

Réfection de chaussées

Rues du Domaine les Villas de l'Anse, Magog
(Québec)

Association des propriétaires des Villas de l'Anse

Étude géotechnique | Rapport final

N/Réf. : 03-02402329.000-0100-GS-R-0001-00

15 juillet 2024



ENGLOBE

Association des propriétaires des Villas de l'Anse

N/Réf. : 03-02402329.000-0100-GS-R-0001-00

Volet géotechnique

Préparé par :



Amadou Lotfi Sangaré, CPI, M. Sc. A.

Chargé de projet - Géotechnique

Membre de l'OIQ n° 6065650

Vérifié par :



Patrick Girard, ing., M. Sc. A.

Chargé de projet sénior - Géotechnique

Membre de l'OIQ n° 5001595

Volet chaussée

Préparé et vérifié par :

Cindy Perreault, ing.

Chargée de projet - Conception des chaussées

Membre de l'OIQ n° 137958

Équipe de réalisation

Association des propriétaires des Villas de l'Anse

Vice-président et responsable de l'environnement, Association des propriétaires des Villas de l'Anse	M. Jean-Pierre Des Rosiers
Représentante du client	Mme Danielle Comeau, ing.

Englobe Corp.

Chargé de projet - Géotechnique	Amadou Lotfi Sangaré, CPI, M. Sc. A.
Chargé de projet - Géotechnique	Patrick Girard, ing., M. Sc. A.
Chargée de projet - Conception des chaussées	Cindy Perreault, ing.

Registre des révisions et émissions

N° DE RÉVISION	DATE	DESCRIPTION
00	15 juillet 2024	Émission de la version finale

Distribution

1 copie électronique par courriel	M. Jean-Pierre Des Rosiers, vice-président et responsable de l'environnement Association des propriétaires des Villas de l'Anse info@villasdelanse.com
	Mme. Danielle Coumeau, ing daniellecomeauing@gmail.com

Propriété et confidentialité

« Ce document est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute utilisation du rapport doit prendre en considération l'objet et la portée du mandat en vertu duquel le rapport a été préparé ainsi que les limitations et conditions qui y sont spécifiées et l'état des connaissances scientifiques au moment de l'émission du rapport. Englobe Corp. ne fournit aucune garantie ni ne fait aucune représentation autre que celles expressément contenues dans le rapport.

Ce document est l'oeuvre d'Englobe Corp. Toute reproduction, diffusion ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client. Pour plus de certitude, l'utilisation d'extraits du rapport est strictement interdite sans l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client, le rapport devant être lu et considéré dans sa forme intégrale.

Aucune information contenue dans ce rapport ne peut être utilisée par un tiers sans l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client. Englobe Corp. se dégage de toute responsabilité pour toute reproduction, diffusion, adaptation ou utilisation non autorisée du rapport.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants d'Englobe qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment évalués selon la procédure relative aux achats de notre système qualité. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet. »

Table des matières

1	Introduction	1
2	Mise en contexte	2
2.1	Description du site et du projet	2
2.2	Géologie régionale	3
3	Méthodologie de reconnaissance	4
3.1	Travaux en chantier	4
3.1.1	Localisation et implantation	4
3.1.2	Sondage	5
3.2	Travaux en laboratoire	5
4	Nature et propriétés des matériaux	6
4.1	Structure de chaussée	10
4.1.1	Fondation granulaire	10
4.1.2	Sous-fondation	10
4.2	Remblais	11
4.3	Tourbe	12
4.4	Sols naturels	12
5	Eaux souterraines	14
6	Recommandations	16
6.1	Limitations	16
6.2	Inspection du site et observations particulières en chantier	17
6.3	Historique de construction et d'entretien	17
6.4	Analyse des résultats de laboratoire et constats	18
6.5	Recommandations relatives au drainage	19
6.6	Terrassements	20
6.7	Méthode de dimensionnement structural	21
6.8	Sollicitation anticipée	22
6.9	Structure de chaussée minimale recommandée	22
6.10	Recommandations relatives aux matériaux de chaussée	23
6.10.1	Granulats pour fondation et sous-fondation (emprunt)	23
6.11	Réutilisation des matériaux en place	23
6.12	Suivi de construction	24

