



Contrôle des vibrations générées par des travaux de dynamitage à proximité d'une zone hospitalière

Philippe Bouchard, ing. (Neilson)
Riccardo Del Bosco, ing. (BBA)

Jeudi, le 26 novembre 2015

L'ingénierie
pour un monde en changement

bba.ca



Table des matières

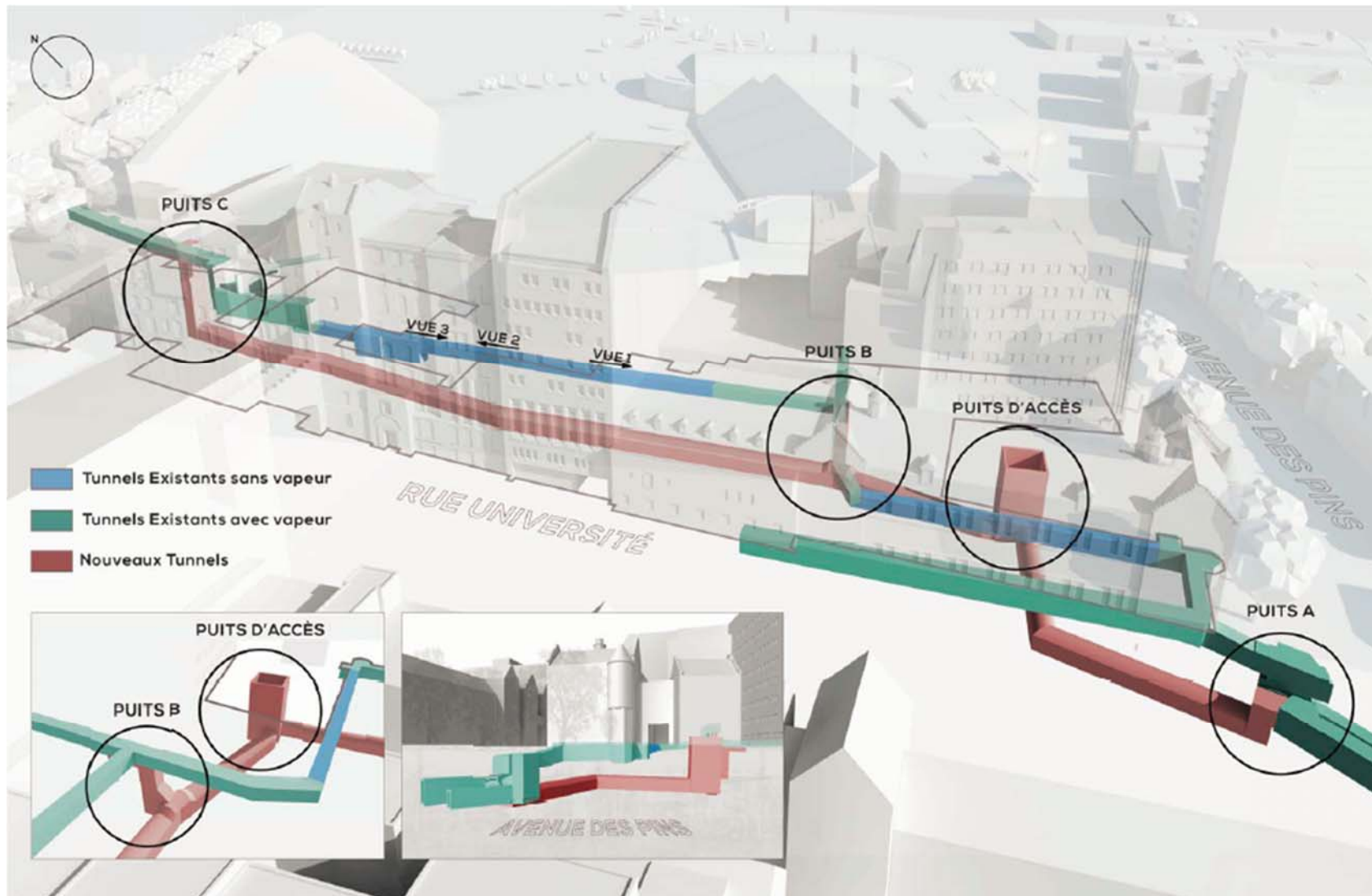
- Particularités du projet
 - Localisation
 - Spécifications
 - Contraintes
- Géologie locale
- Conception des plans de tirs
- Méthodologie pour le contrôle des vibrations, surpressions d'air et fumées de tir
- Compilation et analyses des données
- Observations et conclusion
- Photos fin de projet

Construction d'un tunnel de services souterrain

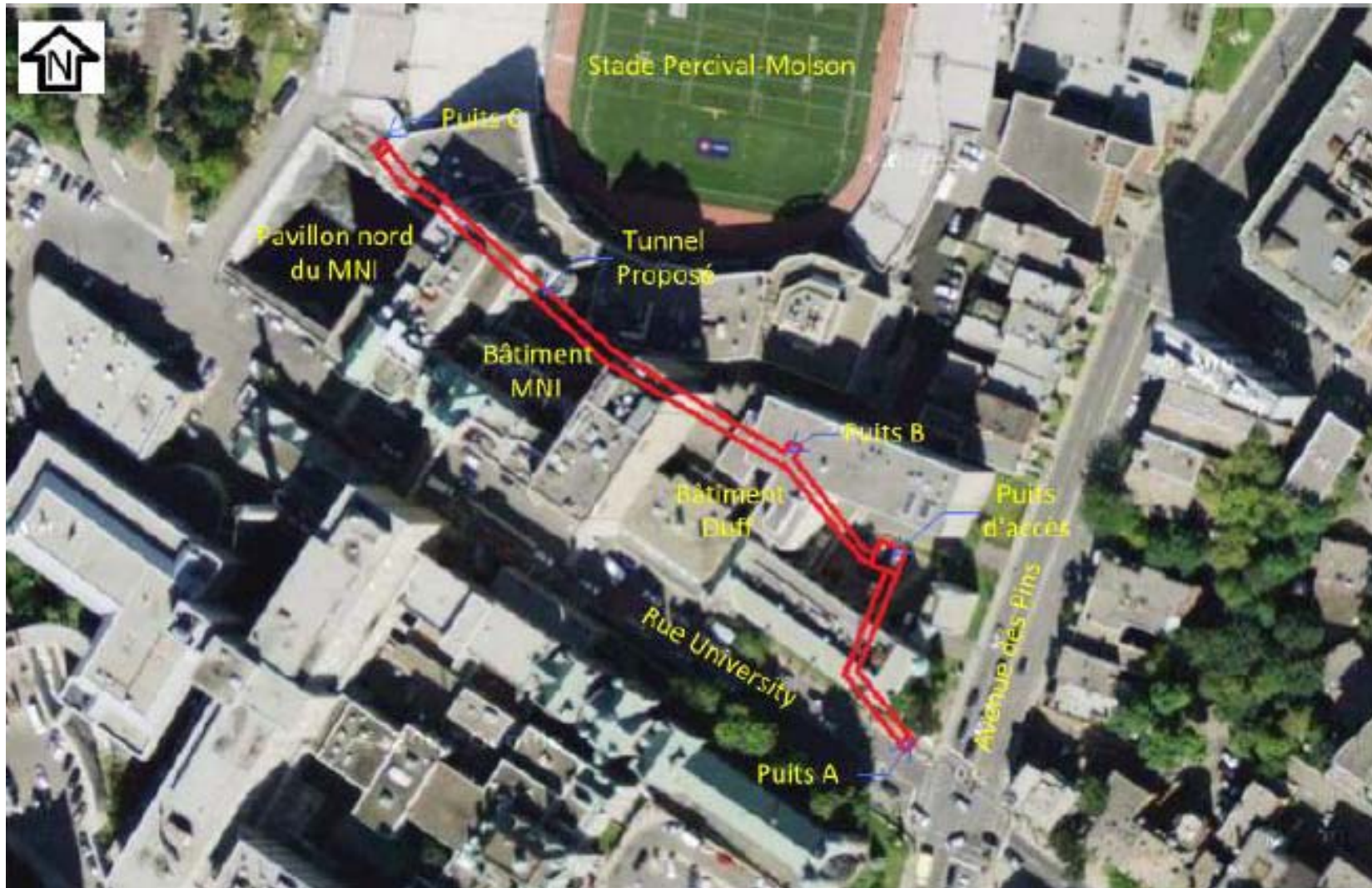
Université McGill

- Localisation : avenue des Pins et rue University
- Échéancier : avril 2014 à avril 2015
- Construction d'un nouveau tunnel de services
- Excavation d'un puits d'accès
- Excavation de 3 puits ascendants

