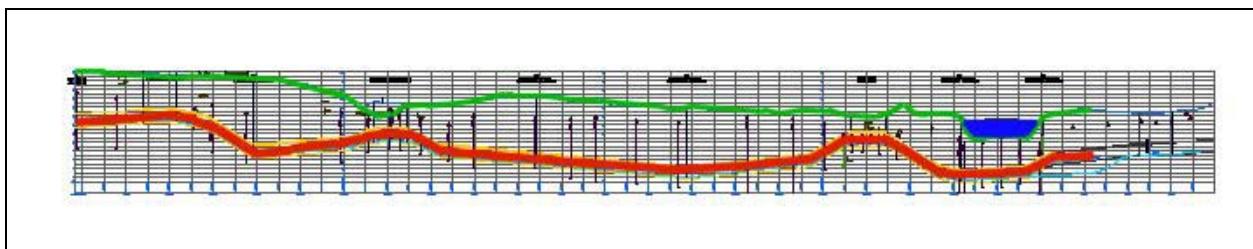
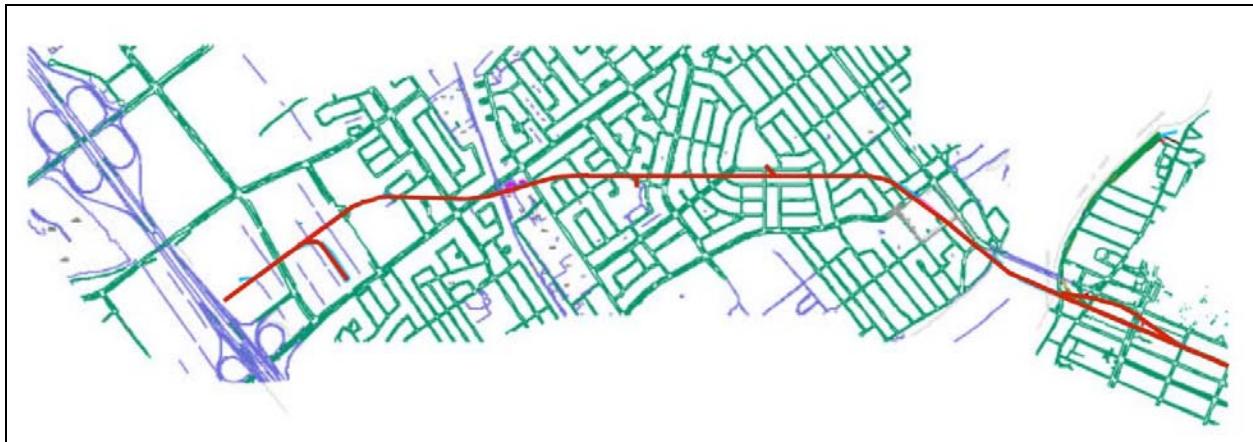
# Le Métro de Laval

## Un sujet explosif

### Introduction

#### Présentation du projet

Le projet de prolongement du métro à Laval, c'est 5.2 km de tunnel en milieu urbain. Incluant trois nouvelles stations (Montmorency, Concorde et Cartier), un garage au bout du tracé à Laval, 6 puits ou structures auxiliaires, les sorties de secours et une caserne souterraine pour l'entraînement des pompiers.



Les différents entrepreneurs qui ont participé à l'excavation du Métro de Laval sont : Simard et Beaudry pour l'excavation de l'arrière gare et du garage. EBC pour un tronçon de 1.8 kilomètre. Neilson Excavation pour un tronçon de 1.2 kilomètre. Finalement la coentreprise Neilson-EBC pour un tronçon également de 1.6 kilomètre.

## **Le tronçon de EBC**

EBC fût le plus bas soumissionnaire sur le premier lot accordé pour l'excavation du tunnel dans le cadre de la réalisation du Métro de Laval.

Ce lot comprenait les différents items suivants :

- Excavation à ciel ouvert de la Station Concorde;
- Excavation et bétonnage de 1.8 km de tunnel;
- Excavation et bétonnage de 2 structures auxiliaires S3 et S13;
- Excavation et bétonnage d'un puits de ventilation;
- Excavation et bétonnage d'une sortie de secours;
- Excavation à ciel ouvert d'une portion de la station Montmorency.

## **Le choix entre le havage et le forage dynamitage**

Le devis d'appel d'offre permettait l'utilisation de 2 méthodes pour le percement du tunnel soit : le forage dynamitage ou le havage (roadheader). L'utilisation de tunnelier était exclut pour les raisons suivantes : la longueur du tronçon qui était insuffisante pour rentabiliser un tel équipement et également en raison de la géométrie du tunnel car il aurait entraîné une sur-excavation trop importante. Bien entendu la sur-excavation étant au frais de l'entrepreneur.

Pour EBC, les principaux éléments qui ont motivé notre choix pour le forage dynamitage sont les suivants :

- Le respect de l'échéancier très serré;
- 2 haveuses auraient été nécessaires pour réaliser le contrat;
- Les coûts associés au percement de tunnel par havage qui sont supérieurs aux coûts associés à la méthode par forage dynamitage;
- L'introduction de nouvelles technologies;
- Les performances présentées par les vendeurs sont quelquefois loin de la réalité.

## **Forage dynamitage, avantages et inconvénients**

Au niveau des avantages on peut les résumer assez simplement :

- Disponibilité des équipements;
- Mobilité des équipements pour deux fronts d'attaque;
- Les mêmes équipements pouvaient être utilisés pour le boulonnage;
- Technologie connue et éprouvée.