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des essais réalisés en laboratoire	5
Tableau 2 : Résumé des matériaux interceptés au droit des sondages PU-01-24 à PU-08-24	7
Tableau 3 : Résumé des matériaux interceptés au droit des sondages PU-09-24 à PU-18-24	8
Tableau 4 : Résumé des matériaux interceptés au droit des sondages PU-19-24 à PU-26-24	9
Tableau 5 : Résultats des analyses granulométriques - Remblais granulaires et cohésifs	11
Tableau 6 : Résultats des limites d'Atterberg - Remblais cohésifs	11
Tableau 7 : Résultats des analyses granulométriques - Sols naturels cohésifs.....	13
Tableau 8 : Résultats des limites de consistance - Sols naturels cohésifs	13
Tableau 9 : Profondeur des venues d'eau observées dans les sondages.....	14
Tableau 10 : Structure de chaussée gravelée recommandée pour les rues à l'étude	22

FIGURE

Figure 1 : Localisation approximative du site à l'étude.....	3
--	---

ANNEXES

Annexe A	Portée de l'étude
Annexe B	Note explicative et rapports de sondage
Annexe C	Résultats des essais de laboratoire
Annexe D	Plan de localisation des sondages
Annexe E	Photographies



1 Introduction

Les services professionnels de la firme Englobe Corp. ont été retenus par l'Association des propriétaires des Villas de l'Anse, afin d'effectuer une étude géotechnique dans le cadre du projet de réfection de chaussées de certains tronçons de rues du Domaine les Villas de l'Anse situé à Magog (Québec). À noter que ce rapport est strictement dédié au volet géotechnique et, qu'à la demande du client, aucun volet environnemental n'a été réalisé.

La présente étude a été menée selon les termes de la proposition de services révisée d'Englobe datée du 12 avril 2024 (N/Réf. : P2402329.000) et acceptée le 24 avril 2024 par M. Jean-Pierre Des Rosiers.

Les travaux de reconnaissance sur le site visaient à déterminer les caractéristiques géotechniques des sols en place (structures de chaussées existantes et infrastructures), ainsi que les conditions des eaux souterraines (arrivée d'eau), au droit des sondages. Ces informations ont permis d'émettre les recommandations en vue de la réfection des chaussées.

Le présent rapport comprend une description du site, des explications sur la méthode de reconnaissance utilisée sur le terrain et en laboratoire, une description de la nature et des propriétés des sols rencontrés, des informations relatives aux conditions d'eau souterraine et une discussion sur les recommandations applicables.

Les termes définissant la portée de l'étude sont décrits à l'annexe A et sont importants à consulter pour une bonne compréhension du rapport. Les annexes subséquentes comprennent les rapports de sondage, les résultats des essais de laboratoire, un plan illustrant la localisation des sondages, ainsi que des photographies prises lors des travaux d'investigation.



2 Mise en contexte

2.1 Description du site et du projet

Le site à l'étude se situe au Domaine les Villas de l'Anse, à Magog, plus précisément entre la route 247 (chemin de Georgeville) et le lac Memphrémagog. Ce développement résidentiel a vu le jour en 1986 environ, et s'est agrandi au fil des ans. La chaussée est gravellée, et le profil vertical des rues est accidenté. Selon les informations reçues, des camions lourds circulent occasionnellement sur les chaussées, notamment lors de travaux de rénovation sur certaines résidences.

Selon les informations et le plan transmis par la représentante du client, plusieurs tronçons de rues (représentant une longueur totale de l'ordre de 4,035 km) présentent un mauvais comportement (affaissements, apparition d'ornières profondes et instabilités) au dégel. Les problématiques seraient particulièrement localisées dans les points bas des chaussées (zones des ponceaux transversaux). Celles-ci se produisent chaque printemps, depuis le début de la mise en service des chaussées, mais se sont accentuées au cours des dernières années, avec les redoux observés en période hivernale. Selon les informations transmises par la représentante du client, des sols argileux et possiblement des souches seraient présents dans l'infrastructure des chaussées. À noter que les problématiques décrites ci-dessus sont observées uniquement au printemps et en période de dégel.

Peu d'informations relatives aux opérations d'entretien (nature, historique et fréquence) sont disponibles, outre le fait que le client doit procéder à un rechargement régulier (à chaque printemps) de la structure de chaussée dans les zones problématiques. Il a également été porté à notre attention que certains ponceaux ont été remplacés, et que des portions des fossés de rues sont excavées à chaque année.

Le client souhaite procéder à la réfection de la chaussée des tronçons de rues problématiques.

