

TRAMWAY DE QUÉBEC

RAPPORT DES PARAMÈTRES DE RÉFÉRENCE GÉOTECHNIQUE (GBR-B)

TRAM-112F-GEO-MMT-0003_EP



Projet RSTC – Volet Tramway PROJET DE RÉFÉRENCE



18 Septembre 2020

Émission préliminaire



Date : 18 Septembre 2020

Préparé par :

Benoit Rioux, ing.

Vérifié par :

Giovanni Osellame, géo.

Hugo Fisette, ing

Approuvé par :

Jean Habimana, ing. Ph. D

Bakar Amara, ing.

Le présent document s'inscrit dans le cadre du projet de référence du Tramway de Québec. Il est considéré et émis à titre d'étude préparatoire ou d'avant-projet.

Il est à noter que l'élaboration du présent document préparé par Tram-Innov a été réalisé au courant des années 2019 et 2020. Au moment de la préparation de ce document, certaines données d'intrants étaient en évolution et peuvent être devenues obsolètes.

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
1.1 Objectif	1
1.2 Organisation du rapport	2
1.3 Limitations	2
2. MISE EN CONTEXTE ET DESCRIPTION DU PROJET	2
3. TRAVAUX DE CONSTRUCTION ANTÉRIEURS DANS LA RÉGION DU PROMONTOIRE DE QUÉBEC	3
3.1 Infrastructure ferroviaire	3
3.2 Infrastructure routière	4
3.2.1 Ouvrage Dufferin	4
3.2.2 Côte d'Abraham	5
3.3 Stationnements souterrains et bâtiments	5
3.3.1 Stationnement souterrains	6
3.3.2 Sous-sols d'immeuble	6
3.4 Tunnels piétonniers	6
4. RÉFÉRENCES	7
4.1 Données factuelles – RDG	7
4.2 Source d'informations géologique et géotechnique	7
4.3 Références techniques	8
5. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL	8
5.1 Mort-terrain	8
5.2 Stratigraphie géologique	8
5.2.1 Unité 1 – Ovq	9
5.2.2 Unité 2 – Old	9
5.3 Géologie structurale	10
5.4 Sismicité	10
6. CARACTÉRISTIQUES ET PROPRIÉTÉS GÉOMÉCANIQUES DES DÉPÔTS MEUBLES ET DE LA MASSE ROCHEUSE	11
6.1 Données considérées	11
6.2 Conditions anticipées des dépôts meubles des trémies	11
6.2.1 Trémie René-Lévesque	11
6.2.1.1 Fondation granulaire	12
6.2.1.2 Remblai	12
6.2.1.3 Sol naturel	12
6.2.2 Trémie de la Couronne	12
6.2.2.1 Fondation granulaire	13
6.2.2.2 Remblai	13
6.2.2.3 Sol naturel	13
6.3 Stratigraphie géologique et profil du socle rocheux	14
6.4 Propriétés physiques et géomécaniques de la roche intacte	14
6.4.1 Unité 1 – Ovq	15
6.4.1.1 Paramètres et propriétés physiques et géomécaniques	15
6.4.2 Unité 2 – Old	16

6.4.2.1	Paramètres et propriétés physiques et géomécaniques.....	16
6.5	Conditions anticipées de la masse rocheuse.....	17
6.5.1	Comportement géomécanique.....	17
6.5.1.1	Unité 1 – Ovq.....	17
6.5.1.2	Unité 2 – Old.....	17
6.5.2	Contraintes in-situ.....	18
6.5.3	Failles du site.....	18
6.5.4	Litages et joints structuraux.....	18
6.6	Caractéristiques des discontinuités.....	20
6.6.1	Espacement des joints.....	20
6.6.2	Angle des joints.....	20
6.6.3	Forme des joints.....	21
6.6.4	Ouverture des joints.....	21
6.6.5	Remplissage et altération des discontinuités.....	22
6.6.6	Rugosité des joints.....	23
6.6.7	Indice RQD.....	23
6.7	Conditions des eaux souterraines.....	24
6.7.1	Conductivité hydraulique.....	24
7.	CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA CONCEPTION.....	25
8.	CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA CONSTRUCTION.....	25
8.1	Considérations générales.....	25
8.2	Considérations par méthode d'excavation.....	26
8.2.1	Forage et dynamitage.....	26
8.2.2	Excavation par haveuse.....	27
8.2.3	Excavation par tunnelier.....	27
	ANNEXE A – Profil géologique du TW10.....	i
	ANNEXE B – Histogrammes.....	ii

Liste des figures

Figure 2-1 – Tracé de la section en souterrain « TW-10 »	3
Figure 3-1 – Portail Sud du tunnel.....	4
Figure 3-2 – Une des parois de roc du tunnel Dufferin.....	5
Figure 3-3 – Photo – Stationnement de la Place D'Youville	6
Figure 5-1 – Géologie régionale (SIGÉOM) – le tunnel est figuré par des tirets bleus	9
Figure 5-2 – Géologie structurale (SIGÉOM) – le tunnel est figuré par des tirets bleus	10
Figure 6-1 – Stéréonet des pôles des litages	19
Figure 6-2 – Stéréonet des pôles des discontinuités	19
Figure 6-3 – Espacement entre les discontinuités par rapport à l'axe de la carotte	20
Figure 6-4 – Angle des discontinuités par rapport à l'axe de la carotte (verticale)	21
Figure 6-5 – Forme des discontinuités	21
Figure 6-6 – Ouverture des discontinuités.....	22
Figure 6-7 – Remplissage des discontinuités	23
Figure 6-8 – Rugosité des discontinuités.....	23
Figure 6-9 – Indices RQD (Rock Quality Design)	24
Figure 6-10 – Conductivité hydraulique.....	24

Liste des tableaux

Tableau 5-1 – Accélération maximale - PGA - 2015.....	10
Tableau 6-1 – Dépôts meubles – Trémie René-Lévesque et tranchée couverte	11
Tableau 6-2 – Granulométrie du sol naturel – Trémie René-Lévesque	12
Tableau 6-3 – Compacité du sol naturel – Trémie René-Lévesque.....	12
Tableau 6-4 – Dépôts meubles – Trémie de la Couronne et tranchée couverte	13
Tableau 6-5 – Granulométrie du sol naturel – Trémie de la Couronne	13
Tableau 6-6 – Compacité du sol naturel – Trémie de la Couronne	14
Tableau 6-7 – Propriétés physiques et géomécaniques de l'Unité 1	15
Tableau 6-8 – Paramètres de référence pour l'excavabilité de l'Unité 1	16
Tableau 6-9 – Propriétés physiques et géomécaniques de l'Unité 2	16
Tableau 6-10 – Paramètres de référence de l'excavabilité de l'Unité 2	17

1. INTRODUCTION

Ce rapport est préparé pour le projet du Tramway de Québec. Il présente les paramètres de référence géotechnique (*Geotechnical Baseline Report for Bidding*, désigné ci-après par **GBR-B**). Les paramètres de référence couvre plus particulièrement les structures suivantes :

- Les ouvrages linéaires du tronçon souterrain TW-10 :
 - a. Tunnel,
 - b. Tranchées couverte et ouverte : trémie René Levesque,
 - c. Tranchées couverte et ouverte : trémie de la Couronne
- Les stations souterraines :
 - a. Cartier,
 - b. Colline Parlementaire,
 - c. D'Youville.

1.1 Objectif

L'objectif général du GBR-B est de présenter les paramètres de référence géotechnique relatifs aux conditions souterraines anticipées durant les travaux de construction des structures énumérées précédemment. Plus spécifiquement, les objectifs du GBR-B sont de :

- Résumer les conditions souterraines (sols, massif rocheux et eaux souterraines) susceptibles d'être rencontrées durant les travaux de construction ;
- Permettre au Partenaire Privé de préparer sa conception et de choisir les méthodes de construction en fonction des conditions géotechniques anticipées, pour fin de soumission.

Les descriptions des conditions souterraines présentées dans ce GBR-B sont basées sur des interpolations entre des forages, des extrapolations au-delà des forages, des évaluations de données d'essais de laboratoire, et des considérations provenant de projets de tunnels construits dans des conditions de sous-sol similaires.

Les informations contenues dans ce rapport sont destinées à l'attention du Partenaire Privé. Il est de la responsabilité du Partenaire Privé de recourir à des ingénieurs et des spécialistes en géologie / géotechnique qualifiés et en mesure de produire sur la base du GBR-B son offre technique et son offre commerciale.

Le GBR-B doit être consulté en parallèle avec les différents rapports de données géotechniques (désigné ci-après par **RDG**) qui contiennent les données et informations factuelles sur lesquelles s'appuie le GBR-B. Les interprétations mises de l'avant dans le GBR-B remplacent ou annulent les interprétations des autres rapports géotechniques.

1.2 Organisation du rapport

Les premiers chapitres de ce rapport (Chapitres 2 à 5) consistent en une mise en contexte du projet : ils contiennent une description des ouvrages à construire, un historique des travaux de construction d'ouvrages souterrains dans la formation de la Nappe du Promontoire de Québec, une liste des principales références et enfin un rappel du contexte géologique régional. Ces données sont fournies à titre général et informatif.

Le chapitre 6 traite spécifiquement des caractéristiques du terrain et présente les paramètres de référence à considérer.

Les chapitres 7 et 8 présentent les considérations reliées respectivement à la conception et à la construction.

1.3 Limitations

Le Partenaire Privé est le seul responsable de la conception et de la sélection des moyens et des méthodes appropriés pour le projet. Il ne doit pas compter exclusivement sur ce GBR-B comme source d'information pour la planification, la conception et l'exécution du travail, ni pour la sélection des moyens, des méthodes, des équipements, des techniques, des séquences et des procédures de construction à utiliser.

Les informations contenues dans ce GBR-B reposent sur des investigations géotechniques (essais sur le terrain et en laboratoire, ainsi que d'autres données présentées au RDG), des analyses, des évaluations et des opinions professionnelles. Les conditions souterraines ont été décrites selon des normes et des règles de l'art couramment appliquées dans la profession. Il n'y a aucune garantie, explicite ou implicite, que les conditions rencontrées correspondront exactement aux conditions de référence décrites ci-après.

Toute campagne d'investigation géotechnique future, apportant une information nouvelle ou mettant en évidence des enjeux autres que ceux déjà mentionnés, sera suivie d'une mise à jour du présent GBR-B.

2. MISE EN CONTEXTE ET DESCRIPTION DU PROJET

Le tronçon du tunnel TW-10 est représenté à la Figure 2-1. Il s'étend sur environ 2,5 km, entre la trémie René-Lévesque (située sur le boulevard René-Lévesque Ouest, entre l'avenue des Érables et l'avenue Bourlamaque) et la trémie de la Couronne (située sur la rue de la Couronne, entre la rue Victor-Révillon et la rue Saint-Vallier Est).

Le tronçon comprend trois (3) stations souterraines :

- **Station Cartier** : au croisement du boulevard René-Lévesque Ouest et de l'avenue Cartier;
- **Station de la Colline Parlementaire** : située sur le boulevard René-Lévesque Est, entre les rues de la Chevrotière et Jean-Jacques Bertrand;
- **Station D'Youville** : située sur l'avenue Honoré-Mercier, entre les rues Saint-Joachim et Saint-Jean.



Figure 2-1 – Tracé de la section en souterrain « TW-10 »

3. TRAVAUX DE CONSTRUCTION ANTÉRIEURS DANS LA RÉGION DU PROMONTOIRE DE QUÉBEC

Plusieurs excavations dans le roc ont été réalisées à proximité des futurs travaux du projet. Ces travaux d'excavation et les ouvrages construits permettent dans une certaine mesure de mieux appréhender les travaux à prévoir pour la construction des ouvrages souterrains sur projet de Tramway.

Certains de ces ouvrages offrent l'opportunité d'observer la masse rocheuse, ce qui permet d'identifier les formations en place, d'évaluer le comportement à court terme et à long terme du massif rocheux, ainsi que de faire des recoupements géologiques avec les sondages disponibles.

3.1 Infrastructure ferroviaire

Un tunnel ferroviaire de 1,6 km traverse environ 330 pied sous les Plaines d'Abraham, dans l'alignement de l'avenue Belvédère entre le boulevard Charest (proche du Parc Dollard-des-Ormeaux) et le boulevard Champlain (proche de la baie de l'Anse au Foulon).

Il s'agit d'un tunnel construit par le Canadian Pacifique (CP) pour assurer à l'époque le transport de personnes entre le port de Québec (point d'escale des paquebots transatlantiques) et les lignes de chemin de fer situées au Nord de la Ville, en direction de Montréal et de l'est canadien.

Actuellement propriété de Genesee and Wyoming, le tunnel continue à être utilisé pour le transport de marchandises.

Le tunnel traverse au travers de zones de calcaire et de shale. Les documents d'archive rapportent un usage d'explosifs pour le creusement du calcaire, tandis qu'on mentionne la nécessité de soutènement temporaire pour les zones de shales. La construction s'est faite sur 11 mois, entre Mai 1930 et Mai 1931, par un creusement simultané depuis les deux extrémités.

La Figure 3-1 présente une photo d'époque du portail Sud du tunnel sous la Colline de Québec.