Pour les inconvénients :

- Limitation des heures pour les sautages soit de 7 :00 à 21 :00 heures;
- Opération de relation publique plus importante;
- Possibilité de dommages aux structures avoisinantes causés par les vibrations;

- Perte de temps pour évacuation des fumées de tir;
- Consolidation du massif rocheux plus importante;
- Possibilité de réclamation et gestion des plaintes.

## La méthode

Bien qu'il y ait eu plusieurs sautages à ciel ouvert, de fonçage de puits et de monteries inversées nous concentrerons notre présentation sur les sautages en tunnel.

Plus de 550 sautages en tunnel ont été nécessaires afin de compléter notre tronçon de 1.8 km. Nous disposions de deux fronts d'attaques à partir de la station Concorde. Soit un front d'attaque en direction de la station Montmorency et un autre en direction de la station Cartier. Respectivement les tronçons en souterrain sont d'une longueur de 920 mètres et 811 mètres. Dans les limites de l'excavation de la station Cartier, nous avons aménagé une rampe d'accès pour le transport des déblais et permettre un accès direct pour les bétonnières dans le tunnel.



La priorité fût accordée au tronçon Cartier afin de débuter le bétonnage le plus tôt possible, et ce, pour la raison suivante, ce tronçon se terminait sur cul-de-sac temporaire. On ne pouvait donc pas bénéficier d'un deuxième accès au tunnel contrairement à l'autre front d'attaque qui débouchait sur l'excavation à ciel ouvert de la station Montmorency.

Le forage était effectué à l'aide de deux jumbos Atlas-Copco. Un trois mâts avec panier et un deux mâts avec panier également. Les jumbos se positionnaient côté à côté pour le forage de la volée. Le chargement était réalisé à l'aide d'une nacelle motorisée ou d'un camion plate-forme et deux chargeuses pneumatiques à ANFO. Lors du chargement, une portion de l'équipe était

affectée à la partie supérieure avec la nacelle alors que le reste de l'équipe faisait le chargement jusqu'à hauteur d'homme, incluant le bouchon. Le tout bien entendu sous la supervision du bouteufu.

Pour le déblaiement, nous utilisions un chargeur sur pneumatique et des camions de type 10 roues.

Les mêmes équipements (jumbos et plate-forme) étaient utilisés pour le boulonnage et la pose du treillis. Les mâts de forages des jumbos avaient été coupés, les limitant ainsi à des aciers de 12 pieds ou 3.6 mètres. Avec des mâts de 16 pieds ou 4.9 mètres, il aurait été impossible de forer à la verticale étant donné la hauteur du tunnel.

### **Description du patron**

La partie la plus critique qui nous préoccupait le plus au point de départ était les limites de vibration aux structures avoisinantes. Comme nous pouvons le constater sur les différents tableaux suivants, la distance entre le tunnel et les diverses structures est très faible. La marge de manœuvre était donc très faible considérant la limite de 40 mm/s.

Distance entre la voûte du tunnel et la surface :

<b>Distance Surface-tunnel</b>	<b>Longueur</b>	<b>Pourcentage</b>
14-16 m	650 m	36 %
21 m	375 m	21 %
25-26 m	775 m	43 %

Recouvrement de mort-terrain :

<b>Endroit</b>	<b>Roc</b>	<b>Mort-terrain</b>	<b>Total</b>
Début tunnel	5.1 m	2.8 m	7.9 m
Fin tunnel (15 ième rue)	18.2 m	6.9 m	25.1 m
Cégep (piscine)	9.2 m	16.2 m	25.4 m

## Vue en plan du tronçon de EBC



## Vibrations

Les limites permises aux devis étaient fonction de la fréquence. Le tableau suivant en résume les exigences :

Fréquence	Vitesse
Moins de 20 Hz	20 mm/s
Entre 20 Hz et 35 Hz	35 mm/s
Plus de 35 Hz	40 mm/s

## Plan de surface, densité des bâtiments



Pour cette raison, dans les zones les plus critiques, nous désirerions utiliser un trou par délais ou encore la charge maximale permise par délais et ce, en fonction des résultats obtenus.

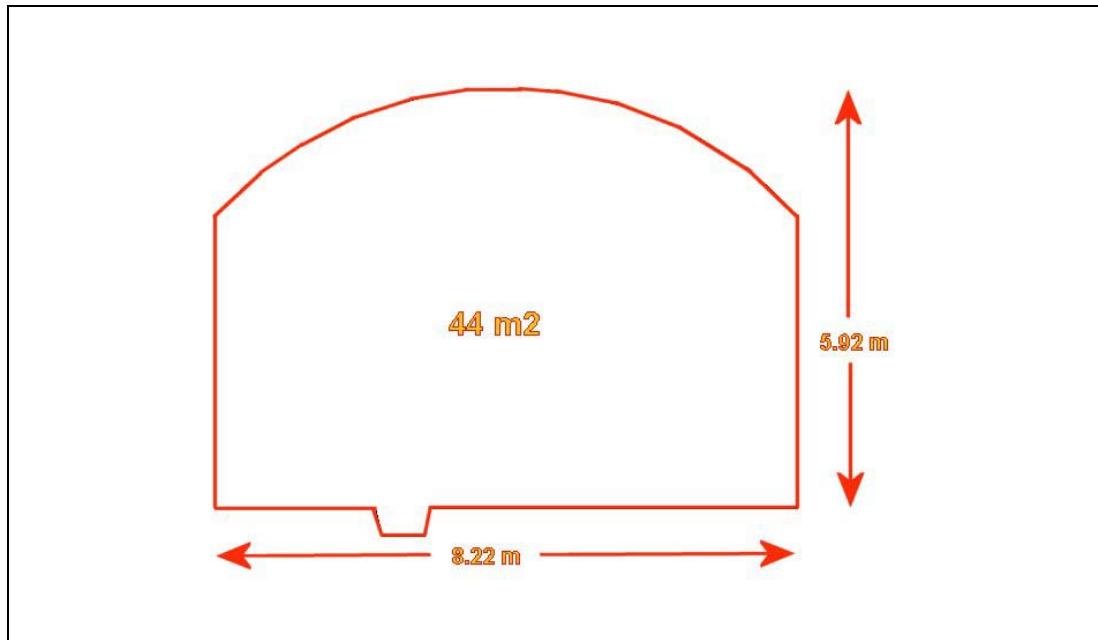
Avec ces contraintes, nous avions développé une séquence de tir avec un mélange de long délais, principalement en fond de trou, et des courts délais, en surface, pour avoir en tout temps un trou par délais.

