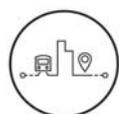


Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520. Entre Saint Laurent et Lachine, Québec

Étude géotechnique

ÉNERGIR



Environnement et géosciences

24 | 02 | 2020

Rapport
Ref. Interne N/Dossier n° : 670463 - N/Document n° : 670463-EG-L01-00

Original : 2021.02.24

**Énergir-1, Document 3
(59 pages en liasse)**

Le 24 février 2020

Par courriel : xavier.leblanc@energir.com

Monsieur Xavier Leblanc
Technicien de projets
Énergir
1717 rue du Havre
Montréal (Québec) H2K 2X3

Objet : Étude géotechnique

Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520.

Entre Saint-Laurent et Lachine, Québec

N/Dossier n° : 670463

N/Document n° : 670463-EG-L01-00

Monsieur,

Veuillez trouver ci-joint la version électronique du rapport concernant l'étude géotechnique effectuée par SNC-Lavalin Environnement et géosciences (« SNC-Lavalin »), opérant sous l'entité juridique SNC-Lavalin GEM Québec inc., dans le cadre du projet mentionné en titre.

Nous espérons le tout à votre entière satisfaction et vous prions d'agréer, Monsieur Leblanc, l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Yves Descôteaux, ing., M. Ing.
Chef d'équipe - Géotechnique
Environnement et géosciences
Ingénierie, conception et gestion de projet

VL/YD/cr

p.j.

Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520. Entre Saint-Laurent et Lachine, Québec

Étude géotechnique

ÉNERGIR
1717 rue du Havre,
Montréal (Québec) H2K 2X3



Vincent Leroux, ing. jr., M.Ing.
N° de membre de l'OIQ : 5086461



Yves Descôteaux, ing., M.Ing.
N° de membre de l'OGQ : 102674

N/Dossier n° : 670463
N/Document n° : 670463-EG-L01-00

Février 2020

Table des matières

1	Introduction	1
<hr/>		
2	Méthode de reconnaissance	2
<hr/>		
2.1	Travaux de forage	2
2.2	Arpentage	2
2.3	Travaux en laboratoire	3
3	Résultats de l'étude	1
<hr/>		
3.1	Sols	1
3.1.1	Structure de chaussée	1
3.1.2	Remblai	2
3.1.3	Till	2
3.1.4	Roc	3
3.1.4.1	Classification géomécanique	3
3.1.4.2	Propriétés mécaniques du roc	7
3.1.4.3	Abrasivité du roc	8
3.2	Eau souterraine	9
4	Commentaires et recommandations d'ordre géotechnique	10
<hr/>		
4.1	Description du projet	10
4.2	Puits d'accès	10
4.2.1	Nature des sols à excaver	10
4.2.2	Assèchement	10
4.2.3	Inclinaison des pentes	10
4.2.4	Soutènement temporaire	11
4.3	Tranchée ouverte	12
4.3.1	Réutilisation des matériaux	12
4.3.2	Mise en place des conduites	13
4.3.3	Transitions	13
4.4	Méthode d'excavation sans tranchée	13

Table des matières (suite)

Liste des tableaux

Tableau 1	Essais géotechniques en laboratoire	3
Tableau 2	Résumé de la stratigraphie - sols	1
Tableau 3	Propriétés physiques la portion argileuse du remblai	2
Tableau 4	Répartition des valeurs RQD	4
Tableau 5	Répartition des valeurs de cote Q	5
Tableau 6	Répartition des valeurs de cote RMR	6
Tableau 7	Résultats des propriétés mécaniques du roc	7
Tableau 8	Plages d'abrasivité CERCHAR	8
Tableau 9	Résultats des essais d'abrasivité CERCHAR	8
Tableau 10	Profondeur et niveau de l'eau souterraine	9
Tableau 11	Paramètres géotechniques pour la conception d'un soutènement temporaire	11

Liste des annexes

Annexe 1

Portée du rapport

Annexe 2

Rapports de forage

Annexe 3

Résultats des essais géotechniques en laboratoire

Annexe 4

Description géomécanique du roc

Annexe 5

Dessin

Ce rapport est composé de 56 pages incluant les annexes et ne peut être reproduit en tout ou en partie sans l'autorisation de SNC-Lavalin GEM Québec inc.

1 Introduction

Les services professionnels de SNC-Lavalin Environnement et géosciences, opérant sous l'entité juridique SNC-Lavalin GEM Québec inc. (« SNC-Lavalin »), ont été retenus par Énergir pour effectuer une étude géotechnique préliminaire dans le cadre d'un projet d'abandon et de reconstruction d'une conduite de gaz naturel sous les voies de l'autoroute Chomedey (A-13), au sud de l'autoroute Côte-de-Liesse (A-520), entre Saint-Laurent et Lachine, au Québec.

À la demande du Ministère des Transports du Québec (MTQ), Énergir doit relocaliser sa conduite de 406,4 mm CL-2400 présente dans l'axe de l'A-520, car le MTQ reconstruira le viaduc sur lequel la conduite est accrochée. La mise en place de la conduite projetée est prévue en tranchée ouverte en amont et aval de la traverse de l'A-13. Sous les voies de l'A-13, la mise en place se fera par une méthode d'excavation sans tranchée dans le roc.

Ce mandat a été mené conformément aux termes de notre proposition du 2 octobre 2019. L'octroi du mandat par Énergir a été confirmé par le bon de commande N° 4500186551, reçu le 18 novembre 2019. Ce mandat s'inscrit dans le cadre de notre offre de services professionnels N° 19-00070 du 24 janvier 2019.

Le rapport comprend une description de la méthode de travail utilisée lors de la reconnaissance des sols et du roc, les résultats obtenus, ainsi que des commentaires et recommandations pertinents du point de vue de la géotechnique pour la relocalisation de la conduite de gaz et la conception des puits d'accès. L'étude a permis de déterminer les caractéristiques du roc dans lequel l'excavation sans tranchée sera réalisée. Ces informations permettront à l'entrepreneur en forage de faire un choix éclairé concernant la méthode d'excavation sans tranchée à préconiser.

La caractérisation environnementale des sols et de l'eau souterraine ne fait pas partie du présent mandat. En conséquence, la description des sols fournie dans le cadre de cette reconnaissance n'est valable que du point de vue de la géotechnique, soit exclusivement pour la conception et la construction des ouvrages de génie civil, et n'ont aucunement la prétention de conclure sur la présence ou l'absence de matières toxiques ou contaminantes sur le site.

Ce rapport a été préparé spécifiquement et seulement pour Énergir et pour les consultants collaborant éventuellement au projet. Toute modification au projet doit être signalée à SNC-Lavalin afin que la portée et la pertinence de la reconnaissance géotechnique ainsi que les recommandations contenues dans le rapport puissent être réexaminées et modifiées, le cas échéant.

La portée du rapport est présentée à l'annexe 1.

2 Méthode de reconnaissance

2.1 Travaux de forage

Les investigations sur le terrain ont été effectuées du 16 au 20 décembre 2019, sous la surveillance constante d'un technicien spécialisé en géotechnique de SNC-Lavalin. Ils ont consisté en l'exécution de six forages, identifié F-01-19 à F-06-19.

Les forages F-02-19 et F-03-19 sont situés du côté ouest de l'A-13, alors que les forages F-01-19 et F-04-19 sont plutôt situés du côté est, aux emplacements probables des puits d'entrée et de sortie de l'excavation sans tranchée. Les forages F-05-19 et F-06-19 sont situés sur la propriété du 8750 chemin de la Côte-de-Liesse afin de valider la profondeur du roc dans la portion est.

Les forages ont été effectués à l'aide d'une foreuse hydraulique montée sur chenilles de marque Central Mine Equipment, modèle CME-75. L'avancement des forages dans le sol a été effectué par la rotation simultanée de tubes de calibre NW et d'un carottier diamanté de calibre NQ. Entre les descentes des tubes, des échantillons de sol ont été prélevés au moyen d'un carottier fendu normalisé d'un diamètre extérieur de 51 mm et d'une longueur de 610 mm, conformément aux exigences de la norme ASTM D 1586 décrivant l'essai de pénétration standard (SPT). Cet essai permet de déterminer l'indice de pénétration « N » qui indique l'état de compacité des sols pulvérulents.

Le roc a été échantillonné dans les forages à l'aide d'un carottier diamanté de calibre NQ sur des longueurs variant de 1,60 à 19,08 m, ce qui a permis de déterminer l'indice de qualité du roc (RQD) sur des carottes de 48 mm de diamètre, selon les exigences de la norme ASTM D 6032. Les forages ont atteint des profondeurs variant de 7,11 à 25,28 m. Les rapports individuels des six forages sont joints à l'annexe 2.

Un tube d'observation a été installé dans tous les forages afin d'obtenir une lecture du niveau de l'eau souterraine.