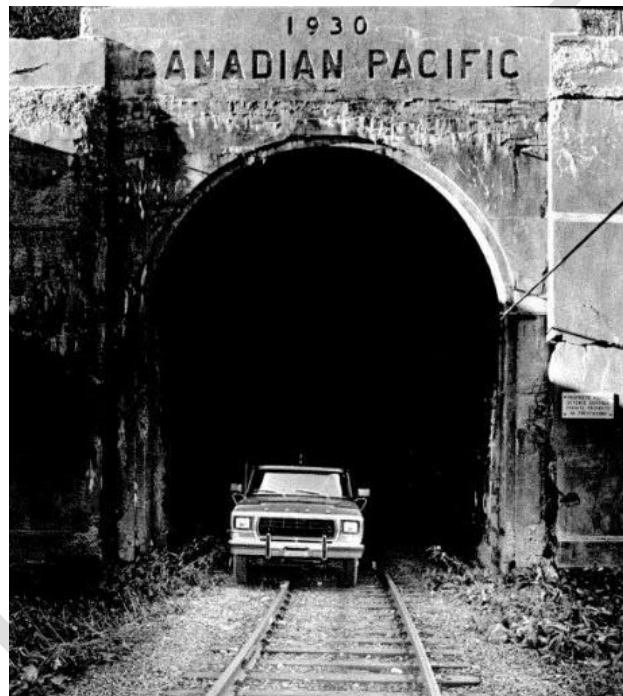


Figure 3-1 – Portail Sud du tunnel

3.2 Infrastructures routières

3.2.1 Ouvrage Dufferin

Contrairement au tunnel ferroviaire précédemment cité et relativement éloigné du tunnel du tramway, l'ouvrage Dufferin se situera à proximité immédiate. Il s'agit d'un projet routier du Ministère des Transports du Québec interrompu en cours de réalisation. Dans les années 1970, ce projet projetait de relier l'autoroute Dufferin au boulevard Champlain, en traversant la colline parlementaire. L'amorce du tunnel construite en tranchée ouverte a effectivement été réalisée et se situe sous l'intersection du boulevard Honoré-Mercier et de la Côte d'Abraham ; en revanche, le tunnel prévu pour être excavé en souterrain ne sera jamais prolongé au-delà de ce point. La Figure 3-2 illustre une des deux faces de roc exposées à l'intérieur de l'ouvrage Dufferin.



Figure 3-2 – Une des parois de roc du tunnel Dufferin

Il faut noter la présence d'un stationnement souterrain au numéro 760, Honoré Mercier, à proximité immédiate de l'ouvrage Dufferin et à une profondeur similaire ; il est prévu que le tunnel du tramway s'insère entre ces deux ouvrages souterrains.

3.2.2 Côte d'Abraham

La cote d'Abraham constitue une infrastructure routière majeure, assurant la transition entre Haute-Ville et Basse-Ville. Elle s'insère dans une falaise en forte pente transversale et largement exposée aux intempéries. De fait, des phénomènes d'érosion sont observés sur cette falaise:

- Au-dessus de la cote d'Abraham et sous la rue Saint-Real (partiellement en porte-à-faux).
- De part et d'autre de l'ascenseur du Faubourg Saint-Jean-Baptiste,
- En contre-bas de la côte d'Abraham et au-dessus de la rue Saint-Vallier. À noter que l'érosion de cette portion est possiblement la cause de dommages structuraux aux habitations, en particulier au numéro 726, Côte d'Abraham (creusement de remblai sous dalle, fissures, basculement).

3.3 Stationnements souterrains et bâtiments

Hors infrastructures, de nombreux autres ouvrages construits sur la Colline parlementaire ont impliqué des travaux d'excavation souterraine, notamment :

- Le stationnement de la Place d'Youville,
- Le stationnement du Parc Jean-Paul l'Allier (anciennement Saint-Roch),
- Le débarcadère du Centre des congrès, implanté sous le boulevard René Levesque,
- Les sous-sols de l'édifice Marie-Guyart (Complexe G),
- Les sous-sols du Grand Théâtre de Québec.

3.3.1 **Stationnement souterrains**

Quoique soumis aux cycles de gel-dégel, les faces excavées et non-revêtus des stationnements souterrains de la Place D'Youville et du Parc Jean-Paul l'Allier sont moins exposés aux intempéries que ceux de la côte d'Abraham. À ce titre, ils constituent un aperçu intéressant du type de roc susceptible d'être rencontré lors de l'excavation du tunnel. La Figure 3-3 présente une photo d'une des sections exposées du stationnement de la Place D'Youville.



Figure 3-3 – Photo – Stationnement de la Place D'Youville

Concernant le stationnement du Parc Jean-Paul l'Allier, il est à noter qu'il se situe dans la zone de la faille de Logan, telle qu'identifiée sur les cartes géologiques ; des signes importants d'altération de la masse rocheuse peuvent y être observés.

3.3.2 **Sous-sols d'immeuble**

Dans certains ouvrages souterrains implantés sur la Colline parlementaire (notamment le Complexe G et le Grand Théâtre), les pathologies de bâtiment suivantes ont été observées : soulèvement de radier, fissuration d'éléments structuraux en béton. Ces dommages sont reliés au gonflement du roc ou remblai sous-jacent, et sont associés à la présence de pyrite.

3.4 **Tunnels piétonniers**

Deux tunnels piétonniers sont situés à proximité immédiate du projet :

- le tunnel reliant Place Québec / Centre des congrès au stationnement de la Place d'Youville. Ce tunnel, d'une longueur d'environ 75m, traverse sous le boulevard Honoré-Mercier. Il a été mis en service en 2006.
- le tunnel reliant le Centre des congrès / Place Québec au stationnement de l'édifice Marie-Guyart.

Ces ouvrages, relativement superficiels (environ 5m sous le niveau de la voirie), ont été excavés et construits à ciel ouvert. Étant intégralement revêtus, ils ne permettent pas d'observer le roc encaissant.

4. RÉFÉRENCES

4.1 Données factuelles – RDG

Dans le cadre du projet, deux campagnes d'investigation géotechnique ont été réalisées : celles-ci ont fait l'objet des rapports suivants :

- Volet 1 :
 - a. Rapport d'étude géotechnique – Réseau structurant de transport en commun Lot 1 – Tramway – Tronçon 09 - Arrondissement Sainte-Foy – Sillery – Cap-Rouge, Québec – n°172-P-0018281-0-01-100-GE-R-0009, juillet 2020;
 - b. Rapport factuel d'étude géotechnique – Réseau structurant de transport en commun – Lot 2 – Tramway – Tronçon 10 – Arrondissement La Cité – Limoilou, Québec – n°172-P-0018281-0-01-101-GE-R-0010, juillet 2020;
- Volet 2 :
 - a. Rapport factuel d'étude géotechnique – Réseau structurant de transport en commun – Lot 1 – Tramway – Tronçon 10 – Tunnel - Arrondissement La Cité – Limoilou, Québec – n°172-P-0020929-0-01-100-GE-R-0010, juillet 2020.

4.2 Source d'informations géologique et géotechnique

- Carte – GM 66442 C015 – 21L14 – J. Nadeau, J. Brun, S. De Souza, A. Tremblay, 2012, MRNFQ;
- Carte – Géologie des Appalaches du Québec – Feuillet Sud-Ouest – Régions de la Montérégie, des Cantons-de-l'Est, du Centre-du-Québec et de Chaudière-Appalaches : A. Tremblay, S. De Souza, M. Perrot, R. Thériault, 2015, UQAM et MERNQ;
- Carte – Géologie simplifiée de la région de Québec : Castonguay S., et Nadeau L., 2012, Commission géologique du Canada, Dossier public 7086;
- *Analyse structurale et mise en place de la Nappe du Promontoire de Québec, Domaine externe des Appalaches du Québec*, Mémoire de maîtrise de T. Guyot, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, 2002;
- *Évolution tectonostratigraphique du domaine océanique des Appalaches du Sud du Québec dans son contexte PÉRI-LAURENTIEN*, Thèse de doctorat de S. De Souza, 2012, UQAM;
- *Structure et stratigraphie de la zone parautochtone des Appalaches Taconiennes dans la région de Québec*, Mémoire de maîtrise de F. Comeau, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, 2006;
- Rapport MB 94-40, Géologie de la région de Québec, de P. Saint-Julien, 1995, MRN Secteur mines en collaboration avec l'Université Laval (voir aussi DP-205 – 1973) et la carte associée : MB9440PLAN_1-15.
- *Present-Day Stress Analysis of the St. Lawrence Lowlands Sedimentary Basin (Canada) and Implications for Caprock Integrity During CO₂ Injection Operations* : E. Konstantinovskaya, M. Malo, D.A. Castillo (2012), Tectonophysics 518–521 (2012) 119–137.

4.3 Références techniques

- *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels – Civil Elements*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2009 – (FHWA);
- *Routine Interpretation of the Lugeon Water-Test*. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*. Houlby, A. C., 1976.
- *Geotechnical Baseline Reports for Construction – Suggested Guidelines* : Technical Committee on Geotechnical Reports of the Underground Technology Research Council, Second Edition, Randall J. Essex, ASCE, 2006

L'expérience des divers intervenants a également été considérée.

5. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

5.1 Mort-terrain

Le long du tracé du tunnel, une structure de chaussée se retrouve en surface. Cette structure repose sur une fondation granulaire caractérisée comme une pierre ou comme un gravier et sable concassé d'une épaisseur inférieure à 1 m, ou directement sur une couche de matériaux de remblai. Les matériaux de remblai sont composés de sable, de silt, de gravier et d'argile en proportions variables ainsi que de sol organique et de divers débris par endroits.

Sous le remblai ou la fondation granulaire, le sol naturel observé est décrit comme allant du silt sableux avec des traces de gravier à un gravier contenant un peu de sable et des traces d'argile.

L'épaisseur totale du mort-terrain est en moyenne de 2 m, mais il varie entre 0,6 m et 3,8 m.

5.2 Stratigraphie géologique

La géologie du roc au niveau de la colline parlementaire est définie comme une nappe de charriage. Elle est connue sous le nom de Nappe du Promontoire de Québec. Le roc formant cette nappe a subi des bouleversements tectoniques. L'orientation principale du mouvement des strates est dirigée vers l'ouest – nord-ouest, plus ou moins perpendiculairement au Fleuve Saint-Laurent.

La Figure 5-1 présente un extrait de la carte géologique régionale. Sur cette figure et selon St-Julien (MB 94-40 Géologie de la région de Québec, de P. Saint-Julien, 1995), la Nappe du Promontoire est divisée en deux (2) formations distinctes :

- La section colorée en bleu avec l'abréviation **Ovq** : Formation de la Ville de Québec;
- Les portions gris pâle, avec l'abréviation **Old** : Formation de la Citadelle.

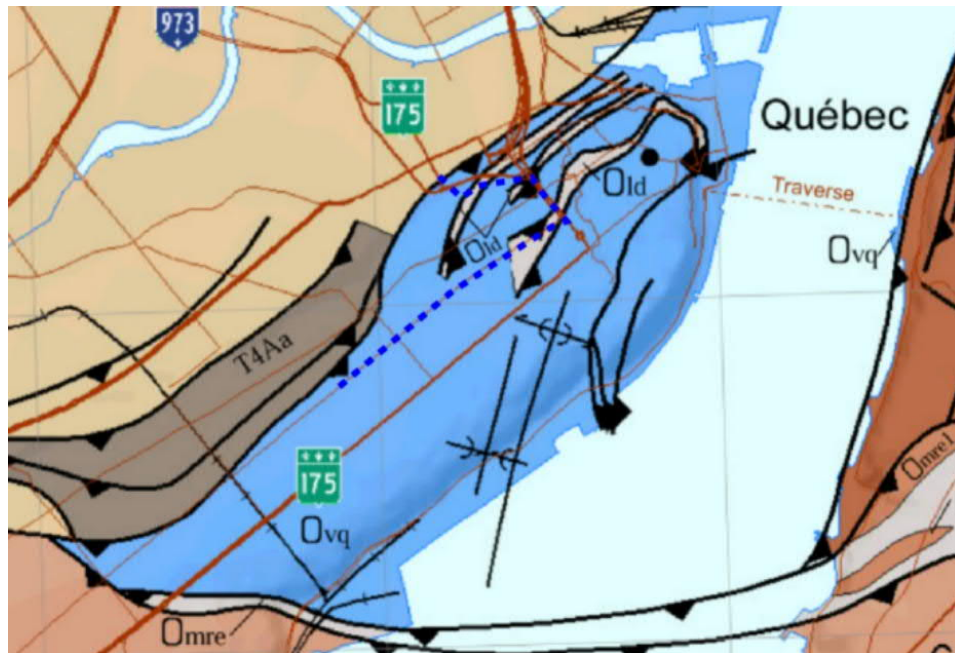


Figure 5-1 – Géologie régionale (SIGÉOM) – le tunnel est figuré par des tirets bleus

La zone de transition, en brun, est un mélange tectonique ou olistostrome identifié par l'abréviation T4Aa – associé au bouleversement de la zone de la faille de Logan.

Deux (2) Unités lithologiques sont considérées :

- Unité 1 (Ovq) : calcaire et shale;
- Unité 2 (Old) : shale, shale à blocs et de calcaire.

La zone T4A est incluse dans l'Unité 2. Les contacts lithologiques à prévoir entre les deux Unités sont les suivants :

- L'Unité 2 se trouve dans des chenaux creusés dans l'Unité 1;
- Le long des failles de chevauchement ou normales et latérales;
- L'Unité 2 s'est déposée normalement sur l'Unité 1.

5.2.1 Unité 1 – Ovq

L'Unité 1 est composée de calcaire argileux noir à gris foncé homogène ou finement laminé, de calcarénites, de shale noir et calcaireux, de lits de 0,05 à 5 m d'épaisseur avec des interlits de grès calcaireux à calcaire gréseux, ainsi que de calcaire conglomératique à bréchique.

5.2.2 Unité 2 – Old

L'Unité 2 englobe les roches associées à l'olistostrome (shale à blocs), les shales et calcaires et le mélange tectonique associé à la zone de la faille de Logan. L'Unité 2 correspond aux shales noirs, souvent pyriteux, parfois chaotiques, contenant des cailloux et des blocs de différentes tailles et d'une multitude de compositions. Les blocs sont composés de calcaires, de calcarénites, de shale, de cherts (quartz), de dolomites, de calcaire conglomératique et de calcaire mou. Il s'agit donc d'un dépôt sédimentaire chaotique dont la matrice est formée d'une boue consolidée s'apparentant au shale, très fissile par endroit.

5.3 Géologie structurale

La géologie structurale du secteur où sera construit le tunnel du Tramway est relativement complexe. Comme discuté précédemment, la Nappe du Promontoire est une nappe de charriage déplacée lors de la collision reliée à la formation des Appalaches au moment de l'orogénie Taconienne à Alléghénienne.

