

ANNEXE C ÉTUDE GÉOTECHNIQUE



Réfection des infrastructures souterraines et du
stationnement du lieu national historique du
Canal-de-Lachine à Montréal (lot # 2)

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

28 mars 2018

Préparé pour:

M. Éric Filion-Paquette, ing., jr
Direction générale des Politiques stratégiques
et investissement.
Agence Parcs Canada
Unité des Voies Navigables du Québec
1899 boulevard Périgny
Chambly (Québec) J3L 4C3

Préparé par:

Stantec Experts-conseils ltée
375 boul. Roland-Therrien, bur. 400
Longueuil, Québec, J4H 4A6

Projet No 159100406

Registre d'approbation

Le présent document, intitulé Réfection des infrastructures souterraines et du stationnement des ateliers du lieu national historique du Canal-de-Lachine à Montréal , a été préparé par Stantec Experts-conseils Ltée (« Stantec ») pour le compte de Parcs Canada. (le « Client »). Toute utilisation de ce document par une tierce partie est strictement défendue. Le contenu de ce document illustre le jugement professionnel de Stantec à la lumière de la portée, de l'échéancier et d'autres facteurs limitatifs énoncés dans le document ainsi que dans le contrat entre Stantec et le Client. Les opinions exprimées dans ce document sont fondées sur les conditions et les renseignements qui existaient au moment de sa préparation et ne sauraient tenir compte des changements subséquents. Dans la préparation de ce document, Stantec n'a pas vérifié les renseignements fournis par d'autres. Toute utilisation de ce document par un tiers engage la responsabilité de ce dernier. Ce tiers reconnaît que Stantec ne pourra être tenue responsable des coûts ou des dommages, peu importe leur nature, le cas échéant, engagés ou subis par ce tiers ou par tout autre tiers en raison des décisions ou des mesures prises en fonction de ce document.

Signature numérique de
Bertin Godé
DN : cn=Bertin Godé,
o=Stantec, ou,
email=bertin.gode@stantec.com, c=CA
Date : 2018.03.28 15:38:44 -04'00'

Préparé par _____

Bertin Godé, ing.

Digitally signed by Afif El-Dana
DN: cn=Afif El-Dana, o=Stantec Experts-conseils Ltée, ou=Geotechnique, email=afif.el-dana@stantec.com, c=CA
Date: 2018.03.28 16:54:41 -04'00'

Vérifié par _____

Afif El-Dana, ing.

Table des matières

1.0	INTRODUCTION	1.1
1.1	MANDAT	1.1
1.2	OBJECTIFS ET PORTÉE DE L'ÉTUDE	1.1
1.3	DESCRIPTION DU PROJET ET DU SITE	1.1
2.0	SOMMAIRE ET DESCRIPTIONS DES TRAVAUX	2.2
2.1	SOMMAIRE DES TRAVAUX DE CHANTIER	2.2
2.2	DESCRIPTION DES TRAVAUX DE TERRAIN	2.2
2.2.1	Santé et sécurité	2.2
2.2.2	Localisation des services et implantation des forages	2.2
2.2.3	Réalisation des forages	2.2
2.2.4	Tube d'observation	2.3
2.2.5	Arpentage	2.3
2.3	TRAVAUX EN LABORATOIRE	2.3
3.0	RÉSULTATS DE L'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE	3.4
3.1	NATURE ET PROPRIÉTÉS DES DÉPÔTS	3.4
3.1.1	Synthèse de la stratigraphie des dépôts	3.4
3.1.2	Enrobé bitumineux	3.4
3.1.3	Remblais	3.4
3.1.4	Dépôts naturels	3.5
3.1.5	Roc	3.6
3.2	NIVEAU D'EAU	3.6
4.0	DICUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	4.6
4.1	PROFONDEUR DE PÉNÉTRATION DU GEL	4.6
4.2	EXCAVATIONS TEMPORAIRES	4.6
4.2.1	Excavations temporaires et contrôle des eaux	4.6
4.2.2	Soutènement temporaire	4.7
4.3	MISE EN PLACE DES CONDUITES EN TRANCHÉES	4.8
4.3.1	Sensibilité au remaniement des sols du fond d'excavation	4.8
4.3.2	Assise et enrobage des conduites	4.8
4.3.3	Remblayage des tranchées de service	4.9
4.3.4	Protection des conduites contre la corrosion	4.9
4.4	DALLE SUR SOL POUR LES CONTENEURS	4.10
4.4.1	Discussion	4.10
4.4.2	Résistances géotechniques des sols au droit de la dalle	4.10
4.4.3	Préparation de l'assise de la dalle	4.10
4.4.4	Remblai contrôlé et protection de la dalle contre le gel	4.10
4.4.5	Protection de la dalle contre le gel	4.11
4.4.6	Coussin granulaire de fondation	4.11
4.4.7	Module de réaction	4.11
4.5	RECOMMANDATIONS POUR LE BASSIN	4.11
4.6	AMÉNAGEMENTS DE SURFACE	4.12

RÉFECTION DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES ET DU STATIONNEMENT DES ATELIERS DU LIEU NATIONAL HISTORIQUE DU CANAL-DE-LACHINE À MONTRÉAL

4.6.1	Préparation de l'infrastructure de la chaussée.....	4.12
4.6.2	Structures de chaussées.....	4.12
4.6.3	Drainage de la chaussée.....	4.13
4.7	RÉUTILISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE.....	4.14
4.8	NIVEAU D'INSPECTION RECOMMANDÉ.....	4.14
4.9	CONSTRUCTION EN HIVER.....	4.15
4.9.1	Excavation en conditions froides.....	4.15
4.9.2	Mise en place de remblai en conditions froides.....	4.15
4.9.3	Mise en place du béton en conditions froides.....	4.15
4.9.4	Inspections et contrôle de la qualité en conditions froides.....	4.15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1	: Coordonnées des forages - NAD83 (SCRS), fuseau 8.....	2.3
Tableau 2-2	: Essais géotechniques.....	2.3
Tableau 3-1	: Synthèse de la stratigraphie des dépôts meubles.....	3.4
Tableau 3-2	: Résultats des essais de laboratoire sur les remblais.....	3.5
Tableau 3-3	: Résultats des essais de laboratoire sur les sols naturels.....	3.5
Tableau 4-1	: Paramètres géotechniques moyens des sols en place.....	4.7
Tableau 4-2	: Structures de chaussées.....	4.13

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A	DÉCLARATION DE CONDITIONS GÉNÉRALES.....	A.1
ANNEXE B	PLAN DE LOCALISATION DES FORAGES.....	B.1
ANNEXE C	RAPPORTS DE FORAGES.....	C.1
ANNEXE D	RÉSULTATS DES ESSAIS GÉOTECHNIQUES.....	D.1
ANNEXE E	CORRELATION CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE.....	E.1

1.0 INTRODUCTION

1.1 MANDAT

Les services professionnels de Stantec Experts-conseils Ltée (Stantec) ont été retenus en août 2017 par l'Agence Parcs Canada (ci-après appelée le « Parcs Canada ») pour effectuer une étude géotechnique dans le cadre d'un projet de réfection des infrastructures et du stationnement du lieu national historique (LNH) du Canal-de-Lachine à Montréal.

1.2 OBJECTIFS ET PORTÉE DE L'ÉTUDE

L'objectif spécifique de cette étude consistait à déterminer la nature et certaines propriétés des sols ainsi que les conditions d'eaux souterraines, et ce, dans la mesure où ces caractéristiques affectent la conception et la réalisation des travaux projetés.

Ce rapport présente une description du site et du projet, la méthodologie utilisée lors des travaux de chantier et en laboratoire, les résultats obtenus de même que nos conclusions et recommandations concernant :

- Les excavations temporaires, le remblayage et le drainage;
- Les paramètres géotechniques des sols en place;
- Les résistances géotechniques (capacité portante) des sols pour la dalle sur sol
- L'aménagement du bassin de rétention;
- La mise en place des conduites souterraines;
- L'aménagement du stationnement et de la voie de circulation pour l'entreposage des conteneurs;
- La réutilisation des sols/matériaux, etc.

1.3 DESCRIPTION DU PROJET ET DU SITE

Le projet consiste en l'aménagement d'une dalle de béton de ciment pour l'entreposage de deux conteneurs, d'un bassin de rétention des eaux pluviales et la pose de conduites souterraines (égouts et aqueduc) ainsi que le pavage de la surface du site avec circulation de camions de transport des conteneurs.

Le site est localisé au 1156, rue Mills à Montréal et comprend quatre bâtiments servant d'ateliers : atelier principal (bâtiment #1), atelier des machinistes (bâtiment #2), atelier des forgerons (bâtiment #3) et l'ancien garage (bâtiment #4).

Le bassin de rétention au Nord-Ouest du site, soit au Nord du bâtiment # 2 et à l'Ouest du bâtiment principal. Quant à la dalle sur sol, elle sera aménagée au Sud-Est du site pour l'entreposage permanent de pièces d'acier, du mobilier en bois massif, des lampadaires, du bois, etc. dans deux conteneurs de dimensions 12,2 m x 1,83 m (40' x 6') et un autre conteneur de dimensions 6,1 m x 1,83 m (20' x 6') pour les déchets.

La localisation de chaque site est présentée à l'annexe B.

2.0 SOMMAIRE ET DESCRIPTIONS DES TRAVAUX

2.1 SOMMAIRE DES TRAVAUX DE CHANTIER

Les travaux d'investigation géotechnique sur le site ont été réalisés le 2 et 20 mars 2018 sous la supervision constante du personnel spécialisé de Stantec. Ceux-ci ont consisté en la réalisation des travaux suivants :

- Trois (3) forages (F18-01 à F18-03) d'une profondeur de 6,71 m;
- Lecture du niveau de l'eau souterraine dans le tube d'observation installé dans le forage F18-01.

Un échantillonnage géotechnique a été réalisé dans tous les forages. Des essais en laboratoire sur des échantillons représentatifs ont permis de déterminer certaines propriétés physiques et mécaniques des sols en place.

Les rapports des forages sont présentés à l'annexe C.

2.2 DESCRIPTION DES TRAVAUX DE TERRAIN

2.2.1 Santé et sécurité

Avant de débiter les travaux de terrain sur chaque site, tous les intervenants ayant participé à ce projet ont pris connaissance des règles de santé et de sécurité au travail appliquées lors de la réalisation du projet. Un formulaire de pré-chantier identifiant les risques de santé et sécurité a également été signé par les intervenants sur le chantier. Ce formulaire a eu pour effet d'identifier les dangers potentiels afin de prévenir tout accident de chantier.