La méthode, que nous avons baptisée la méthode du cadran, c'est avérée très efficace tout au long des travaux.

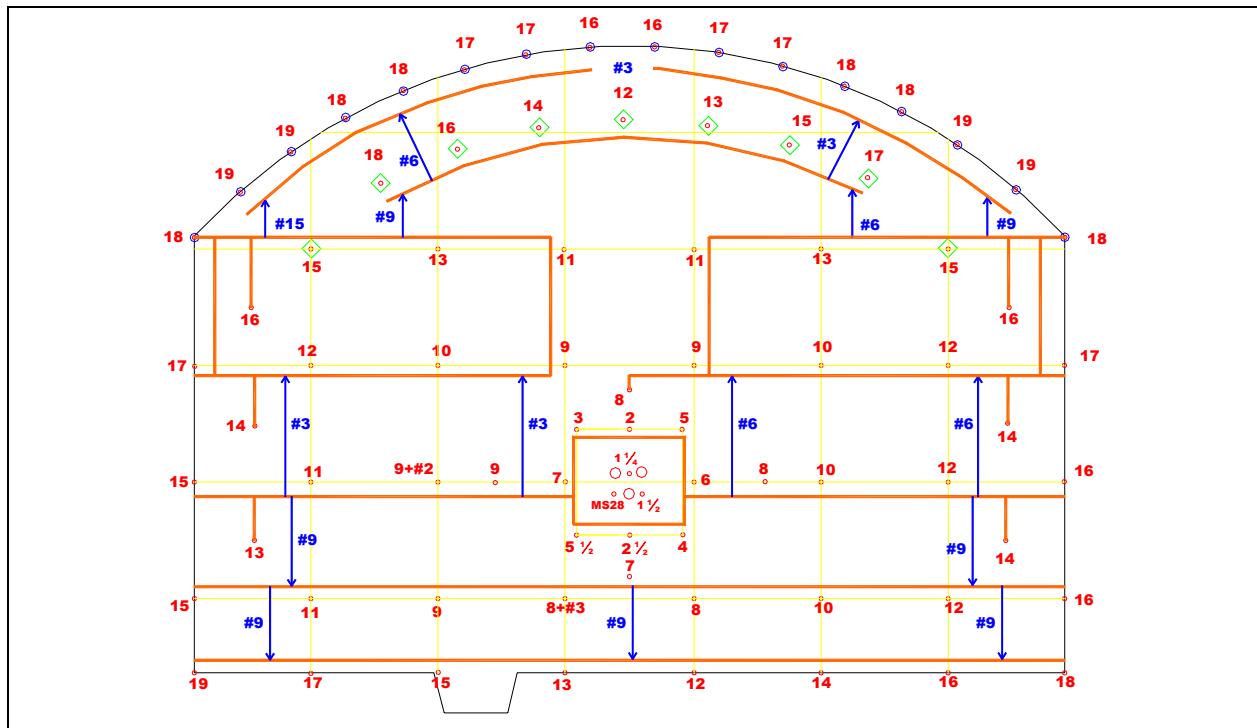
Aussi avec cette méthode d'initiation, les constantes de site étaient selon les distances des bâtiments et la géologie assez fidèle à nos prédictions et attentes

La section type de tunnel fait  $44 \text{ m}^2$  de surface, soit 5.92 m de haut par 8.22 m de large avec une forme archée.