Englobe considère que le niveau fini de la chaussée ne sera pas modifié et se trouvera approximativement au niveau de la structure de chaussée existante.

Les coordonnées approximatives du site sont de 45° 12'32"N. et 72° 11'36"O. La localisation approximative du site est présentée à la figure 1.

Figure 1 : Localisation approximative du site à l'étude

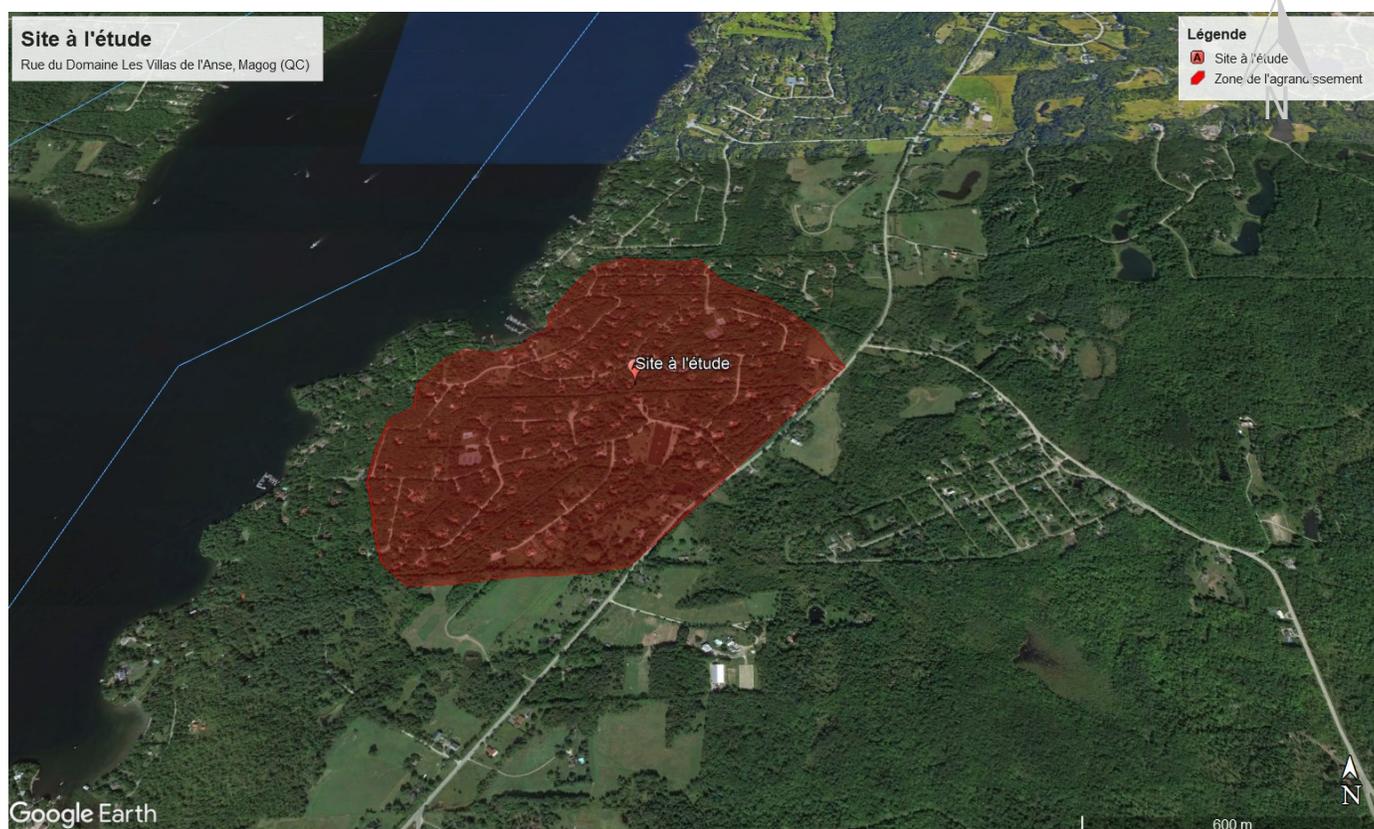


Image satellite tirée de google earth, septembre 2015

2.2 Géologie régionale

Le Système d'information géominière du Québec (SIGEOM) permet de connaître les contextes géologiques généraux et régionaux du site à l'étude. La carte interactive indique que la formation rocheuse du secteur à l'étude fait partie des roches en place non différenciée, du groupe de Glenbrooke. Ces roches, qui auraient été formées à l'âge Silurien, sont composées de calcaire, siltstone, grès et conglomérat.