2.2.2 Localisation des services et implantation des forages

Stantec a procédé à la localisation des services publics souterrains par l'entremise du service d'Info-Excavation préalablement aux travaux. La validation de l'absence de services souterrains au droit de chaque point de forage a également été réalisée par la compagnie de détection RADEX.

L'implantation des sondages sur le site a par conséquent été réalisée selon les plans de localisation fournis par l'architecte et ce, aux endroits libres de services souterrains.

2.2.3 Réalisation des forages

Les trois forages F18-01 à F18-03 ont été réalisés sous la supervision constante d'un technicien expérimenté de Stantec. Ils ont été exécutés à l'aide d'une foreuse à tarière de type CME 55 sur camion et opérée par la compagnie *Succession Forage George Downing limitée*.

Durant les forages, un échantillonnage remanié des dépôts meubles a été effectué jusqu'à la profondeur de 6,71 m à l'aide d'un carottier fendu normalisé de calibre « B » de 51 mm de diamètre extérieur. Ce dernier a également servi pour la réalisation d'essais de pénétration standards, tels que définis dans la norme ASTM D-1586. Ces essais permettent la mesure de l'indice « N_{spt} », lequel est relié à la densité du sol.

RÉFECTION DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES ET DU STATIONNEMENT DES ATELIERS DU LIEU NATIONAL HISTORIQUE DU CANAL-DE-LACHINE À MONTRÉAL

Les sols excédentaires issus de chacun des sondages ont été replacés dans les trous de forage et d'excavation, immédiatement après qu'ils eurent été complétés. Les sols ont été replacés dans l'ordre inverse de leur excavation de manière à conserver la stratigraphie d'origine le plus fidèlement possible.

2.2.4 Tube d'observation

Un tube d'observation de la nappe d'eau souterraine a été installé dans le forage F18-01. Il est constitué d'un tuyau de plastique de 19 mm de diamètre intérieur dont la partie inférieure est perforée. Il permet de déterminer le niveau de la nappe d'eau libre qui s'écoule dans les sols.

2.2.5 Arpentage

L'implantation des forages sur le terrain a été effectuée par le technicien de chantier à partir du plan de localisation fourni par l'équipe de conception de Stantec.

Les coordonnées de localisation et de nivellement des points de forages ont été déterminées partir du relevé d'arpentage réalisé par Stantec sur l'ensemble du site. Le tableau suivant présente les coordonnées et élévations géodésiques des forages.

Tableau 2-1 : Coordonnées des forages - NAD83 (SCRS), fuseau 8

Forage	Coordonnée X (m)	Coordonnée Y (m)	Élévation Z (m)
F18-01	300 784,8	5 038 864,1	15,28
F18-02	300 779,7	5 038 921,4	14,80
F18-03	300 808,3	5 038 910,7	15,10

La localisation des forages réalisés sur chaque site est présentée à la figure de l'annexe B.

2.3 TRAVAUX EN LABORATOIRE

Les échantillons de sols récupérés lors des forages ont fait l'objet d'une description visuelle afin de tracer les profils stratigraphiques présentés dans les rapports de forage. Pour fins de classification et afin de préciser la nature et certaines propriétés physiques et mécaniques des sols et du roc, les essais suivants ont été réalisés en laboratoire sur des échantillons représentatifs :

Tableau 2-2 : Essais géotechniques

Essais de laboratoire	Normes	Nombre d'essais
Analyse granulométrique par tamisage	LC 21-040	7
Analyse granulométrique par sédimentométrie	BNQ 2501-025	5
Détermination de la teneur en eau	BNQ 2501-170	6

Les résultats des essais en laboratoire sont joints à l'annexe D.

Tous les échantillons prélevés dans les forages seront conservés pour une durée de quatre (4) mois à compter de la date de fin des travaux de chantier. Par la suite, ils seront détruits à moins qu'entre temps un avis écrit, quant à leur destination, nous soit transmis par Parcs Canada.

3.0 RÉSULTATS DE L'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE

3.1 NATURE ET PROPRIÉTÉS DES DÉPÔTS

3.1.1 Synthèse de la stratigraphie des dépôts

Le tableau suivant présente la synthèse de la stratigraphie des dépôts rencontrés au droit des trois forages F18-01 à F18-03 réalisés sur le site investigué.

Tableau 3-1 : Synthèse de la stratigraphie des dépôts meubles

Forage	Élévation de surface (m)	Enrobé bitumineux	Remblais	Sols naturels		Profondeur du forage (m)
		Épais. (mm)	Épais. (m)	Prof. (m)	Élév. (m)	
F18-01	15,28	-	1,32	1,32	13,96	6,71
F18-02	14,80	40	1,87	1,91	12,89	6,71
F18-03	15,10	-	1,83*	1,83	13,27	6,71

Notes : Épais. : Épaisseur, Prof. : Profondeur, Élév. : Élévation; Échant. : Échantillonnage

(*) Présence d'une unité de blocs et cailloux d'une épaisseur de 560 mm à la profondeur de 0,66m dans F18-03

Les conditions de sols observées dans les forages sont décrites dans les paragraphes qui suivent et présentées en détail dans les rapports de forages à l'annexe C ainsi que les résultats des essais au laboratoire à l'annexe D de ce rapport.

3.1.2 Enrobé bitumineux

Le forage F18-02 a été initié à la surface d'une couche d'enrobé bitumineux d'une épaisseur de 40 mm.

3.1.3 Remblais

Sous l'enrobé bitumineux au droit du forage F18-02 et directement à la surface des forages F18-01 et F18-03, des remblais hétérogènes ont été rencontrés sur une épaisseur variant de 1,32 à 1,87 m.

La couche supérieure des remblais se compose en général de sable silteux avec un peu de gravier à graveleux, d'une épaisseur de 0,29 à 0,76 m.

Les remblais subséquents se composent de silt sableux contenant un peu de d'argile à argileux et des traces de gravier, de compacité très lâche à lâche (indices N_{SPT} de 1 à 8) au droit des forages F18-01 et F18-02. Une unité de blocs et cailloux a été rencontrée sous le remblai sablo-silteux au droit du forage F18-03 sur une épaisseur de 0,56 m et suivi d'un remblai de silt argileux avec un peu de sable et des traces de gravier.

RÉFECTION DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES ET DU STATIONNEMENT DES ATELIERS DU LIEU NATIONAL HISTORIQUE DU CANAL-DE-LACHINE À MONTRÉAL

La présence de divers débris plastiques, de brique, de racines et d'enrobés (1 à 2 %) ainsi que des matières organiques, a été observée dans les remblais hétérogènes au droit des trois forages réalisés sur le site.

Le résultat des essais de laboratoire réalisés sur des échantillons représentatifs des remblais, est présenté dans le tableau suivant selon la classification unifiée (USCS) :

Tableau 3-2 : Résultats des essais de laboratoire sur les remblais

Échantillon	Profondeur (m)	Teneur en eau (%)	Particules fines		Sable (%)	Gravier (%)	Classification (USCS)
			Argile (%)	Silt (%)			
F18-02 / CF-3	1,22 – 1,83	18,0	15,1	52,0	23,2	9,7	ML ou ML-CL
F17-03 / CF-1	0,0 – 0,53	16,5	28,0		47,1	24,9	SM ou SC
F17-03 / CF-3	1,22 – 1,83	-	25,2	53,7	19,3	1,8	ML ou ML-CL

3.1.4 Dépôts naturels

Les sols naturels ont été rencontrés à une profondeur de 1,32 à 1,91 m, soit à l'élévation de 12,89 à 13,96 m.

Au droit des forages F18-01 et F18-03, le dépôt naturel de surface se compose de silt avec un peu de sable contenant des traces à un peu d'argile et des traces de gravier, d'une épaisseur de 3,94 et 3,43 m respectivement et de compacité moyenne à très dense avec des indices N_{SPT} de 20 à 68. Ce dépôt silto-sableux est suivi d'un dépôt de sable graveleux silteux, de compacité dense à très dense (indices N_{SPT} de 40 à 61), rencontré à la profondeur de 5,26 m, soit à l'élévation de 10,02 et 9,84 m respectivement. La présence de fragments de roc a été observée dans le dépôt sablo-graveleux.

Au droit du forage F18-02, le dépôt naturel se compose en général de silt avec des traces à un peu d'argile et contenant des traces de sable et de gravier, de compacité variant de moyenne à très dense (indices N_{SPT} de 27 à 74) en surface à moyenne en profondeur (indices N_{SPT} de 15 à 26).

Les trois forages ont été interrompus dans les dépôts naturels à la profondeur de 6,71 m. Le résultat des essais de laboratoire réalisés sur des échantillons représentatifs des dépôts naturels est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 3-3 : Résultats des essais de laboratoire sur les sols naturels

Échantillon	Profondeur (m)	Teneur en eau (%)	Particules fines		Sable (%)	Gravier (%)	Classification (USCS)
			Argile (%)	Silt (%)			
F18-01 / CF-4	1,83 – 2,44	13,3	12,3	69,6	14,7	3,4	ML ou ML-CL
F18-01 / CF-9	5,34 – 5,95	7,9	24,2		45,9	29,9	SM ou SC
F18-02 / CF-6	3,05 – 3,66	15,5	12,0	83,7	4,2	0,1	ML ou ML-CL
F18-02 / CF-8	4,57 – 5,18	18,8	7,7	87,7	3,8	0,8	ML ou ML-CL

3.1.5 Roc

Le roc n'a pas été rencontré dans les trois forages F18-01 à F18-03 qui ont été interrompus dans les dépôts naturels à la profondeur de 6,71 m, soit à l'élévation de 8,09 à 8,57 m.

Toutefois, selon le forage antérieur BH-1 réalisé par la firme Qualitas (rapport N° G13102-02, juillet 2013) au droit de la tour Rogers située au coin nord-est du site, le roc de shale calcaire se trouverait à l'élévation de 8,11 m.

3.2 NIVEAU D'EAU

Le niveau de la nappe d'eau souterraine stabilisée relevé le 20 mars 2018 à l'intérieur du tube d'observation installé dans le forage F18-01, soit 18 jours après sa réalisation, se situait à la profondeur de 3,92 m, soit à l'élévation de 11,36 m.

Il est important de noter que le niveau de l'eau dans les sols peut être influencé par plusieurs facteurs tels que les précipitations, la fonte de neige et les modifications apportées au milieu physique. Ainsi, le niveau d'eau souterraine peut être amené à varier selon les saisons, les années et les diverses interventions sur le site. Il demeure donc possible que ces conditions soient différentes lors de la réalisation des travaux projetés sur chaque site.