Modélisation des ouvrages (vue 3D)



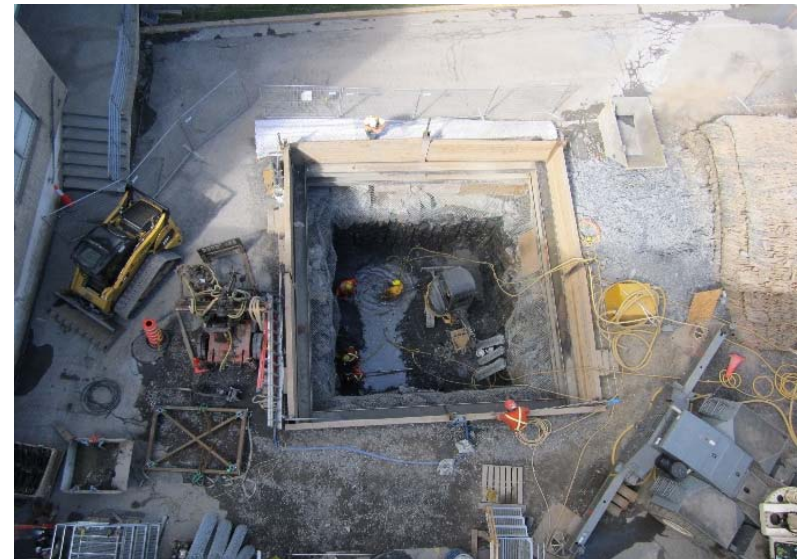
Modélisation des ouvrages (vue en plan)



Hatch Mott MacDonald, 2014

Contraintes puits d'accès

- Environnement existant
 - Protection
 - Entreposage
 - Ventilation
 - Bruit
 - Surpressions d'air
 - Accès partagés



Contraintes du tunnel, des puits A et B

- Dimensions
- Equipement
- Proximité de tunnels existants
- Utilisation d'agent non explosif
- Ventilation
- Accessibilité



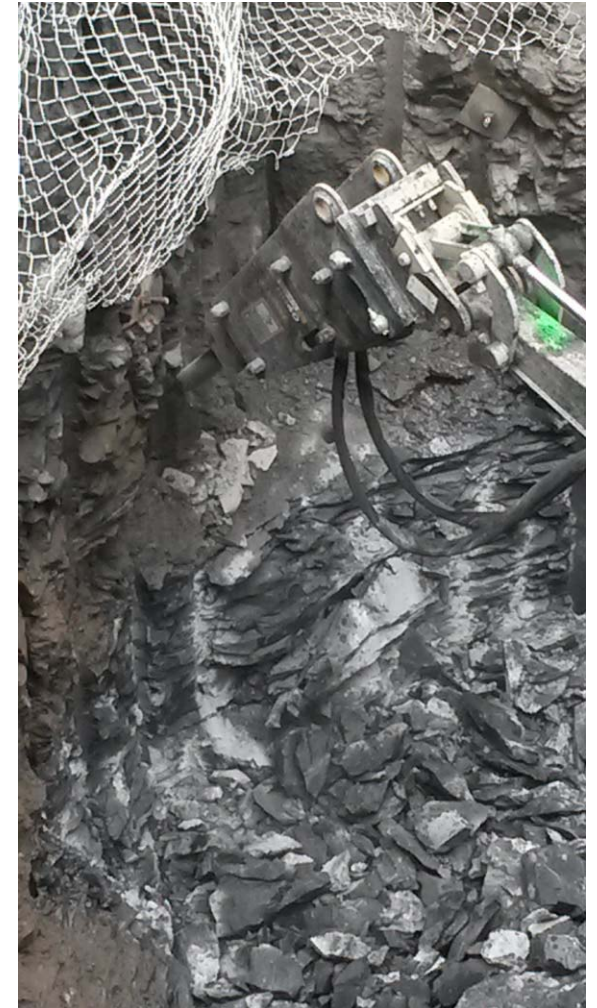
Contraintes puits C

- Environnement existant
- Méthodes de forage
- Méthodes de dynamitage
- Limites de vibrations



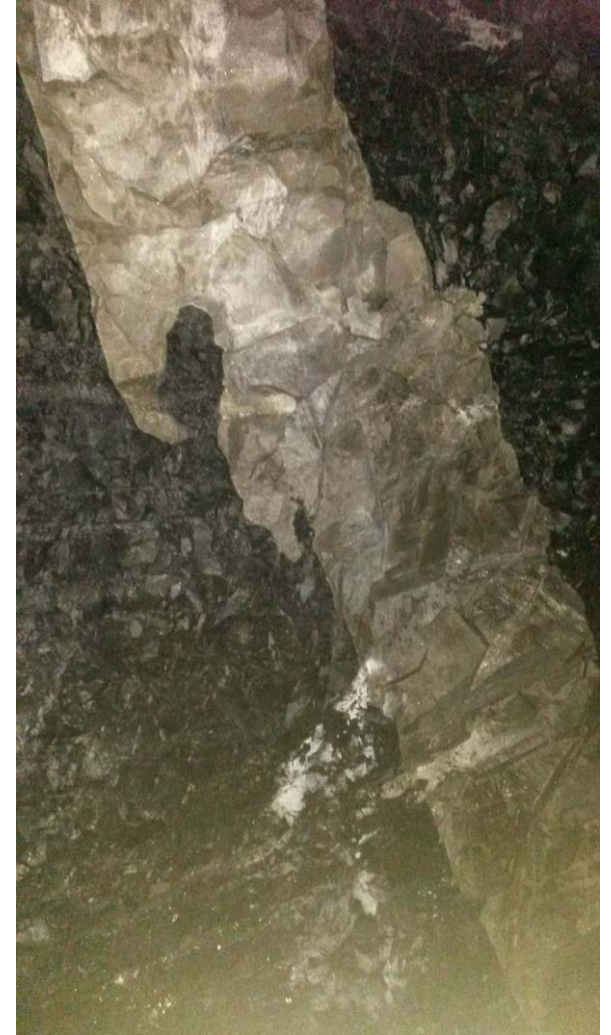
Géologie

- Calcaire à grain fin (épaisseur des strates qui varie entre 300 mm et 1 m)
- Inclinaison de 10° à 15° descendante vers le centre-ville (sud /sud-ouest)
- Couches de schiste foncé épaisseur < 50 mm qui intercalent les couches de calcaire
- Système orthogonal de joints verticaux et subhorizontaux qui suivent la stratification
- Présence d'intrusions ignées (dykes et filons-couches)



Sommaires des paramètres géologiques

- Densité moyenne
 - Calcaire : 2,75 t/m³
- UCS
 - Calcaire : 150 MPa (90 – 250 MPa)
 - Diabases (intrusives) : jusqu'à 350 MPa
- Discontinuités/Joints
 - Strates subhorizontales 10 - 15° (non altérées avec intrusions ignées)
 - Groupes de joints inclinés 50-70° (recristallisés avec de la calcite)
 - Joints subverticaux (entièrement remplis)
 - Joints roches intrusives (rares)
- RQD
 - Surface des puits = 75%
 - Tunnels = >95%
 - Moyenne = 89% (excellent)



Conception des plans de tirs

- Puits d'accès, tunnels et puits A-B-C
- Items à considérer :
 - Respect des normes et du bien-être public
 - ✓ Minimiser les vibrations et les surpressions d'air
 - ✓ Contrôler la migration des gaz/fumées de tir
 - ✓ Éliminer le risque de projections (puits d'accès)
 - Qualité et productivité
 - ✓ Assurer une bonne fragmentation
 - ✓ Contrôler les planchers, les parois et les murs
 - ✓ Respecter l'échéancier et le budget

PLAN CLÉ

TAB. 1: COORDONNÉES DU TUNNEL

PM	X (E)	Y (N)
PM-1	298527.928	5040941.105
PM-2	298512.920	5040960.041
PM-3	298523.549	5040980.670
PM-4	298518.353	5040987.740
PM-5	298501.821	5041001.282
PM-6	298454.175	5041031.342
PM-7	298425.887	5041058.937
PM-8	298415.825	5041065.855
PM-9	298408.194	5041072.473