Cet évènement tectonique et les autres évènements qui se sont succédés par la suite (glaciation, extension) ont entraîné une série de failles et de discontinuités au sein de la masse rocheuse (Figure 5-2):

- failles inverses reliées au mouvement de charriage, dont la faille de Logan;
- failles normales et latérales;
- plis tectoniques.



Figure 5-2 – Géologie structurale (SIGÉOM) – le tunnel est figuré par des tirets bleus

5.4 Sismicité

La valeur moyenne de l'accélération maximale au roc pour différentes périodes de récurrence est donnée au Tableau 5-1. Ces valeurs ont été obtenues pour le site du futur tunnel du Tramway.

Tableau 5-1 – Accélération maximale - PGA - 2015

PROBABILITÉ DE DÉPASSEMENT SUR 50 ANS (%)	ACCÉLÉRATION MAXIMALE - PGA (g)
2	0,314
5	0,133
10	0,085
40	0,043

Données tirées du site de Ressources naturelles Canada
 (http://www.seismescanada.rncan.gc.ca/hazard-alea/interpolat/index_2015-fr.php)
 Coordonnées : Lat. : 46.809N Long. : 71.214W

6. CARACTÉRISTIQUES ET PROPRIÉTÉS GÉOMÉCANIQUES DES DÉPÔTS MEUBLES ET DE LA MASSE ROCHEUSE

6.1 Données considérées

Pour l'établissement des conditions des sols et de la masse rocheuse, seuls les résultats des forages le long du tracé ont été retenus. Il faut donc considérer que :

- À l'exception des sondages TW09-F-44 et TW09-F-45, les sondages du tronçon TW09 n'ont pas été inclus, puisqu'ils sont situés avant le début du tunnel;
- Les sondages TW10-F-23, TW10-F-26 et TW10-F-34 n'ont pas été utilisés puisqu'ils ont été arrêtés dans le remblai de surface sur des structures enfouies à faible profondeur et n'ont pas été repris ou déplacés;
- Seuls les forages refaits (-B) ont été considérés pour l'établissement des propriétés dans le cas des sondages TW10-F-15B et TW10-F-43B;
- Les sondages TW10-F-29 à TW10-F-33, TW10-F-46 à TW10-F-50 et TW10-F-54 sont considérés en dehors du tracé.

6.2 Conditions anticipées des dépôts meubles des trémies

Tous les sondages du tronçon TW-10 ont été réalisés au niveau de la rue. L'échantillonnage a donc débuté par un enrobé bitumineux et/ou du béton suivi d'une structure de chaussée reposant sur un remblai et/ou le sol naturel.

6.2.1 Trémie René-Lévesque

Selon les forages TW09-F-44 et TW10-F-45, TW10-F-01 à TW10-F-03, les sols rencontrés à la trémie René-Lévesque et à la tranchée couverte sont constitués d'un enrobé bitumineux en surface reposant sur la fondation granulaire et d'un remblai hétérogène, suivi d'un dépôt naturel silto-sableux et de roc. Le Tableau 6-1 résume les caractéristiques des sols rencontrés.

Tableau 6-1 – Dépôts meubles – Trémie René-Lévesque et tranchée couverte

Mort-terrain			
	Type	Épaisseur moyenne (m)	Notes
Surface	Structure de chaussée	0,3	
Fondation granulaire	Gravier concassé : de gravier et sable à sable avec un peu de gravier avec traces à un peu de silt	0,2	
Remblai	Gravier, sable, silt et argile en proportions variables	1,5	
Sol naturel	Gravier sableux à silt sableux avec un peu d'argile et de gravier	0,7	Compacité : lâche à compact
	(non retrouvé aux forages TW10-F-01 ET TW10-F-03)		

6.2.1.1 *Fondation granulaire*

La fondation granulaire retrouvée sous la structure de chaussée est composée d'un gravier et sable à un sable avec un peu de gravier, avec traces à un peu de silt. Il s'agirait d'un gravier concassé.

6.2.1.2 *Remblai*

Les matériaux de remblai hétérogènes sont composés de sable, de silt, de gravier et d'argile en proportions variables. Des débris et autres matières délétères ont été observés dans le remblai (se référer aux rapports de forages dans les RDG pour plus de détails).

6.2.1.3 *Sol naturel*

Le sol naturel n'a pas été rencontré aux forages TW10-F-01 et TW10-F-03. Au droit des autres forages, il est composé d'un gravier sableux et silteux à un silt sableux avec un peu d'argile et de traces de gravier. Le Tableau 6-2 résume les granulométries réalisées sur des échantillons de sol naturel.

Tableau 6-2 – Granulométrie du sol naturel – Trémie René-Lévesque

Échantillon	Gravier	Sable	Silt	Argile
TW09-F-45 0,91 à 1,52m	39	35	26	
TW10-F-01 1,75 à 2,36m	2	31	53	13

La compacité du sol naturel varie de lâche à compact. Un résumé des indices « N » obtenus dans cette couche de sol naturel est présenté au Tableau 6-3.

Tableau 6-3 – Compacité du sol naturel – Trémie René-Lévesque

Échantillon	Moyenne	Max	Min	Nombre
Indice « n »	17	24	7	4

NOTE : Les résultats proviennent des sondages TW09-F-44, TW09-F-45 ET TW10-F-02, puisqu'aucun sol naturel n'a été retrouvé aux forages TW10-F-01 et TW10-F-03.

À titre de paramètres de référence, le sol naturel sera composé d'un gravier sableux et silteux à un silt sableux avec un peu d'argile et de gravier. Les paramètres de référence pour les caractéristiques de ce matériau sont donnés au Tableau 6-2 et au Tableau 6-3.

6.2.2 *Trémie de la Couronne*

Selon les forages TW10-F-38 et TW10-F-39, les sols rencontrés à la trémie de la Couronne et à la tranchée couverte sont constitués d'un enrobé bitumineux en surface reposant sur la fondation granulaire ou sur une structure en bois et d'un remblai hétérogène, suivi d'un dépôt naturel et de roc. Le Tableau 6-4 résume les caractéristiques des sols rencontrés.

Tableau 6-4 – Dépôts meubles – Trémie de la Couronne et tranchée couverte

Mort-terrain			
	Type	Épaisseur moyenne (m)	Notes
Surface	Structure de chaussée	0,35	
Fondation granulaire	Gravier concassé : gravier sableux avec un peu de silt	0,2	non retrouvé au forage TW10-F-38
Remblai	Sable, gravier, silt et argile en proportions variables et silt organique sableux	1,3	
Sol naturel	Gravier sableux à silt sableux avec un peu d'argile et de gravier	0,3	non retrouvé aux forages TW10-F-01 et TW10-F-03 Compacité : lâche à compact

6.2.2.1 Fondation granulaire

Une fondation granulaire a été retrouvée sous l'enrobé bitumineux du sondage TW10-F-39 mais pas au sondage TW10-F-38. La fondation est décrite comme un gravier sable avec un peu de silt. Il s'agirait d'un gravier concassé.

6.2.2.2 Remblai

Sous l'enrobé bitumineux au forage TW10-F-38, une structure en bois d'une épaisseur de 230 mm a été échantillonnée. Sous cette structure, les matériaux de remblai se composaient de sable avec différentes proportions de silt, de gravier et d'argile. Des débris et autres matières délétères ont été rencontrés dans le remblai (se référer aux rapports de forages dans les RDG pour plus de détails).

Un remblai de sol organique sableux avec des débris de bois a été rencontré sous la fondation granulaire au TW10-F-39.

6.2.2.3 Sol naturel

Le remblai de sol organique devient une tourbe et un silt organique au droit du forage TW10-F-39 jusqu'à 1,52 m de profondeur.

Sous la tourbe et les matériaux de remblai, le sol naturel est par la suite composé d'un sable graveleux avec un peu de silt à un sable et silt. Le Tableau 6-5 résume les granulométries réalisées sur des échantillons de sol naturel.

Tableau 6-5 – Granulométrie du sol naturel – Trémie de la Couronne

Propriété/ indice	Gravier	Sable	Silt	Argile
TW10-F-38 2,44 à 3,05m	21	65		14

En incluant les indices de compaction dans la tourbe, la compacité du sol naturel varie de lâche à compact. Un résumé des indices « N » obtenus dans cette couche de sol naturel est présenté au Tableau 6-6.

Tableau 6-6 – Compacité du sol naturel – Trémie de la Couronne

Propriété/ indice	Moyenne	Max	Min	Nombre
indice « n »	10	15	5	5

À titre de paramètres de référence, le sol naturel sera composé d'un sable graveleux avec un peu de silt, d'un sable et silt, ainsi que d'un sol organique. Les paramètres de référence pour les caractéristiques de ce matériau sont donnés au Tableau 6-5 et au Tableau 6-6.

6.3 Stratigraphie géologique et profil du socle rocheux

La stratigraphie géologique interprétée et les élévations des profils de référence du socle rocheux et de la nappe phréatique sont présentées sur les plans à l'ANNEXE A – Profil géologique du TW10. Ces profils sont basés sur les interprétations des données des rapports de forage ainsi que sur les interprétations réalisées avec les données géologiques provenant des rapports et des cartes géologiques publiés.

Le profil géologique interprété représente une stratigraphie de référence et peut être utilisé pour anticiper les conditions souterraines et à ciel ouvert. Les limites stratigraphiques montrées sur le profil doivent être considérées comme une transition entre les unités rocheuses et les unités de sols et non comme des contacts exacts. Étant donné que ces limites ont été interpolées entre les forages, la position réelle de la limite stratigraphique variera par rapport à celle qui est montrée sur le profil.

La stratigraphie du socle rocheux comprend le roc fracturé de surface et le roc des Unités 1 et 2. Le roc désagrégé, les cailloux et les blocs localisés au-dessus ou adjacents ne sont pas considérés faisant partie de la masse rocheuse, le roc désagrégé étant assimilable à un sol.

Pour les paramètres de référence, considérer que le profil géologique est applicable dans la limite du gabarit des ouvrages souterrains. Il faut par ailleurs présumer que l'élévation du profil du socle rocheux peut varier entre 2 m au-dessus et 2 m au-dessous du profil indiqué sur les plans de l'ANNEXE A – Profil géologique du TW10.

6.4 Propriétés physiques et géomécaniques de la roche intacte

Cette section présente une description sommaire ainsi que les caractéristiques géomécaniques des formations géologiques attendues lors de l'excavation des ouvrages. Les paramètres de référence sont établis pour chaque Unité.

Tel qu'énoncé à la section 5.2, la stratigraphie prévue le long du tunnel est divisée en 2 Unités distinctes :

- Unité 1 – Ovq;
- Unité 2 – Old.

Les résultats des essais *in-situ* et en laboratoire sur la roche intacte sont présentés dans les RDG.

6.4.1 Unité 1 – Ovg

Le Tableau 6-7 présente une synthèse des résultats obtenus pour le calcaire et le shale calcaireux qui composent le roc de l'Unité 1. Les histogrammes des résultats des essais en compression simple et de tension indirecte (Brésilien) sont présentés à l'ANNEXE B – Histogrammes du présent rapport. Dans le cadre des essais, certains résultats n'ont pas été retenus :

- Pour les essais en compression simple, les échantillons dont la rupture est survenue le long d'une surface de discontinuités préexistantes ont été retirés des résultats;
- Les valeurs extrêmes de résistance en compression simple n'ont pas été utilisées, soit celles supérieures à 200 MPa et celles inférieures à 45 MPa.

6.4.1.1 Paramètres et propriétés physiques et géomécaniques

Le Tableau 6-7 présente les propriétés physiques et géomécaniques de la roche intacte pour l'Unité 1.

Tableau 6-7 – Propriétés physiques et géomécaniques de l'Unité 1

Essai	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart-type	Nombre d'essais
Poids volumique (kN/m ³)	26,4	26,0	26,8	0,3	16
Résistance en compression simple (MPa)	102	48	195	38	54
Résistance en tension indirecte (Brésilien) (MPa)	8,2	1,6	13,1	2,9	26
Module de Young (GPa)	53	32	74	16	5
Coefficient de Poisson	0,23	0,18	0,28	0,04	5
Abrasivité Cerchar	0,59	0,48	1,38	0,20	24
Quartz équivalent (%)	8	1	27	9	7
Essai de durabilité Slake	96,8	89,8	99,5	3,7	6
Indice IPPG	50	50	50	0	9

Note : Le nombre d'essais correspond uniquement aux résultats utilisés.

Les résultats des essais en laboratoire présente un indice pétrographique du potentiel de gonflement moyen à élevé (IPPG de 50) et un niveau de pyrite résiduel faible à extrêmement élevé (se référer aux rapports de forages dans les RDG pour plus de détails).

Le pourcentage de quartz équivalent est calculé à partir de la description minéralogique d'échantillons en lames minces. La valeur maximale de quartz équivalent de 27 % a été obtenue sur un échantillon de calcaire gréseux et conglomératique.

Les paramètres de référence d'excavabilité à considérer pour la résistance à la compression simple et pour l'indice de l'abrasivité Cerchar sont indiqués au Tableau 6-8. Ils ont été déterminés à partir des résultats des essais en laboratoire retenus.

Tableau 6-8 – Paramètres de référence pour l’excavabilité de l’Unité 1

Essai	Paramètre de référence
Résistance à la compression simple (MPa)	140
Abrasivité Cerchar	1,38

À titre de paramètre de référence, le Partenaire Privé doit aussi considérer les occurrences de lits de résistance à la compression entre 140 et 200 MPa suivantes :

- 3 occurrences de 3,0 m d’épaisseur qui s’étendent sur 50 m chacune de façon longitudinale;
- 5 occurrences de 4,5 m d’épaisseur qui intercepteront le tunnel de façon transversale sur toute sa section.