La position des forages est indiquée sur le dessin inclus à l'annexe 5.

2.2 Arpentage

L'implantation et le relevé de la position exacte des forages ont été effectués par le personnel de SNC-Lavalin à l'aide d'un récepteur de géopositionnement par satellite (GPS) de marque Leica, modèle GS-14, utilisant la technologie des stations de référence virtuelles (VRS) et permettant une précision en plan et en élévation de plus ou moins 15 mm. Les coordonnées planimétriques sont en référence au système SCoPQ (NAD 83, Fuseau 8) et les niveaux se réfèrent au système géodésique (CGVD28, modèle géoïde HT-2).

Le dessin, joint à l'annexe 5 de ce rapport, indique l'emplacement des six forages effectués dans le cadre de la présente étude.

2.3 Travaux en laboratoire

Tous les échantillons de sol et de roc recueillis dans les forages ont été transportés au laboratoire de géotechnique de SNC-Lavalin où ils ont fait l'objet d'un examen visuel et d'une description détaillée. De plus, les carottes de roc récupérées ont fait l'objet d'un examen visuel attentif de la part d'un géologue qui a effectué une description pétrographique, structurale et géomécanique sommaire du roc en plus de la détermination du *Roc Quality Designation* (RQD). Les photographies des carottes de roc sont présentées à la suite des rapports individuels de forage à l'annexe 2.

Des échantillons représentatifs des sols et du roc ont été soumis au programme d'essais géotechnique du tableau 1.

Tableau 1 Essais géotechniques en laboratoire

Essai	Nombre d'échantillons
Essai géotechnique sur les sols	
Analyse granulométrique par tamisage et lavage au tamis 80 µm et teneur en eau	7
Analyse granulométrique par sédimentométrie	3
Détermination des limites d'Atterberg	1
Détermination de la teneur en eau	1
Résistance au cisaillement remaniée au cône suédois	1
Essai géotechnique sur carotte de roc	
Résistance à la compression uniaxiale	12
Poids volumique	12
Abrasivité Cerchar	12

Les résultats des analyses granulométriques et des limites d'Atterberg sont présentés sous forme graphique sur les figures de l'annexe 3. Les résultats de la teneur en eau, de la résistance au cisaillement remaniée, de la résistance à la compression uniaxiale sur des carottes de roc, du poids volumique et de l'abrasivité Cerchar apparaissent dans la colonne appropriée des rapports de forage joints à l'annexe 2.

Les échantillons de sol prélevés dans les forages et n'ayant pas servi aux essais en laboratoire seront conservés jusqu'au mois d'août 2020. Après cette période, ils seront éliminés à moins d'avis contraire de la part d'Énergir.

3 Résultats de l'étude

3.1 Sols

La description détaillée des sols rencontrés dans les forages est indiquée sur les rapports individuels joints à l'annexe 2.

Le sommaire de la stratigraphie rencontrée dans les six forages est indiqué au tableau 2 et dans les paragraphes suivants.

Tableau 2 Résumé de la stratigraphie - sols

Forage n°	Structure de chaussée		Remblai		Dépôt de till		Roc	
	Niveau supérieur (m)	Épaisseur (m)	Niveau supérieur (m)	Épaisseur (m)	Niveau supérieur (m)	Épaisseur (m)	Niveau supérieur (m)	Profondeur (m)
F-01-19	-	-	41,27	10,21	-	-	31,06	10,21
F-02-19	-	-	41,38	1,52	39,86	6,96	32,90	8,48
F-03-19	-	-	41,83	2,29	39,54	6,07	33,47	8,36
F-04-19	-	-	40,76	4,42	36,34	1,78	34,56	6,20
F-05-19	40,54	0,28	-	-	40,26	5,31	34,95	5,59
F-06-19	41,17	0,45	40,72	1,07	39,65	3,99	35,66	5,51

La description de la nature et des propriétés des principales unités stratigraphiques est résumée dans les paragraphes qui suivent.

3.1.1 Structure de chaussée

Une structure de chaussée a été observée au droit des forages F-05-19 et F-06-19, directement à partir de la surface, et ce sur une épaisseur de 0,28 et 0,45 m respectivement. Une couche d'enrobé bitumineux d'une épaisseur respective de 0,13 et 0,06 m a été observée dans ces forages. Sous cette couche d'enrobé bitumineux, une fondation granulaire constituée de pierre concassée de calibre apparent 0 - 20 ou 0 - 40 mm a été observée.

3.1.2 Remblai

Des sols de remblai ont été observés au droit de tous les forages, à l'exception du forage F-05-19. Ces sols de remblai ont été observés directement à partir de la surface ou sous la structure de chaussée, et ce sur une épaisseur variant de 1,07 à 10,21 m.

Des analyses granulométriques ont été effectuées sur trois échantillons de remblai. Les résultats sont présentés sous forme graphique à la figure 1 de l'annexe 3. Sur la base des résultats des analyses granulométriques et de l'examen visuel effectué sur les autres échantillons, la composition des sols de remblai est variable. Dans le forage F-01-19, la composition du remblai est un gravier sableux, un peu de silt à silteux, avec des traces d'argile. Dans les autres forages, la composition du remblai est un silt sableux avec des proportions variables de gravier et d'argile.

De la pierre concassée a été rencontrée au sein du remblai dans les forages F-02-19 et F-03-19.

De la matière organique a été rencontrée au sein du remblai dans tous les forages ayant rencontré les sols de remblai.

L'indice de pénétration « N » a été mesuré à 20 occasions dans les cinq forages ayant intercepté un remblai et les valeurs obtenues varient de 2 à 63, témoignant de sols de compacité très lâche à très dense.

Dans le forage F-04-19, la composition du remblai est plus argileuse. Des analyses en laboratoire ont été effectuées sur un échantillon provenant de cette portion argileuse. Le tableau 3 présente les résultats obtenus.

Tableau 3 Propriétés physiques la portion argileuse du remblai

Forage n°	Échantillon n°	Profondeur (m)		Teneur en eau w (%)	Limites d'Atterberg			Indice de liquidité I _L	Classification ASTM D 2487	Résistance au cisaillement remaniée (kPa)
		de	à		Limite de liquidité w _L (%)	Limite de plasticité w _p (%)	Indice de plasticité I _p (%)			
F-04-19	CF-3	1,52	2,13	18	26	16	11	0,3	CL	44

3.1.3 Till

Directement sous le remblai, les forages F-02-19 à F-06-19 ont rencontré un dépôt de till. L'épaisseur du dépôt varie de 1,78 à 6,96 m.

Des analyses granulométriques ont été effectuées sur quatre échantillons représentatifs du dépôt de till. Les résultats sont présentés sous forme graphique à la figure 2 de l'annexe 3. Sur la base des résultats des analyses granulométriques et de l'examen visuel effectué sur les

autres échantillons, la composition du dépôt de till varie d'un silt argileux avec un peu de sable du côté fin à silt sableux et graveleux avec des traces d'argile du côté grossier.

Compte tenu de l'origine glaciaire du dépôt, des cailloux et des blocs ont été rencontrés dans les forages. La proportion de cailloux et de blocs dans le dépôt de till ne peut cependant pas être établie sur la base de ces forages.

De la matière organique a été rencontrée au sein du dépôt de till dans les forages F-02-19 et F-05-19.

L'indice de pénétration « N » dans le dépôt de till a été mesuré à 24 occasions dans les six forages. Les résultats obtenus varient généralement entre 7 et 50. La compacité peut donc être qualifiée de très lâche à dense.

3.1.4 Roc

Le roc a été atteint au droit des six forages, à des profondeurs variant de 5,51 à 10,21 m, correspondant à des niveaux géodésiques variant de 35,66 à 31,06 m.

De façon générale, la nature du roc est celle d'un calcaire fossilifère à grain fin, avec interlits centimétriques ondulés de shale calcaireux bioturbés, appartenant au Membre de Terrebonne. Des horizons de roche intrusive mafique ont été observés dans les forages F-02-19 et F-04-19. Des veinules et des veines de calcite ont été observées dans les six forages.

3.1.4.1 Classification géomécanique

En plus des mesures de l'indice de qualité du roc RDQ, des descriptions visuelles et des examens physiques en laboratoire ont été effectués sur les échantillons de roc obtenus lors de la réalisation des forages. Ces essais ont permis de déterminer une classification géomécanique du roc. Pour ce faire, les cotes Q, RMR et GSI ont été déterminées. Les tableaux de l'annexe 4 présentent les cotes Q, RMR et GSI obtenues pour chacune des courses forées.

a) RQD

Les valeurs de l'indice de qualité du roc (RQD) ont été mesurées à 52 occasions dans les six forages. Cet indice est une mesure indirecte du nombre de fractures dans un massif rocheux. Le tableau 4 ci-après présente le nombre de valeurs RQD pour chacune des classes de roc.