TAB. 2: USAGES DES PUIITS

PUIIT	ELEC.	MEC.	VENTIL.	ACCÈS
PUIIT A	x	x	x	x
PUIIT B	x	x	x	x
PUIIT C	x	x	x	x
PUIIT D'ACCÈS	x	x	x	x

1 VUE EN PLAN
ECHILLE 1:250

A VUE EN COUPE
ECHILLE HCR 1/50
ECHILLE VER 1/250

PAS POUR CONSTRUCTION

L'importance de contrôler des vibrations

- Patients
- Salles d'opération
- Laboratoires de recherche
- Appareils sensibles
 - Cyclotron
 - Appareil d'imagerie par résonance magnétique
 - Tomodensitomètre (CT Scan)
 - Microscope électronique
 - Centrifuges et cytomètres
 - Automates de préparation de lames

Limite des vibrations et contraintes

- **Projet antérieur :**
 - Limite PPV: 15 mm/s (limite souvent dépassée)
 - Fréquences obtenues entre 50 à >500 Hz (très favorables)
 - Aucune régression compilée avec les données enregistrées
- **Distances minimums**
 - Entre les excavations de puits/tunnels et les structures non occupées : ≈ 3 m
 - Entre les excavations de puits/tunnels et les structures occupées : > 12 m

Limites prescrites par le devis

- .2 Les limites de vibration varient selon l'emplacement, les structures et l'utilisation du secteur comme suit :

	Niveau de vibration (mm/s)	
	Tolérance	Alerte
Pour des salles avec des patients hospitalisés durant la nuit	10	15
Pour les fondations typiques avec des murs de plâtre ou de gypse.	30	50
Pour les structures civiles lourdes tels que les planchers et les murs en béton, la machinerie lourde et les tuyaux	70	130

- .3 Les limites de surpression d'air sont:

Niveau de tolérance: 100 Pa

Niveau d'alerte: 120 Pa

- .4 Les limites de bruit sont:

Niveau de tolérance: 120 dB (Échelle A)

Niveau d'alerte: 130 dB (Échelle A)

Méthodologie

1. Estimer une charge/délai basée sur les distances minimums et les limites de vibrations prescrites.
2. Établir un réseau de séismographes (emplacements permanents et mobiles) pour :
 - i. Enregistrer les signatures sismiques et sonores générées par les travaux de dynamitage et assurer la conformité aux limites prescrites par le devis;
 - ii. S'assurer que la charge/délai utilisée est appropriée.
3. Compiler les données enregistrées et effectuer une régression linéaire pour raffiner la constante de site "K" et la constante d'atténuation " β "
 - i. Utiliser les nouvelles constantes pour valider la charge/délai lors de la progression des travaux

Estimation de la charge par délai préliminaire

Standard USBM

$$PPV = 1143 \left(\frac{d}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6}$$

Standard USBM (95%)

$$PPV = 1715 \left(\frac{d}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6}$$

Standard USBM Calcaire Expérimental (95%)

$$PPV = 562.8 \left(\frac{d}{\sqrt{W}} \right)^{-1.0}$$

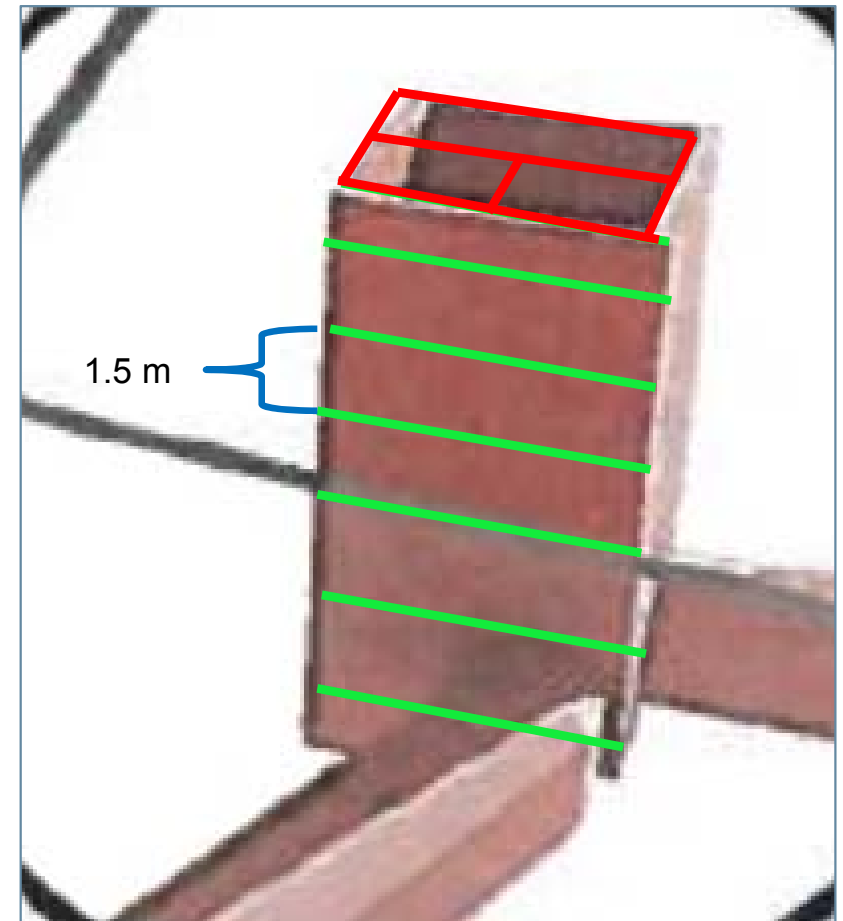
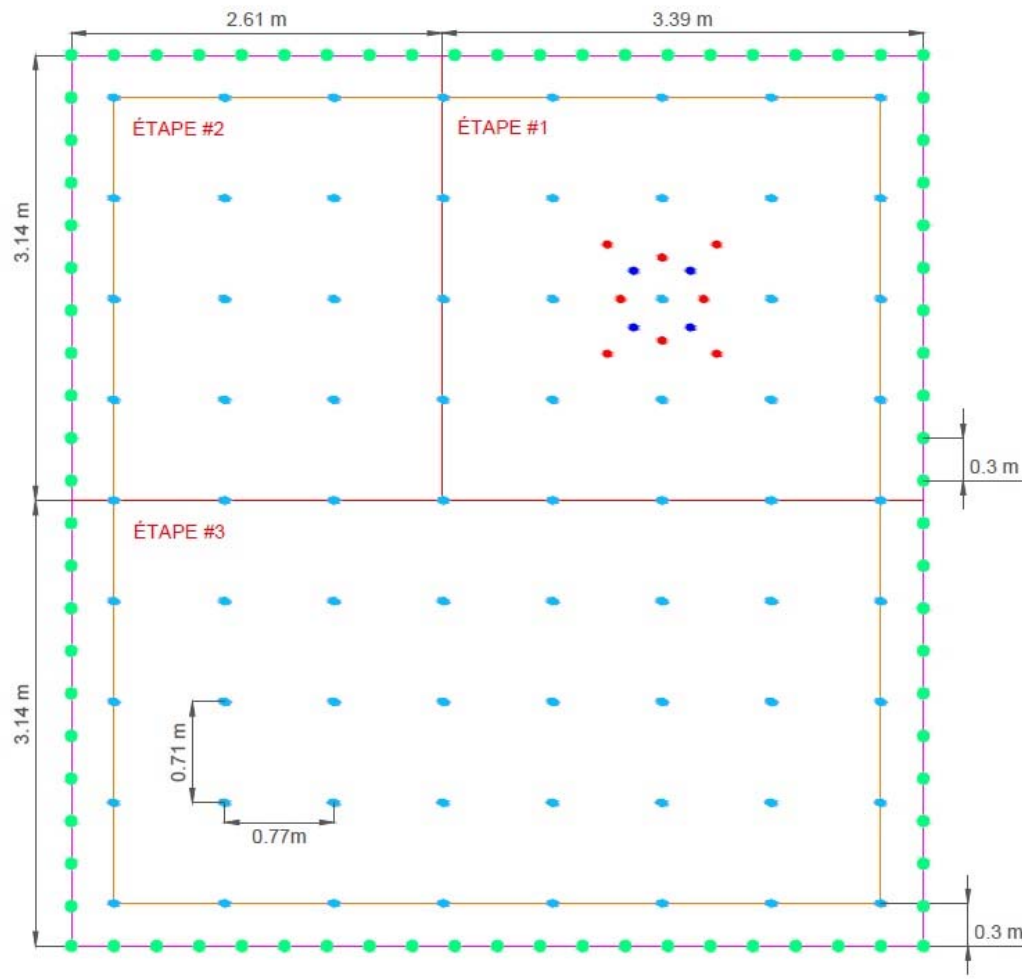
- $d = 12 \text{ m}$
- $PPV = 30 \text{ mm/s}$