6.4.2 Unité 2 – Old

Le Tableau 6-9 présente une synthèse des résultats obtenus pour le calcaire et le shale calcaireux qui composent le roc de l’Unité 2. Les histogrammes des résultats des essais en compression simple et de tension indirecte (Brésilien) sont présentés à l’ANNEXE B – Histogrammes du présent rapport.

Tous les essais ont été retenus dans le cas de l’Unité 2. Des résultats d’essais de compression uniaxiale ont été terminés en deçà des 2 minutes requises par la norme ASTM D7012. Comme précisé dans le RDG, les essais ont été considérés comme adéquats puisqu’ils sont des échantillons représentatifs de l’état du roc de l’Unité 2.

6.4.2.1 Paramètres et propriétés physiques et géomécaniques

Le Tableau 6-9 présente les propriétés physiques et géomécaniques de la roche intacte pour l’Unité 2.

Tableau 6-9 – Propriétés physiques et géomécaniques de l’Unité 2

Essai	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart-type	Nombre d’essais
Poids volumique (kN/m ³)	25,4	25,1	26,0	0,3	10
Résistance en compression simple (MPa)	21,0	4,5	55,3	14,7	21
Résistance en tension indirecte (Brésilien) (MPa)	4,2	0,9	7,6	2,7	9
Module de Young (GPa)	19,8	16,1	27,0	6,3	3
Coefficient de Poisson	0,17	0,08	0,35	0,15	3
Abrasivité Cerchar	0,61	0,48	0,86	0,60	6
Quartz équivalent (%)	7	3	10	3	4
Essai de durabilité Slake	96,6	95,4	97,8	1,2	3
Indice IPPG	75	50	100	25	5

Note : Le nombre d’essais correspond uniquement aux résultats utilisés.

Les résultats des essais en laboratoire présente un indice pétrographique du potentiel de gonflement moyen à extrêmement élevé (IPPG de 50 à 100) et un niveau de pyrite résiduel élevé à extrêmement élevé (se référer aux rapports de forages dans les RDG pour plus de détails).

Les paramètres de référence de stabilité pour la résistance à la compression simple et pour l'indice de l'abrasivité Cerchar sont indiqués au Tableau 6-10. Ils ont été déterminés à partir des résultats des essais en laboratoire retenus.

Tableau 6-10 – Paramètres de référence de l'excavabilité de l'Unité 2

Essai	Paramètre de référence
Résistance à la compression simple (MPa)	4,5
Abrasivité Cerchar	0,86

6.5 Conditions anticipées de la masse rocheuse

6.5.1 Comportement géomécanique

Deux (2) types de comportements de la masse rocheuse pendant l'excavation en pleine face sans soutènement sont identifiés. Les types de comportements sont définis en fonction des caractéristiques de la masse rocheuse considérant les propriétés physiques et géomécaniques, les conditions des eaux souterraines, les contraintes et l'orientation des principales familles de litage et des discontinuités par rapport à la structure et à la direction du tunnel.

6.5.1.1 Unité 1 – Ovq

Cette Unité consiste en un massif ayant une stratification inclinée et découpée par des discontinuités.

Le comportement géomécanique à prévoir est associé aux glissements, aux basculements et au détachement de blocs et de dièdres. La conception du soutènement et du revêtement doit considérer la disposition, l'interaction et les caractéristiques géomécaniques des discontinuités (joints et litage), produisant ainsi des charges verticales, horizontales et inclinées.

6.5.1.2 Unité 2 – Old

Cette unité est constituée d'un massif de nature fragmentée (*blocky and seamy*). Les morceaux de cette Unité, formés par des espacements de joints et litages rapprochés, ne sont ni interconnectés ni emboîtés. Cette Unité de plus faible résistance mécanique a subi les plus gros dommages reliés au mouvement tectonique de la masse rocheuse. Les discontinuités peuvent être fermées ou comblées par des produits d'altération et de remplissage.

Le comportement de la masse rocheuse est caractérisé par une rupture par cisaillement le long des discontinuités au niveau de la couronne et des parois verticales du tunnel. En raison des mouvements le long des discontinuités, la masse rocheuse est relâchée et des charges de roc verticales et horizontales sont activées.

Considérant ce type de comportement, il faut prendre en considération l'étendue des charges assimilables à un matériau correspondant à un comportement de «slow raveling selon la classification «Tunnelman » (Heuer 1974).

6.5.2 **Contraintes in-situ**

Le mouvement tectonique frontal (*frontal thrusts*) de la ceinture de plis et de failles du front appalachien (*Appalachian fold and thrust belt*) est à l'origine des contraintes *in-situ* dans les formations du Promontoire de Québec.

Les analyses réalisées par E. Konstantinovskaya et al. (4.2) ont indiqué que la magnitude des contraintes *in-situ* est gravitaire.

Sur la base de ces travaux, **un ratio de l'ordre de K_o ($\sigma_{h\ max}/\sigma_v$) de 2 doit être considéré comme paramètre de référence.**

6.5.3 **Failles du site**

Des failles de chevauchement sont présentes (voir la carte géologique de la Figure 5-2).

À l'exception des excavations dans les trémies, il faut prévoir, en tunnel et en stations souterraines, sept (7) zones de cisaillement et failles de chevauchement dans l'Unité 2.

La faille de Logan atteint 150 m de largeur et se retrouve depuis l'ascenseur du Faubourg (à l'intersection des rues de la Couronne et de la Côte d'Abraham), jusqu'à l'intersection de la rue Sainte-Hélène avec rue de la Couronne.

Le comportement du matériau composant les failles correspond à l'Unité 2.

6.5.4 **Litages et joints structuraux**

Le pendage et la direction du pendage des joints et du litage dans le massif rocheux sont déterminés à partir des relevés par géocaméra des forages TW10-Fi-114 à TW10-F-125 et de leur interprétation dans les RDG.

Des données divergentes ont été rejetées dans chacun des sondages TW10-F-114, TW10-F-115 et TW10-Fi-120.

La Figure 6-1 présente le stéréonet des litages. La variation des orientations des litages tend à démontrer la présence de plis majeurs (voir Figure 5-2).

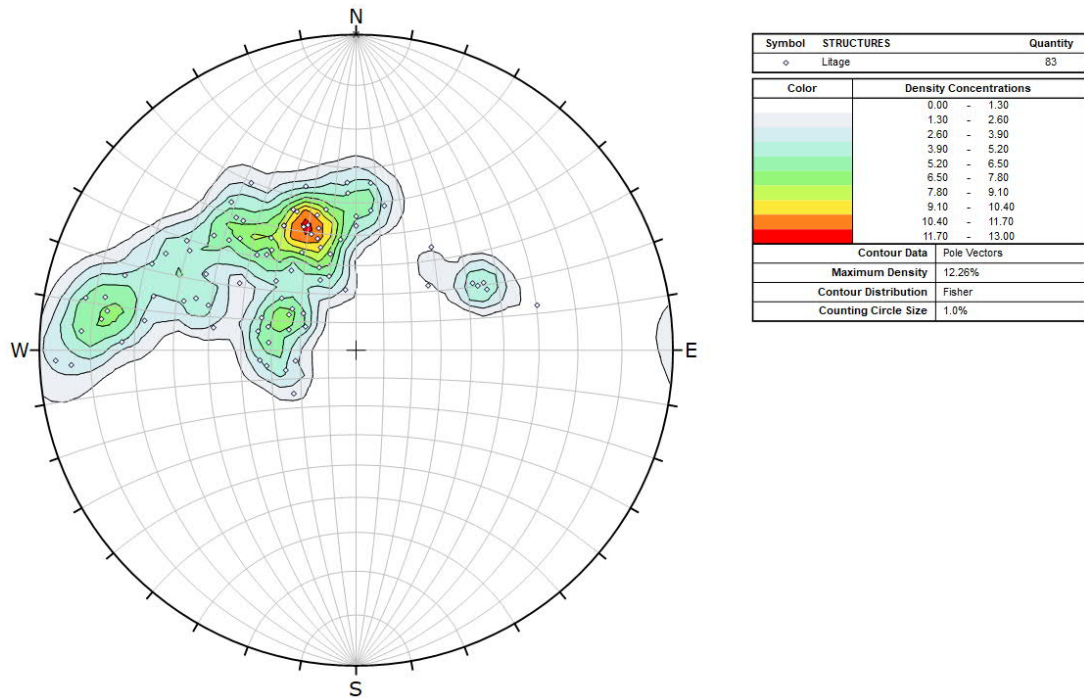


Figure 6-1 – Stéréonet des pôles des litages

La Figure 6-2 présente le stéréonet de tous les pôles des discontinuités (set joints) selon la convention pendage/direction du pendage.

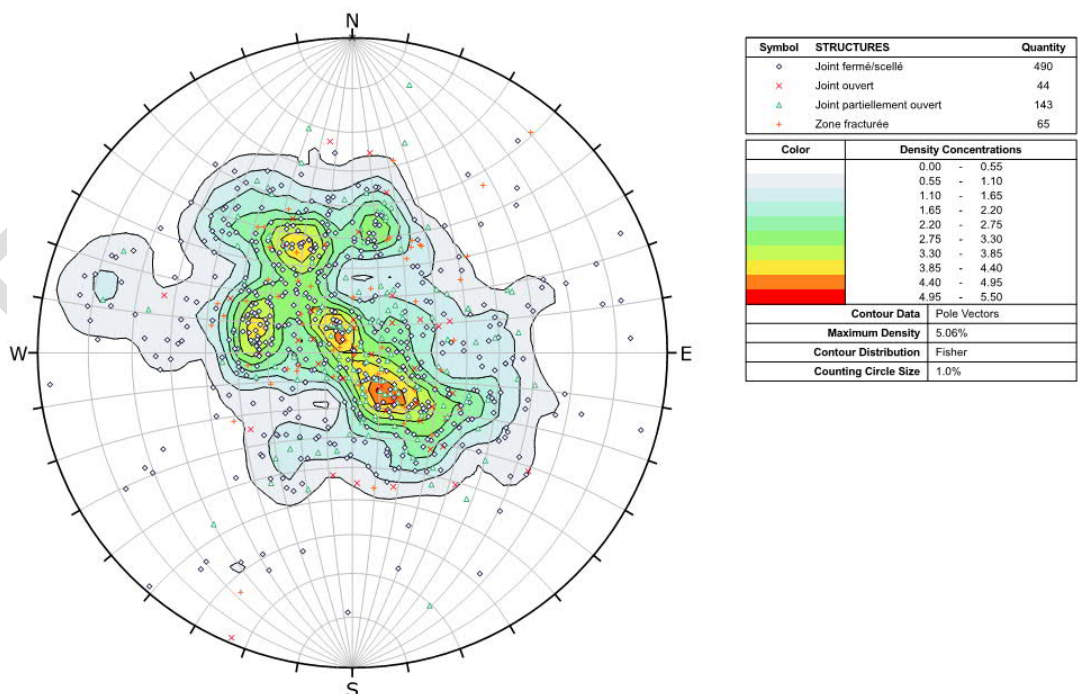


Figure 6-2 – Stéréonet des pôles des discontinuités

L'interprétation géostructurale et la détermination des familles de discontinuités sont la responsabilité du Partenaire Privé.

6.6 Caractéristiques des discontinuités

Les histogrammes des différentes caractéristiques des discontinuités, lesquels sont présentés aux pages suivantes, sont basés sur les résultats des relevés structuraux dont les détails se trouvent dans les RDG.

Ces histogrammes des caractéristiques des discontinuités résument l'information contenue dans les relevés structuraux. Toutefois, la responsabilité de la classification géomécanique du massif rocheux revient au Partenaire Privé.

Il faut souligner que les forages ont été réalisés majoritairement verticalement. Quatre (4) forages ont été réalisés à angle, dans l'axe des rues, pour permettre d'avoir une meilleure appréciation des joints subverticaux. Le Partenaire Privé doit donc considérer le biais des résultats suivants dû à la surreprésentation de données provenant des forages verticaux.

6.6.1 Espacement des joints

L'espacement des joints correspond à l'espacement moyen par course de tous les types de discontinuités du massif rocheux, peu importe leur orientation et leur cause. La Figure 6-3 présente la distribution de l'espacement des joints. Aucune correction n'a été faite pour tenir compte de l'inclinaison de certains forages.

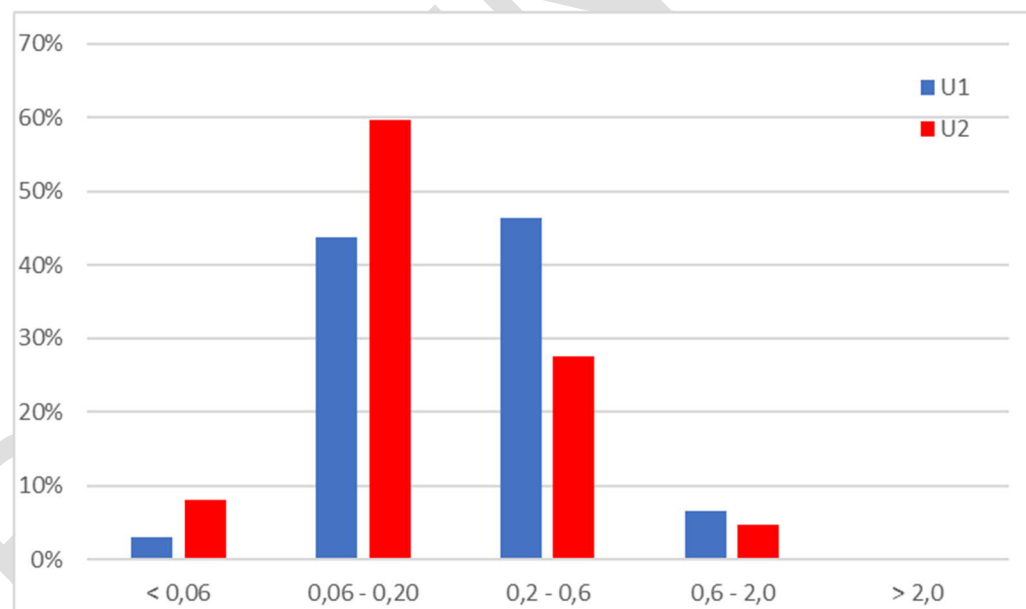


Figure 6-3 – Espacement entre les discontinuités par rapport à l'axe de la carotte

6.6.2 Angle des joints

La Figure 6-4 présente l'historgramme de la répartition des angles des forages TW10-Fi-113 à TW10-F-125. Toutes les discontinuités et veines sont considérées dans cet histogramme. Chaque angle est par rapport à la verticale. Une correction a été réalisée pour rapporter à la verticale l'angle des discontinuités des forages inclinées (TW10-Fi-113, TW10-Fi-116, TW10-Fi-120 et TW10-Fi-124).