4.0 DICUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4.1 PROFONDEUR DE PÉNÉTRATION DU GEL

Avec un indice de gel de l'ordre de 910°C*jours à Montréal, la pénétration du gel dans le sol est estimée à une profondeur moyenne de 1,7 m sur le site. Ainsi, la profondeur d'enfouissement de tout ouvrage de béton devra être d'un minimum de 1,7 m par rapport à la surface finale du projet afin de les protéger efficacement contre les soulèvements causés par le gel.

Dans le cas de conduites souterraines (égout et/ou aqueduc), la profondeur d'enfouissement devra être d'un minimum de 2,0 m par rapport à la surface finale du projet afin de protéger ceux-ci contre le gel dans les périodes de froid intense.

Dans le cas d'ouvrages enfouis à une profondeur inférieure aux profondeurs recommandées pour diverses raisons, la mise en place d'isolants rigides disposés à l'horizontale devra être considérée sur le pourtour des fondations afin de les protéger contre les effets du gel.

4.2 EXCAVATIONS TEMPORAIRES

4.2.1 Excavations temporaires et contrôle des eaux

De façon générale, les travaux d'excavation et de soutènement temporaire ainsi que le respect des pentes maximales des excavations sont de la responsabilité de l'entrepreneur et doivent respecter les exigences minimales de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CNESST).

RÉFECTION DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES ET DU STATIONNEMENT DES ATELIERS DU LIEU NATIONAL HISTORIQUE DU CANAL-DE-LACHINE À MONTRÉAL

Les excavations requises pour les aménagements projetés pourront atteindre une profondeur de 2,0 m (conduites) à 3,0 m (bassin de rétention). Elles seront réalisées dans les remblais hétérogènes et les sols naturels silto-sableux à silto-argileux sensibles.

Le niveau des eaux souterraines mesuré se trouverait en-dessous du fond projeté des excavations et des infiltrations d'eau majeures ne sont pas à craindre. Le cas échéant, celles-ci, de même que les eaux de surface, de précipitation et de ruissellement, devront être évacuées du fond des fouilles afin de préserver une assise bien drainée et stable durant toute la période des travaux.

Comme il s'agit de pentes temporaires, l'entrepreneur est responsable de leur stabilité ainsi que de la sécurité des travailleurs, de l'ouvrage et des structures avoisinantes quand cette sécurité dépend de la stabilité des pentes temporaires.

À titre indicatif, les excavations temporaires devront être réalisées avec une pente maximale de 1,5 H : 1,0 V dans les sols en place. Au droit du bassin, les pentes devront être adoucies pour respecter les exigences de pente de talus du MDDELCC.

4.2.2 Soutènement temporaire

Advenant que les tranchées ouvertes ne puissent pas être réalisées pour diverses raisons, les paramètres géotechniques moyens suivants peuvent être utilisés pour la conception d'un système de soutènement temporaire des excavations selon le code de sécurité en vigueur.

Tableau 4-1 : Paramètres géotechniques moyens des sols en place

Paramètre	Remblais sablo-graveleux	Remblais et sols naturels sablo-silteux à silto-sableux	Sols naturels silto-argileux
Angle effectif de frottement interne (Φ) ¹	33°	30°	28°
Cohésion C', à long terme (kPa)	0	0	7,5 kPa
Cohésion Cu, à court terme (kPa)	0	0	100 kPa
Coefficient de poussée au repos (K_o^*) ²	0,46	0,50	0,53
Coefficient de poussée active (K_a^*) ²	0,29	0,33	0,36
Coefficient de poussée passive (K_p^*) ²	3,39	3,00	2,77
Poids volumique humide	19,5	18,0	16,0
Poids volumique déjaugé	9,7	8,2	6,2

(1) : À très court terme, $\Phi = \Phi_u = 0$ et $C = C_u$ (résistance au cisaillement non drainé)
 (2) : Cas de parois verticales et surface de talus horizontale ($\beta = 0^\circ$, $\delta = 0$ et $\alpha = 90^\circ$)

4.3 MISE EN PLACE DES CONDUITES EN TRANCHÉES

De façon générale, la mise en place des conduites souterraines devra être réalisée selon les exigences applicables de la norme BNQ 1809-300/2004 (R2007). Les conduites devront être mise en place à une profondeur de plus de 2,0 m par rapport à la surface du terrain afin de les protéger contre les effets du gel.

4.3.1 Sensibilité au remaniement des sols du fond d'excavation

Les excavations devront être réalisées selon les recommandations de la section 4.2 précédente et le fond d'excavation devra être non-remanié, uniforme et stable préalablement à la mise en place des matériaux d'assise.

Les sols naturels qui seraient présents sous l'assise des conduites sont à prédominance silto-sableuse à silto-argileuse. Ces sols seront sensibles au remaniement et des instabilités sont à prévoir, d'autant plus en présence de précipitations ou si le fond d'excavation est mal drainé. Des mesures de précautions adaptées aux conditions de sol et des eaux souterraines et d'infiltration devront être adoptées par l'Entrepreneur lors de la préparation de l'assise des conduites. En présence de sols instables, ceux-ci devront être excavés et remplacés par des matériaux de classe « A » ou « B » présentant une teneur en eau inférieure à l'optimum établi par l'essai Proctor. Ces matériaux seront mis en place par couches successives d'au plus 300 mm d'épaisseur et densifiées statiquement à 95% du Proctor modifié.

Des vérifications de fond d'excavation et une surveillance adéquate du remplacement des sols instables en fond d'excavation devront être réalisées par un représentant du laboratoire en contrôle qualitatif.

4.3.2 Assise et enrobage des conduites

La conception de l'assise et de l'enrobage des conduites dépend de la classe du tuyau utilisé et de sa résistance à l'écrasement.

L'assise des conduites devra être constituée d'un matériau granulaire de type CG-14 (norme BNQ 2560-114) et être d'une épaisseur minimale de 150 mm. Aux endroits où des ouvrages plus imposants sont prévus (regards et puisards), l'épaisseur minimale de l'assise devra être de 300 mm. La mise en place devra se faire par couches d'au plus 300 mm d'épaisseur, compactées à plus de 92 % du Proctor Modifié.

En présence de sols argileux, l'utilisation d'une pierre nette de calibre 5-20 mm ou 20 mm enveloppée dans un géotextile, est recommandée pour l'assise des conduites et des structures (regards et puisards).

L'enrobage jusqu'à 300 mm au-dessus des conduites doit être également réalisé avec un matériau granulaire de type CG-14 ou MG 20. L'utilisation de sables uniformes classifiés SP dont la granulométrie est peu étalée (coefficient d'uniformité C_u inférieur à 6) n'est pas recommandée, puisqu'ils n'offrent pas un support latéral suffisant au pourtour des conduites. Les travaux de mise en place des conduites de même que la compaction des matériaux, doivent être réalisés en fonction du type et du diamètre des conduites installées, conformément aux spécifications de la section 9.2 de la norme NQ 1809-300/200 (R2007).

4.3.3 Remblayage des tranchées de service

Nous recommandons de procéder au remblayage de la tranchée avec un matériau d'emprunt de classes « A » ou « B » et/ou avec des déblais d'excavation compactables. Les matériaux de remblayage jusqu'à la ligne d'infrastructure de la chaussée de la voie de circulation et/ou du stationnement, devront être exempts de matières organiques, de granulats bitumineux et de particules de dimensions excédant 150 mm de diamètre, et devront posséder à une granulométrie et une teneur en eau qui en permettent le compactage adéquat.

Le compactage des matériaux lors du remblayage de la tranchée est requis afin de limiter les tassements occasionnés par une mise en place en vrac des matériaux. Pour le premier mètre au-dessus des conduites, le compactage doit être effectué avec des équipements légers sur toute la largeur de la tranchée.

Pour les conduites projetées sous les voies de circulation ou stationnement, le remblayage de la tranchée doit être effectué en couches n'excédant pas 300 mm d'épaisseur et compactées à un minimum de 90 % du Proctor modifié, à l'exception des derniers 300 mm sous la ligne d'infrastructure, lesquels seront densifiés à un degré de compacité d'au moins 95 %.

Aux endroits de conduites hors chaussée (le cas échéant), le remblayage pourra être réalisé selon l'article 9.2.4.1 et les figures 36 et 38 de la norme NQ 1809-300/200 (R2007). Le reste de la tranchée peut être remblayé au-dessus de l'enrobage, de la surface du matériau d'enrobage jusqu'à la surface du terrain existant sans compactage avec du matériau d'excavation ou d'emprunt exempts de matières organiques et composé de particules dont la plus grande dimension hors tout est inférieure à 300 millimètres, les vides étant comblés à l'aide d'un matériau plus fin. Dans ce cas spécifiquement, le profil final de la tranchée devra présenter une surélévation maximale de 100 mm par rapport au niveau initial du terrain.

4.3.4 Protection des conduites contre la corrosion

Le potentiel de corrosion des sols doit être pris en considération lorsque des éléments d'acier ou de béton sont placés directement en contact avec des matériaux potentiellement corrosifs et qui nécessiteraient une protection contre la corrosion. Pour de nouvelles conduites souterraines, la protection contre la corrosion pourrait être appliquée à l'aide d'un film de polyéthylène. En effet, à l'exception des poteaux d'incendie, toute conduite d'égout sanitaire et toutes les pièces en fonte et métalliques devront être enveloppées avec un film de polyéthylène d'une épaisseur nominale de 200 µm conforme aux exigences des normes ASTM A674-05, ASTM D1248-84 et ANSI/AWWA C105/A21.5.

Les pièces en fonte telles que coudes, tés, croix, plaque de guidage de la boîte de vanne d'arrêt, etc., installées sur un réseau en PVC, PEHD ou autres matériaux distincts de la fonte, doivent également être protégées contre la corrosion à l'aide d'un film de polyéthylène et de boulons en zinc complémentaires selon les indications du fabricant.

La surface des parties métalliques et/ou en fonte doit être nettoyée de toute trace de sols, ou autre avant d'être enveloppée. Une précaution particulière doit être apportée lors de l'installation pour prévenir toute présence de terre ou de matériel de remblai entre la pièce de fonte et le film de polyéthylène.

La protection des conduites contre la corrosion devra être réalisée par un entrepreneur spécialisé conformément aux normes sus-indiquées et selon les règles de l'art.

4.4 DALLE SUR SOL POUR LES CONTENEURS

4.4.1 Discussion

Une dalle de béton sur sol, de dimensions approximatives 11,3 m x 14,0 m (37' x 46') est projetée dans le secteur du forage F18-01 au sud du site pour supporter deux conteneurs de 40 pieds et un conteneur de 20 pieds. Selon le guide conception structurale des chaussées portuaires (Qualitas, 2010), la contrainte maximale appliquée sur la dalle sous les supports en acier à chaque coin des conteneurs en pleine charge est de l'ordre de 2,59 MPa. La dalle devra être conçue pour une telle contrainte de contact en tenant compte du module de réaction de sa fondation.