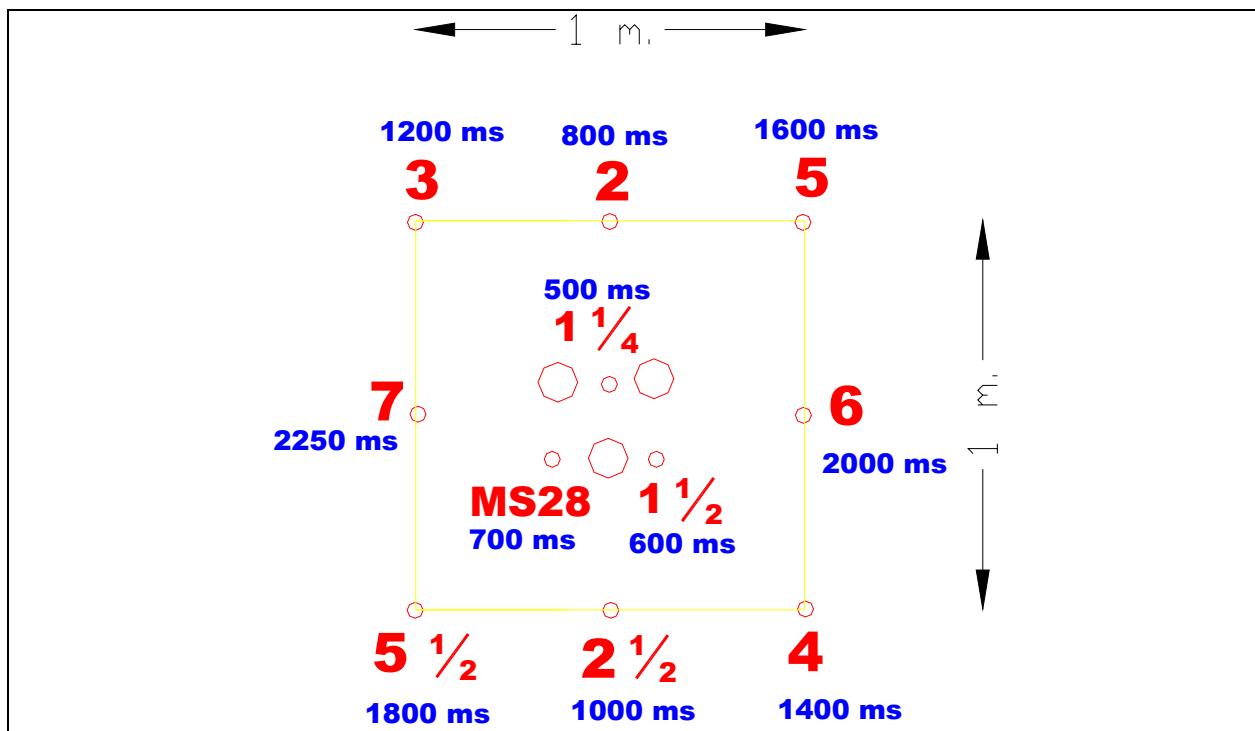
Section Type du tunnel



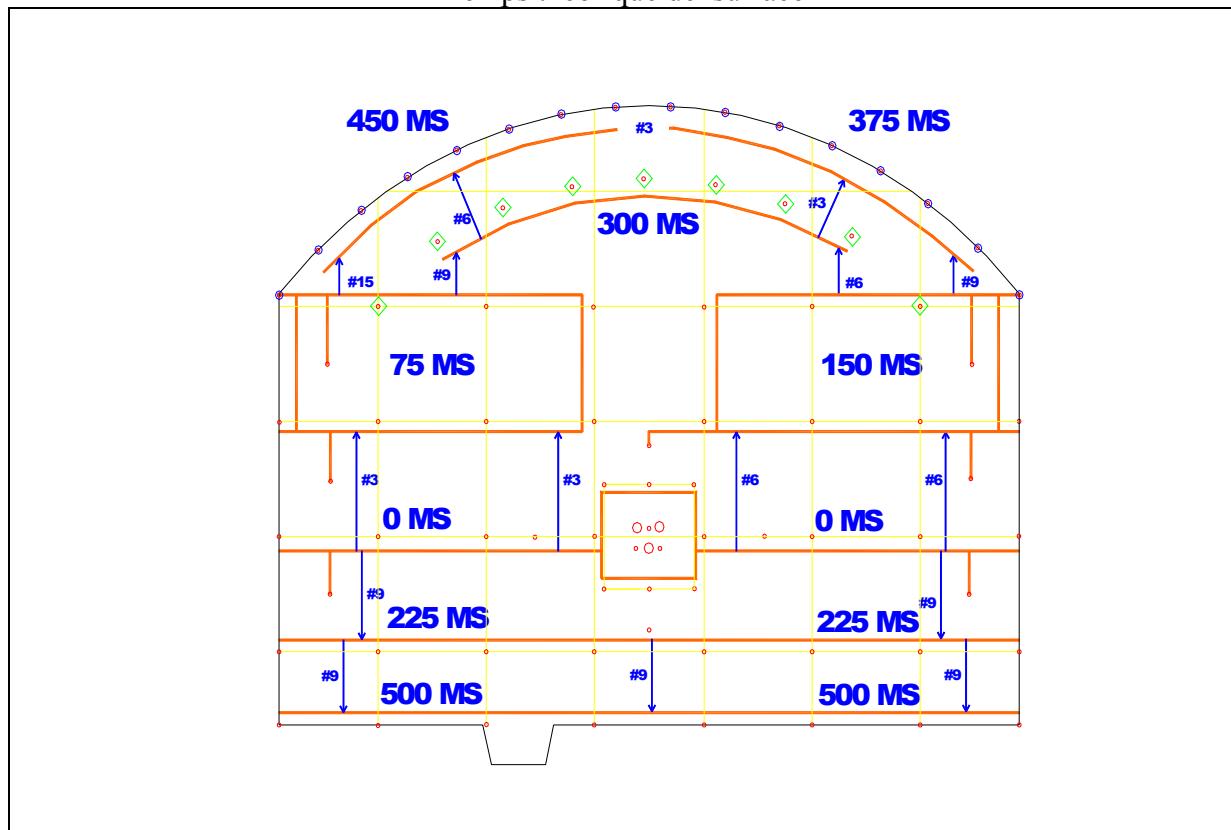
Temps théorique de détonation des longs délais et courts délais