Selon la carte interactive, les dépôts meubles présents en surface dans le secteur investigué seraient composés de tills en couverture mince et discontinue.



3 Méthodologie de reconnaissance

3.1 Travaux en chantier

Les travaux de reconnaissance sur le chantier ont été réalisés les 30 et 31 mai, ainsi que le 3 juin 2024. Ils ont tous été réalisés sous la supervision constante d'un membre du personnel technique d'Englobe.

Ces derniers ont consisté en la réalisation de 25 sondages (puits d'exploration) géotechniques, identifiés PU-01-24 à PU-26-24 (le sondage PU-15-24 a été annulé), réalisés dans les zones problématiques des structures de chaussées existantes.

3.1.1 Localisation et implantation

L'emplacement des sondages a été établi par Englobe, en fonction du plan montrant les zones problématiques transmis par la représentante du client. L'implantation des sondages en chantier a été effectué par Englobe, avec un représentant du client, lequel a confirmé que leur positionnement coïncidait avec les zones problématiques.

Les coordonnées approximatives (X, Y) des points de sondage ont été relevées par Englobe, à l'aide d'un appareil de positionnement global (GPS) d'une précision de l'ordre de 3 à 5 m.

La position des sondages est montrée sur le plan joint à l'annexe D. Celle-ci peut varier de quelques mètres en chantier.

3.1.2 Sondage

Les puits d'exploration PU-01-24 à PU-26-24 ont été effectués au moyen d'une pelle mécanique de type CAT 305-5, de la compagnie Excavation Plamondon. Ceux-ci ont atteint des profondeurs comprises entre 2,0 m et 2,7 m. Un échantillon de sol remanié a été prélevé dans chacune des unités stratigraphiques interceptées. Les trous de sondage ont été remblayés avec les sols excavés, selon leur séquence originale, avec un compactage léger réalisé à l'aide du godet de la pelle mécanique.

Un scissomètre de poche Geonor permettant la mesure des résistances des sols argileux en condition non drainée, a été utilisé pour réaliser un essai dans le sondage PU-06-24.

Tous les travaux en chantier ont été exécutés sous la surveillance d'un technicien expérimenté en géotechnique. Ce dernier s'est chargé de la description visuelle des unités stratigraphiques, du prélèvement d'échantillons représentatifs de ces unités et du relevé de toute observation pertinente.

La description des sols, à l'emplacement des sondages réalisés dans le cadre de ce mandat, peut être consultée sur les rapports présentés à l'annexe B. Une note explicative de la terminologie utilisée est également insérée à cette annexe. Des observations relevées lors du creusement des puits d'exploration sont également inscrites, en bas de page, dans la section « Remarques ».

3.2 Travaux en laboratoire

Tous les échantillons prélevés dans les sondages ont été expédiés au laboratoire d'Englobe à des fins d'identification et d'analyses. Certains échantillons représentatifs des couches stratigraphiques rencontrées ont été soumis à des essais en laboratoire.

La liste des essais effectués en laboratoire, dont les résultats sont regroupés à l'annexe C, est présentée au tableau 1.

Tableau 1 : Liste des essais réalisés en laboratoire

Essai	Norme	Nombre d'essais
Analyse granulométrique par tamisage	NQ 2501-025	42
Teneur en eau naturelle	NQ 2501-170	4
Limite de consistance (d'Atterberg)	NQ 2501-092	4
Teneur en matières organiques (essai par brulage)	MA. 1010-PAF 1.0	4

Tous les échantillons prélevés dans les sondages et qui n'ont pas été soumis à des essais de laboratoire seront conservés pour une durée de trois mois à compter de la date d'émission de ce rapport. Par la suite, ils seront détruits à moins qu'entretemps un avis écrit quant à leur destination soit transmis à Englobe.



4 Nature et propriétés des matériaux

Cette section présente un résumé des différents matériaux mis en évidence sur le site sur la base des informations recueillies lors des sondages et en laboratoire. Les tableaux 2, 3 et 4 présentent un résumé des matériaux interceptés au droit des sondages réalisés sur les rues du Domaine.