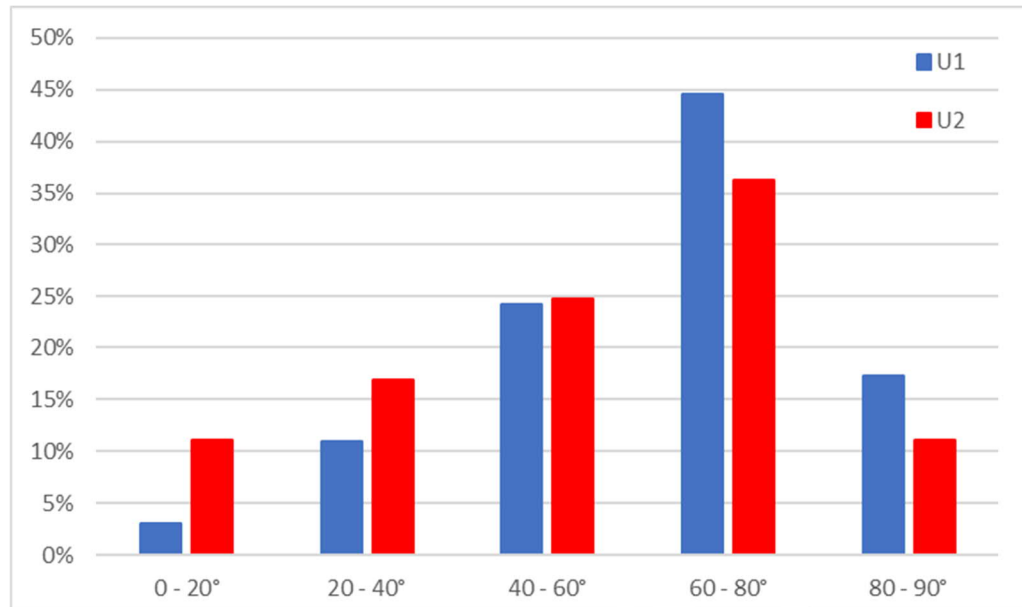


Figure 6-4 – Angle des discontinuités par rapport à l'axe de la carotte (verticale)

6.6.3 *Forme des joints*

La Figure 6-5 présente l'histogramme de la répartition des différentes formes de toutes les discontinuités des forages TW10-Fi-113 à TW10-F-125.

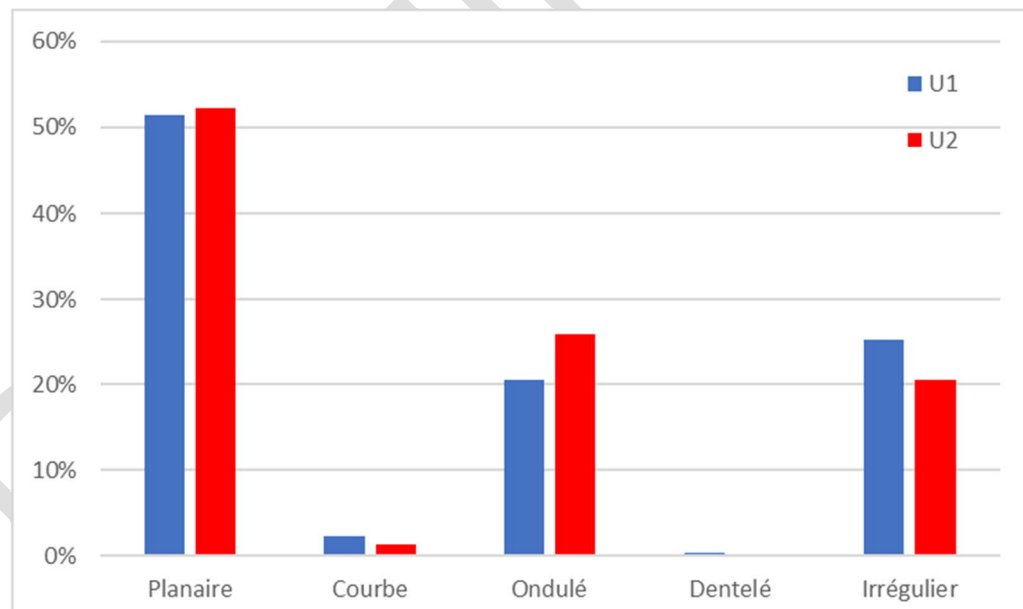


Figure 6-5 – Forme des discontinuités

6.6.4 *Ouverture des joints*

La distribution des ouvertures des discontinuités des forages TW10-Fi-113 à TW10-F-125 est présentée à la Figure 6-6. Cette distribution inclut les ouvertures des discontinuités et l'espacement des zones de roc fracturé (ZF) dans les descriptions structurales.

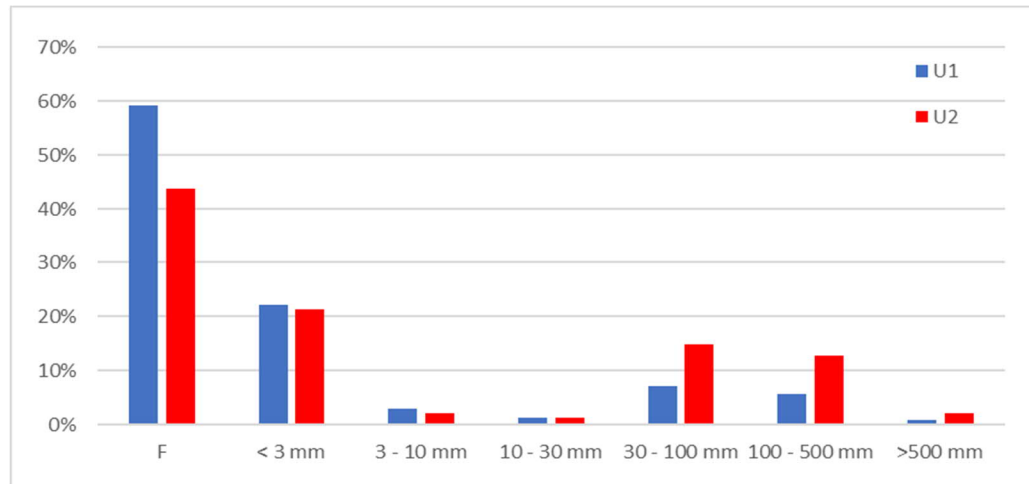


Figure 6-6 – Ouverture des discontinuités

Les ouvertures de plus de 500 mm correspondent toutes à des zones fracturées et se retrouvent essentiellement dans le roc de l'Unité 2. Il faut toutefois souligner ces emplacements dans le roc de l'Unité 1:

- TW10-F-115 : 1380 mm de roc fracturé à 4,31 m de profondeur
- TW10-Fi-116 : 580 mm de roc fracturé à 17,03 m de profondeur
- TW10-Fi-117 : 1010 mm de roc fracturé à 1,57 m de profondeur (roc de surface)
- TW10-Fi-120 : 570 mm de roc fracturé à 36,15 m de profondeur
- TW10-F-122 : 500 mm de roc fracturé à 19,55 m de profondeur
- TW10-F-125 : 3110 mm de roc fracturé à 25,29 m de profondeur et 540 mm de roc fracturé à 31,86 m de profondeur

6.6.5 Remplissage et altération des discontinuités

L'histogramme de la Figure 6-7 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente le remplissage ou l'altération des discontinuités des forages TW10-Fi-113 à TW10-F-125. Les discontinuités ouvertes sont remplies par endroit d'argile ou de sable. Les surfaces des discontinuités sont plaquées de calcite, de quartz ou de sulfures, ou elles sont oxydées.

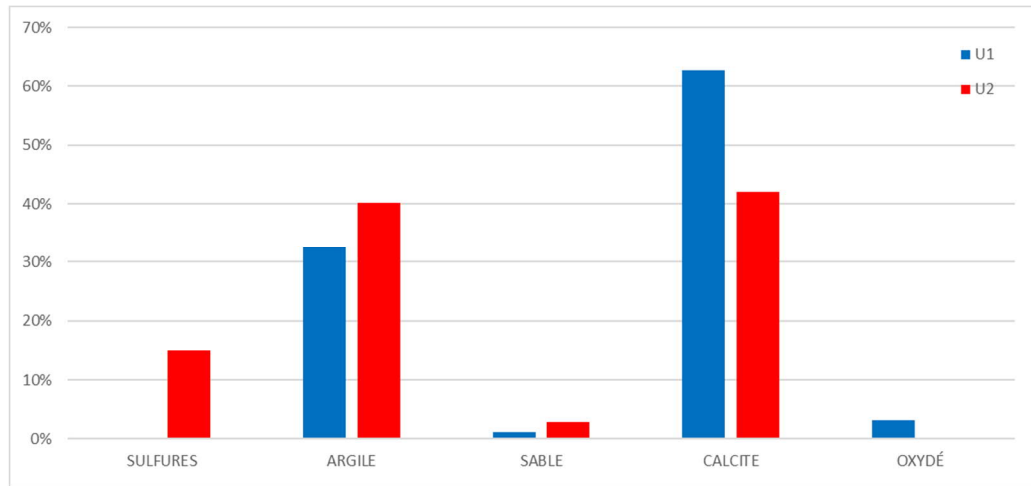


Figure 6-7 – Remplissage des discontinuités

6.6.6 Rugosité des joints

L'histogramme de la Figure 6-8 présente la rugosité des discontinuités des forages TW10-Fi-113 à TW10-F-125.

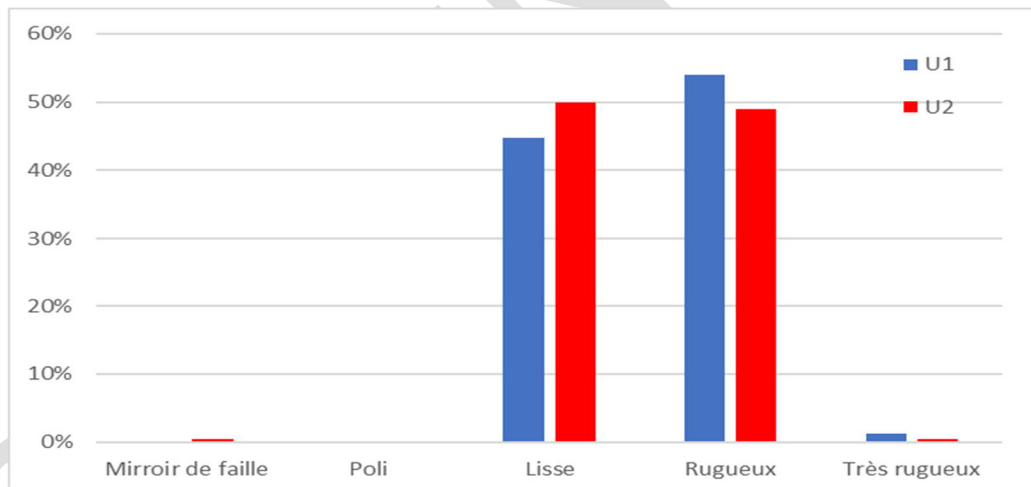


Figure 6-8 – Rugosité des discontinuités

6.6.7 Indice RQD

L'histogramme de la Figure 6-9 présente les indices RQD (*Rock Quality Design*) des courses de tous les forages.

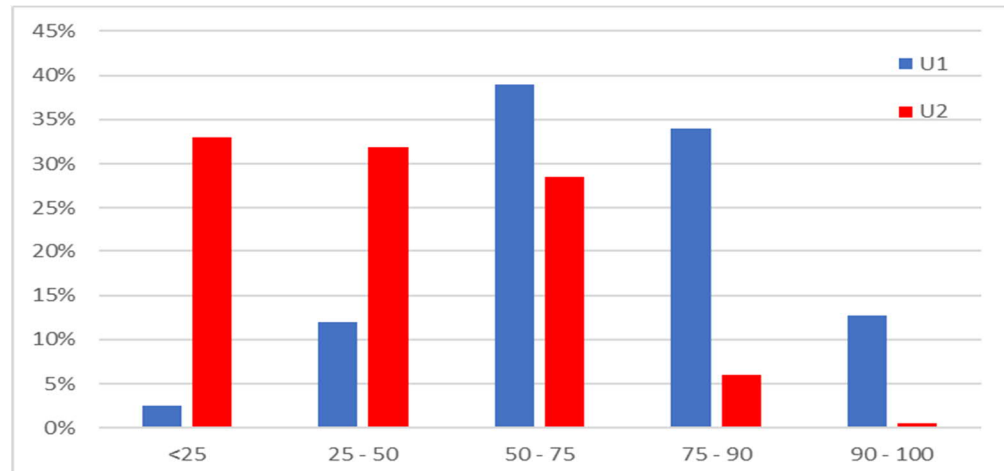


Figure 6-9 – Indices RQD (Rock Quality Design)

Quatre-vingt-six pour cent (86 %) des RQD de l'Unité 1 sont supérieurs à 50 % tandis que 65 % des RQD de l'Unité 2 sont inférieurs à 50 %.

Une épaisseur de roc de mauvaise qualité (RQD < 50 %) est à prévoir en surface pour le roc de l'Unité 1. Cette épaisseur de roc est en moyenne de 1,5 m, variant de 0,6 m à 2,9 m.