1.52 kg/delai

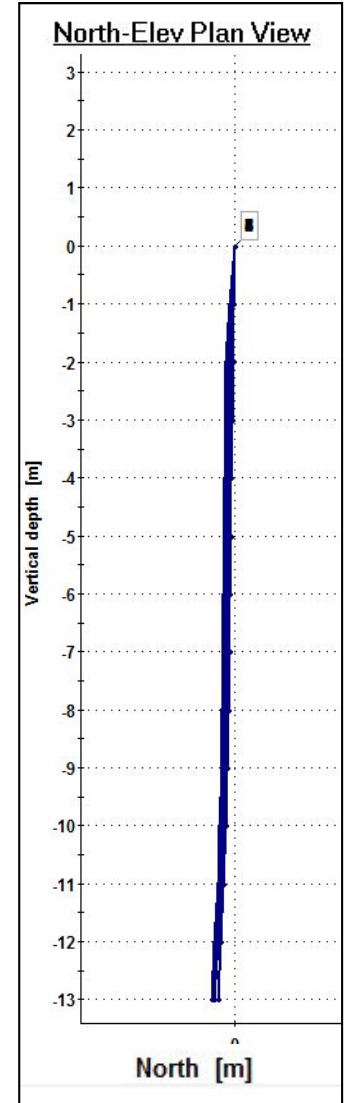
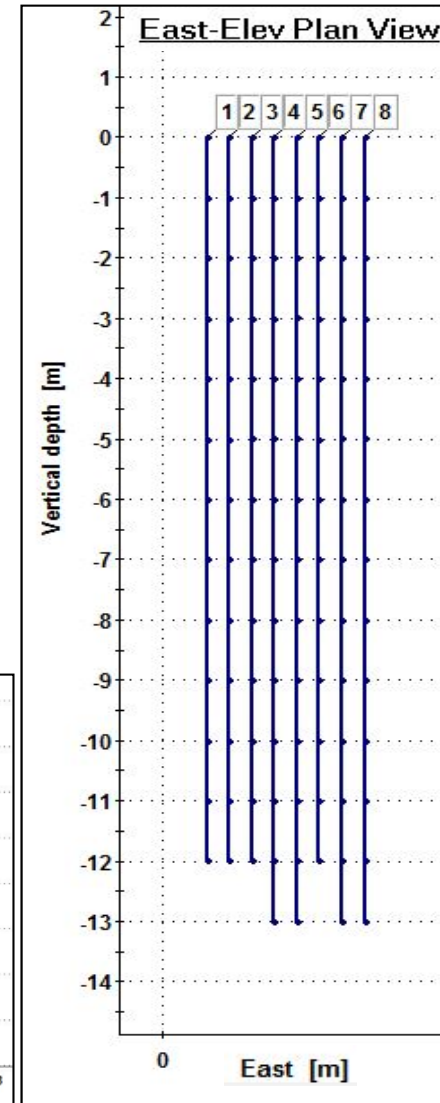
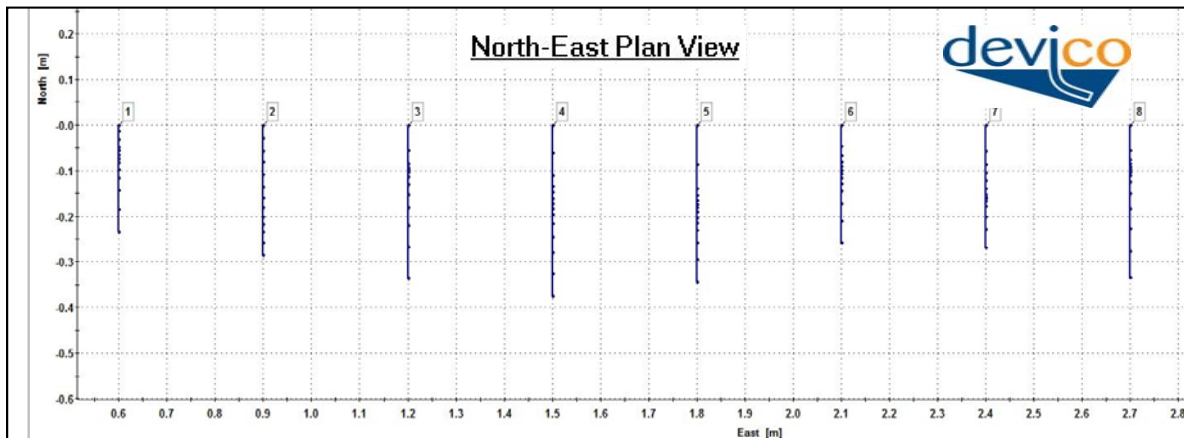
0.92 kg/delai

0.41 kg/delai

Puits d'accès – Séquence d'abattage



Puits d'accès – Vérification de la déviation des forages périmétriques



Puits d'accès – Chargement

Ouverture pilote: 3.38 m x 3.14 m

F.P.= 1,20 kg/m³

Abattage #1: 2.61 m x 3.14 m

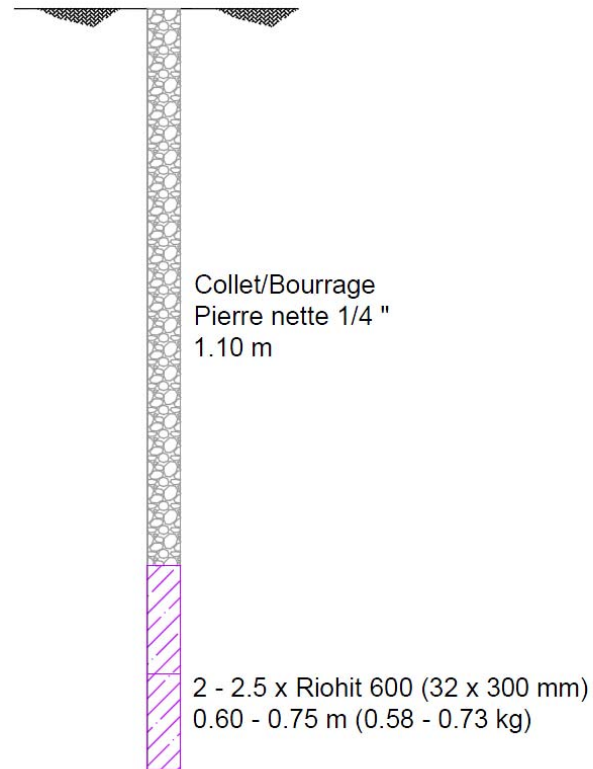
F.P.= 0.71 kg/m³

Abattage #2: 6.0 m x 3.14 m

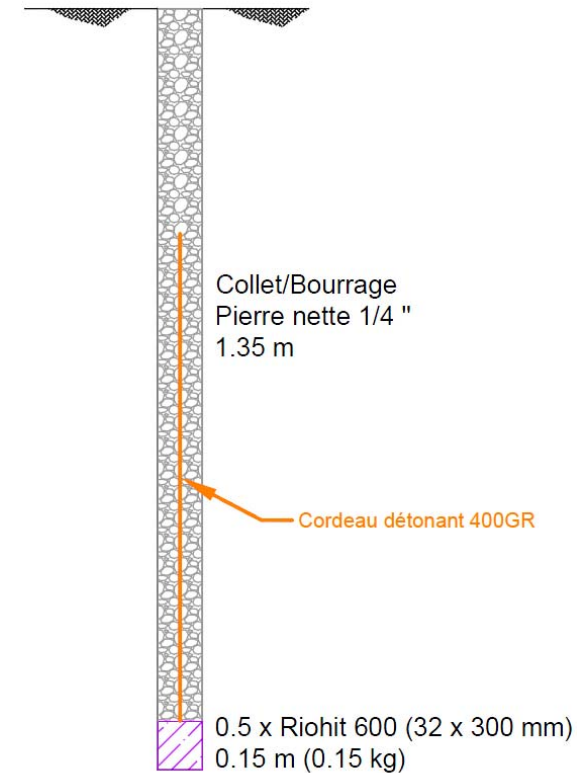
F.P. = 0.66 kg/m³



Trous de Masse (45 mm)