La description des matériaux identifiés au droit des sondages est présentée sur les rapports joints à l'annexe B. Les résultats détaillés des analyses effectuées en laboratoire sont présentés, quant à eux, à l'annexe C.

Tableau 2 : Résumé des matériaux interceptés au droit des sondages PU-01-24 à PU-08-24

Structure de chaussée et sol-support	Épaisseur des couches (mm) et résultats d'essais								
		PU-01-24	PU-02-24	PU-03-24	PU-04-24	PU-05-24	PU-06-24	PU-07-24	PU-08-24
Structure de chaussée	Enrobé bitumineux	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fondation granulaire : Pierre concassée de calibre apparent 0-40 mm	520	350	400	-	350 ⁽³⁾	150	510 ⁽²⁾	440 ⁽²⁾
	Teneur en particules fines, inférieure à 0,080 mm (%)	19,3 ⁽⁴⁾	18,6 ⁽⁴⁾	12,2 ⁽⁴⁾	ND	16,4 ⁽⁴⁾	14,8 ⁽⁴⁾	15,4 ⁽⁴⁾	19,3 ⁽⁴⁾
	% Matières organiques	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Membrane géotextile	-	-	-	-	Oui	-	Oui	-
	Sous-fondation : gravier concassé de calibre apparent 0-112 mm	730 ⁽¹⁾	850 ⁽¹⁾⁽²⁾	800 ⁽¹⁾⁽²⁾	320 ⁽¹⁾	210 ⁽¹⁾⁽³⁾	360 ⁽¹⁾⁽³⁾	990 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾	160 ⁽¹⁾⁽²⁾
	Teneur en particules fines, inférieure à 0,080 mm (%)	6,9	ND	ND	16,7 ⁽⁴⁾	ND	11,8 ⁽⁴⁾	ND	ND
	% Matières organiques	ND	ND	9,7	ND	ND	ND	ND	0,8
	Membrane géotextile	-	-	-	-	Oui	Oui	-	-
	Épaisseur totale	1250	1200	1200	320	560	510	1500	600
Sol-support	Remblai : Matériaux granulaires et cohésifs	-	1300 ⁽¹⁾⁽²⁾	-	1530 ⁽¹⁾⁽²⁾	-	-	600 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾	1280 ⁽¹⁾⁽²⁾
	Tourbe :	-	-	200 ⁽²⁾	-	-	-	-	-
	Sol naturel :	950	200 ⁽¹⁾	660 ⁽¹⁾	180 ⁽¹⁾	1450 ⁽¹⁾	1490 ⁽¹⁾	200 ⁽¹⁾	160 ⁽¹⁾
Profondeur atteinte (m)		2,20	2,70	2,06	2,03	2,01	2,00	2,30	2,04
ND : Non déterminé. (1) Présence de blocs et/ou cailloux; (2) Présence de matières organiques en proportions variables; (3) Présence de débris; (4) Valeurs supérieures aux limites maximales de 7 % et de 10 % permises par la norme NQ 2560-114 pour des matériaux de fondation et de sous-fondation respectivement.									

Tableau 3 : Résumé des matériaux interceptés au droit des sondages PU-09-24 à PU-18-24