Par ailleurs, le niveau des eaux souterraines se situent à une profondeur de 3,9 m. Ainsi, avec la mise en place d'un drainage permanent sur le site, il n'y aura pas de risque de dommages causées par la pression hydrostatique à la dalle sur sol.

La mise en place de la dalle devra être réalisée selon les recommandations qui suivent.

4.4.2 Résistances géotechniques des sols au droit de la dalle

Les calculs ont été effectués selon le Manuel canadien d'ingénierie des fondations, en considérant les conditions de sols au droit du forage F18-01, une charge non inclinée et non excentrique, appliquée sur une dalle rigide sur sol tel que spécifié à la section 4.4.1 de ce rapport :

- Résistance géotechnique à l'état limite ultime (ÉLU) : 300 kPa;
- Résistance géotechnique à l'état limite de service (ÉLS) : 50 kPa.

Le tassement total engendré par les pressions de tenue de service (ÉLS) devrait être inférieur à 25 mm. Cette valeur de tassement présuppose la mise en place d'un remblai contrôlé aménagé sur les dépôts naturels en substitution des remblais hétérogènes sous la dalle et que toutes les surfaces d'assise sont libres de tout sol remanié.

4.4.3 Préparation de l'assise de la dalle

Tous les remblais, sols organiques, gelés ou instables devront être entièrement excavés jusqu'à ce que le dépôt naturel intact soit atteint partout. En substitution des remblais hétérogènes instables en place, un remblai mis en place de façon contrôlée devra être érigé sous la dalle à partir du dépôt naturel. Le fond des excavations devra faire l'objet d'une acceptation de la part d'un ingénieur en géotechnique ou son représentant afin de s'assurer que tous les matériaux indésirables aient été enlevés et les assises sont intactes.

4.4.4 Remblai contrôlé et protection de la dalle contre le gel

Le remblai contrôlé de substitution des remblais hétérogènes existants à mettre en place sous le niveau de la fondation de la dalle sur sol, devra être composé d'un matériau de type MG-112 ou de classe « A » (ou de classe « B » avec plus de 20 % de gravier). Ce remblai devra être érigé par couches successives de 300 mm d'épaisseur densifiées à plus de 95 % du Proctor modifié.

La mise en place du remblai contrôlé doit faire l'objet d'un contrôle qualitatif afin d'en garantir la performance en égard de la capacité portante des sols. Le remblai devra être suffisamment large pour reprendre les charges sous la fondation.

Il devra excéder la fondation de chaque côté sur une largeur minimale de 600 mm et suivre une pente de 1,0 H : 1,0 V jusqu'à la base du remblai contrôlé, soit jusqu'au dépôt naturel silto-sableux intact sous-jacent.

4.4.5 Protection de la dalle contre le gel

La mise en place d'un matériau de remblai contrôlé contenant moins de 10 % de particules fines est recommandé sous la fondation de la dalle pour fins de protection de la dalle contre les effets du gel.

Sinon, si des matériaux gélifs de classe B sont utilisés pour l'érection du remblai contrôlé, la mise en place d'un isolant rigide d'une épaisseur minimale de 50 mm en polystyrène extrudé de type *Styrofoam Highload 40* ou équivalent est alors recommandée sous la fondation pour la protéger contre les effets du gel et ainsi atténuer les déformations prématurées qui pourraient apparaître.

4.4.6 Coussin granulaire de fondation

Un coussin granulaire d'une épaisseur minimale de 300 mm composé de pierre concassée de type MG-20 devra être mis en place sur le remblai contrôlé ou sur l'isolant rigide afin d'uniformiser l'assise de la dalle sur sol. Ce matériau devra être compacté à plus de 95 % du Proctor modifié. Afin d'éviter de déstabiliser les sols sous-jacents, un drainage adéquat devra être maintenu.

4.4.7 Module de réaction

Pour la conception de la dalle sur le sol, nous recommandons un module de réaction de **20,0 MPa/m** pour le remblai-support (coussin granulaire de fondation sur remblai contrôlé) selon le Manuel canadien d'ingénierie des fondations (tableau 7.1, MCIF, 2013).

4.5 RECOMMANDATIONS POUR LE BASSIN

Le forage F18-02 a été réalisé au droit du bassin de rétention dont le radier est projeté à la profondeur de 3,0 m, soit à l'élévation moyenne de 11,8 m. Le dépôt naturel en place sur le radier du bassin se compose de silt avec des traces à un peu d'argile et des traces de sable et de gravier de compacité dense à moyenne en profondeur, reposant sur le roc à une profondeur minimale probable de 7,0 m.

Une analyse granulométrique par sédimentométrie a été réalisée sur deux échantillons représentatifs du dépôt naturel sélectionnés au droit du forage F18-02 pour évaluer théoriquement la perméabilité. La conductivité hydraulique des sols a été évaluée par corrélation à partir du triangle de corrélation et en fonction de la classification USDA (United States Department of Agriculture) tel que préconisé par le MDDELCC (voir annexe E).

Ainsi, la perméabilité des sols au site du bassin de rétention projeté est classifiée comme suit :

- Profondeur de 3,0 à 4,5 m : $K = 5 \times 10^{-5}$ cm/s, soit un sol relativement imperméable;
- Profondeur de 4,5 m jusqu'à roc : $K = 1,3 \times 10^{-4}$ cm/s, soit un sol relativement peu perméable.

Le niveau de la nappe d'eau mesuré en date 20 mars 2018 était de 3,92 m (élévation de 11,3 m) au droit du forage F18-01, soit 18 jours après sa réalisation. À cette même élévation, la nappe d'eau se situerait à la profondeur de 3,4 m dans forage F18-02, soit à la profondeur de 0,4 m sous le radier du bassin de rétention projeté.

Il est donc recommandé, si applicable, d'imperméabiliser le fond du bassin pour éviter la remontée des eaux souterraines.

Les pentes finales du bassin de rétention peuvent être limitées à 3,5 H : 1,0 V dans le dépôt silteux. Ces pentes finales devront être protégées contre l'érosion par le ruissellement des eaux (végétalisation, enrochement adéquat, etc).

4.6 AMÉNAGEMENTS DE SURFACE

Les recommandations présentées dans cette section du rapport sont relatives à l'aménagement des aires de stationnement pour les automobiles et des allées de circulation des camions de transport des conteneurs sur le site.

4.6.1 Préparation de l'infrastructure de la chaussée

Le sol d'infrastructure devra être préparé et réceptionné selon les exigences applicables du CCDG (MTMET) ou de la ville de Montréal. Les sols d'infrastructure des aires pavées (stationnement et allées de circulation) seront composés des remblais silto-sableux en place. Ces sols sont gélifs et sensibles aux intempéries. Des instabilités risquent de se produire lors de la préparation de l'infrastructure d'autant plus suivant des précipitations. L'entrepreneur devra donc mettre en œuvre les techniques et équipements applicables pour évacuer l'eau, si applicable, et éviter tout remaniement du matériau à l'infrastructure de la chaussée à construire.

Le cas échéant, en présence de sols instables, ceux-ci devront être excavés jusqu'à au moins 300 mm sous la ligne d'infrastructure. Les matériaux de substitution des sols instables devront être constitués de matériaux de même nature et compactables ou de remblais d'emprunt de classe « B » compactables et/ou de gélivité similaire aux matériaux excavés et compactés selon les exigences usuelles jusqu'au niveau de la ligne d'infrastructure.

Dans tous les cas, l'infrastructure des aires pavées doit être préparée de façon à obtenir une surface uniforme, stable et libre de tout matériau impropre, de débris, de matières organiques et de particules de dimensions supérieures à 100 mm. La surface d'infrastructure devra être compactée à plus de 95 % du Proctor modifié.

4.6.2 Structures de chaussées

Le dimensionnement des chaussées pavées a été effectué à l'aide du logiciel de conception « Chaussée 2 » du ministère des transports du Québec (MTMDET), en conformité avec la méthodologie du guide de dimensionnement de l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), édition 1993, pour une période de conception de 25 ans.

La conception de la chaussée des aires pavées a été réalisée sur la base d'aires de stationnement exclusivement réservées aux véhicules légers (moins de 100 automobiles par jour). Selon informations fournies par le client, hypothèses et paramètres utilisés pour la conception de la chaussée des allées de circulation des camions de transport de conteneurs sont les suivants :

- Camion-remorque conventionnel à 4 essieux pour le transport des conteneurs;
- Remplacement du conteneur à déchets de 20 pieds à une fréquence de 2 à 3 semaines; soit
- Hypothèse d'agressivité du camion chargé : 2,3 écas (équivalent de charges axiales à l'essieu);
- Soit moins de 50 000 écas en 25 années.

RÉFECTION DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES ET DU STATIONNEMENT DES ATELIERS DU LIEU NATIONAL HISTORIQUE DU CANAL-DE-LACHINE À MONTRÉAL

Les conditions de circulation sur le site sont donc considérées de type « faible trafic lourd » sur la durée de vie.

Les structures de chaussées recommandées sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 4-2 : Structures de chaussées

Composantes de la structure de chaussée	Type de matériau	Épaisseur (mm)		Compactage (%)
		Stationnement pour autos	Allée de circulation de camions	
Enrobés bitumineux ¹	ESG-10, bitume PG 58-28	50	60	93,0 à 98 % (LC 26-040/045)
Fondation granulaire (Fondation supérieure)	Pierre concassée MG-20	200		98 % min. (NQ 2501-255)
Sous-fondation (Fondation inférieure)	Matériaux MG-112 ^{2;3}	400		95 % min. (NQ 2501-255)
Épaisseur totale de la structure de chaussée		650 à 660		
<p>Note 1 : La période retenue pour la pose des enrobés doit respecter les indications de dates limites du MTMDET, soit le 9 novembre pour une épaisseur de pose par un seul passage du finisseur supérieure ou égale à 50 mm (zone 1).</p> <p>Note 2 : La granulométrie du matériau MG 112 utilisable en sous-fondation devra être conforme à la norme NQ 2501-255. Par ailleurs, selon les disponibilités, ce matériau peut être remplacé, par un matériau granulaire de type MG 56 ou MG 80, recyclé ou non (MR-1 à MR-5, norme NQ-2560-600). Le matériau de sous-fondation peut être une pierre concassée, un gravier concassé ou un gravier naturel.</p> <p>Note 3 : La pose d'un géotextile de séparation de type III est recommandée à la surface de l'infrastructure avant la mise en œuvre des matériaux de sous-fondation.</p>				

Il est à noter que l'épaisseur de la structure de chaussée recommandée ne vise pas à assurer une protection complète au gel des matériaux d'infrastructure argileux et sablo-silteux à silto-sableux; ce qui nécessiterait une épaisseur d'au moins 1,7 m de structure de chaussée. Les coûts additionnels qui seraient alors requis n'apparaissent pas justifiés compte tenu du bénéfice supplémentaire obtenu.