Tableau 4 Répartition des valeurs RQD

Classe de roc (RQD)	Nombre de valeurs	Pourcentage
Très mauvaise (0 % - 25 %)	2	4
Mauvaise (25 % - 50 %)	1	2
Moyenne (50 % - 75 %)	1	2
Bonne (75 % - 90 %)	13	25
Excellente (90 % - 100 %)	35	67
Total	52	100

À l'examen du tableau 4, il est possible de constater que 92 % des valeurs de RQD mesurées se situent entre 75 et 100 %, témoignant d'un roc de qualité (RQD) bonne à excellente. Les valeurs de qualité (RQD) les plus faibles (très mauvaise à mauvaise) se retrouvent dans le premier mètre, soit à la surface du roc, laquelle est habituellement plus fracturée et altérée.

b) Cote Q

Le système de classification de la cote Q de Barton¹ est basé sur trois principes, soit la classification du massif rocheux, le choix des dimensions optimales de l'excavation et l'estimation des besoins en soutènement.

Cette cote se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$Q = (RQD/J_n) \cdot (J_r/J_a) \cdot (J_w/SRF)$$

La cote Q est basée sur les six paramètres suivants :

- › RQD - Indice de qualité du roc;
- › J_n - paramètre basé sur le nombre de familles de discontinuités;
- › J_r - paramètre basé sur la rugosité des discontinuités;
- › J_a - paramètre basé sur l'altération et le remplissage des discontinuités;
- › J_w - paramètre basé sur les conditions hydrauliques;
- › SRF - paramètre de réduction relié à la profondeur et à la présence de zone de cisaillement. Une valeur de J_w de 0,66 a été utilisée arbitrairement pour l'ensemble des échantillons, ce qui correspond à une infiltration moyenne. La valeur SRF a été estimée à 2,5 pour l'ensemble des échantillons en considérant que les excavations dans le roc seront effectuées à moins de 50 m de profondeur sous la surface du roc et qu'aucune zone de cisaillement n'a été interceptée. De plus, les valeurs les plus prudentes de J_r et J_a , déterminés dans le joint le plus défavorable de chacune des courses, ont été retenues pour le calcul de la cote Q.

¹ Barton, N., Lien, R. & Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics. 6: 4: pp. 189-236.

Les valeurs de la qualité du massif rocheux selon la classification géomécanique de la cote Q ont été mesurées à 50 occasions dans les forages F-01-19 à F-04-19. Le tableau 5 ci-après présente le nombre de valeurs Q pour chacune des classes de roc. Les résultats complets de cette classification géomécanique se retrouvent à l'annexe 4.

Tableau 5 Répartition des valeurs de cote Q

Classe de roc (Q)	Nombre de valeurs	Pourcentage (%)
Exceptionnellement mauvaise (< 0,01)	1	2
Extrêmement mauvaise (0,01 - 0,1)	0	0
Très mauvaise (0,1 - 1,0)	1	2
Mauvaise (1,0 - 4,0)	11	22
Moyenne (4,0 - 10,0)	13	26
Bonne (10,0 - 40,0)	24	48
Très bonne (40,0 - 100,0)	0	0
Extrêmement bonne (100,0 - 400,0)	0	0
Exceptionnellement bonne (> 400,0)	0	0
Total	50	100

À l'examen du tableau 5, il est possible de constater que la qualité du roc selon la cote Q est généralement moyenne à bonne (74 %). Toutefois, il y a 22 % des valeurs qui démontrent une qualité du roc (Q) mauvaise. Les valeurs de qualité (Q) exceptionnellement mauvaise à très mauvaise se retrouvent dans le premier mètre, soit à la surface du roc, laquelle est habituellement plus fracturé et altéré.

c) Cote RMR

En 1976, Bieniawski² a publié les détails d'une classification des masses rocheuses (RMR). Plusieurs variantes se sont succédé au fil des ans, la version de 1989 a été utilisée dans le cadre de la présente étude. Cette cote se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{RMR} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B$$

² Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley-Interscience. pp. 40–47.

La cote RMR est basée sur une sommation des six paramètres suivants :

- › A1 - résistance à la compression uniaxiale du roc;
- › A2 - valeur de l'indice RQD;
- › A3 - espacement des discontinuités;
- › A4 - état des discontinuités;
- › A5 - conditions hydrauliques;
- › B - orientation des discontinuités par rapport au sens d'excavation.

L'orientation et le pendage des joints influencent la stabilité des excavations et une correction est appliquée à la valeur RMR afin d'en tenir compte. Considérant la prédominance d'une famille de joints subhorizontale, une valeur moyenne de correction (B) de -5 a été retenue. Une valeur de A5 de 7 a été utilisée arbitrairement pour l'ensemble des échantillons, ce qui correspond à une infiltration moyenne.

De plus, pour chacun des échantillons, les valeurs les plus prudentes concernant l'état des discontinuités, déterminées dans le joint le plus défavorable de chacune des courses ont été retenues.

Comme pour la classification géomécanique de la cote Q, les valeurs de la qualité du massif rocheux selon la classification géomécanique de la cote RMR ont été mesurées à 50 occasions dans les forages F-01-19 à F-04-19. Le tableau 6 ci-après présente le nombre de valeurs RMR pour chacune des classes de roc. Les résultats complets de cette classification géomécanique se retrouvent également à l'annexe 4.

Tableau 6 Répartition des valeurs de cote RMR

Classe de roc (RMR)	Nombre de valeurs	Pourcentage (%)
V - Très mauvaise (< 21)	0	0
IV - Mauvaise (21 - 40)	2	4
III - Moyenne (41 - 60)	21	42
II - Bonne (61 - 80)	27	54
I - Très bonne (81 - 100)	0	0
Total	50	100

À l'examen du tableau 6, il est possible de constater que la qualité du roc selon la cote RMR est généralement moyenne à bonne (96 %). Les valeurs de qualité (RMR) les plus faibles (mauvaise à très mauvaise) se retrouvent dans le premier mètre, soit à la surface du roc, laquelle est habituellement plus fracturée et altérée.

d) Cote GSI

La cote GSI ou encore, le Geological Strength Index (GSI) de Hoek (2000)³ peut être estimée à partir du RMR en utilisant l'équation suivante :

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{89}' - 5$$

Le RMR_{89}' est un RMR modifié où la cote pour l'eau souterraine est fixée à 15 et où aucun ajustement pour l'orientation des discontinuités n'est appliqué. Les valeurs les plus prudentes concernant l'état des discontinuités déterminé dans le joint le plus défavorable de chacune des courses ont été retenues.

Si le RMR_{89}' est inférieur à 23, la valeur de la cote Q est utilisée pour estimer la cote GSI :

$$\text{GSI} = 9 \ln Q' + 44$$

La cote Q' est une valeur de cote Q modifiée où la cote pour l'eau souterraine J_w et le facteur de réduction relié à la présence de zone de cisaillement SRF sont fixés à 1. Les résultats complets de cette classification géomécanique se retrouvent également à l'annexe 4.

3.1.4.2 Propriétés mécaniques du roc

Des essais en laboratoire ont été effectués sur différents échantillons représentatifs du roc prélevés dans les forages. Les essais effectués visaient la détermination de la résistance à la compression uniaxiale et le poids volumique. Les résultats de ces essais sont présentés sur les rapports individuels de forage et sur le tableau 7 ci-après.

Tableau 7 Résultats des propriétés mécaniques du roc

Forage n°	Profondeur (m)	Nature du roc	Résistance à la compression (MPa)	Poids volumique (kN/m ³)
F-01-19	12,62	Calcaire	184	26,4
	15,85	Calcaire	115	26,3
	22,27	Calcaire	104	26,3
F-02-19	9,37	Calcaire	140	26,4
	15,47	Intrusif mafique	240	29,6
	23,38	Calcaire	191	26,3
F-03-19	10,49	Calcaire	119	26,5
	15,54	Calcaire	166	26,5
	22,30	Calcaire	148	26,4
F-04-19	7,82	Calcaire	154	26,4
	16,70	Intrusif mafique	227	28,3
	21,46	Calcaire	193	26,5

³ Hoek, E., (2000). *GSI: A Geologically friendly tool for rock mass strength estimation*.

Dans le calcaire, les valeurs de la résistance à la compression uniaxiale sont comprises entre 104 et 193 MPa, témoignant d'un roc de résistance très forte (R5) selon la classification de l'ISRM. Les mesures de poids volumique du calcaire sont comprises entre 26,3 et 26,5 kN/m³.

Dans les intrusifs mafiques, les valeurs de la résistance à la compression uniaxiale sont de 227 et 240 MPa, témoignant d'un roc de résistance très forte (R5) selon la classification de l'ISRM. Les mesures de poids volumique du calcaire sont de 28,3 et 29,6 kN/m³.