L'Unité 2 doit être considérée comme étant de mauvaise qualité (RQD < 50 %).

6.7 Conditions des eaux souterraines

Pour les calculs d'infiltration d'eau, la pression hydrostatique et l'évaluation des besoins de pompage à court terme et à long terme, le Partenaire Privé doit considérer, comme paramètre de référence, que le niveau de la nappe se situe 2 m au-dessus du niveau indiqué au profil de référence ou au niveau de la surface dans l'ANNEXE A – Profil géologique du TW10.

6.7.1 Conductivité hydraulique

La Figure 6-10 présente les conductivités hydrauliques du roc indépendamment de la profondeur.

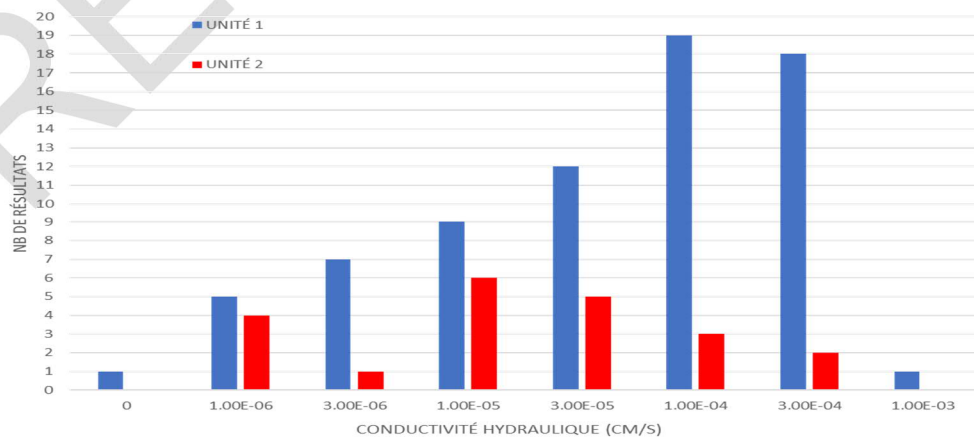


Figure 6-10 – Conductivité hydraulique

L'évaluation des débits d'infiltration est la responsabilité du Partenaire Privé.

7. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA CONCEPTION

Les exigences de conception ainsi que les codes et normes à appliquer sont spécifiés dans les documents du devis technique.

On rappellera que la méthodologie de conception ainsi que les méthodes de construction doivent tenir compte, sans s'y limiter, des considérations suivantes :

- La présence à proximité des futures zones d'excavation d'un bâti dense, d'infrastructures souterraines majeures, de conduites municipales structurantes, tous de nature sensible aux perturbations vibratoires;
- Le respect des contraintes relatives aux méthodes de soutènement temporaire et d'excavation afin d'éviter les tassements différentiels et de maintenir le niveau des nappes phréatiques au niveau existant avant les travaux;
- La variabilité et l'irrégularité du profil de la surface du roc et de la stratigraphie des sols et du roc.
- La variabilité de la qualité de la masse rocheuse considérant son comportement en excavation et à long terme;
- La présence identifiée de pyrite et d'un potentiel de gonflement du roc;
- Le risque de dégagement d'odeurs nauséabondes dans les volumes publics des tunnels et des stations, notamment concernant les solutions de revêtement étanche ou drainant et d'épuisement des eaux.
- L'objectif de durabilité et de fonctionnalité des ouvrages, notamment concernant les solutions de revêtement étanche ou drainant et d'épuisement des eaux.

8. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À LA CONSTRUCTION

Les contraintes du site, les codes et les normes exigées ainsi que les exigences construction sont spécifiés dans les devis. Les considérations majeures pour la construction sont rappelées ci-après.

8.1 Considérations générales

Concernant le choix des méthodes de construction, les principaux enjeux à considérer, et sans s'y limiter, sont les suivants :

- Stratigraphie du site :
 - Le profil du roc est irrégulier et l'expérience tirée d'autres projets a indiqué que les dépressions sont remplies de matériaux granulaires avec des venues d'eau potentielles;
 - Fluctuation du couvert rocheux et de la qualité variable du roc;
 - Présence de roc broyé et fissuré (failles);
 - Présence de mort terrain au toit (trémies et tranchées couvertes).
- Eau souterraine :
 - Variation du niveau de la nappe dans le temps et par endroit;

- Variation des pressions hydrostatiques;
- Présence de nappes perchées.
- Gaz explosifs :
 - Du gaz explosif ou nocif peut provenir du roc. Quoique ce risque n'ait pas été identifiée dans les campagnes d'investigations précédentes, **les travaux souterrains doivent donc être considérés comme ayant lieu dans un environnement potentiellement gazeux (*Potentially Gassy* – OSHA 3115-06R).**
 - S'il y a du gaz, il ne devrait être rencontré que sous forme de poches disparates. Toutes les mesures doivent être prises pour évaluer les risques au fur et à mesure de l'excavation. Une vigilance particulière doit être adoptée pour limiter les risques d'explosion.
 - **À titre de paramètres de référence, prévoir, sur toute la longueur du tunnel, 20 occurrences de temps d'attente de 4 heures pendant lesquelles une ventilation adéquate est mise en place dans le tunnel et les puits pour permettre de diminuer la concentration sous la limite de dangerosité.**
- Structures avoisinantes : la construction du Tramway doit être réalisée tout en garantissant l'intégrité des structures présentes dans la zone d'influence des travaux. Certaines de ces structures se situent au-dessus même du tunnel ou à proximité immédiate : infrastructures municipales (égout, collecteur unitaire, aqueduc), ouvrage Dufferin, tunnels piétonniers, débarcadère du Centre des congrès, stationnements souterrains (Place d'Youville et immeuble numéro 760, Honoré Mercier). La construction doit être adéquatement planifiée pour ne pas endommager ces structures ;
- Nuisances vibratoires et sonores : en plus des exigences d'intégrité structurelle, les travaux à proximité du Grand Théâtre de Québec et de l'INRS sont assujettis à des contraintes plus strictes, compatibles avec la non-interruption des activités de ces lieux.

8.2 Considérations par méthode d'excavation

En plus des considérations précédemment citées, les différentes méthodes de construction envisageables doivent tenir compte, sans s'y limiter, des considérations suivantes :

8.2.1 *Forage et dynamitage*

L'excavation par forage-sautage en milieu urbain comporte, sans s'y limiter, les enjeux suivants :

- Un avancement limité par :
 - La qualité du roc;
 - Les niveaux limites de vibrations, surpressions d'air et de bruit;
 - La mise en place de soutènement temporaire après chaque sautage.
- La gestion des plaintes des résidents ou propriétaires institutionnels concernant les vibrations et bruits provoqués par les sautages;
- Le risque de migration des fumées d'explosion vers des sous-sols d'habitation;
- Les risques de projection de fragments de roc;
- La pression d'eau souterraine pouvant causer des problématiques lors des sautages;

- Des bris hors profil dû à la qualité du roc et à la fracturation du massif par les explosifs.

8.2.2 *Excavation par haveuse*

L'excavation par haveuse en milieu urbain comporte, sans s'y limiter, les enjeux suivants :

- L'avancement limité par :
 - La qualité du roc;
 - La mise en place de soutènement temporaire après chaque phase de havage.
- L'influence des propriétés mécaniques du roc : le taux de havage et la consommation des pics sont directement liés à l'état du massif rocheux (épaisseur des lits/intrusifs, résistance et abrasivité de la roche);
- La portée verticale : selon le type de haveuse utilisé, des excavations en banquettes et l'utilisation de rampes (en remblais) sont nécessaires pour les grandes ouvertures;
- La manœuvrabilité réduite : des surexcavations peuvent être requises particulièrement dans les tournants, dans les coins et les corridors;
- La mobilité réduite : selon le type de haveuse, les déplacements requis limitent les activités parallèles, spécialement s'il n'y a pas suffisamment d'espace pour permettre le passage des autres équipements ou véhicules.

8.2.3 *Excavation par tunnelier*

Dans le cas d'une excavation au tunnelier, il faut considérer :

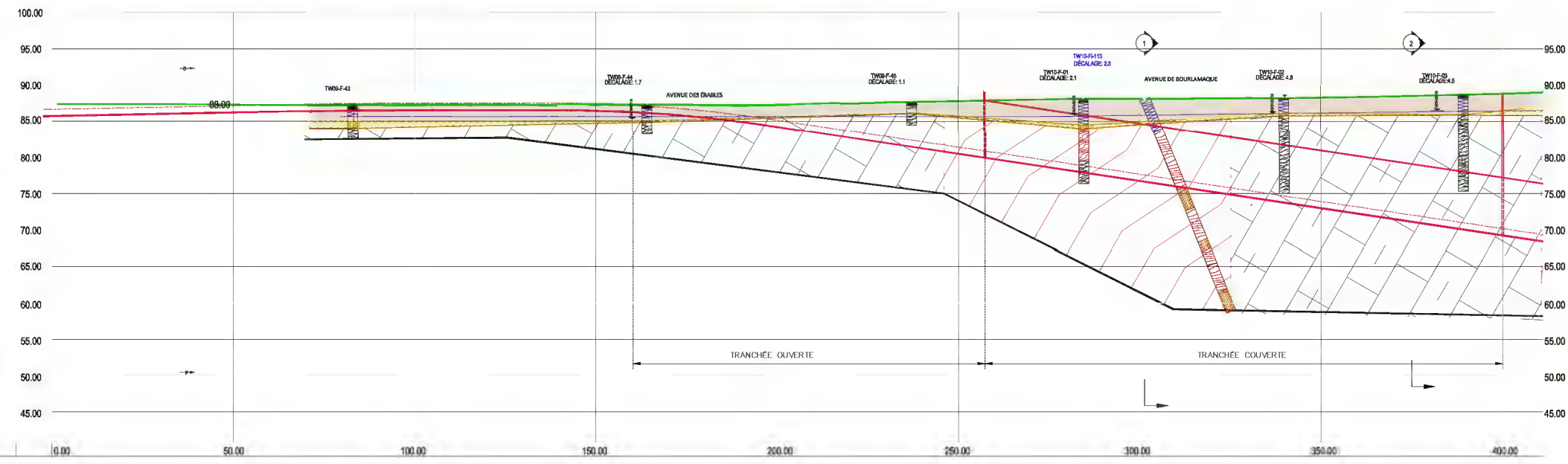
- La présence de blocs à l'interface sol/roc au cas où le tunnelier traverse l'interface sol/roc;
- La gestion des plaintes des riverains concernant les vibrations, le bruit et la circulation importante de camions;
- La gestion des déblais de boue possiblement contaminés;
- Dans le cas des tunneliers ouverts, l'avancement sera limité par la mauvaise adhésion au roc du dispositif de poussées puisque celui peut être insuffisant pour permettre la poussée.
- Pour les tunneliers fermés, il faut considérer, entre autres, la variation de la hauteur de la nappe pour assurer la pression adéquate des boues et l'usure des molettes.

ANNEXE A – Profil géologique du TW10

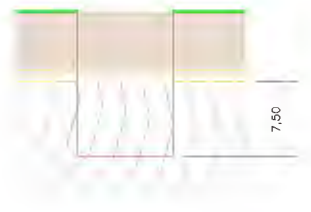




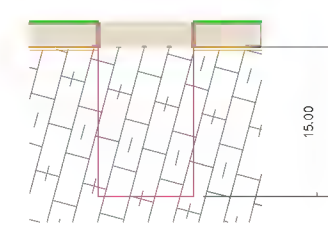
VUE EN PLAN
1:500



PROFIL EN LONG
1:600 / 1:250



1 Coupe CH. 302.00
ÉCHELLE : 1:250



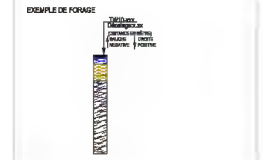
2 Coupe CH. 375.00
ÉCHELLE : 1:250

1. Pour l'implémentation du tunnel, des stations et des ouvrages adjacents, se référer au PLAN/PROFIL « Structures » 112A-TUN-PLN-0111 & 112A-TUN-PRO-0111
2. Pour les coupes géotechniques des ouvrages, se référer aux plans :
- 111-2-010100-01-01-01-01-01 (1/200)
 - 111-2-010100-01-01-01-01-02 (1/200)
 - 111-2-010100-01-01-01-01-03 (1/200)

- LÉGENDE :
- FORAGE TW10-F-01 - VALET 1
 - FORAGE TW10-F-02 - VALET 2
 - FORAGE TW10-F-03 - VALET 2
 - DIRECTION DU PONDAGE ET PONDAGE DU LITAGE (?)
 - DIRECTION ET PENTE (N) DU TUNNEL

STRATIGRAPHIE	
FORAGES	PROFIL
■ SABLEUR	■ MONT TERREIN
■ SABLEUR	
■ SABLEUR	
■ SABLEUR	
■ SABLEUR	
■ SABLEUR	
■ ROC DÉMARRÉ EN SURFACE	
■ CALCAIRE	■ UNITÉ 1 - O1
■ SHALE	■ UNITÉ 1 - O2
■ CALCAIRE	■ UNITÉ 2 - O1
■ SHALE	■ UNITÉ 2 - O2

- LEGNE :
- NIVEAU DE LA SURFACE DU ROC
 - NIVEAU DE LA NAPPE PHÉAÏTIQUE
 - SURFACE DU TERREIN



PROJET DE RÉFÉRENCE
TUNNEL HAUTS-VILLE
VUE EN PLAN ET PROFIL EN LONG
GÉOTECHNIQUE
FEUILLET 1/8

PROJET :	
CLIENT :	
DATE :	
ÉCHELLE :	
PROJETÉ PAR :	
APProuvé par :	
DATE :	

PROJET :	
CLIENT :	
DATE :	
ÉCHELLE :	
PROJETÉ PAR :	
APProuvé par :	
DATE :	