Cependant, les structures de chaussées recommandées pour ce projet, assurent de façon relativement satisfaisante la protection partielle minimale contre le gel de 650 mm qui est recommandable sur le site à l'étude pour ce type de chaussée locale, de sols d'infrastructure et en considérant des conditions favorables de pénétration de gel dans le sol (nappe d'eau éloignée, drainage permanent performant).

4.6.3 Drainage de la chaussée

Le drainage de surface et le drainage de la fondation granulaire devront être assurés afin de permettre un comportement au gel satisfaisant et uniforme de la structure de chaussée. Les matériaux de fondation et de sous-fondation devront respecter la granulométrie spécifiée, notamment relativement à la proportion maximale de particules fines (7,0 % pour le MG-20 et 10,0 % pour le MG-112) pour fins de drainage de la structure de chaussée. Si applicable, un système de drains peut être envisagé sur la ligne d'infrastructure de la chaussée.

Le profil longitudinal et transversal de la surface de l'enrobé bitumineux devra également être conçu avec une pente adéquate pour permettre l'évacuation des eaux de surface vers les fossés aménagés à cet effet.

De plus pour fins de drainage, le profil de la ligne d'infrastructure (avant la mise en place des matériaux de la structure de chaussée) devra avoir une pente adéquate pour permettre un drainage des eaux vers fossés afin d'éviter toute accumulation d'eau à la surface de l'infrastructure.

Les eaux souterraines, de même que les eaux de surface, de précipitation et de ruissellement, devront être également évacuées du fond des excavations afin de préserver une infrastructure bien drainée durant toute la période des travaux.

Si applicable, nous recommandons la création de fossés de drainage de surface afin de canaliser les eaux de ruissellement et de la fondation routière vers des exutoires en dehors de la chaussée. Si requis, les fossés devront avoir une profondeur minimale de 300 mm sous la ligne d'infrastructure de la chaussée.

4.7 RÉUTILISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE

Selon les résultats des investigations, les remblais de surface contiennent divers débris plastiques, de brique, d'enrobé bitumineux, de racines et de matières organiques. Ces matériaux ne devraient pas être réutilisés sur le site pour les travaux projetés. Ils ne devront donc pas être réutilisés comme « remblai contrôlé » sous la fondation de la dalle des conteneurs afin d'éviter des tassements préjudiciables à long terme.

Toutefois, les déblais provenant des remblais existants peuvent être réutilisés aux endroits où aucune exigence de compaction n'est requise, notamment pour les aménagements paysagers.

Par ailleurs, les déblais des sols naturels silto-sableux peuvent être réutilisés pour le remblayage des conduites (remblai de sol) ou comme de remblai de substitution de sols instables qui seraient présents au fond des excavations pour les conduites ou à la ligne d'infrastructure de chaussée lors de leur construction.

Il est à noter que de manière générale, tous les matériaux de remblai réutilisables doivent être de qualité acceptable et être exempts de matières organiques, de débris ou de matériaux argileux potentiellement gonflants. Ces matériaux devront faire l'objet d'une acceptation par l'ingénieur en géotechnique préalablement à leur mise en place.

Dans tous les cas, la réutilisation des sols excavés demeure également sujette aux politiques et règlements environnementaux en vigueur auprès du MDDELCC.

4.8 NIVEAU D'INSPECTION RECOMMANDÉ

Les fonds d'excavation devraient être inspectés par un ingénieur en géotechnique avant la mise en place des fondations, afin de confirmer l'état des sols et leur capacité, d'assurer la remédiation et de confirmer la condition sèche de la zone des travaux projetés.

Toute source de matériau granulaire livré au chantier devrait être échantillonnée, testée au laboratoire et approuvée par un Ingénieur en géotechnique.

La mise en place et la compaction du remblai structural devraient être supervisées et testées par un personnel géotechnique par nucléo-densimètre afin d'assurer l'atteinte des niveaux de compaction requis.

4.9 CONSTRUCTION EN HIVER

Des procédures spéciales doivent être prévues lorsque des travaux sont planifiés sous des conditions froides pour éviter des problèmes futurs.

Dans l'éventualité où la construction devait s'effectuer en conditions froides, une réunion de chantier devrait avoir lieu pour discuter de l'horaire et de la séquence des travaux par rapport aux recommandations géotechniques détaillées dans les sous-sections présentées ci-dessous.

4.9.1 Excavation en conditions froides

Autant que possible, les excavations de masse devraient être évitées en hiver. Au besoin, seules les zones pouvant être remblayées au cours de la même journée devraient être excavées afin de minimiser la pénétration du gel dans la zone des fondations.

Les matériaux de remblai ne devraient pas être stockés en pile et devraient être mis en place et compactés immédiatement après l'excavation.

4.9.2 Mise en place de remblai en conditions froides

Il n'est généralement pas pratique d'effectuer la mise en place de matériaux granulaires sous des températures d'environ -5°C . Lors de journées froides, les matériaux lâches peuvent geler en 15 minutes. À ces températures, la mise en place de matériaux devrait être arrêtée et les matériaux devraient être protégés du gel.

À la fin de chaque journée de travail, les couches mises en place devraient être protégées contre le gel (e.g. paille, toile isolante, etc.). Autrement, tout remblai mis en place la veille ayant gelé devra être ré-excavé, dégelé et recompacté. Aussi, la présence de neige et d'eau doit être éliminée chaque jour. La température des sols devrait être vérifiée régulièrement. La température du sol devrait être au-delà de $+2^{\circ}\text{C}$ pour être propice à la compaction.

4.9.3 Mise en place du béton en conditions froides

Le béton (préfabriqué ou coulé sur place) ne doit pas être mis en place sur des matériaux gelés. Pour le béton coulé sur place, une protection temporaire contre le gel devrait être assurée pour éviter le gel des sols d'assise et pour favoriser la cure du béton. Les excavations devraient être remblayées avec un matériau granulaire drainant.

4.9.4 Inspections et contrôle de la qualité en conditions froides

La présence de personnel géotechnique à temps plein est recommandée pendant les travaux de terrassement effectués en conditions froides afin de valider la qualité et l'état des sols exposés, des matériaux de remblais et les procédures de travail. Ces vérifications doivent être faites instantanément durant les travaux de terrassement ou d'excavation.

Ce rapport a été préparé par Bertin Godé, ing., et révisé par Afif El-Dana, ing.

ANNEXE A

ÉNONCÉ DES CONDITIONS GÉNÉRALES

UTILISATION DU PRÉSENT RAPPORT : Le présent rapport a été préparé pour le seul bénéfice du client ou de son agent et il ne peut être utilisé par une tierce partie sans le consentement expressément écrit de Stantec Experts-conseils Ltée et du client. La responsabilité de toute utilisation du présent rapport par une tierce partie relève de cette dernière.

FONDEMENT DU RAPPORT : Les renseignements, les opinions ou les recommandations contenus dans le présent rapport sont en accord avec la compréhension actuelle de Stantec Experts-conseils Ltée relativement au projet spécifique au site, comme décrit par le client. Leur applicabilité se limite aux conditions du site au moment de l'investigation ou de l'étude. Si le projet spécifique au site proposé diffère de la description indiquée dans le présent rapport ou s'il est modifié, ou si les conditions du site ont changé, alors le présent rapport n'est plus valide à moins que le client demande à Stantec Experts-conseils Ltée de réviser et de mettre à jour le rapport afin qu'il reflète les modifications apportées au projet ou l'évolution des conditions du site.

NORMES DE CONDUITE : La préparation du présent rapport ainsi que tous les travaux connexes ont été réalisés conformément aux normes de conduite acceptées dans l'État ou la province où a lieu la prestation du service professionnel précis fourni au client. Aucune autre garantie n'est donnée.

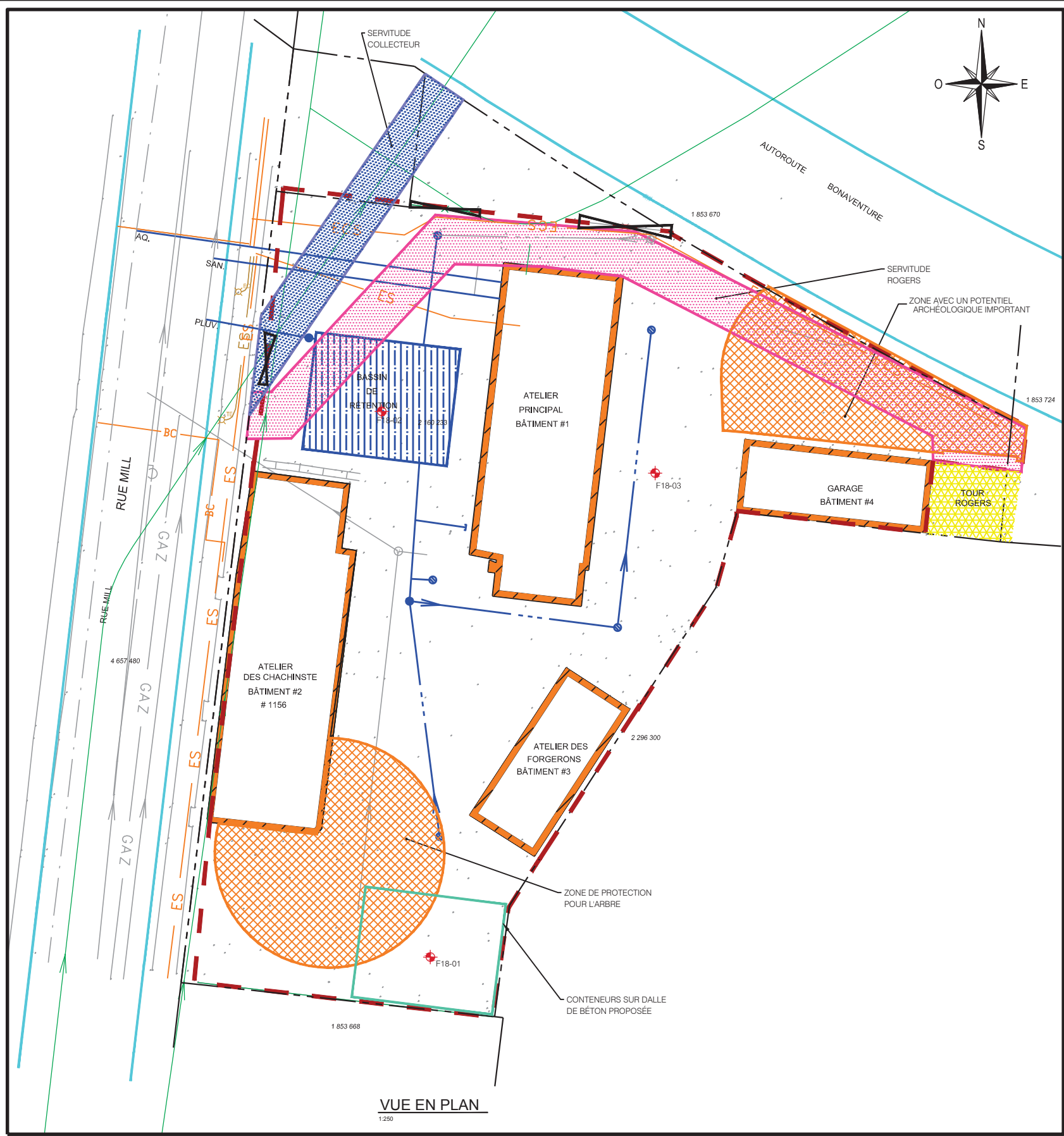
INTERPRÉTATION DES CONDITIONS DU SITE : Dans ce rapport, les descriptions du sol, du socle rocheux ou des autres matériaux ainsi que les énoncés concernant leur état sont basés sur les conditions du site constatées par Stantec Experts-conseils Ltée au moment de réaliser le travail et aux emplacements précis des essais ou des échantillonnages. Les classifications et les énoncés concernant les conditions sont établis conformément aux pratiques normalement acceptées, lesquelles sont discrétionnaires par nature; aucune description spécifique ne doit être considérée comme exacte, mais plutôt comme un reflet du comportement attendu des matériaux. L'extrapolation des conditions in situ ne peut être faite que dans une certaine étendue limitée au-delà des points d'échantillonnages et d'essais. L'étendue dépend de la variabilité des conditions du sol, du socle rocheux et de l'eau souterraine, selon l'influence des processus géologiques, des activités de construction et de l'utilisation du site.