3.1.4.3 Abrasivité du roc

Des essais d'abrasivité Cerchar ont été effectués sur 12 échantillons de roc. Les plages de qualification du degré d'abrasivité selon les exigences de la norme ASTM D 7625-10, avec une pointe de dureté Rockwell de 55, sont indiquées au tableau 8, alors que les résultats de l'indice CAI (Cerchar Abrasivity Index) sont présentés au tableau 9.

Tableau 8 Plages d'abrasivité CERCHAR

Abrasivité	Indice CAI
Très faible	0,3 – 0,5
Faible	0,5 – 1,0
Moyenne	1,0 – 2,0
Élevée	2,0 – 4,0
Très élevée	4,0 – 6,0
Quartzitique	6,0 – 7,0

Tableau 9 Résultats des essais d'abrasivité CERCHAR

Forage n°	Profondeur (m)	Nature du roc	Indice CAI	Abrasivité
F-01-19	12,23	Calcaire	0,48	Très faible
	15,69	Calcaire	0,48	Très faible
	22,40	Calcaire	0,48	Très faible
F-02-19	9,21	Calcaire	0,48	Très faible
	16,34	Intrusif mafique	0,84	Faible
	23,24	Calcaire	0,48	Très faible
F-03-19	10,13	Calcaire	0,48	Très faible
	15,70	Calcaire	0,48	Très faible
	22,55	Calcaire	0,51	Faible
F-04-19	7,65	Calcaire	0,48	Très faible
	16,35	Intrusif mafique	0,50	Faible
	21,22	Calcaire	0,48	Très faible

Les valeurs de l'indice d'abrasivité Cerchar (CAI) pour le calcaire varient de 0,48 à 0,51 caractérisant un roc d'abrasivité très faible à faible. Les deux valeurs de l'indice d'abrasivité Cerchar (CAI) mesurées sur les intrusifs mafiques sont de 0,84 et 0,50 caractérisant un roc d'abrasivité faible.

3.2 Eau souterraine

Le niveau de l'eau souterraine a été mesuré le 20 décembre 2019 dans les tubes d'observation laissés dans tous les forages. Les résultats des mesures sont indiqués au tableau 10.

Tableau 10 Profondeur et niveau de l'eau souterraine

Forage n°	Type d'installation	2019-12-20	
		Profondeur (m)	Niveau (m)
F-01-19	Tube d'observation	9,10	32,17
F-02-19	Tube d'observation	7,62	33,76
F-03-19	Tube d'observation	8,72	33,11
F-04-19	Tube d'observation	5,07	35,69
F-05-19	Tube d'observation	5,06	35,48
F-06-19	Tube d'observation	3,75	37,42

Il est important de souligner que le niveau de l'eau souterraine peut fluctuer et se situer à des profondeurs différentes selon les années, les saisons et les conditions climatiques (pluies abondantes, fonte des neiges, période de sécheresse, etc.).

4 Commentaires et recommandations d'ordre géotechnique

4.1 Description du projet

Selon les informations obtenues de la part d'Énergir, à la demande du Ministère des Transports du Québec (MTQ), Énergir doit relocaliser sa conduite de 406,4 mm CL-2400 présente dans l'axe de l'A-520, car le MTQ reconstruira le viaduc sur lequel la conduite est accrochée. La mise en place de la conduite projetée est prévue en tranchée ouverte en amont et aval de la traverse de l'A-13. Sous les voies de l'A-13, la mise en place se fera par une méthode d'excavation sans tranchée dans le roc.

Les forages F-02-19 et F-03-19 sont situés du côté ouest de l'A-13, alors que les forages F-01-19 et F-04-19 sont plutôt situés du côté est, aux emplacements probables des puits d'entrée et de sortie de l'excavation sans tranchée. Les forages F-05-19 et F-06-19 sont situés sur la propriété du 8750 chemin de la Côte-de-Liesse afin de valider la profondeur du roc dans la portion est.

4.2 Puits d'accès

4.2.1 Nature des sols à excaver

La profondeur des excavations temporaires requises pour les puits d'accès sera d'au plus 10,5 m afin d'atteindre le socle rocheux. Les excavations pour les puits d'accès seront vraisemblablement effectuées dans les sols de remblai et du dépôt naturel de till.

4.2.2 Assèchement

Au besoin, l'entrepreneur devra prévoir la mise en œuvre d'un système efficace d'assèchement, adapté aux conditions présentes au moment des travaux. Le système utilisé devra permettre d'évacuer les eaux de ruissellement de surface et les eaux d'infiltration pouvant s'accumuler dans les excavations afin de maintenir les excavations suffisamment sèches.

4.2.3 Inclinaison des pentes

Il est recommandé que les pentes des excavations temporaires requises pour les travaux de construction respectent les exigences en vigueur au moment des travaux du *Code de sécurité pour les travaux de construction* (S-2.1, r.4) de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST). En effet, compte tenu que la méthode de travail qui sera utilisée est présentement inconnue et puisqu'il s'agit de pentes temporaires d'excavation, leur stabilité ainsi que la sécurité des travailleurs et des ouvrages à construire sont sous la responsabilité de l'entrepreneur. Ainsi, il lui appartient d'adopter les méthodes d'excavation appropriées et de procéder au besoin à la mise en place de soutènements adéquats.

Dans le cas où l'entrepreneur désire utiliser des pentes plus abruptes que celles recommandées par la CNESST, une attestation de la part d'un ingénieur, membre de l'OIQ, est requise. Celui-ci devra statuer sur la stabilité des pentes proposées en fonction de la méthode de travail préconisée par l'entrepreneur et des conditions prévalant au moment des travaux.

À titre indicatif, il est suggéré que les pentes dans les sols soient profilées avec des inclinaisons de 2 H : 1 V dans les sols de remblai et de 1,5 H : 1V dans le dépôt de till. De telles inclinaisons

sont valables uniquement en l'absence d'infiltration d'eau par les parois des excavations. Il est important de souligner que les inclinaisons mentionnées précédemment sont destinées uniquement au concepteur pour les calculs de volume pour l'estimation des coûts de construction.

4.2.4 Soutènement temporaire

Un soutènement temporaire pourrait être nécessaire afin de procéder aux excavations dans les sols. Puisqu'il s'agit d'un ouvrage temporaire, le choix du type de système de soutènement et sa conception sont de la responsabilité de l'entrepreneur.

D'après les résultats des forages, le fonçage des éléments du système de soutènement se fera en partie dans le remblai et en partie dans le dépôt naturel de till. Au sein du dépôt de till, des cailloux et des blocs ont été rencontrés et carottés dans le forage de 89 mm de diamètre. L'entrepreneur devra donc tenir compte de cette réalité lors du choix des éléments du système de soutènement.

Étant donné la mauvaise qualité du roc au sommet, le cas échéant, on devra prévoir une marge de recul suffisante entre les pieux du système de soutènement et la face rocheuse.

Pour la conception du système de soutènement, il est recommandé de se référer aux indications du chapitre 26 du *Manuel canadien d'ingénierie des fondations*, 4^e édition (MCIF). La valeur de la poussée des terres pour le dimensionnement du système de soutènement pourra être calculée avec les paramètres indiqués au tableau 11.

Tableau 11 Paramètres géotechniques pour la conception d'un soutènement temporaire

Paramètre	Remblai	Dépôt de till
Poids volumique total, γ	18 kN/m ³	20 kN/m ³
Poids volumique déjaugé, γ'	8 kN/m ³	10 kN/m ³
Angle de frottement interne, ϕ	28°	34°
Coefficient de poussée, K_a	0,36	0,28
Coefficient de butée, $K_p^{(1)}$	2,77	3,54
Coefficient des sols au repos, K_0	0,53	0,44
Note 1 :	Un mouvement relativement important du soutènement doit avoir lieu pour mobiliser la butée en entier. En conséquence, il est recommandé de réduire la valeur de K_p par un facteur de 1,5.	

Dans le cas où aucun mouvement du système de soutènement ne serait toléré, il est recommandé de concevoir un système de soutènement rigide et d'utiliser le coefficient de poussée au repos K_0 dans le calcul des poussées horizontales.

Les surcharges créées par la présence des structures adjacentes aux excavations et par la circulation (ex : trains, camions, grues, etc.) devront également être considérées dans le calcul des efforts latéraux sur le système de soutènement temporaire.

Il est également important de mentionner que le système de soutènement temporaire doit tenir compte des effets néfastes du gel si les travaux sont effectués en période hivernale. En effet, le gel peut causer l'apparition de lentilles de glace derrière le système de soutènement temporaire ce qui engendrait des poussées supplémentaires.

4.3 Tranchée ouverte

Pour les recommandations sur l'inclinaison des pentes d'excavation, voir la section 4.2.3 du présent rapport.