Structure de chaussée et sol-support	Épaisseur des couches (mm) et résultats d'essais									
		PU-09-24	PU-10-24	PU-11-24	PU-12-24	PU-13-24	PU-14-24	PU-16-24	PU-17-24	PU-18-24
Structure de chaussée	Enrobé bitumineux	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fondation granulaire : Pierre concassée de calibre apparent 0-40 mm	440	510	450	250	250	410	400	250	250
	Teneur en particules fines, inférieure à 0,080 mm (%)	18,2 ⁽⁴⁾	19,3 ⁽⁴⁾	19,3 ⁽⁴⁾	15,9 ⁽⁴⁾	16,0 ⁽⁴⁾	20,2 ⁽⁴⁾	20,5 ⁽⁴⁾	17,6 ⁽⁴⁾	11,9 ⁽⁴⁾
	% Matières organiques	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Membrane géotextile	-	Oui	Oui	-	-	-	-	Oui	-
	Sous-fondation : gravier concassé de calibre apparent 0-112 mm	190 ^{(1) (2)}	420 ^{(1) (2)}	880 ^{(1) (2)}	930 ^{(1) (2)}	260 ^{(1) (2)}	190 ^{(1) (2)}	350 ^{(1) (2)}	430 ^{(1) (2)}	240 ⁽¹⁾
	Teneur en particules fines, inférieure à 0,080 mm (%)	ND	10,4 ⁽⁴⁾	ND	26,9 ⁽⁴⁾	ND	10,5 ⁽⁴⁾	ND	20,1 ⁽⁴⁾	12,0 ⁽⁴⁾
	% Matières organiques	ND	ND	ND	1,8	ND	ND	ND	ND	ND
	Membrane géotextile	-	-	-	-	-	Oui	Oui	-	Oui
	Épaisseur totale	630	930	1330	1180	510	600	750	680	490
Sol-support	Remblai : Matériaux granulaires et cohésifs	1100 ^{(1) (2)}	530 ^{(1) (2)}	-	900 ^{(1) (2)}	1510 ^{(1) (2)}	1600 ^{(1) (2)}	1510 ^{(1) (2)}	1350 ^{(1) (2)}	1310 ⁽²⁾
	Tourbe :	-	940 ^{(1) (2)}	-	-	-	-	-	-	-
	Sol naturel :	270 ^{(1) (2)}	100 ⁽¹⁾	700 ⁽¹⁾	20 ⁽¹⁾	80 ⁽¹⁾	70 ⁽¹⁾	40 ⁽¹⁾	90 ⁽¹⁾	210
Profondeur atteinte (m)		2,00	2,50	2,03	2,10	2,10	2,27	2,30	2,12	2,01
ND : Non déterminé. ⁽¹⁾ Présence de blocs et/ou cailloux; ⁽²⁾ Présence de matières organiques en proportions variables; ⁽³⁾ Présence de débris; ⁽⁴⁾ Valeurs supérieures aux limites maximales de 7 % et de 10 % permises par la norme NQ 2560-114 pour des matériaux de fondation et de sous-fondation respectivement.										

Tableau 4 : Résumé des matériaux interceptés au droit des sondages PU-19-24 à PU-26-24

Structure de chaussée et sol-support	Épaisseur des couches (mm) et résultats d'essais								
		PU-19-24	PU-20-24	PU-21-24	PU-22-24	PU-23-24	PU-24-24	PU-25-24	PU-26-24
Structure de chaussée	Enrobé bitumineux	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fondation granulaire : Pierre concassée de calibre apparent 0-40 mm	400	320	50	260	180	180	200	550
	Teneur en particules fines, inférieure à 0,080 mm (%)	19,6 ⁽¹⁾ ₍₄₎	18,2 ⁽¹⁾ ₍₄₎	17,8 ⁽¹⁾ ₍₄₎	14,0 ⁽⁴⁾	18,8 ⁽⁴⁾	22,9 ⁽⁴⁾	7,6 ⁽⁴⁾	13,5 ⁽⁴⁾
	% Matières organiques	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Membrane géotextile	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sous-fondation : gravier concassé de calibre apparent 0-112 mm	100 ⁽¹⁾	530 ⁽¹⁾	230 ⁽¹⁾	360 ⁽¹⁾	150 ⁽¹⁾	220 ⁽¹⁾	220 ⁽¹⁾	120 ⁽¹⁾
	Teneur en particules fines, inférieure à 0,080 mm (%)	ND	13,7 ⁽⁴⁾	ND	11,0 ⁽⁴⁾	5,9	ND	19,5 ⁽⁴⁾	ND
	% Matières organiques	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Membrane géotextile	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	-
	Épaisseur totale	500	850	280	620	330	400	420	670
Sol-support	Remblai : Matériaux granulaires et cohésifs	1520 ⁽¹⁾ ₍₂₎	750 ⁽¹⁾ ₍₂₎	1580 ⁽¹⁾ ₍₂₎	930 ⁽¹⁾ ₍₂₎	870 ⁽¹⁾ ₍₂₎	1200 ⁽¹⁾ ₍₂₎	1030 ⁽¹⁾ ₍₂₎	1610 ⁽¹⁾ ₍₂₎
	Tourbe :	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sol naturel :	70 ⁽¹⁾	420	180	490 ⁽¹⁾	870 ⁽¹⁾	520 ⁽¹⁾	620 ⁽¹⁾	20 ⁽¹⁾
Profondeur atteinte (m)		2,09	2,02	2,04	2,04	2,07	2,12	2,07	2,30
ND : Non déterminé. ⁽¹⁾ Présence de blocs et/ou cailloux; ⁽²⁾ Présence de matières organiques en proportions variables; ⁽³⁾ Présence de débris; ⁽⁴⁾ Valeurs supérieures aux limites maximales de 7 % et de 10 % permises par la norme NQ 2560-114 pour des matériaux de fondation et de sous-fondation respectivement.									