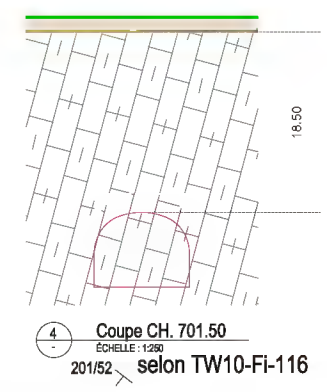
PROJET DE RÉFÉRENCE
TUNNEL HAUTS-VILLE
VUE EN PLAN ET PROFIL EN LONG
GÉOTECHNIQUE
FEUILLET 1/8



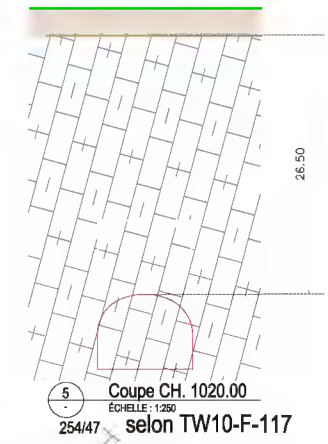
VUE EN PLAN
1:300



PROFIL EN LONG
1:300/1:200V



4 Coupe CH. 701.50
ÉCHELLE: 1:250
selon TW10-Fi-116



5 Coupe CH. 1020.00
ÉCHELLE: 1:250
selon TW10-F-117

LÉGENDE:

- FORAGE TW10-F-09 - VOLET 1
- FORAGE TW10-F-10 - VOLET 2
- FORAGE TW10-F-11 - VOLET 2
- DIRECTION DU PONDAGE ET PONDAGE DU LITAGE (?)
- DIRECTION ET PENTE (N) DU TUNNEL

STRATIGRAPHIE	FORAGES	PROFIL
ROCK	ROCK	ROCK
SILT	SILT	SILT
SAND	SAND	SAND
CLAY	CLAY	CLAY
GRAVELL	GRAVELL	GRAVELL
ROCK DEGRADED EN SURFACE	ROCK DEGRADED EN SURFACE	ROCK DEGRADED EN SURFACE
CLAY	CLAY	CLAY
SAND	SAND	SAND
GRAVELL	GRAVELL	GRAVELL
CLAY	CLAY	CLAY
SAND	SAND	SAND
GRAVELL	GRAVELL	GRAVELL

USINE:

- NIVEAU DE LA SURFACE DU ROCK
- NIVEAU DE LA NAPPE PHÉAOTIQUE
- SURFACE DU TERRAIN

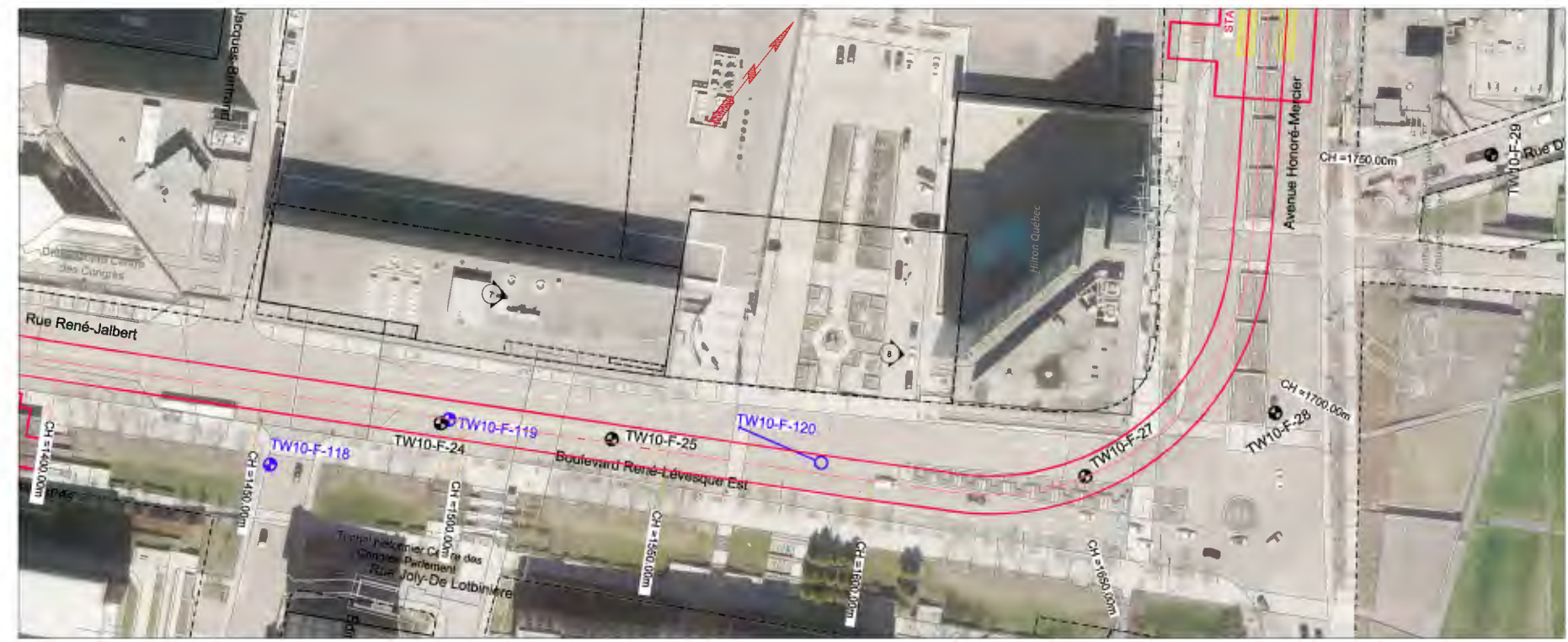
EXEMPLE DE FORAGE:

ÉTATS:

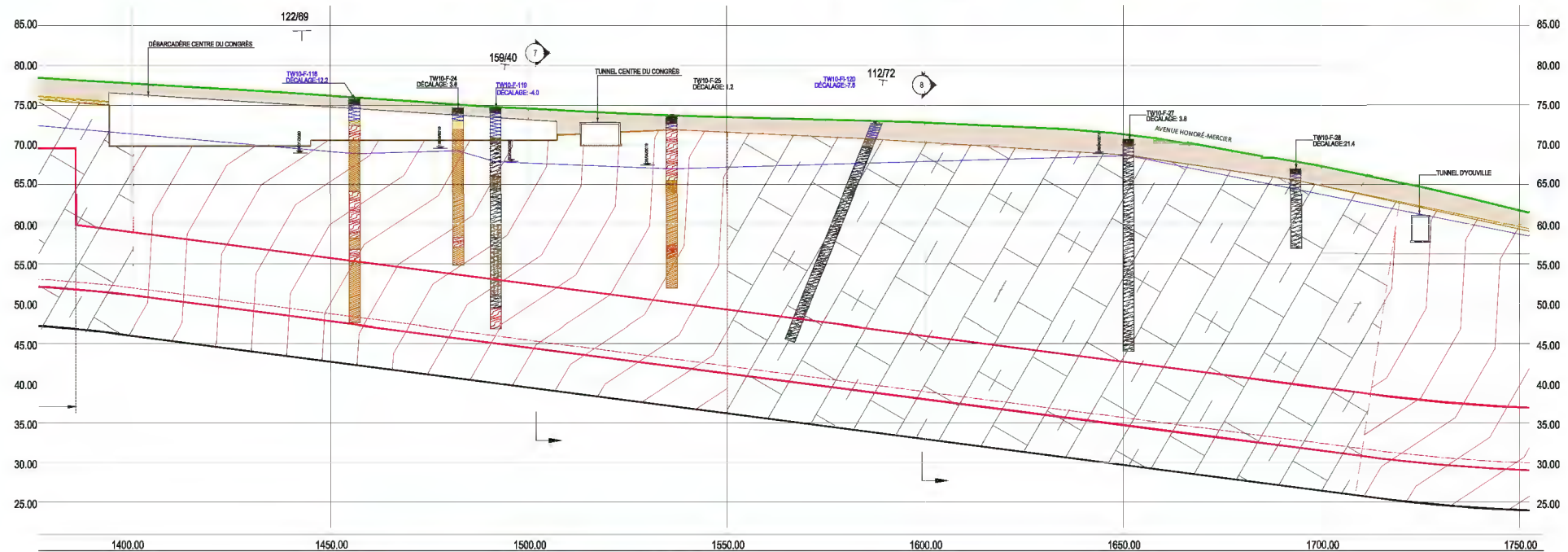
NO	DATE	DESCRIPTION	ÉLÉ
01	2015/02	PROJET DE RÉFÉRENCE	EF1
02	2015/02	PROJET DE RÉFÉRENCE	EF1
03	2015/02	PROJET DE RÉFÉRENCE	EF1

PROJET DE RÉFÉRENCE

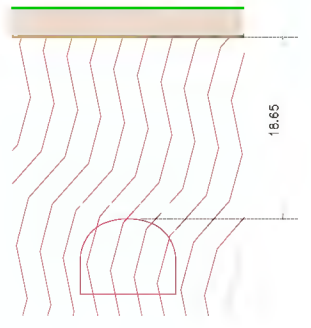
TUNNEL HAUTE-VILLE
PLAN ET PROFIL EN LONG
GÉOTECHNIQUE
FEUILLET 3/8



VUE EN PLAN
1:500



PROFIL EN LONG
1:500



7 Coupe CH. 1502.00
ÉCHELLE: 1:250
selon TW10-F-119



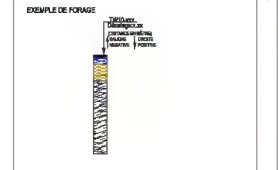
8 Coupe CH. 1600.00
ÉCHELLE: 1:250

NOTES
1. Pour l'implémentation du tunnel, des stations et des ouvrages adjacents, se référer au PLAN/PROFIL « Structures » 112A-TUN-PLN-5011 & 112A-TUN-PRO-5011
2. Pour les coupes stratigraphiques des sondages, se référer aux rapports:
A. 172-P-000009-0-01-100-05-0-0010 (TW10)
B. 172-P-000009-0-01-100-05-0-0010 (TW10)
C. 172-P-000009-0-01-100-05-0-0010 (TW10)

LÉGENDE:
● FORAGE TW10-F-01 - VOLET 1
● FORAGE TW10-F-02 - VOLET 2
○ FORAGE TW10-F-03 - VOLET 2
— DIRECTION DU FORAGE ET PENTE (N) DU TUNNEL

STRATIGRAPHIE		PROFIL	
■ SABLEUX	■ SABLEUX	■ MORT TERREIN	
■ SABLEUX GRAVELEUX	■ SABLEUX GRAVELEUX		
■ SABLEUX	■ SABLEUX		
■ SABLEUX GRAVELEUX	■ SABLEUX GRAVELEUX		
■ ROC DÉMAGRÉGÉ EN SURFACE			
■ CALCAIRE	■ CALCAIRE	■ UNITÉ 1 - 0m	
■ SVALE	■ SVALE	■ UNITÉ 2 - 0m	
■ CALCAIRE	■ CALCAIRE		
■ SVALE	■ SVALE		

LIÈGE
— NIVEAU DE LA SURFACE DU ROC
— NIVEAU DE LA NAPPE PHÉAÏTQUE
— SURFACE DU TERRAIN



AVERTISSEMENT :
CETTE DOCUMENTATION EST DESTINÉE À L'USAGE INTERNE DES SERVICES DE LA VILLE DE QUÉBEC. ELLE NE DOIT PAS ÊTRE REPRODUITE, DISTRIBUÉE, COMMUNIQUÉE, NI ÊTRE UTILISÉE À D'AUTRES FINS QUE CELLES POUR LESQUELLES ELLE A ÉTÉ ÉLABORÉE. TOUTE REPRODUCTION, DISTRIBUTION, COMMUNICATION, OU UTILISATION NON AUTORISÉE DE CE DOCUMENT PEUT ÊTRE PUNISSABLE PAR LA LOI. LE DOCUMENT EST DÉPOSÉ EN VERTU DE LA LOI SUR L'ACCÈS À L'INFORMATION. LE DOCUMENT EST DÉPOSÉ EN VERTU DE LA LOI SUR L'ACCÈS À L'INFORMATION. LE DOCUMENT EST DÉPOSÉ EN VERTU DE LA LOI SUR L'ACCÈS À L'INFORMATION.