Trous Périométriques (76 mm)



Puits d'accès – Photos du chargement



Tunnels – Chargement

Ouverture pilote : 1.25 m x 1.45 m

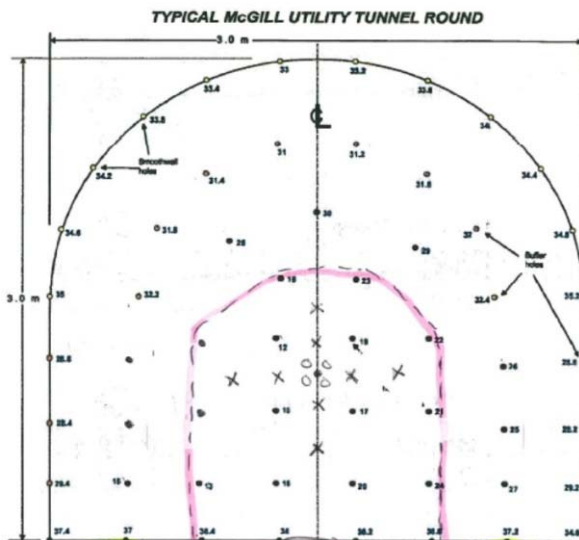
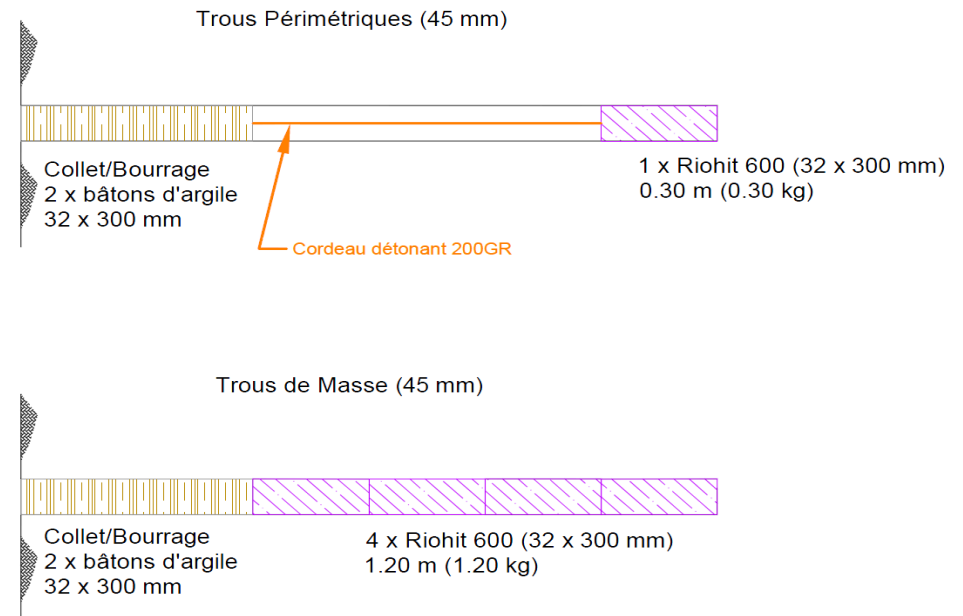
F.P.= 4.63 kg/m³

Abattage : 0.90 m x 3.00 m

F.P.= 1.57 kg/m³

Pleine section : 3.00 m x 3.00 m

F.P. = 2.61 kg/m³



Tunnels – Photos du chargement

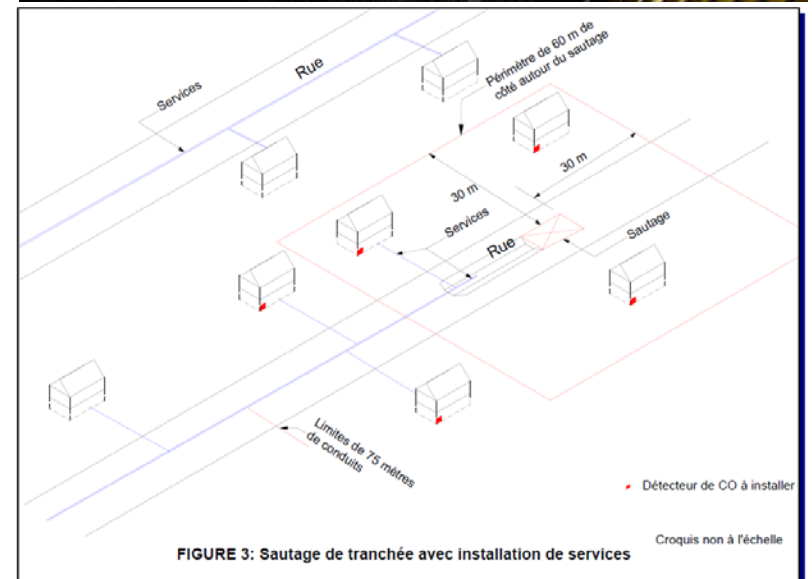
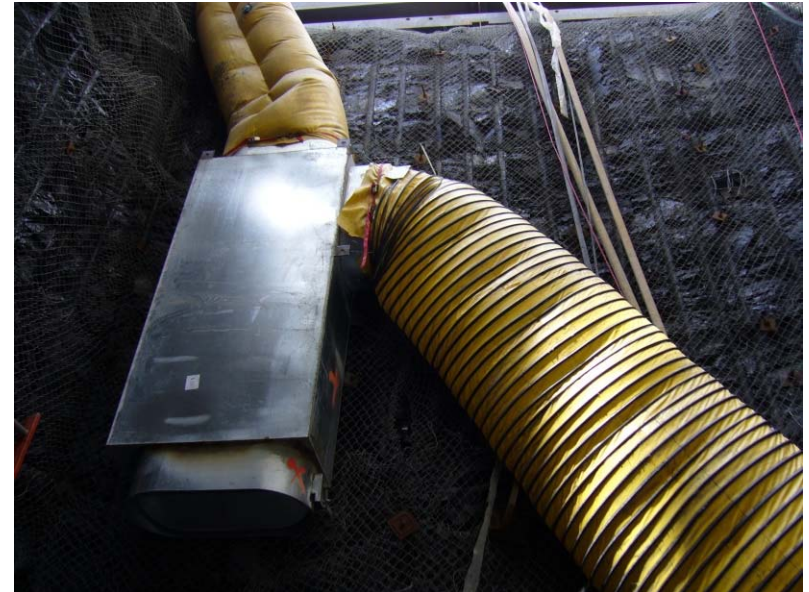