4.1 Structure de chaussée

Les résultats des sondages et analyses effectués indiquent que l'épaisseur moyenne de la structure de chaussée flexible (fondation granulaire et sous-fondation) est comprise entre 280 mm et 1500 mm pour une moyenne de l'ordre de 730 mm.

4.1.1 Fondation granulaire

La couche présente en surface est la fondation granulaire. Celle-ci a été interceptée au droit de chacun des sondages, à l'exception de PU-04-24. Il s'agit d'une pierre concassée de calibre apparent 0-40 mm, tel un gravier sableux à un sable et gravier, avec un peu de silt à silteux. La partie supérieure de cette couche est grise, et la base est brune.

La fondation granulaire a été recoupée entièrement dans les sondages mentionnés ci-dessus, sur une épaisseur variant de 50 mm à 550 mm, pour une moyenne de l'ordre de 310 mm.

Cette couche contient, par endroits, des matières résiduelles (morceaux de bois), ainsi que des matières organiques (radicelles, terre noire) en faibles proportions.

Un géotextile a été observé sous cette couche au droit de certains sondages (se référer aux tableaux 2 à 4).

Selon une appréciation visuelle lors du creusage des puits d'exploration, cette couche de sol présente une compacité apparente généralement moyenne.

Vingt-quatre analyses granulométriques par tamisage et lavage ont été réalisées en laboratoire sur des échantillons prélevés dans cette couche de fondation granulaire. Ces essais indiquent que les teneurs en particules fines (passant le tamis d'ouverture 0,080 mm) de ces matériaux varient entre 7,6 % et 22,9 %, pour une moyenne de 17,0 %. La teneur moyenne en particules fines pour ce type de matériau granulaire est supérieure à la norme usuelle applicable pour des matériaux de fondation (exigence maximale de 7 % recommandée par la norme NQ 2560-114).

4.1.2 Sous-fondation

Une couche de sous-fondation est présente au droit de tous les sondages, sous la fondation granulaire décrite à la section 4.1.1, ou directement à partir de la surface au droit du sondage PU-04-24. Celle-ci est composée d'un gravier concassé (parfois mélangé avec du gravier naturel) de calibre apparent 0-112 mm, tel un gravier et sable à un sable graveleux, avec des traces de silt à silteux, brun à brun gris. Ces sols contiennent des blocs et des cailloux. À noter qu'au droit de PU-12-24, la sous-fondation se présente plutôt tel un silt sableux graveleux, avec une proportion importante de cailloux et de blocs.

Cette couche a été recoupée entièrement dans les sondages, sur une épaisseur variant de 100 mm et 990 mm pour une moyenne de l'ordre de 355 mm.

La sous-fondation contient, par endroits, des matières résiduelles (morceaux de bois), ainsi que des matières organiques (radicelles, racines, terre noire, branches, souches) en proportions variables (faible à importante).

Un géotextile a été observé sous cette couche au droit de certains sondages (se référer aux tableaux 2 à 4).

Selon une appréciation visuelle lors du creusage des puits d'exploration, cette couche de sol présente une compacité apparente généralement moyenne.

Douze analyses granulométriques par tamisage et lavage ont été réalisées en laboratoire sur des échantillons prélevés dans cette couche de sous-fondation granulaire. Ces essais indiquent que les teneurs en particules fines (passant le tamis d'ouverture 0,080 mm) de ces matériaux varient de 5,9 % à 26,9 %, pour une moyenne de 13,8 %. La teneur moyenne en particules fines pour ce type de matériau granulaire est supérieure à la norme usuelle applicable pour des matériaux de sous-fondation (exigence maximale de 10 % recommandée par la norme NQ 2560-114).

Trois essais de brûlage sur des échantillons prélevés au droit des sondages PU-03-24, PU-08-24 et PU-12-24 dans la sous-fondation granulaire ont été réalisés, dans le but de déterminer la teneur en matières organiques. Les valeurs obtenues sont respectivement de 9,7 %, de 0,8 % et de 1,8 %. À noter que ces valeurs sont présentées à titre indicatif seulement. Puisqu'elles ont été obtenues à partir d'un échantillon de sol granulaire, lequel ne comprend pas de matières organiques telles des branches et des souches d'arbres, elles ne sont pas nécessairement représentatives de la teneur en matières organiques réelle, à plus grande échelle.