Si des contraintes d'espace nécessitent une inclinaison des pentes d'excavation plus raide que celles des exigences de la CNESST, une boîte de tranchée pour la protection des travailleurs ou tout autre soutènement approprié, conforme au code de sécurité en vigueur et approuvée par un ingénieur, doit être utilisée par l'entrepreneur. Il convient de souligner qu'une boîte de tranchée est conçue uniquement pour assurer la sécurité des travailleurs en cas de déplacement de sols. Il faut comprendre que son emploi ne garantit pas la stabilité des parois d'excavation surtout si ces dernières ont des inclinaisons plus raides que celles indiquées précédemment. La stabilité des parois doit donc être vérifiée par un ingénieur spécialisé en géotechnique, afin d'éviter une rupture qui pourrait entraîner un déplacement de la boîte de tranchée. Il est recommandé de limiter les excavations au minimum requis. De plus, il est recommandé de combler le vide entre la boîte de tranchée et la paroi du sol afin de minimiser le risque d'éboulement et les dommages aux infrastructures.

4.3.1 Réutilisation des matériaux

S'ils sont acceptables d'un point de vue environnemental, les matériaux granulaires provenant du dépôt de till ou du remblai peuvent être réutilisés pour le remblayage des tranchées pourvu que leur teneur en eau soit adéquate au moment du compactage. Toutefois, compte tenu du pourcentage élevé de particules fines dans ces sols, la réutilisation de ces matériaux suite à leur excavation sur le site nécessitera une attention particulière et des équipements adéquats. Si les excavations sont effectuées sous le niveau de l'eau souterraine, les matériaux fins seront difficiles à réutiliser immédiatement après leur excavation, car leur teneur en eau sera trop élevée pour en permettre un compactage adéquat. Il peut être nécessaire de les entreposer temporairement de façon à les drainer et les assécher pour permettre une réduction de leur teneur en eau.

Advenant le manque de matériaux de remblai provenant des excavations, des sols d'emprunt compactables, dépourvus de matière organique et respectant les critères environnementaux peuvent être utilisés.

Les matériaux de remblai dans les tranchées hors route devront être mis en place en couches de 300 mm d'épaisseur maximale et être compactés au moins à 90 % de sa masse volumique sèche maximale, déterminée à l'essai énergie de compactage modifiée (anciennement Proctor

modifié). Les cailloux et blocs dont les dimensions excèdent les $\frac{2}{3}$ de l'épaisseur de la couche compactée, soit 200 mm, doivent être éliminés.

4.3.2 Mise en place des conduites

La conduite devra reposer sur une assise stable. Par conséquent, tous les sols de remblai devront être entièrement excavés avant la préparation de l'assise. Les matériaux utilisés pour l'assise et l'enrobage de la conduite, ainsi que leur mise en place, doivent respecter les exigences d'Énergir. Un coussin granulaire de pierre nette d'au moins 100 mm doit être mis en place au fond de la tranchée avant la mise en place de la conduite. Par la suite, le remblayage et le recouvrement jusqu'à 150 mm au-dessus de la conduite, doivent être exécutés avec une pierre nette pour éviter tout point de pression sur celle-ci

4.3.3 Transitions

Dans le cas où les matériaux de remblai pour les tranchées seraient de gélivité différente en comparaison à celle des sols encaissants, il est recommandé d'aménager des transitions longitudinales et transversales dans les tranchées pour minimiser les effets de soulèvements différentiels dus au gel.

4.4 Méthode d'excavation sans tranchée

Compte tenu du diamètre et du tracé potentiel de la conduite projetée, la méthode par forage directionnel avec trou pilote et alésage subséquent dans le roc serait vraisemblablement la méthode d'excavation sans tranchée la plus appropriée. Néanmoins, le choix de la méthode est de la responsabilité de l'entrepreneur.

Étant donné que la méthode de travail et l'équipement qui seront utilisés pour la réalisation de l'excavation sans tranchée sont présentement inconnus, les ouvrages à construire sont sous l'entière responsabilité de l'entrepreneur. Ainsi, il lui appartient d'adopter des méthodes d'excavation s'adaptant au massif rocheux. L'entrepreneur devra indiquer la méthode qu'il entend utiliser et présenter une procédure de travail détaillée et des plans de contingences concernant les risques associés à la méthode d'excavation sans tranchée.

Les éléments suivants seront à considérer lors de l'élaboration de la méthode de travail et de la sélection des équipements :

- › **Nature du roc** : calcaire fossilifère à grain fin avec interlits centimétriques ondulés de shale calcaireux bioturbés, appartenant au Membre de Terrebonne. Présence d'horizons de roche intrusive mafique légèrement altérée observée dans les forages F-02-19 et F-04-19. Des veinules et des veines de calcite ont été observées dans les forages;
- › **Niveau d'altération du roc** : sain (aucun signe visible d'altération)
- › **Zone fracturée** : dans le premier mètre, à la surface du roc;
- › Abrasivité du roc : très faible à faible;
- › Résistance à la compression du roc : résistance très forte (R5);
- › **Poids volumique du roc** : calcaire (moyenne 26,4 kN/m³), intrusifs (28,3 et 29,6 kN/m³);
- › **Qualité du roc (RQD)** : généralement bonne à excellente (92 %);
- › **Qualité du roc (RMR)** : généralement moyenne à bonne (96 %);
- › **Qualité du roc (Q)** : généralement moyenne à bonne (74 %).

En vue de permettre aux entrepreneurs de faire un choix éclairé sur la méthode sans tranchée à préconiser, il est fortement recommandé de mettre à leur disposition les échantillons de roc récupérés pour leur permettre de faire leur propre analyse des conditions du socle rocheux.

Annexe 1

Portée du rapport

1. Utilisation du rapport

a. Utilisation du rapport

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés par SNC-Lavalin GEM Québec inc. (SNC-Lavalin) exclusivement à l'intention du client (le Client) auquel le rapport est adressé, qui a pris part à l'élaboration de l'énoncé des travaux et en comprend les limites. La méthodologie, les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'énoncé des travaux et assujettis aux exigences en matière de temps et de budget, telles que décrites dans l'offre de services et/ou dans le contrat en vertu duquel le présent rapport a été émis. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers est la responsabilité exclusive de ce dernier. SNC-Lavalin n'est aucunement responsable de tout dommage subi par un tiers du fait de l'utilisation de ce rapport ou de toute décision fondée sur son contenu. Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport (i) ont été élaborés conformément au niveau de compétence normalement démontré par des professionnels exerçant des activités dans des conditions similaires de ce secteur, et (ii) sont déterminés selon le meilleur jugement de SNC-Lavalin en tenant compte de l'information disponible au moment de la préparation du présent rapport. Les services professionnels fournis au Client et les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport ne font l'objet d'aucune autre garantie, explicite ou implicite. Les conclusions et les résultats cités au présent rapport sont valides uniquement à la date du rapport et peuvent être fondés, en partie, sur de l'information fournie par des tiers. En cas d'information inexacte, de la découverte de nouveaux renseignements ou de changements aux paramètres du projet, des modifications au présent rapport pourraient s'avérer nécessaires. Les résultats de cette étude ne constituent en aucune façon une garantie que le terrain à l'étude est exempt de toute contamination. Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble, et ses sections ou ses parties ne doivent pas être vues ou comprises hors contexte. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, cette dernière prévaudrait. Rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique. Le contenu du présent rapport est de nature confidentielle et exclusive. Il est interdit à toute personne, autre que le Client, de reproduire ou de distribuer ce rapport, de l'utiliser ou de prendre une décision fondée sur son contenu, en tout ou en partie, sans la permission écrite expresse du Client et de SNC-Lavalin.

b. Modifications au projet

Les données factuelles, les interprétations et les recommandations contenues dans ce rapport ont trait au projet spécifique tel que décrit dans le rapport et ne s'appliquent à aucun autre projet ni autre site. Si le projet est modifié du point de vue conception, dimensionnement, emplacement ou niveau, SNC-Lavalin devra être consulté de façon à confirmer que les recommandations déjà données demeurent valides et applicables.

c. Nombre de sondages

Les recommandations données dans ce rapport n'ont pour but que de servir de guide à l'ingénieur en conception. Le nombre de sondages pour déterminer toutes les conditions souterraines qui peuvent affecter les travaux de construction (coûts, techniques, matériel, échancier), devrait normalement être plus élevé que celui pour les besoins du dimensionnement. Le nombre de points d'échantillonnage et d'analyses chimiques ainsi que la fréquence d'échantillonnage et le choix des paramètres peuvent influencer la nature et l'envergure des actions correctives ainsi que les techniques et les coûts de traitement ou de disposition. Les entrepreneurs qui soumissionnent ou qui sous-traitent le travail, devraient compter sur leurs propres études ainsi que sur leurs propres interprétations des résultats factuels des sondages pour apprécier de quelle façon les conditions souterraines peuvent affecter leur travail et les coûts des travaux.

d. Interprétation des données, commentaires et recommandations

À moins d'avis contraire, l'interprétation des données et des résultats, les commentaires et les recommandations contenus dans ce rapport sont fondés, au mieux de notre connaissance, sur les politiques, les critères et les règlements environnementaux en vigueur à l'emplacement du projet et à la date de production du rapport. Si ces politiques, critères et règlements font l'objet de modifications après la soumission du rapport, SNC-Lavalin devra être consulté pour réviser les recommandations à la lumière de ces changements. Lorsqu'aucune politique, critère ou réglementation n'est disponible pour permettre l'interprétation des données et des résultats analytiques, les commentaires ou recommandations exprimés par SNC-Lavalin sont basés sur la meilleure connaissance possible des règles acceptées dans la pratique professionnelle. Les analyses, commentaires et recommandations contenus dans ce rapport sont fondés sur les données et observations recueillies sur le site, lesquelles proviennent de travaux d'échantillonnage effectués sur le site. Il est entendu que seules les données directement recueillies à l'endroit des sondages, des sites d'échantillonnage et à la date de l'échantillonnage sont exactes et que toute interpolation ou extrapolation de ces résultats à l'ensemble ou à une partie du site comporte des risques d'erreurs qui peuvent elles-mêmes influencer la nature et l'ampleur des actions requises sur le site.