Contrôle des projections et d'ondes sonores

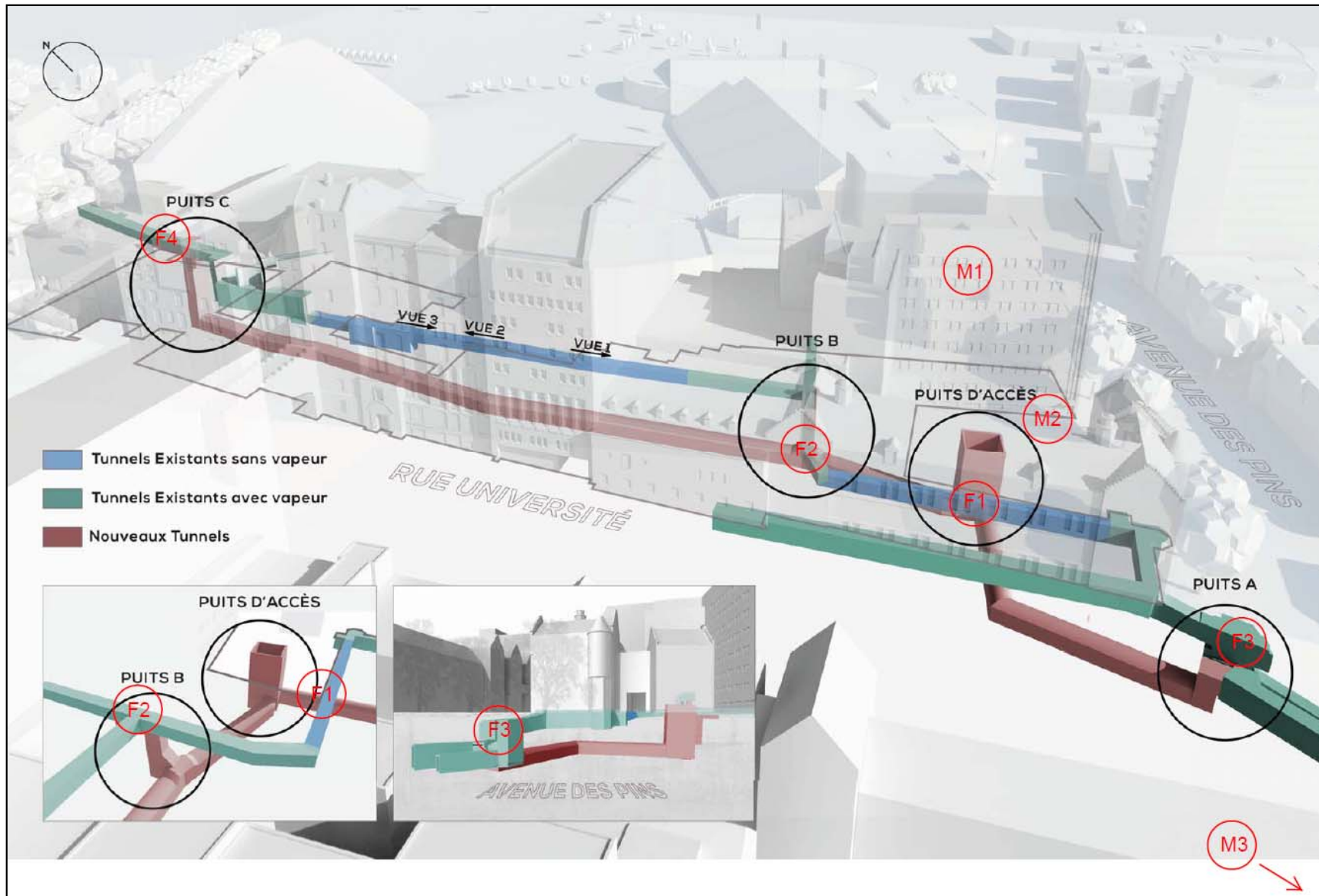


Contrôle des gaz et fumées de tir

- Produits
- Trous périmétriques
- Éviter la durée excessive de confinement
- Système de ventilation
- Détecteur de CO
 - Niveau plancher des sous-sols de bâtiments
 - Situés dans l'aire de 30 m x 30 m centrée sur les travaux de dynamitage
 - Où il y a moins de 75 m de longueur de conduits liant les structures



Réseau de séismographes

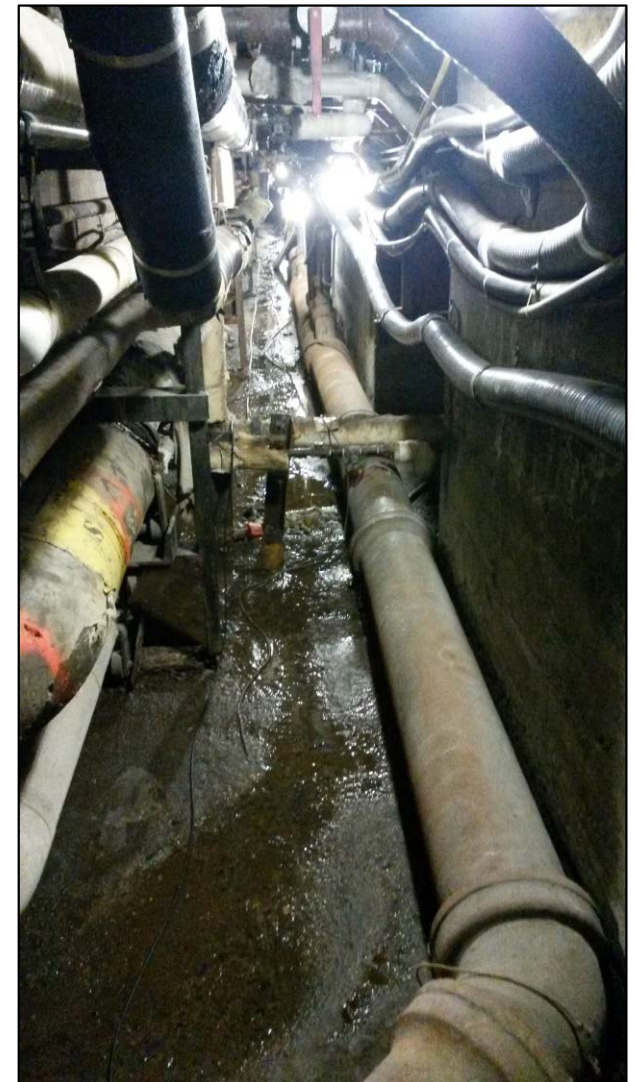
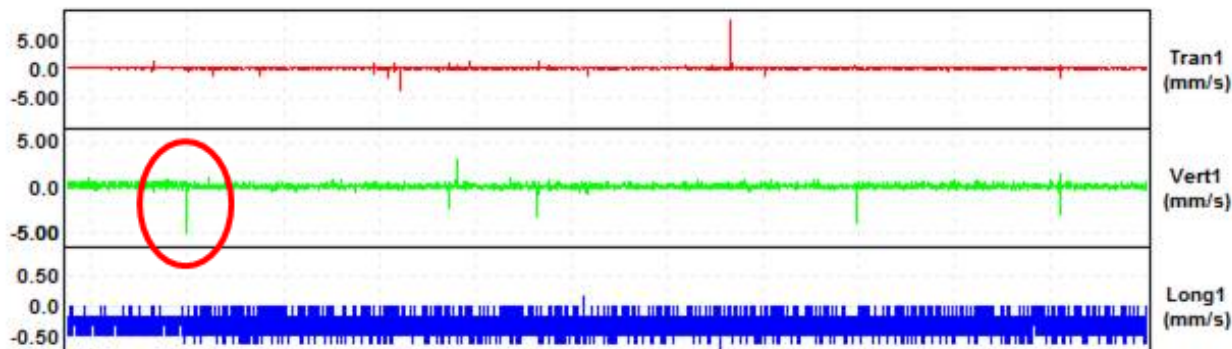