Temps théorique du bouchon



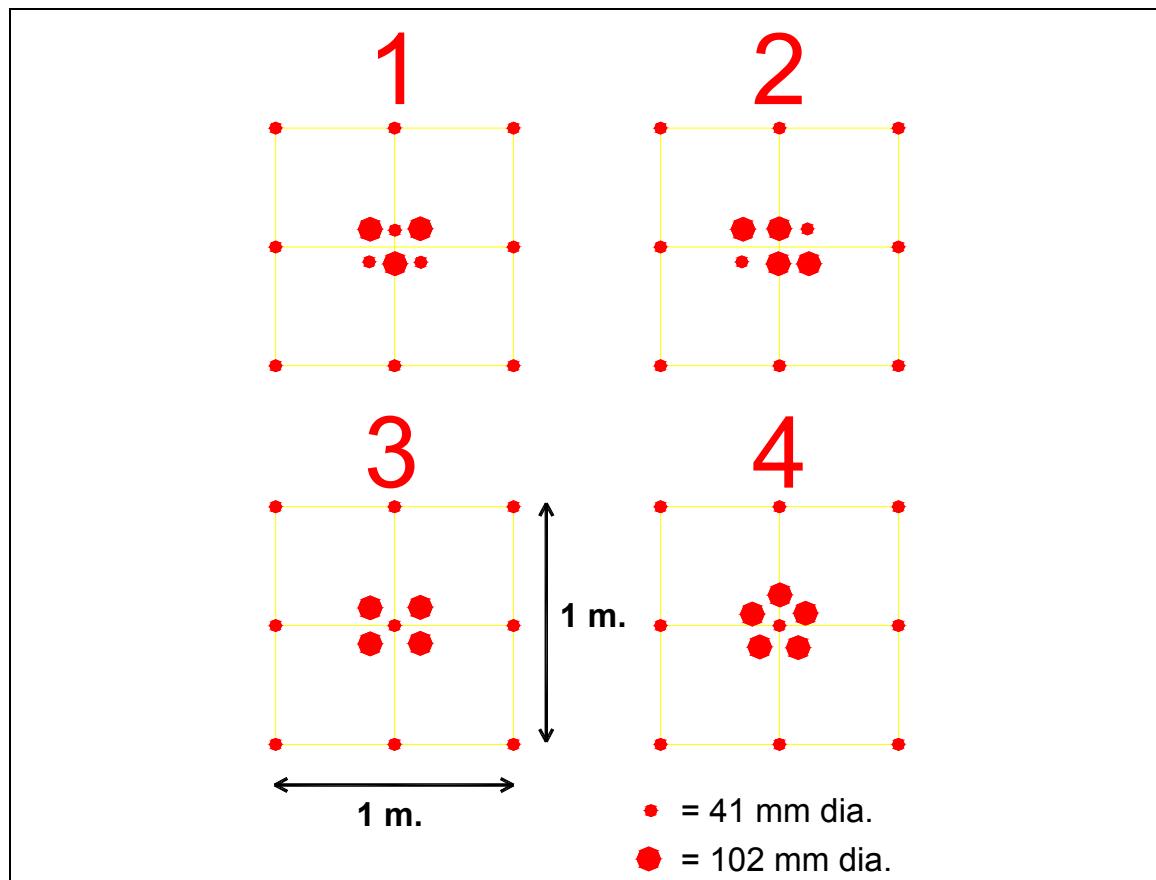
Temps théorique de surface



En cours d'exécution, nous avons testé différent type de bouchons pour réduire davantage les vibrations et le fonds de trous. Les résultats ont démontré que les bouchons de type 1 et 2 en considérant la géologie présente se sont avérés très efficaces.

Les trous alésés avaient un diamètre de 102 mm alors que les trous de production avaient un diamètre de 41 mm.