2. Rapports de sondage et interprétation des conditions souterraines

a. Description des sols et du roc

Les descriptions des sols et du roc données dans ce rapport proviennent de méthodes de classification et d'identification communément acceptées et utilisées dans la pratique de la géotechnique. La classification et l'identification du sol et du roc font appel à un jugement. SNC-Lavalin ne garantit pas que les descriptions seront identiques en tout point à celles faites par un autre géotechnicien possédant les mêmes connaissances des règles de l'art en géotechnique, mais assure une exactitude seulement à ce qui est communément utilisé dans la pratique de la géotechnique.

b. Conditions des sols et du roc à l'emplacement des sondages

Les rapports de sondage ne fournissent que des conditions du sous-sol à l'emplacement des sondages seulement. Les limites entre les différentes couches sur les rapports de sondage sont souvent approximatives, correspondant plutôt à des zones de transition, et ont donc fait l'objet d'une interprétation. La précision avec laquelle les conditions souterraines sont indiquées, dépend de la méthode de sondage, de la fréquence et de la méthode d'échantillonnage ainsi que de l'uniformité du terrain rencontré. L'espacement entre les sondages, la fréquence d'échantillonnage et le type de sondage sont également le reflet de considérations budgétaires et de délais d'exécution qui sont hors du contrôle de SNC-Lavalin

c. Conditions des sols et du roc entre les sondages

Les formations de sol et de roc sont variables sur une plus ou moins grande étendue. Les conditions souterraines entre les sondages sont interpolées et peuvent varier de façon significative autant en plan qu'en profondeur des conditions rencontrées à l'endroit des sondages. SNC-Lavalin ne peut en effet garantir les résultats qu'à l'endroit des sondages effectués. Toute interprétation des conditions présentées entre les sondages comporte des risques. Ces interprétations peuvent conduire à la découverte de conditions différentes de celles qui étaient prévues. SNC-Lavalin ne peut être tenu responsable de la découverte de conditions de sol et de roc différentes de celles décrites ailleurs qu'à l'endroit des sondages effectués.

d. Niveaux de l'eau souterraine

Les niveaux de l'eau souterraine donnés dans ce rapport correspondent seulement à ceux observés à l'endroit et à la date indiqués dans le rapport ainsi qu'en fonction du type d'installation piézométrique utilisé. Ces conditions peuvent varier de façon saisonnière ou suite à des travaux de construction sur le site ou sur des sites adjacents. Ces variations sont hors du contrôle de SNC-Lavalin.

3. Niveaux de contamination

Les niveaux de contamination décrits dans ce rapport correspondent à ceux détectés à l'endroit et à la date indiqués dans le rapport. Ces niveaux peuvent varier selon les saisons ou par suite d'activités sur le site à l'étude ou sur des sites adjacents. Ces variations sont hors de notre contrôle. Les niveaux de contamination sont déterminés à partir des résultats des analyses chimiques effectuées sur un nombre limité d'échantillons de sol, d'eau de surface ou d'eau souterraine. La nature et le degré de contamination entre les points d'échantillonnage peuvent varier de façon importante de ceux à ces points. La composition chimique des eaux souterraines à chaque point d'échantillonnage est susceptible de changer en raison de l'écoulement souterrain, des conditions de recharge par la surface, de la sollicitation de la formation investiguée (i.e. puits de pompage ou d'injection à proximité du site) ainsi que de la variabilité saisonnière naturelle. La précision des niveaux de contamination de l'eau souterraine dépend de la fréquence et du nombre d'analyses effectuées. La liste des paramètres analysés est basée sur notre meilleure connaissance de l'historique du site et des contaminants susceptibles d'être trouvés sur le site et est également le reflet de considérations budgétaires et de délais d'exécution. Le fait qu'un paramètre n'ait pas été analysé n'exclut pas qu'il soit présent à une concentration supérieure au bruit de fond ou à la limite de détection de ce paramètre.

4. Suivi de l'étude et des travaux

a. Vérification en phase finale

Tous les détails de conception et de construction ne sont pas connus au moment de l'émission du rapport. Il est donc recommandé que les services de SNC-Lavalin soient retenus pour apporter toute la lumière sur les conséquences que pourraient avoir les travaux de construction sur l'ouvrage final.

b. Inspection durant l'exécution

Il est recommandé que les services de SNC-Lavalin soient retenus pendant la construction, pour vérifier et confirmer d'une part que les conditions souterraines sur toute l'étendue du site ne diffèrent pas de celles données dans le rapport et d'autre part, que les travaux de construction n'auront pas un effet défavorable sur les conditions du site.

5. Changement des conditions

Les conditions de sol décrites dans ce rapport sont celles observées au moment de l'étude. À moins d'indication contraire, ces conditions forment la base des recommandations du rapport. Les conditions de sol peuvent être modifiées de façon significative par les travaux de construction (trafic, excavation, etc.) sur le site ou sur les sites adjacents. Une excavation peut exposer les sols à des changements dus à l'humidité, au séchage ou au gel. Sauf indication contraire, le sol doit être protégé de ces changements ou remaniements pendant la construction. Lorsque les conditions rencontrées sur le site diffèrent de façon significative de celles prévues dans ce rapport, dues à la nature hétérogène du sous-sol ou encore à des travaux de construction, il est du ressort du Client et de l'utilisateur de ce rapport de prévenir SNC-Lavalin des changements et de fournir à SNC-Lavalin l'opportunité de réviser les recommandations de ce rapport. Reconnaître un changement des conditions de sol demande une certaine expérience. Il est donc recommandé qu'un ingénieur géotechnicien expérimenté soit dépêché sur le site afin de vérifier si les conditions ont changé de façon significative.

6. Drainage

Le drainage de l'eau souterraine est souvent requis aussi bien pour des installations temporaires que permanentes du projet. Une conception ou exécution impropre du drainage peut avoir de sérieuses conséquences. SNC-Lavalin ne peut en aucun cas prendre la responsabilité des effets du drainage à moins que SNC-Lavalin ne soit spécifiquement impliqué dans la conception détaillée et le suivi des travaux de construction du système de drainage.

7. Caractérisation environnementale – Phase I (Phase I)

Ce rapport a été rédigé suite à des activités de recherche diligentes et à partir d'une évaluation de sources de données ponctuelles ou des renseignements obtenus auprès de tiers et qui peuvent comporter des incertitudes, lacunes ou omissions. Ces sources d'informations sont sujettes à des modifications au fil du temps, par exemple, selon l'évolution des activités sur le terrain à l'étude et ceux environnants. La Phase I n'inclut aucun essai, échantillonnage ou analyse de caractérisation par un laboratoire. Sauf exception, la Phase I s'appuie sur l'observation des composantes visibles et accessibles sur la propriété et celles voisines et qui pourraient porter un préjudice environnemental à la qualité du terrain à l'étude. Les titres de propriété mentionnés dans ce rapport sont utilisés pour identifier les anciens propriétaires du site à l'étude et ils ne peuvent en aucun cas être considérés comme document officiel pour reproduction ou d'autres types d'usages. Enfin, tout croquis, vue en plan ou schéma apparaissant dans le rapport ou tout énoncé spécifiant des dimensions, capacités, quantités ou distances sont approximatifs et sont inclus afin d'assister le lecteur à visualiser la propriété.

Annexe 2

Rapports de forage



Un rapport de sondage permet de résumer la stratigraphie des sols et du roc, leurs propriétés ainsi que les conditions d'eau souterraine. Cette note a pour but d'expliquer la terminologie, les symboles et abréviations utilisés.

COUPE STRATIGRAPHIQUE

1. PROFONDEUR – NIVEAU

La profondeur et le niveau des différents contacts stratigraphiques sont donnés par rapport à la surface du terrain à l'endroit des sondages au moment de leur exécution. Les niveaux sont indiqués en fonction du système indiqué dans l'entête du rapport de sondage.