Instruments de mesure et localisations



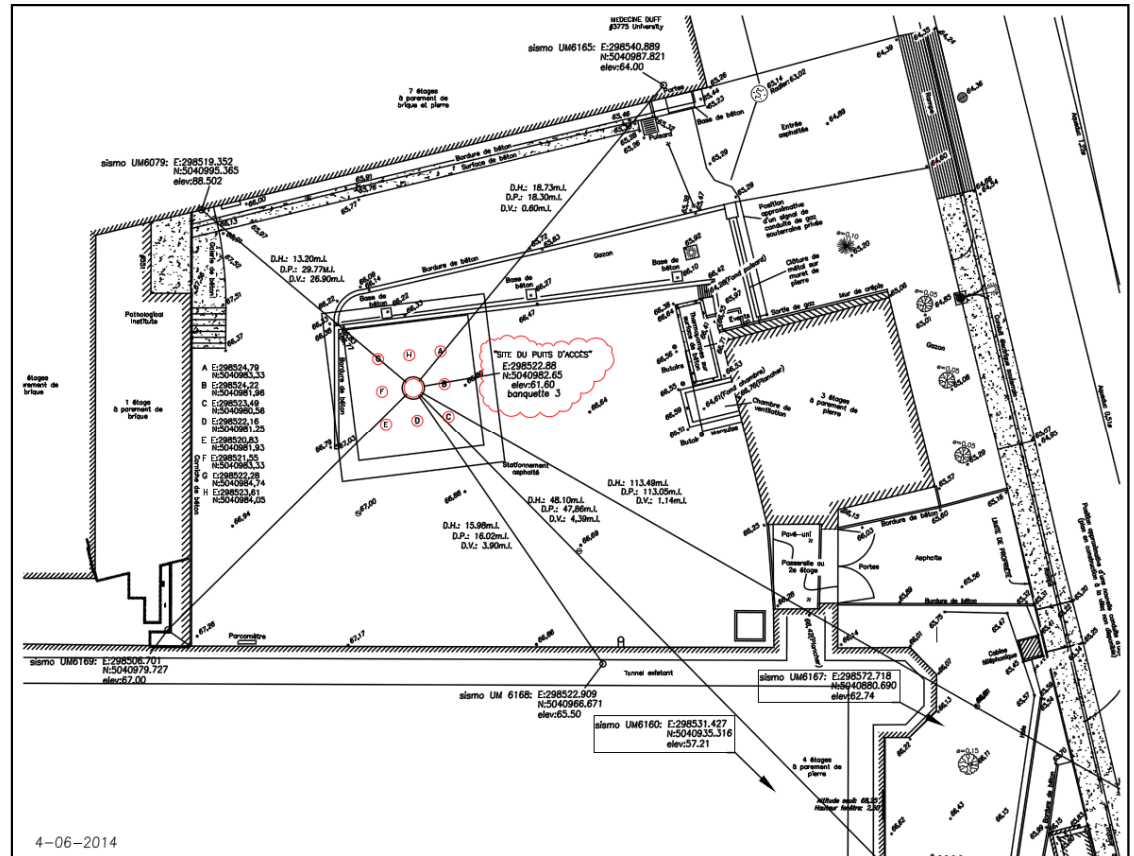
Défis

- Interférence électromagnétique causée par une source de courant AC générant des faux événements et du “bruit” artificiel
- Certains emplacements entravaient le signal WIFI mobile
 - Récupération manuelle des données
 - Changement de la localisation des modems (avec extensions)



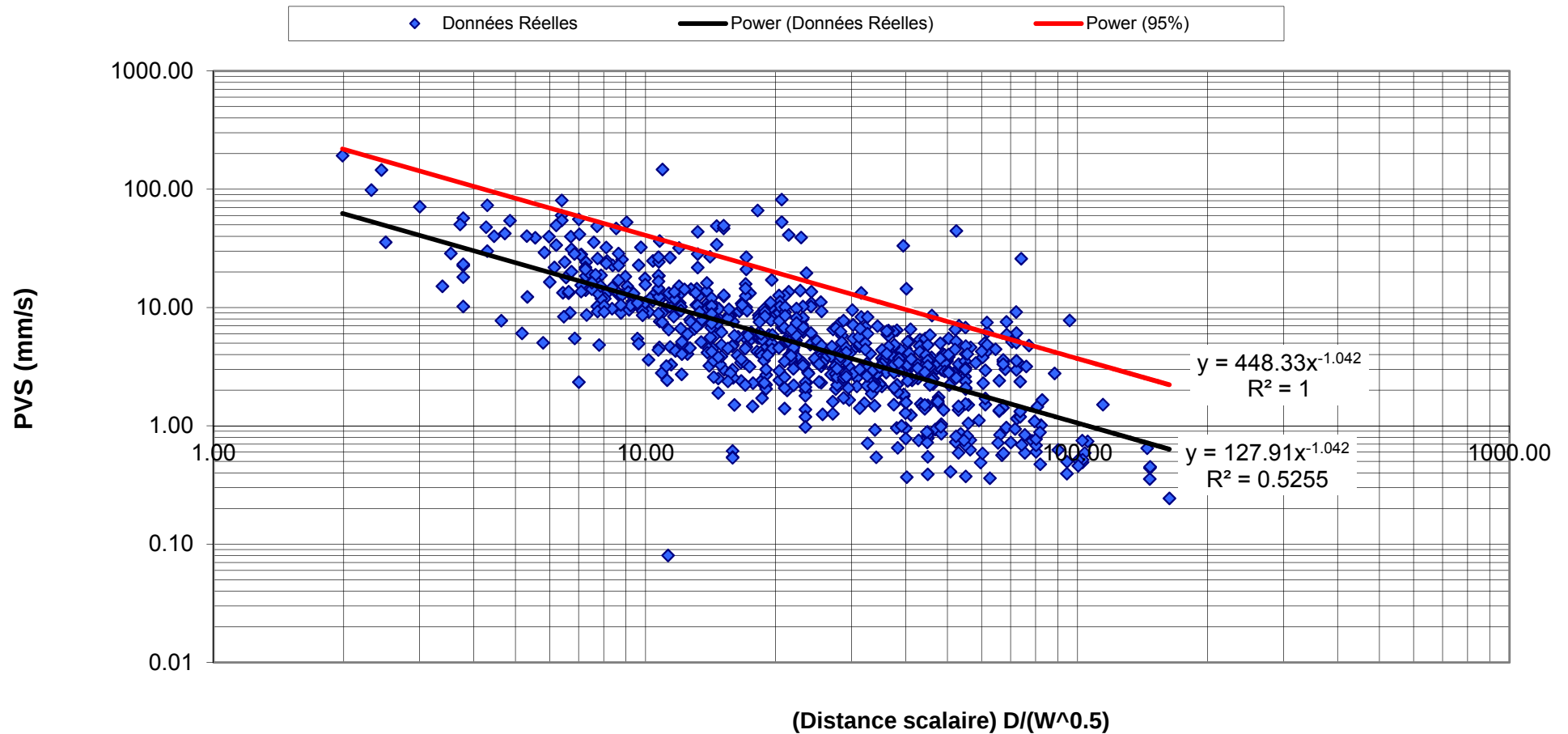
Compilation des données

- Courriels
 - PPV / PVS provenant de chaque unité
- Arpentage / AutoCAD
 - Distances
- Journaux de tir
 - Charge max / délai

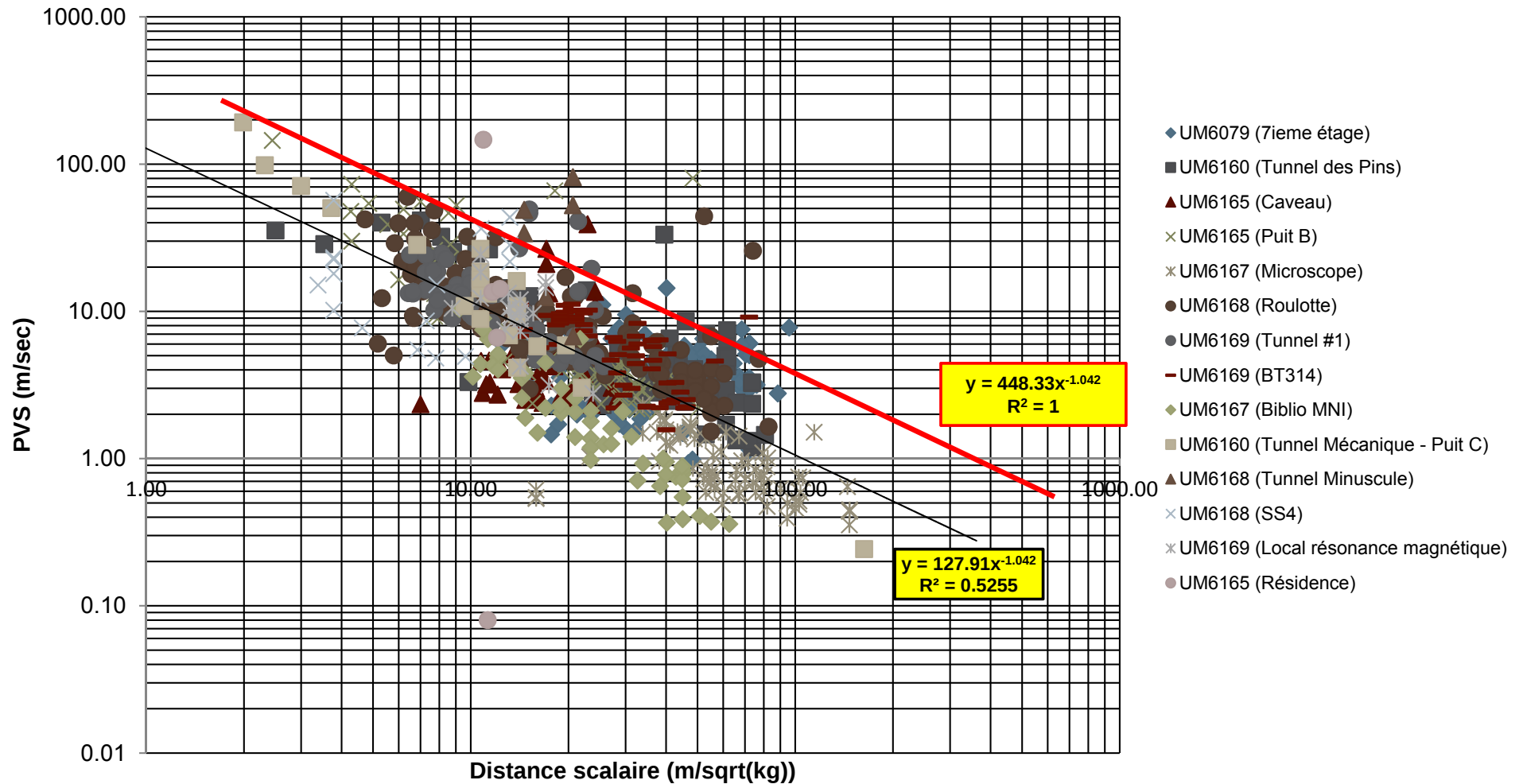


Régression linéaire

Régression linéaire entre la vitesse et la distance scalaire
Tunnel McGill - Neilson