### Les types de bouchons

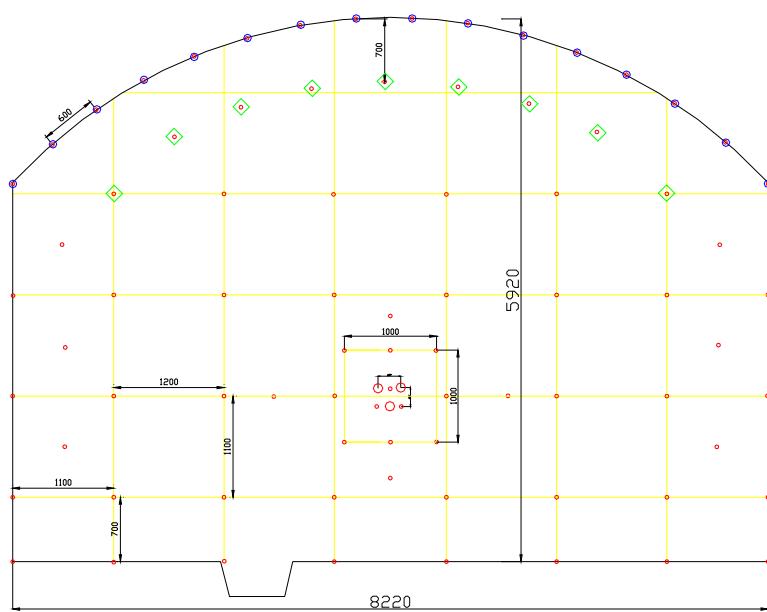


## Chargement typique

Plan de sautage d'une volée typique de 3.4 mètres

Description des trous	Nbre trou	Chargement	Collet (m)	Masse/trou (kg)	Masse (kg)		
					type	total	par trou
Périmétrique	16	Xactex (19 x 600) Powerditch 1000 (32 x 200)	0.4	1.25 0.22	20.00 3.47	23.47	1.47
Tampon	9	Powerditch 1000 (32 x 200) Amex	0.5	0.22 3.43	1.95 30.89	32.84	3.65
Masse	25	Powerditch 1000 (32 x 200) Amex	0.5	0.22 3.43	5.43 85.80	91.23	3.65
Relevage	8	Powerditch 1000 (32 x 200) Amex	0.5	0.22 3.43	1.74 27.46	29.19	3.65
Knee hole	8	Powerditch 1000 (32 x 200) Amex	0.5	0.22 3.43	1.74 27.46	29.19	3.65
Bouchon	11	Powerditch 1000 (32 x 200) Geldyne (32 x 400)	0.5	0.22 2.82	2.39 31.09	33.42	3.04
Dégagement	3						
<b>Total</b>	<b>80</b>				<b>239.34</b>		

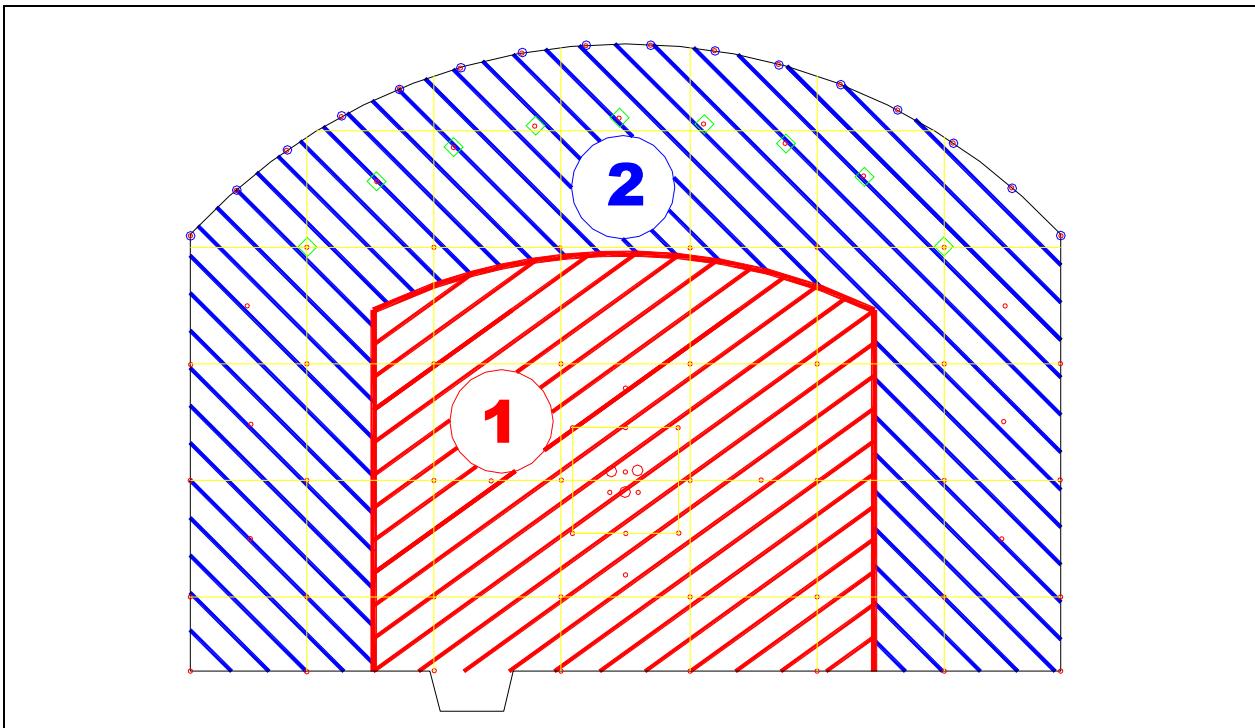
Caractéristique des explosifs		Production	
Xactex (19 x 600)	0.25 kg/cartou.	Avancement prévu (m) : 3.4	Surface de cisail. (m <sup>2</sup> ) : 31.7
Powerditch 1000 (32 x 200)	0.22 kg/cartou.	Profondeur forage (m) : 3.5	Nombre de kg/délai (kg) : 3.65
Geldyne (32 x 400)	0.40 kg/cartou.	Surface (m <sup>2</sup> ) : 44	Facteur cisail. (kg/m <sup>2</sup> ) : 0.63
Amex	1.32 kg/m	Volume (m <sup>3</sup> ) : 136.40	Facteur forage (m/m <sup>3</sup> ) : 1.94
		Facteur explosif (kg/m <sup>3</sup> ) : 1.75	Diamètre forage (mm) : 41



## Les résultats

Dans l'ensemble, les sautages en tunnel ont très bien fonctionné. La volée cassait très bien, la fragmentation du roc était excellente et on ne retrouvait à peu près pas de fonds de trous dans la face de travail.