2. DESCRIPTION DES SOLS

Les sols sont décrits selon leur nature et leurs propriétés géotechniques.

Les dimensions des particules constituant un sol sont les suivantes :

NOM	DIMENSION (mm)	
Argile	<	0,002
Silt	0,002 -	0,08
Sable	0,08 -	5
Gravier	5 -	80
Caillou	80 -	300
Bloc	>	300

La proportion des divers éléments de sol, définis selon la dimension des particules, est donnée d'après la terminologie descriptive suivante :

TERMINOLOGIE DESCRIPTIVE	PROPORTION DE PARTICULES (%)	
Traces	1 -	10
Un peu	10 -	20
Adjectif (ex. : sableux, silteux)	20 -	35
Et (ex. : sable et gravier)	>	35
Présence : Élément rencontré dont la proportion ne peut être précisée		

2.1 COMPACTITÉ DES SOLS PULVÉRULENTS

La compacité des sols pulvérulents est évaluée à l'aide de l'indice de pénétration « N » obtenu par l'essai de pénétration standard :

COMPACTITÉ	INDICE DE PÉNÉTRATION « N » (coups / 300 mm)	
Très lâche	<	4
Lâche	4 -	10
Compacte ou moyenne	10 -	30
Dense	30 -	50
Très dense	>	50

2.2 CONSISTANCE ET PLASTICITÉ DES SOLS COHÉRENTS

La consistance des sols cohérents est évaluée à partir de la résistance au cisaillement. La résistance au cisaillement non drainé de l'argile intacte (s_u) et de l'argile remaniée (s_r) est mesurée en chantier ou en laboratoire.

CONSISTANCE	RÉSISTANCE AU CISAILEMENT, s_u (kPa)	
Très molle	<	12
Molle	12 -	25
Ferme	25 -	50
Raide	50 -	100
Très raide	100 -	200
Dure	>	200

PLASTICITÉ	LIMITE DE LIQUIDITÉ, w_L (%)	
Faible	<	30
Moyenne	30 -	50
Élevée	>	50

3. DESCRIPTION DU ROC

Le roc est décrit en fonction de sa nature géologique, de ses caractéristiques structurales et de ses propriétés mécaniques.

L'indice de qualité du roc (RQD) est déterminé selon la norme ASTM D 6032.

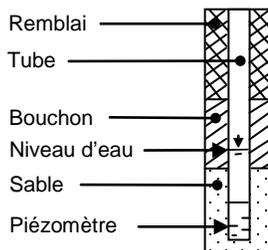
CLASSIFICATION	INDICE DE QUALITÉ RQD (%)	
Très mauvaise qualité	<	25
Mauvaise qualité	25 -	50
Qualité moyenne	50 -	75
Bonne qualité	75 -	90
Excellente qualité	90 -	100

JOINTS	ESPACEMENT MOYEN (mm)	
Très rapprochés	0 -	60
Rapprochés	60 -	200
Moyennement espacés	200 -	600
Espacés	600 -	2000
Très espacés	>	2000

RÉSISTANCE	RÉSISTANCE À LA COMPRESSION UNIAXIALE, q_u (MPa)	
Extrêmement faible	<	1
Très faible	1 -	5
Faible	5 -	25
Moyennement forte	25 -	50
Forte	50 -	100
Très forte	100 -	250
Extrêmement forte	>	250

NIVEAU D'EAU

La colonne « Niveau d'eau » indique le niveau de l'eau souterraine mesuré dans un tube d'observation, un piézomètre, un puits d'observation ou directement dans un sondage. La date du relevé est également indiquée dans cette colonne. Le croquis ci-contre illustre les différents symboles utilisés.



ABRÉVIATIONS

A	Absorption, L/min-m (essai d'eau sous pression)
AC	Analyses chimiques
C	Essai de consolidation
s_u	Résistance au cisaillement à l'état intact, mesurée au scissomètre de chantier, kPa
s_r	Résistance au cisaillement à l'état remanié, mesurée au scissomètre de chantier, kPa
s_{us}	Résistance au cisaillement à l'état intact, mesurée au pénétromètre à cône (cône suédois), kPa
s_{rs}	Résistance au cisaillement à l'état remanié, mesurée au pénétromètre à cône (cône suédois), kPa
s_{up}	Résistance au cisaillement à l'état intact, mesurée au scissomètre portatif, kPa
s_{rp}	Résistance au cisaillement à l'état remanié, mesurée au scissomètre portatif, kPa
D_r	Densité relative des particules solides
E_M	Module pressiométrique, kPa ou MPa
G	Analyse granulométrique par tamisage et lavage
I_L	Indice de liquidité
I_p	Indice de plasticité, %
k_c	Coefficient de perméabilité (conductivité hydraulique) mesuré en chantier, m/s
k_L	Coefficient de perméabilité (conductivité hydraulique) mesuré en laboratoire, m/s
N_{dc}	Indice de pénétration (essai de pénétration dynamique au cône, DCPT)
N	Indice de pénétration (essai de pénétration standard, SPT)
P_{80}	Analyse granulométrique par lavage au tamis 80 μm
P_L	Pression limite de l'essai pressiométrique, kPa
P_r	Essai Proctor
γ	Poids volumique, kN/m^3
γ'	Poids volumique déjaugé, kN/m^3
q_u	Résistance à la compression uniaxiale du roc, MPa
R	Refus à l'enfoncement du carottier fendu
S	Analyse granulométrique par sédimentométrie
S_t	Sensibilité (s_u/s_r)
T.A.S.	Taux d'agressivité du sol
w	Teneur en eau, %
w_L	Limite de liquidité, %
w_p	Limite de plasticité, %

ÉCHANTILLONS

1. TYPE ET NUMÉRO

La colonne « Type et numéro » correspond à la numérotation de l'échantillon. Il comprend deux lettres identifiant le type d'échantillonnage, suivi d'un chiffre séquentiel. Les types d'échantillonnage sont les suivants :

CF : carottier fendu	CR : carottier diamanté
CG : carottier grand diamètre	PM : prélèvement manuel
TM : tube à paroi mince	ET : tarière
TU : tube échantillonneur en plastique (Geoprobe)	

2. ÉTAT

La profondeur, la longueur et l'état de chaque échantillon sont indiqués dans cette colonne. Les symboles suivants illustrent l'état de l'échantillon :



3. RÉCUPÉRATION

La récupération de l'échantillon correspond à la longueur récupérée de l'échantillon par rapport à la longueur de l'enfoncement de l'échantillonneur, exprimée en pourcentage.

ESSAIS IN SITU ET EN LABORATOIRE

Les résultats des essais effectués en chantier et en laboratoire sont indiqués dans les colonnes « Essais in situ et en laboratoire » à la profondeur correspondante.

La liste d'abréviations suivante sert à identifier ces essais.

CLIENT : Énergir
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520
DOSSIER : 670463

FORAGE : F-01-19
DATE : 2019-12-17
COORDONNÉES : SCoPQ NAD 83
E : 288613,3 **N** : 5037057,0

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) Géodésique	DESCRIPTION	NIVEAU D'EAU 2019-12-20	ÉCHANTILLONS		ESSAIS IN-SITU ET EN LABORATOIRE					
				TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION (%)	N ou RQD (%)	TENEUR EN EAU ET LIMITES D'ATTERBERG (%)		AUTRES ESSAIS	
								w_p	w_L		$\blacktriangle S_u$ (kPa) $\blacktriangledown S_{us}$ (kPa) $\triangle S_r$ (kPa) ∇S_{rs} (kPa) $\bullet N_{dc}$ (coups/300 mm)
				<table border="1"> <tr> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> <td>80</td> </tr> </table>				20	40	60	80
20	40	60	80								
13		Présence d'une veine de calcite subverticale entre 16,90 m et 18,00 m de profondeur.		CR-16	96	76					
14		Roc de qualité (RQD) très mauvaise sur la première course; bonne à excellente par la suite.		CR-17	100	95			CAI: 0,48 γ : 26,4 kN/m ³ q_u : 184 MPa		
15		Aucun retour d'eau lors des opérations de forage.		CR-18	100	86					
16				CR-19	100	92			CAI: 0,48 γ : 26,3 kN/m ³ q_u : 115 MPa		
17				CR-20	100	89					
18				CR-21	100	93					
19				CR-22	100	94					
20				CR-23	100	95			CAI: 0,48 γ : 26,3 kN/m ³ q_u : 104 MPa		

REMARQUES : L'échantillon CF-01 a été prélevé avec un carottier fendu de calibre «N» de 64 mm de diamètre extérieur.

MÉTHODE DE FORAGE : Rotation simultanée de tubes de calibre NW et d'un carottier de calibre NQ; carottier diamanté de calibre NQ dans le roc.