Régression linéaire par localisation



Observations et validation des résultats

- Résultat similaire à l'équation utilisée pour l'estimation des charges par délai initiales
 - Constante $K_{act} < K_{est}$: transmission des ondes est moindre
 - Constante $\beta_{act} < \beta_{est}$: atténuation légèrement meilleure
- Causes probables de la dispersion des données
 - L'exactitude des distances entre les sautages et les emplacements des séismographes
 - Méthode de couplage des géophones
 - La source exacte du PPV/PVS
 - Les axes et les distances des sautages en relation avec l'emplacement des géophones

Puits C

- Proximité au bâtiment MNI et au Stade Percival-Molson
- Méthode d'excavation inversée (« drop-raise »)



SÉQUENCE DE DYNAMITAGE PUIS C

DYNAMITAGE SELON LE PRINCIPE DE
PILOTE ET ABATTAGE.

LES LONGUEURS DES VOLÉES SERONT
ADAPTÉES AU CONDITIONS GÉOLOGIQUES ET
À LA FRACTURATION.

8	8	8	▽ 78.800
8	7	8	▽ 73.369
			▽ 73.789
7	6	7	▽ 71.583
6	5	6	▽ 69.369
5	4	5	▽ 67.183
4	3	4	▽ 64.969
3	2	3	▽ 62.789
2	1	2	▽ 60.569
			▽ 57.369
TUNNEL			



Université McGill
Tunnel de services

Titre : PLAN FORAGE PUIS C
SÉQUENCE DYNAMITAGE

SK No. : —
Dessiné par : Philippe Bouchard, ing.

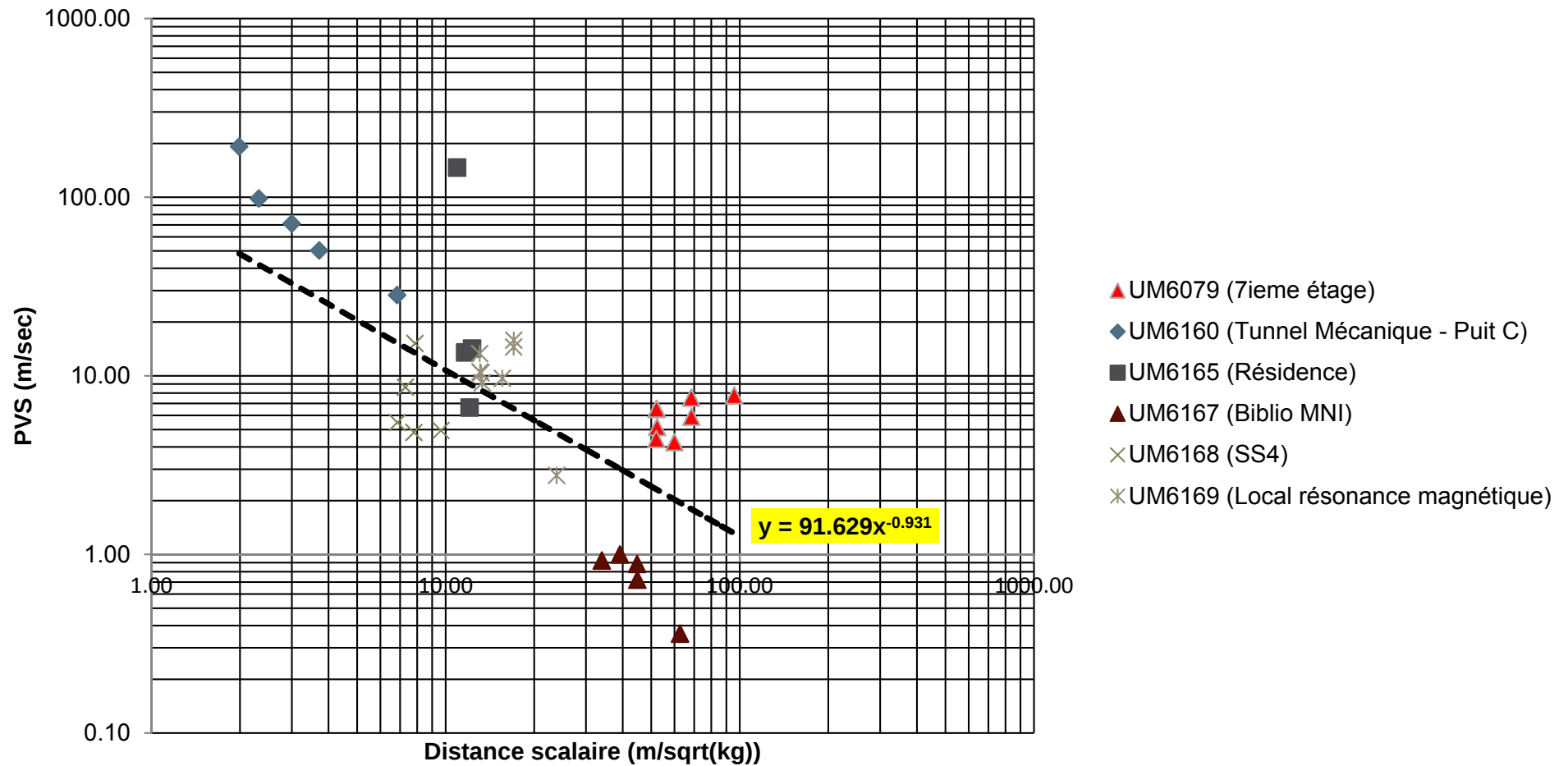
Date : 18/09/2014
Échelle : N.A.E.

Puits C – Photos de chargement



Analyses sismiques – Puits C

Analyse de Regression Sismique (Puits C seulement)



Conclusion

- L'analyse des données sismiques enregistrées lors de ce projet a contribué à la progression des travaux et au respect de l'échéancier :
 - En maximisant l'avancement de chaque ronde sans dépasser les limites de vibrations permises.
 - En minimisant les risques de plaintes et de dommages causant des arrêts de travail liés aux travaux de dynamitage.
- Une bonne base de données sismique est maintenant disponible comme référence pour des futurs projets de dynamitage en endroits urbains à proximité du Mont-Royal.

Résultat final



Merci aux contributeurs



REVEY Associates, Inc.



Merci



De la définition jusqu'à la mise en œuvre d'un projet, BBA offre depuis plus de 35 ans une vaste gamme de services de génie-conseil et de gestion de projet. Reconnue pour son savoir-faire dans les secteurs énergie, mines et métaux et pétrole, gaz et biocarburants, BBA compte sur une équipe d'experts de haut niveau pour transformer des problèmes complexes en solutions pratiques, avant-gardistes et durables.

BBA s'appuie sur un réseau de bureaux pancanadien pour desservir ses clients et réaliser des mandats à l'échelle locale, nationale et internationale.

Riccardo Del Bosco, Ing.
Ingénieur Forage et Dynamitage
514-866-2111, poste 8631
Riccardo.delbosco@bba.ca



Neilson fait partie des grands bâtisseurs québécois, comme en témoignent ses réalisations : une multitude d'ouvrages complexes de grande envergure, dans le domaine des grands travaux de génie civil.

Entrepreneur général spécialisé, notamment dans les secteurs de l'hydroélectricité, des ouvrages souterrains et des pipelines, l'entreprise a acquis sa notoriété en s'entourant de gens compétents. Son savoir-faire, son parc d'équipement à la fine pointe de la technologie et son équipe multidisciplinaire expérimentée lui permettent de réaliser *des travaux plus grands que nature*.

Philippe Bouchard, Ing.
Ingénieur de Projet
418-831-2141, poste 4157
Philippe.Bouchard@neilsonex.com