CONDITIONS VARIABLES OU INATTENDUES : Dans l'éventualité où les conditions réelles du site ou les conditions souterraines diffèrent de celles décrites dans le présent rapport ou constatées aux emplacements d'essais, Stantec Experts-conseils Ltée doit en être avisée immédiatement afin de déterminer si les conditions variables ou inattendues sont importantes et s'il est nécessaire de réévaluer les conclusions ou les recommandations du rapport. Stantec Experts-conseils Ltée n'est pas responsable envers toute partie tierce pour les dommages encourus si elle n'est pas avisée des changements des conditions du site ou des conditions souterraines dès leur découverte.

PLANIFICATION, CONCEPTION OU CONSTRUCTION : Les plans de développement ou de conception et les spécifications doivent être révisés par Stantec Experts-conseils Ltée, et ce, suffisamment de temps avant le début de la prochaine étape du projet (acquisition de propriété, soumission, construction, etc.), afin de confirmer que le présent rapport tient entièrement compte des caractéristiques du projet élaboré et que le contenu du présent rapport a été correctement interprété. Durant la construction, des services spécialisés d'assurance de la qualité (observations sur le terrain et essais) seront nécessaires dans le cadre de l'évaluation des conditions souterraines et des travaux de préparation du site. Le travail sur le site lié aux recommandations contenues dans le présent rapport ne doit être effectué qu'en présence d'un ingénieur géotechnique qualifié; Stantec Experts-conseils Ltée ne peut être tenue responsable du travail réalisé sur le site en son absence.

ANNEXE B

U:\159100406\z5_CAD\VR\159100406-300-VR-D-0001.dwg
 2018/03/21 1:21 Par: Oriol, Marc-André



VUE EN PLAN
1:250

LÉGENDE

CONTRAINTES SUR LE TERRAIN

BARRIÈRE ACCÈS

BATIMENT

LIMITE DES TRAVAUX

ROUTE

ZONE D'EXCLUSION

RÉSEAU PLUVIAL ET ENTRÉES DE SERVICE SANITAIRE ET AQUEDUC.

CONDUITES EXISTANTES

MASSIFS ÉLECTRIQUES

MASSIF ROGERS

FORAGE

NOTE:
 LE RÉSEAU PLUVIAL MONTRÉ
 AU PLAN EST À TITRE INDICATIF SEULEMENT.
 LES BRANCHEMENTS DE SERVICE SONT À TITRE INDICATIF SEULEMENT.



Stantec Experts-conseils ltée
 375, boul. Roland-Therrien, bureau 400
 Longueuil (Québec) J4H 4A6
 Tél. 514.281.1010
 www.stantec.com



A CROQUIS CONCEPT/CONCEPT SKETCH		F.E.B	P.C	2017-12-14
Émissions/Révisions		Par	Appr.	AA-MM-JJ
Nom Fichier: 159100406-300-VR-D-0001.DWG				
AA-MM-JJ				

Fanny Ensburly-Beaulieu, Ing. jr Préparé	Marc-André Oriol, Tech. Jr. Dessiné
Patricia Coulombe, Ing. Vérifié	Éric Filion-Paquette, Ing. Jr. Chargé de projet

Sceaux

Client/Projet

REHABILITATION DE L'ÉGOUT,
 DE L'AQUEDUC ET DU STATIONNEMENT
 DES ATELIERS ET REHABILITATION
 DU SITE 15.5

PARCS CANADA

Montréal, Québec, Canada

Titre

RÉFECTION DES INFRASTRUCTURES
 SOUTERRAINES ET DU STATIONNEMENT

PLAN DE LOCALISATION DES FORAGES

Projet No. CLAC-1803-C001	Échelle 1:500
Dessin No.	Feuille de
	Révision A

ANNEXE C

Projet: Réfection des infrastructures et du stationnement des ateliers du L.N.H. du Canal-de-Lachine (lot #2)	Localisation: Dalle de conteneurs	Sondage: F18-01
No. projet: 159100406.200.002	X: 300784.8	Page: 1 de 1
Cliant: AGENCE PARCS CANADA	Y: 5038864.1	Date de début: 2018-03-02
Site: 1156, rue Mill, Montréal	Type de sondage: Tarière	Inspecteur: C. Marcoux
Figure:	Équipement: CME 55	Profondeur: 6.71 m
	Tubage: mm	Élévation: 15.28 m
	Carottier: mm	

TYPE D'ÉCHANTILLON	TERMINOLOGIE QUALITATIVE	TERMINOLOGIE QUANTITATIVE	SYMBOLES	NAPPE PHRÉATIQUE						
CF Cuillère fendue CFC Échantillonnage continu CD Carottier à diamants TA Tarière TM Tube à parois minces TS Tube shelby MA Échantillon manuel	Argile < 0,002 mm Silt 0,002 - 0,08 mm Sable 0,08 - 5 mm Gravier 5 - 80 mm Cailloux 80 - 200 mm Blocs > 200 mm	Traces < 10 % Un peu 10 - 20 % Adjectif (...eux) et (ex: et gravier) 20 - 35 % mot principal > 35 % Fraction dominante	N Indice de pénétration standard (ASTM D 1586) Nc Indice de pénétration au cône (BNQ 2501-145) RQD Indice de la qualité du roc (%)	<table border="1"> <tr> <th>Date</th> <th>Profondeur</th> </tr> <tr> <td>Lecture 1 2018-03-20</td> <td>3.92m</td> </tr> <tr> <td>Lecture 2</td> <td>m</td> </tr> </table>	Date	Profondeur	Lecture 1 2018-03-20	3.92m	Lecture 2	m
Date	Profondeur									
Lecture 1 2018-03-20	3.92m									
Lecture 2	m									
				Remarques:						

ÉTAT DE L'ÉCHANTILLON	CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES SOLS	INDICE DE QUALITÉ DU ROC	ESPACEMENT DES DISCONTINUITÉS
Remanié Intact (tube à parois minces) Perdu Carotté (forage au diamant)	COMPACTITÉ Très lâche 0 - 4 Lâche 4 - 10 Compacte 10 - 30 Dense 30 - 50 Très dense > 50	CONSISTANCE Très molle < 12 Molle 12 - 25 Ferme 25 - 50 Bonne 50 - 100 Très raide 100 - 200 Dure > 200	QUALIFICATIF Très mauvaise < 25 % Mauvaise 25 - 50 % Moyenne 50 - 75 % Bonne 75 - 90 % Excellente 90 - 100 %
	INDICE "N" 0 - 4 4 - 10 10 - 30 30 - 50 > 50	Cu OU Su (kPa) < 12 12 - 25 25 - 50 50 - 100 100 - 200 > 200	RQD < 25 % 25 - 50 % 50 - 75 % 75 - 90 % 90 - 100 %
			Très serré < 20 mm Serré 20 - 60 mm Rapproché 60 - 200 mm Moyennement espacé 200 - 600 mm Espacé 600 - 2000 mm Très espacé 2000 - 6000 mm Éloigné > 6000 mm