NO	REVISION	DESCRIPTION	DATE

NO	REVISION	DESCRIPTION	DATE

TUNNEL
PROJET DE RÉFÉRENCE
TUNNEL HAUTE-VILLE
VUE EN PLAN ET PROFIL EN LONG
GÉOTECHNIQUE
FEUILLET 5/8



1. Pour l'implémentation du tunnel, des stations et des ouvrages adjacents, en référence au PLAN/PROFIL « Structures » 112A-TUN-PL-011 à 112A-TUN-PL-014

2. Pour les coupes et profils des ouvrages, en référence aux plans :

- 112-B-00000-01-01-01-01-01 (1/200)
- 112-B-00000-01-01-01-01-02 (1/200)
- 112-B-00000-01-01-01-01-03 (1/200)

LÉGENDE :

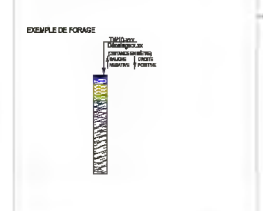
- FORAGE TW10-F-01 - VOLET 1
- FORAGE TW10-F-02 - VOLET 2
- FORAGE TW10-F-03 - VOLET 2
- DIRECTION DU FORAGE ET FORAGE DE LITAGE (*)
- DIRECTION ET PENTE (N) DU TUNNEL

STRATIGRAPHIE

FORAGES	PROFIL
● SABLE	■ MORT TERRAIN
■ SABLEUX	
■ SABLEUX	
■ SABLEUX	
■ SABLEUX	
■ ROC DÉMAGRÉ EN SURFACE	
■ CALCAIRE	■ UNITÉ 1 - O1
■ SABLE	
■ CALCAIRE	■ UNITÉ 2 - O1
■ SABLE	

USINE

- NIVEAU DE LA SURFACE DU ROC
- NIVEAU DE LA NAPPE PHÉAÉTIQUE
- SURFACE DU TERRAIN



PROJET DE RÉFÉRENCE

TUNNEL HAUTE-VILLE

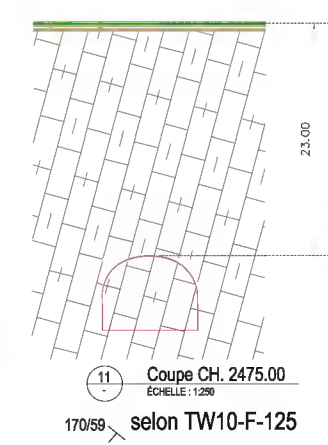
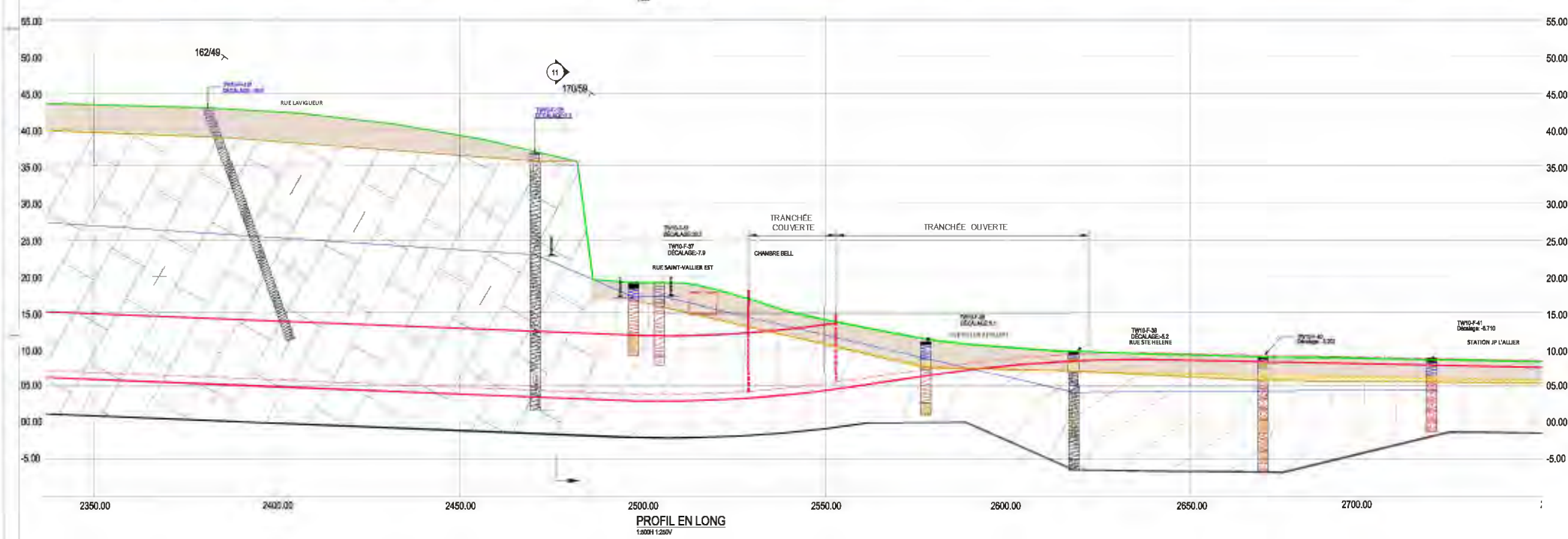
PLAN ET PROFIL EN LONG

GÉOTECHNIQUE

FEUILLET 08

PROJET	TUNNEL HAUTE-VILLE
CLIENT	QUÉBEC TRANSPORT
DATE	2011-01-11
ÉCHELLE	1:250
PROJETANT	INTEGRAL
APPRUVÉ	
DATE	
PROJETANT	
APPRUVÉ	
DATE	

DE CETTE BAISSE DE NIVEAU PHÉAÉTIQUE, ALORS VÉRIFIER L'ÉTAT DE LA NAPPE.



ANNEXE B – Histogrammes



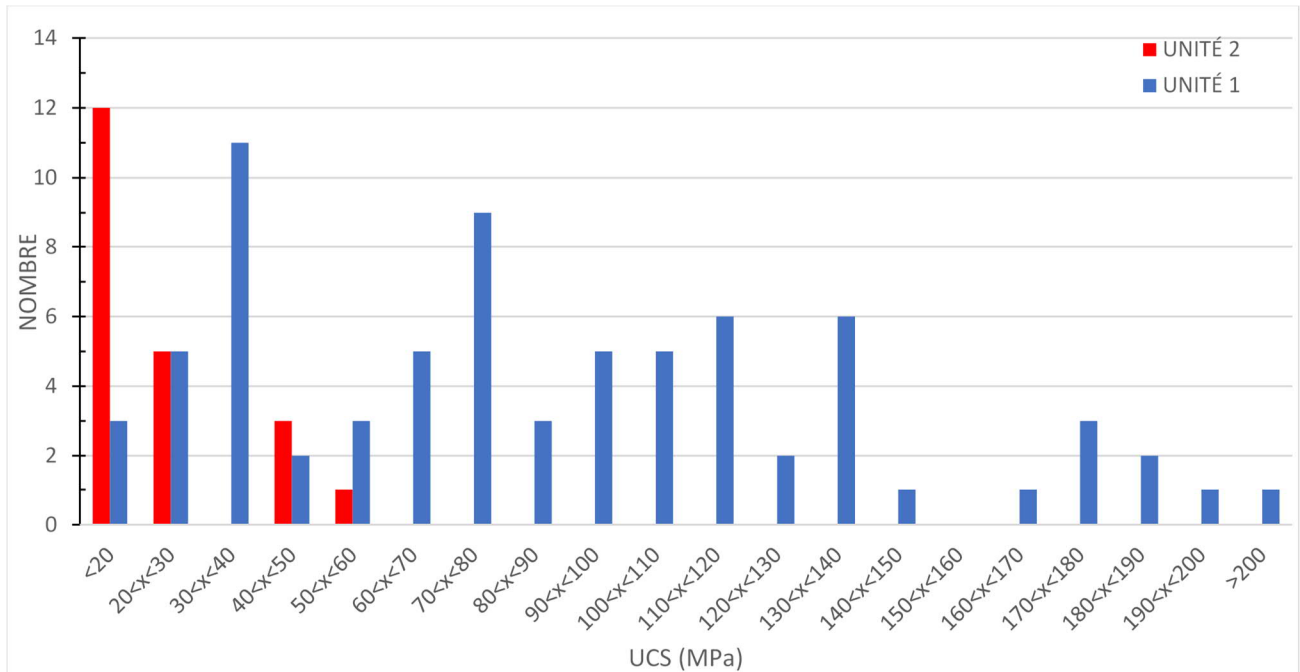


Figure B.1 – Résistance à la compression uniaxiale (UCS) - Tous les échantillons

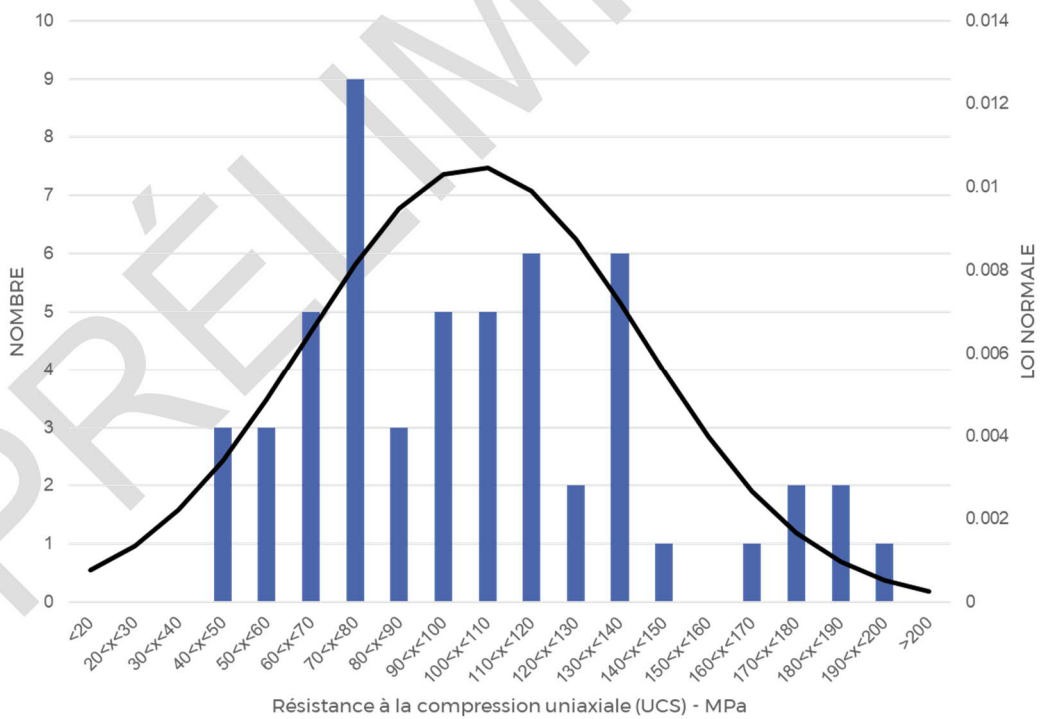


Figure B.2 – Résistance à la compression uniaxiale (UCS) - Unité 1

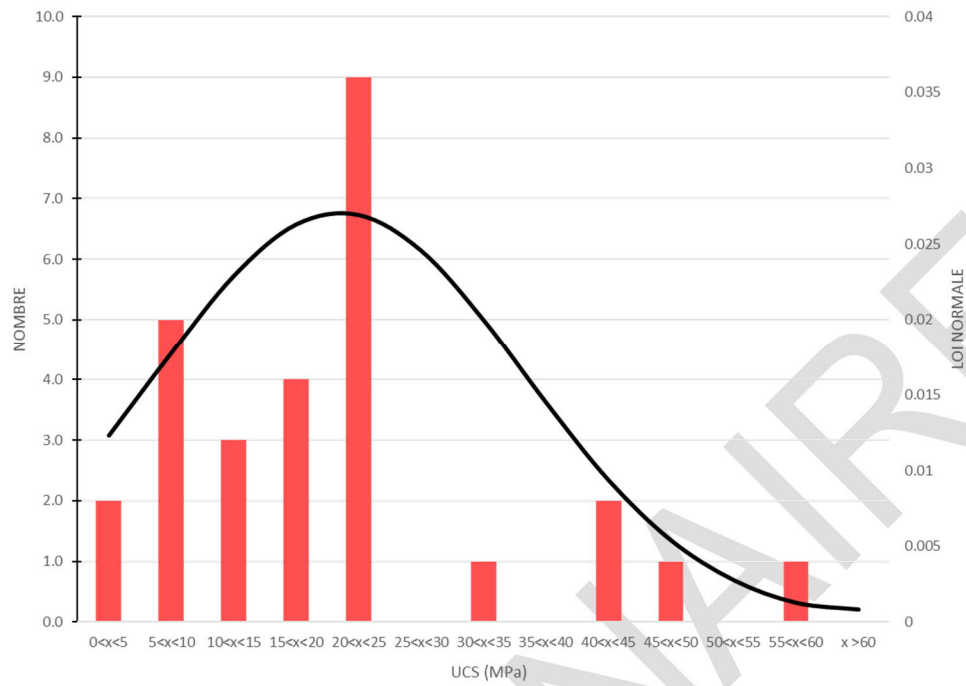


Figure B.3 – Résistance à la compression uniaxiale (UCS) – Unité 2

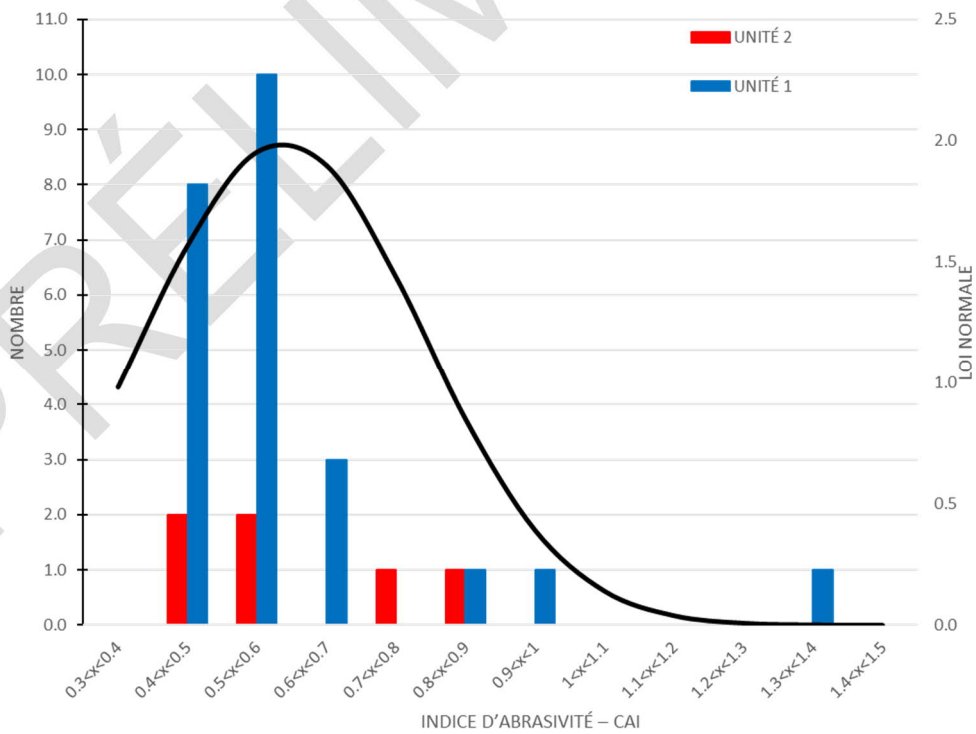


Figure B.4 – Essai d'abrasivité Cerchar