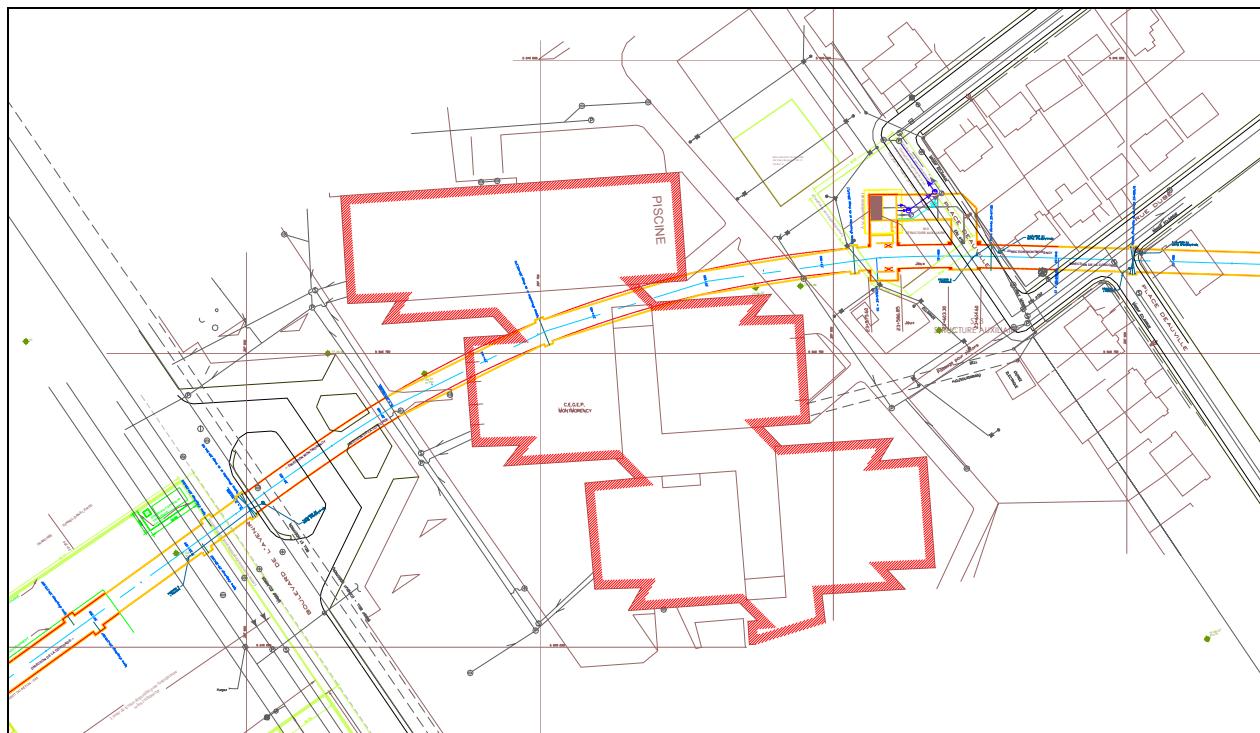
À certains endroits, environ 3 volées, nous avons utilisé la méthode du pilote abattage pour éviter un dépassement des vibrations.



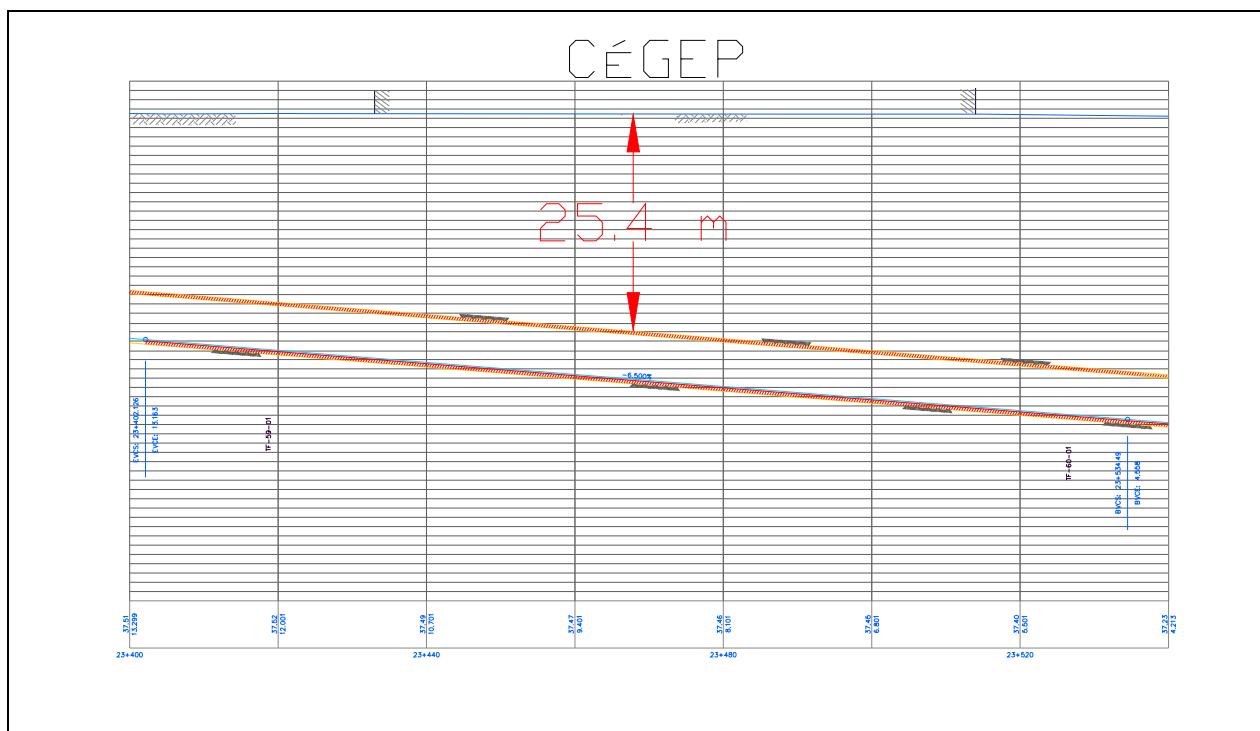
Pour une période de deux semaines environ nous avons remplacé l'Amex pour utiliser exclusivement des dynamites car nous avions infiltration importante d'eau dans le tunnel. De plus, le fait de charger avec des produits encartouchés nous permettait de réduire le facteur poudre et d'avoir un meilleur contrôle sur l'initiation du bouchon. Par contre, cette solution était beaucoup plus dispendieuse que le chargement avec des produits en vrac.