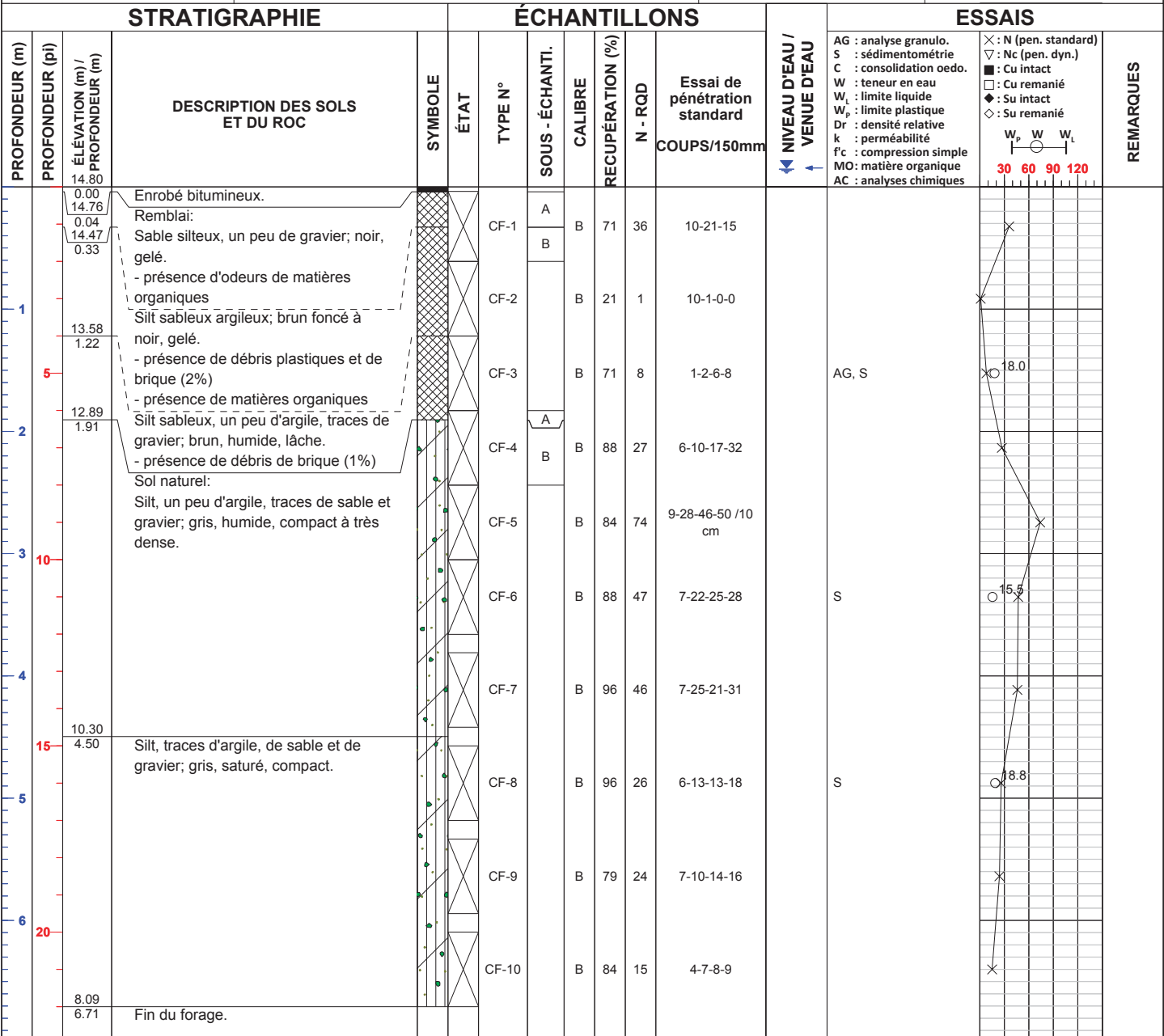
STRATIGRAPHIE			ÉCHANTILLONS					ESSAIS		REMARQUES			
PROFONDEUR (m)	PROFONDEUR (pi)	DESCRIPTION DES SOLS ET DU ROC	SYMBOLE	ÉTAT	TYPE N°	SOUS - ÉCHANTI.	CALIBRE	RECUPÉRATION (%)	N - RQD		Essai de pénétration standard COUPS/150mm	NIVEAU D'EAU / VENUE D'EAU	AG : analyse granul. S : sédimentométrie C : consolidation oedo. W : teneur en eau W _l : limite liquide W _p : limite plastique Dr : densité relative k : perméabilité f'c : compression simple MO : matière organique AC : analyses chimiques
0.00	0.00	Remblai: Sable graveleux silteux; noir, gelé. - présence de racines et de débris de brique et d'enrobé (2%)			CF-1		B	59	28	-16-12-3			
14.52	0.76	Silt sableux, traces de gravier; brun, humide, lâche. - présence de débris de brique (1%)			CF-2		B	42	6	4-2-4-4			
13.96	1.32	Sol naturel: Silt, un peu de sable et d'argile, traces de gravier; gris, humide, compact à très dense.			CF-3		B	75	10	2-5-5-11			
					CF-4		B	84	52	7-23-29-36		AG, S	
					CF-5		B	92	38	12-18-20-28			
					CF-6		B	92	25	5-12-13-18			
		...devenant saturé.			CF-7		B	59	28	7-14-14-17			
					CF-8		B	79	15	5-8-7-9			
10.02	5.26	Sable graveleux et silteux; gris foncé, saturé, dense. - présence de fragments de roc			CF-9		B	79	40	8-16-24-24		AG	
					CF-10		B	79	46	6-18-28-28			
8.57	6.71	Fin du forage.											

Remarques générales:	Vérifié par : Bertin Godé, ing.
	Date : 2018-03-22

Projet: Réfection des infrastructures et du stationnement des ateliers du L.N.H. du Canal-de-Lachine (lot #2)	Localisation : Bassin de rétention projeté	Sondage : F18-02
No. projet: 159100406.200.002	X : 300779.7	Page : 1 de 1
Cliant: AGENCE PARCS CANADA	Y : 5038921.4	Date de début : 2018-03-02
Site: 1156, rue Mill, Montréal	Type de sondage : Forage à percussion	Inspecteur : C. Marcoux
Figure:	Équipement : CME 55	Profondeur : 6.71 m
	Tubage : mm	Élévation : 14.80 m
	Carottier : mm	

TYPE D'ÉCHANTILLON	TERMINOLOGIE QUALITATIVE	TERMINOLOGIE QUANTITATIVE	SYMBOLES	NAPPE PHRÉATIQUE						
CF : Cuillère fendue CFC : Échantillonnage continu CD : Carottier à diamants TA : Tarière TM : Tube à parois minces TS : Tube shelby MA : Échantillon manuel	Argile < 0,002 mm Silt 0,002 - 0,08 mm Sable 0,08 - 5 mm Gravier 5 - 80 mm Cailloux 80 - 200 mm Blocs > 200 mm	Traces < 10 % Un peu 10 - 20 % Adjectif (...eux) 20 - 35 % et (ex: et gravier) > 35 % mot principal Fraction dominante	N : Indice de pénétration standard (ASTM D 1586) Nc : Indice de pénétration au cône (BNQ 2501-145) RQD : Indice de la qualité du roc (%)	<table border="1"> <tr> <th>Date</th> <th>Profondeur</th> </tr> <tr> <td>Lecture 1</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Lecture 2</td> <td>m</td> </tr> </table>	Date	Profondeur	Lecture 1	m	Lecture 2	m
Date	Profondeur									
Lecture 1	m									
Lecture 2	m									
				Remarques :						

ÉTAT DE L'ÉCHANTILLON	CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES SOLS	INDICE DE QUALITÉ DU ROC	ESPACEMENT DES DISCONTINUITÉS
Remanié Intact (tube à parois minces) Perdu Carotté (forage au diamant)	COMPACTITÉ Très lâche 0 - 4 Lâche 4 - 10 Compacte 10 - 30 Dense 30 - 50 Très dense > 50	CONSISTANCE Très molle < 12 Molle 12 - 25 Ferme 25 - 50 Raide 50 - 100 Très raide 100 - 200 Dure > 200	RQD Très mauvaise < 25 % Mauvaise 25 - 50 % Moyenne 50 - 75 % Bonne 75 - 90 % Excellente 90 - 100 %
	INDICE "N" 0 - 4 4 - 10 10 - 30 30 - 50 > 50	Cu Ou Su (kPa) < 12 12 - 25 25 - 50 50 - 100 100 - 200 > 200	Très serré < 20 mm Serré 20 - 60 mm Rapproché 60 - 200 mm Moyennement espacé 200 - 600 mm Espacé 600 - 2000 mm Très espacé 2000 - 6000 mm Éloigné > 6000 mm



Remarques générales:	Vérifié par : Bertin Godé, ing.
	Date : 2018-03-22

Projet: Réfection des infrastructures et du stationnement des ateliers du L.N.H. du Canal-de-Lachine (lot #2)	Localisation : Aire de stationnement et de circulation	Sondage : F18-03
No. projet: 159100406.200.002	X : 300808.3	Page : 1 de 1
Cliant: AGENCE PARCS CANADA	Y : 5038910.7	Date de début : 2018-03-02
Site: 1156, rue Mill, Montréal	Type de sondage : Forage à percussion	Inspecteur : C. Marcoux
Figure:	Équipement : CME 55	Profondeur : 6.71 m
	Tubage : mm	Élévation : 15.10 m
	Carottier : mm	

TYPE D'ÉCHANTILLON	TERMINOLOGIE QUALITATIVE	TERMINOLOGIE QUANTITATIVE	SYMBOLES	NAPPE PHRÉATIQUE						
CF Cuillère fendue	Argile < 0,002 mm	Traces < 10 %	N Indice de pénétration standard (ASTM D 1586)	<table border="1"> <tr> <th>Date</th> <th>Profondeur</th> </tr> <tr> <td>Lecture 1</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Lecture 2</td> <td>m</td> </tr> </table>	Date	Profondeur	Lecture 1	m	Lecture 2	m
Date	Profondeur									
Lecture 1	m									
Lecture 2	m									
CFC Échantillonnage continu	Silt 0,002 - 0,08 mm	Un peu 10 - 20 %	Nc Indice de pénétration au cône (BNQ 2501-145)							
CD Carottier à diamants	Sable 0,08 - 5 mm	Adjectif (...eux) et (ex: et gravier) > 35 %	RQD Indice de la qualité du roc (%)							
TA Tarière	Gravier 5 - 80 mm	mot principal Fraction dominante								
TM Tube à parois minces	Cailloux 80 - 200 mm									
TS Tube shelby	Blocs > 200 mm									
MA Échantillon manuel										

ÉTAT DE L'ÉCHANTILLON	CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES SOLS	INDICE DE QUALITÉ DU ROC	ESPACEMENT DES DISCONTINUITÉS
Remanié Intact (tube à parois minces) Perdu Carotté (forage au diamant)	COMPACTITÉ Très lâche 0 - 4 Lâche 4 - 10 Compacte 10 - 30 Dense 30 - 50 Très dense > 50	INDICE "N" 0 - 4 4 - 10 10 - 30 30 - 50 > 50	CONSISTANCE Très molle < 12 Molle 12 - 25 Ferme 25 - 50 Bonne 50 - 100 Très raide 100 - 200 Dure > 200