CLIENT : Énergir
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520
DOSSIER : 670463

FORAGE : F-01-19
DATE : 2019-12-17
COORDONNÉES : SCoPQ NAD 83
E : 288613,3 **N** : 5037057,0

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) Géodésique	DESCRIPTION	NIVEAU D'EAU 2019-12-20	ÉCHANTILLONS		ESSAIS IN-SITU ET EN LABORATOIRE												
				TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION (%)	N ou RQD (%)	TENEUR EN EAU ET LIMITES D'ATTERBERG (%)		AUTRES ESSAIS								
								W _p	W _L		▲ S _y (kPa)	▼ S _{us} (kPa)	△ S _r (kPa)	▽ S _{rs} (kPa)				
24				CR-24	100	99												
25	25,10			CR-25	100	100												
26	16,17	Fin du forage																
27																		
28																		
29																		
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		

REMARQUES : L'échantillon CF-01 a été prélevé avec un carottier fendu de calibre «N» de 64 mm de diamètre extérieur.

MÉTHODE DE FORAGE : Rotation simultanée de tubes de calibre NW et d'un carottier de calibre NQ; carottier diamanté de calibre NQ dans le roc.



SNC-LAVALIN

PHOTOGRAPHIES DES CAROTTES DE ROC

CLIENT : Énergir	N/Dossier n° : 670463
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel	Forage n° : F-01-19
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520	(sec)





SNC-LAVALIN

PHOTOGRAPHIES DES CAROTTES DE ROC

CLIENT : Énergir	N/Dossier n° : 670463
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel	Forage n° : F-02-19
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520	(sec)



CLIENT : Énergir
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520
DOSSIER : 670463

FORAGE : F-03-19
DATE : 2019-12-18
COORDONNÉES : SCoPQ NAD 83
E : 288617,2 **N** : 5036940,1

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) Géodésique	DESCRIPTION	NIVEAU D'EAU 2019-12-20	ÉCHANTILLONS		ESSAIS IN-SITU ET EN LABORATOIRE													
				TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION (%)	N ou RQD (%)	TENEUR EN EAU ET LIMITES D'ATTERBERG (%)		AUTRES ESSAIS	▲ S _y (kPa) ▼ S _{us} (kPa) △ S _r (kPa) ▽ S _{rs} (kPa)								
								W _p	W _L		● N _{dc} (coups/300 mm)								
						20 40 60 80													
24				CR-23		100	95												
25	16.63			CR-24		100	100												
25,20		Fin du forage																	
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			
31																			
32																			
33																			
34																			

REMARQUES : L'échantillon CF-01 a été prélevé avec un carottier fendu de calibre «N» de 64 mm de diamètre extérieur.

MÉTHODE DE FORAGE : Rotation simultanée de tubes de calibre NW et d'un carottier de calibre NQ; carottier diamanté de calibre NQ dans le roc.



SNC-LAVALIN

PHOTOGRAPHIES DES CAROTTES DE ROC

CLIENT : Énergir	N/Dossier n° : 670463
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel	Forage n° : F-03-19
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520	(sec)



CLIENT : Énergir
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520
DOSSIER : 670463

FORAGE : F-04-19
DATE : 2019-12-16
COORDONNÉES : SCoPQ NAD 83
E : 288674,9 **N** : 5037017,1

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) Géodésique	DESCRIPTION	NIVEAU D'EAU 2019-12-20	ÉCHANTILLONS		ESSAIS IN-SITU ET EN LABORATOIRE													
				TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION (%)	N ou RQD (%)	TENEUR EN EAU ET LIMITES D'ATTERBERG (%)		AUTRES ESSAIS	▲ S _y (kPa) ▼ S _{us} (kPa) △ S _r (kPa) ▽ S _{rs} (kPa)								
								W _p	W _L		● N _{dc} (coups/300 mm)								
						20 40 60 80													
24				CR-22		100	100												
25				CR-23		100	100												
25,28	15,48	Fin du forage																	
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			
31																			
32																			
33																			
34																			

REMARQUES : L'échantillon CF-01 a été prélevé avec un carottier fendu de calibre «N» de 64 mm de diamètre extérieur.
 Suite à l'interception d'une conduite d'aqueduc à 4,27 m de profondeur, le forage a été poursuivi à ± 1,5 m du forage original.

MÉTHODE DE FORAGE : Rotation simultanée de tubes de calibre NW et d'un carottier de calibre NQ; carottier diamanté de calibre NQ dans le roc.



SNC-LAVALIN

PHOTOGRAPHIES DES CAROTTES DE ROC

CLIENT : Énergir	N/Dossier n° : 670463
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel	Forage n° : F-04-19
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520	(sec)



CLIENT : Énergir
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520
DOSSIER : 670463

FORAGE : F-05-19
DATE : 2019-12-17
COORDONNÉES : SCoPQ NAD 83
E : 288731,6 **N** : 5037036,3

PROFONDEUR (m)	NIVEAU (m) Géodésique	DESCRIPTION	NIVEAU D'EAU 2019-12-20	ÉCHANTILLONS			ESSAIS IN-SITU ET EN LABORATOIRE												
				TYPE ET NUMÉRO	ÉTAT	RÉCUPÉRATION (%)	N ou RQD (%)	TENEUR EN EAU ET LIMITES D'ATTERBERG (%)		AUTRES ESSAIS	▲ S _y (kPa) ▼ S _{us} (kPa) △ S _r (kPa) ▽ S _{rs} (kPa)								
								W _p	W _L		● N _{dc} (coups/300 mm)								
0,13 0,28	40,54 40,41 40,26	Enrobé bitumineux. Fondation: pierre concassée de calibre apparent 0 - 20 mm. Till: silt sableux, un peu de gravier, traces d'argile. Présence de matière organique. Récupération de 2 cailloux lors de l'avancement des tubes NW. Compacité lâche à dense.		CF-01		51	12												
1				CF-02		54	8												
2				CF-03		82	21												
3				CF-04		57	10												
4				CF-05		51	10												
5	5,06	35,70		CF-06		0	30												
5				CF-07		35	50												
6	5,59	34,95		CF-08		100	R												
6				CR-09		38	38												
7				CR-10		100	93												
7,25	33,29	Roc: calcaire fossilifère à grain fin avec interlits centimétriques ondulés de shale calcaireux bioturbés (Membre de Terrebonne). Présence de veinules de calcite. Roc de qualité (RQD) excellente. Retour d'eau de 100 % lors des opérations de forage. Fin du forage																	
8																			
9																			
10																			
11																			

REMARQUES : L'échantillon CF-01 a été prélevé avec un carottier fendu de calibre «N» de 64 mm de diamètre extérieur.

MÉTHODE DE FORAGE : Rotation simultanée de tubes de calibre NW et d'un carottier de calibre NQ; carottier diamanté de calibre NQ dans le roc.



SNC-LAVALIN

PHOTOGRAPHIES DES CAROTTES DE ROC

CLIENT : Énergir	N/Dossier n° : 670463
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel	Forage n° : F-05-19
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520	(sec)





SNC-LAVALIN

PHOTOGRAPHIES DES CAROTTES DE ROC

CLIENT : Énergir	N/Dossier n° : 670463
PROJET : Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel	Forage n° : F-06-19
ENDROIT : Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520	(sec)



Résultats des essais géotechniques en laboratoire

Description géomécanique du roc

Annexe 5

Dessin



PLAN CLÉ

LÉGENDE :

- F-01-19 Forage et numéroté
- Conduite projetée

NOTE :

Ce dessin a été préparé à partir d'une photographie aérienne obtenue de la base de données Google Earth Pro. La position des forages montrée sur l'image peut être imprécise, notamment à cause d'une certaine distorsion dans la photographie. Pour l'emplacement exact des forages, il est recommandé de se référer au tableau des coordonnées.



SNC-LAWALIN

CLIENT:

énergir
Le Nouveau
Gaz
Métro

PROJET :	Abandon et reconstruction d'une conduite de gaz naturel
ENDROIT :	Sous les voies de l'autoroute 13, à la hauteur de l'autoroute 520
TITRE :	Localisation des forages
ÉCHELLE :	0 10 20 30 40 50 m 1 : 1250
DATE :	Février 2020
DOSSIER :	670463-EG-L01
NO. :	D01
REV. :	00

FORAGE N°	COORDONNÉES SCO/PQ (NAD 83)		NIVEAU GÉODÉSIQUE DU TERRAIN (m)
	EST (m)	NORD (m)	
F-01-19	288613,3	5037057,0	41,27
F-02-19	288562,6	5036998,0	41,38
F-03-19	288617,2	5036940,1	41,83
F-04-19	288674,9	5037017,1	41,76
F-05-19	288731,6	5037036,3	40,54
F-06-19	288672,3	5037167,6	41,17



SNC • LAVALIN

275, rue Benjamin-Hudon
Montréal (Québec) Canada H4N 1J1
514.331.6910 - 514.331.7632