Une limite importante toutefois était prévue au devis, soit la portion du tunnel sous la piscine du Cégep Montmorency où la limite était de 25 mm/s mesurée sur les fondations de la piscine. Aucune modification au patron n'a été nécessaire et des résultats spectaculaires de 6 mm/s ont été enregistrés.

Vue en plan du tunnel sous le Cégep.



Vue en coupe du tunnel sous le Cégep.



## **Réclamations**

Nous avons eu pour l'ensemble du projet environ 250 plaintes et réclamations. Vous comprendrez que nous ne divulguerons pas les montants impliqués et nous ne commenterons pas sur le bien-fondé des réclamations. Par contre, nous pouvons vous affirmer que le montant total est demeuré à l'intérieur de nos prévisions budgétaires.

La charge de travail pour effectuer la gestion des plaintes et réclamations est par contre considérable.

## **Bref aperçu des travaux réalisés avec la haveuse sur le lot C01**

EBC a eu le plaisir de participer à la coentreprise entre Neilson Excavation Inc. et EBC Inc. pour la construction du tronçon C01 du Métro de Laval. Ce dernier tronçon relie l'île de Montréal à l'île Jésus. Deux compagnies de Québec qui s'unissent pour faire le Métro de Laval.

Pourquoi une coentreprise? Pour l'expertise commune, une alliance des forces.

Neilson Excavation a utilisé la haveuse pour l'excavation de son lot alors que EBC avait opté pour le forage dynamitage sur le sien. Sur le lot C01, le devis obligeait l'utilisation d'une haveuse pour la section sur l'île de Montréal et pour la portion sous la rivière des Prairies.

Donc nous avons excavé à ciel ouvert une portion de la station Cartier et utilisé la méthode du forage dynamitage pour l'excavation du tunnel jusqu'à la limite de la rivière des Prairies. Les haveuses ont excavé la portion sous la rivière pour venir se connecter sur la portion déjà excavée.

Sur ce lot, nous avions deux haveuses, celle que Neilson avait déjà utilisée sur son propre lot, pour effectuer l'excavation de la voie de contournement de la station Henri-Bourassa, et une nouvelle machine légèrement différente pour la portion sous la rivière.

La voie de contournement de la station Henri-Bourassa est constituée d'une voie simple alors que la voie principale sous la rivière débute à trois voies pour se terminer par une voie double vers le milieu de la rivière.

La nouvelle haveuse avait un moteur diesel lui permettant de se déplacer sans avoir à déplacer l'imposant câble électrique et permettait de couvrir une surface de travail légèrement plus grande.

On aurait tendance à croire que l'opération en continue serait plus efficace que le forage dynamitage, mais il faut prendre en considération le boulonnage. La haveuse, après environ 10 à 11 heures de coupe, devait retraiter pour faire place au jumbo pour maintenir l'avancement des boulons et du treillis.

De plus, il faut mentionner que la poussière générée par le havage était considérable. Les employés devaient porter un masque malgré l'utilisation d'un dépoussiéreur et d'une grande quantité d'eau pour l'arrosage de la tête de coupe. Les particules fines se retrouvaient dans les eaux de pompage et cinq bassins de décantation étaient nécessaires afin de rencontrer les normes de la ville de Montréal sur les rejets à l'égout.

Le profil excavé, nous comprendrons bien, n'avait presque ou a peu près pas de bris hors profil ce qui limite les quantités de béton nécessaire pour rencontrer les exigences du propriétaire. En vous rappelant que le béton nécessaire pour combler le hors profil était au frais de l'entrepreneur.

La qualité de l'excavation est supérieure à celle réalisée par forage dynamitage. On ne retrouve pas de trous de relevage qui ont fait descendre le plancher de 0.6 mètre sous le profil d'excavation. Il en va de même pour la consolidation du massif rocheux. Le havage ne crée pas ou à peu près pas de zone de micro-fissuration sur le pourtour du tunnel contrairement au forage dynamitage.

## **Conclusion**

Participer à des grands projets est valorisant même si la publicité laisse souvent croire le contraire. La performance des différents entrepreneurs associés à la réalisation du Métro de Laval a été exceptionnelle.

Le choix des entrepreneurs pour l'excavation d'un prochain métro à Montréal serait le forage dynamitage, et ce, pour les raisons suivantes :

- Simplicité d'exécution;
- Disponibilité des équipements;
- Progression de l'avancement;
- Coût d'exécution moindre.

Cette conclusion, se limite bien entendu, à EBC et Neilson Excavation.

Le choix probable pour les donneurs d'ouvrages, le havage, et ce, pour les raisons suivantes :

- Pas ou presque pas de plaintes de la part des citoyens touchés par les travaux;
- Qualité finale de l'excavation.

Nous tenons à remercier en terminant les personnes et les organismes suivants.

Les travailleurs souterrains

EBC, Neilson Excavation et Orica Canada

L'Agence Métropolitaine de Transport, donneur d'ouvrage

Le regroupement SGTM qui effectuait la surveillance de chantier

Ville de Laval, pour leur support et coopération

Et finalement la population de Laval directement affectée par les travaux