STRATIGRAPHIE			ÉCHANTILLONS					NIVEAU D'EAU / VENUE D'EAU		ESSAIS		REMARQUES		
PROFONDEUR (m)	PROFONDEUR (pi)	ÉLÉVATION (m) / PROFONDEUR (m)	DESCRIPTION DES SOLS ET DU ROC	SYMBOLE	ÉTAT	TYPE N°	SOUS - ÉCHANTI.	CALIBRE	RECUPÉRATION (%)	N - RQD	Essai de pénétration standard COUPS/150mm		NIVEAU D'EAU / VENUE D'EAU	AG : analyse granul. S : sédimentométrie C : consolidation oedo. W : teneur en eau W _l : limite liquide W _p : limite plastique Dr : densité relative k : perméabilité f'c : compression simple MO : matière organique AC : analyses chimiques
		15.10												
		0.00	Remblai: Sable silteux et graveleux; gris-noir, gelé.			CF-1		B	75	47	18-27-20-50 / 7,5 cm	AG		
		14.44	- présence de débris d'enrobé (1%)				A							
		0.66	Blocs et cailloux.			CF-2		B	46	48	38-32-16-8			
1		13.88	Silt argileux, un peu de sable, traces de gravier; brun, humide.			CF-3		B	63	7	3-2-5-4	AG, S		
		1.22												
		13.27	Sol naturel: Silt, un peu de sable et d'argile, traces de gravier; brun-gris, humide, très dense.			CF-4		B	100	68	8-27-41-50 / 15 cm			
2		1.83												
		12.05	Silt, un peu de sable, traces d'argile et de gravier; gris, saturé, compact.			CF-5		B	96	58	7-28-30-34			
3		3.05												
		9.84	Sable graveleux et silteux; gris, saturé, dense à très dense.			CF-6		B	96	28	7-14-14-18			
		5.26	- présence de fragments de roc			CF-7		B	67	23	4-11-12-16			
4														
		8.39				CF-8		B	88	20	5-9-11-12			
5		6.71												
		8.39	Fin du forage.			CF-9		B	67	49	2-8-41-50 / 12,5 cm			
		6.71												
						CF-10		B	75	61	31-31-30-33			

Remarques générales:	Vérifié par : <u>Bertin Godé, ing.</u>
	Date : 2018-03-22

ANNEXE D

ANNEXE E

F18-02 - CF-6 (Prof. 3,05 à 3,66 m)

Classification USDA

Argile : 12 %
 Silt : 79 %
 Sable : 8,6 %
 Gravier : 0,4 %
 Sol
 imperméable

Sol peu
 perméable

Sol
 perméable

Sol très
 perméable

$K = 8 \times 10^{-8}$ cm/s
 $T = 60$ min/cm

$K = 6 \times 10^{-5}$ cm/s
 $T = 45$ min/cm

$K = 2 \times 10^{-4}$ cm/s
 $T = 25$ min/cm

$K = 4 \times 10^{-4}$ cm/s
 $T = 15$ min/cm

$K = 1 \times 10^{-3}$ cm/s
 $T = 10$ min/cm

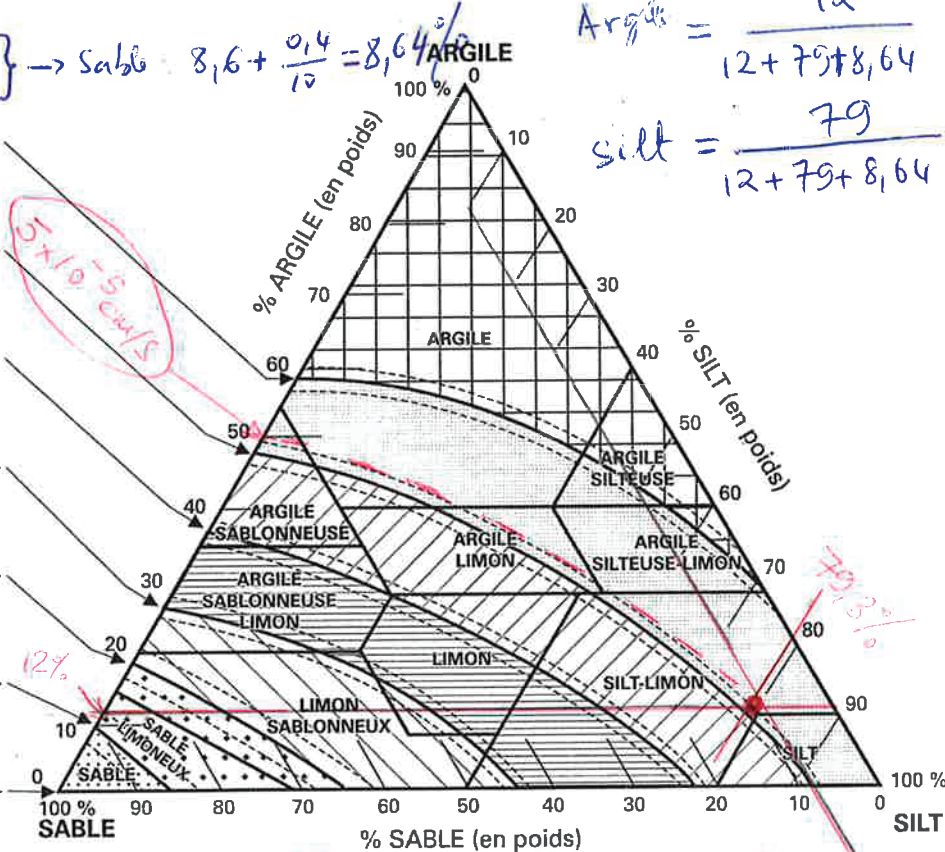
$K = 4 \times 10^{-3}$ cm/s
 $T = 4$ min/cm

$K = 1 \times 10^{-2}$ cm/s
 $T = 1,5$ min/cm

$$\text{sable} = \frac{8,64}{12 + 79 + 8,64} = 8,7\%$$

$$\text{Argile} = \frac{12}{12 + 79 + 8,64} = 12,0\%$$

$$\text{silt} = \frac{79}{12 + 79 + 8,64} = 79,3\%$$



$K = 5 \times 10^{-5}$ cm/s \Rightarrow Sol relativement imperméable 8,7%

- * 1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.
- 2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).
- 3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

Figure 3.1 Corrélation entre la texture du sol et sa valeur probable de conductivité hydraulique

Les dimensions des particules de sable, de silt et d'argile utilisées pour établir la texture du sable doivent être celles du système de classification du National Resources Conservation Service du United States Department of Agriculture (USDA NRCS).

Selon cette classification :

Sable : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm.

Silt : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm.

Argile : Particules dont le diamètre est inférieur à 0002 mm.

$$K = 8 \times 10^{-6} + \frac{9}{11} (6 \times 10^{-5} - 8 \times 10^{-6}) = 0,0000505 = 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s.}$$

février 2016

F18-02-CF-8 (Prof 4,57 à 5,18m)

classification USDA

Argile = 7,7%
 silt = 74,3%
 sable = 17,1%
 Gravier = 0,9%

sable = $17,1 + \frac{0,9}{10} = 17,19\%$

Sable = $\frac{17,19}{7,7 + 74,3 + 17,19} = 17,3\%$

Argile = $\frac{7,7}{7,7 + 74,3 + 17,19} = 7,8\%$

Silt = $\frac{74,3}{7,7 + 74,3 + 17,19} = 74,9\%$

sol imperméable
 $K = 8 \times 10^{-4}$ cm/s
 $T = 60$ min/cm

sol peu perméable
 $K = 6 \times 10^{-5}$ cm/s
 $T = 45$ min/cm

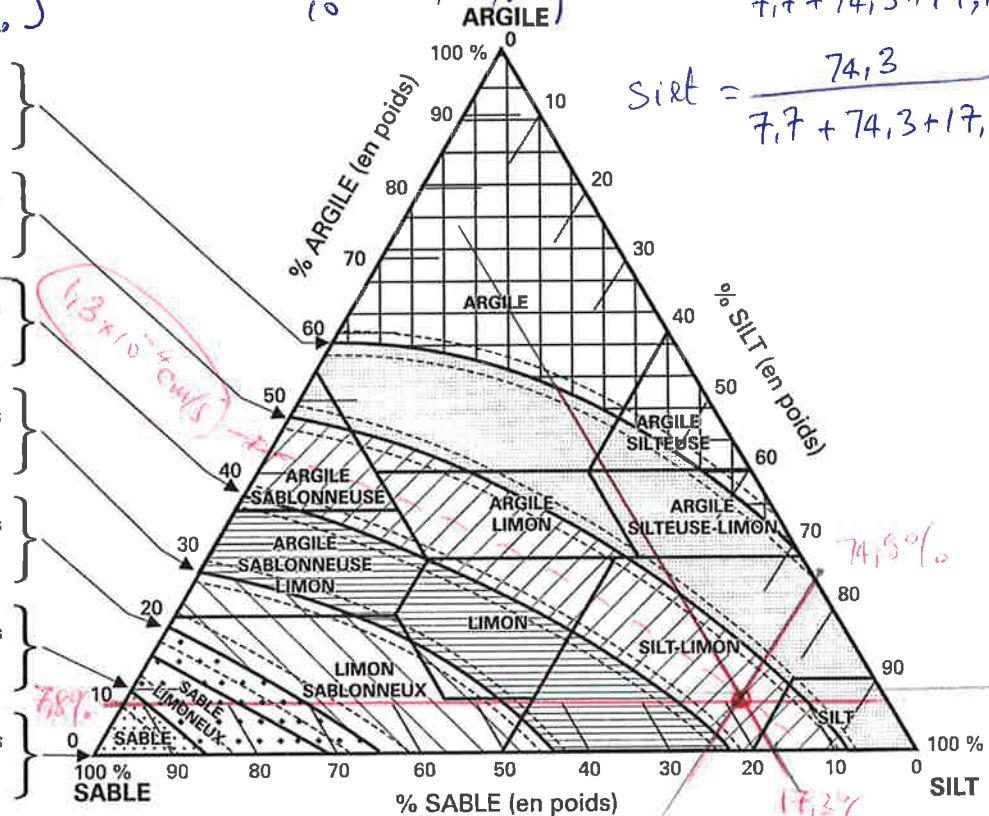
sol perméable
 $K = 2 \times 10^{-4}$ cm/s
 $T = 25$ min/cm

$K = 4 \times 10^{-4}$ cm/s
 $T = 15$ min/cm

$K = 1 \times 10^{-3}$ cm/s
 $T = 10$ min/cm

sol très perméable
 $K = 4 \times 10^{-3}$ cm/s
 $T = 4$ min/cm

$K = 1 \times 10^{-2}$ cm/s
 $T = 1,5$ min/cm



- * 1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.
- 2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).
- 3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

Figure 3.1 Corrélation entre la texture du sol et sa valeur probable de conductivité hydraulique

Les dimensions des particules de sable, de silt et d'argile utilisées pour établir la texture du sable doivent être celles du système de classification du National Resources Conservation Service du United States Department of Agriculture (USDA NRCS).

Selon cette classification :

- Sable : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm.
- Silt : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm.
- Argile : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002 mm.

$$K \approx \frac{1}{2} \left(6 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-4} \right)^{3-8} = \frac{1}{2} \left(0,6 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4} \right) = 1,3 \times 10^{-4}$$

février 2016