4.2 Remblais

Des matériaux de remblai ont été interceptés sous la structure de chaussées au droit de la plupart des sondages, sur une épaisseur variant entre 530 mm et 1610 mm. On note aussi la présence d'une couche de pierre nette de calibre apparent 20 mm, d'une épaisseur de 110 mm, interceptée au droit du sondage PU-09-24.

Trois analyses granulométriques et deux essais de détermination des limites d'Atterberg ont été réalisés sur des échantillons représentatifs prélevés dans les matériaux de remblai. Les résultats de ces essais, lesquels ont permis de définir quelques caractéristiques géotechniques de ces sols, sont résumés aux tableaux 5 et 6.

Tableau 5 : Résultats des analyses granulométriques - Remblais granulaires et cohésifs

Sondage	Éch.	Prof. (m)	% Gravier > 5 mm	% Sable < 5 mm et > 80 µm	% Silt < 80 µm	% Argile < 2 µm	Classification USCS
PU-04-24	MA-02	0,32 - 1,85	27,6	33,7	38,7 ⁽¹⁾		SC et/ou SM
PU-18-24	MA-04	1,30 - 1,80	17,4	51,5	31,1 ⁽¹⁾		SC et/ou SM
PU-21-24	MA-03	0,28 - 1,50	28,2	20,5	51,3 ⁽¹⁾		CL
PU-22-24	MA-03	0,62 - 1,55	13,4	12,7	73,9 ⁽¹⁾		CL

⁽¹⁾ Aucune analyse sédimentométrique permettant de déterminer la teneur en argile n'a été effectuée sur cet échantillon.

Tableau 6 : Résultats des limites d'Atterberg - Remblais cohésifs

Sondage	Éch.	Prof. (m)	W	W _L	W _P	I _P	I _L	Classification USCS
PU-21-24	MA-03	0,28 - 1,50	17,0	28	18	10	-0,1	CL
PU-22-24	MA-03	0,62 - 1,55	21,0	39	21	18	0,0	CL

W : teneur en eau (%)

I_P : indice de plasticité (%)

W_L : limite de liquidité (%)

I_L : indice de liquidité

W_P : limite de plasticité (%)

Selon les données recueillies ainsi que sur la base des observations visuelles, ces matériaux de remblai sont constitués majoritairement de :

- Sable silteux à silt sableux, avec un peu de gravier à graveleux et des traces à un peu d'argile par endroits, de couleur brune à grise (PU-02-24, PU-04-24, PU-07-24 à PU-10-24, PU-12-24 à PU-21-24 et PU-24-24);
- Silt avec un peu d'argile à argileux et des proportions variables de sable et de gravier, de couleur brune à grise (PU-21-24 à PU-23-24, PU-25-24 et PU-26-24). Selon les résultats des limites d'Atterberg (voir le tableau 6), les remblais cohérents ont une plasticité faible à moyenne.

Dans la majorité des sondages, les remblais contiennent des blocs et des cailloux, ainsi que des matières organiques (radicelles, racines, terre noire, branches, souches, troncs d'arbres).

La proportion en matières organiques dans les remblais est généralement moyenne à élevée pour les sondages PU-02-24, PU-04-24, PU-07-24, à PU-10-24, PU-13-24, PU-14-24, PU-17-24 et PU-26-24, et faible pour les sondages PU-12-24, PU-16-24 et PU-18-24 à PU-25-24. Un essai de brûlage sur un échantillon prélevé au droit du sondage PU-13-24 dans le remblai granulaire a été réalisé, dans le but de déterminer la teneur en matières organiques. La valeur obtenue est de 2,2 %. À noter que cette valeur est présentée à titre indicatif seulement. Puisqu'elle a été obtenue à partir d'un échantillon prélevé localement, elle n'est pas nécessairement représentative de la teneur en matières organiques réelle, à plus grande échelle.

Des matières résiduelles (morceaux de bois) sont également présentes sporadiquement dans les remblais, notamment au droit du sondage PU-07-24.

Selon une appréciation visuelle lors du creusage des puits d'exploration, les remblais granulaires en place présentent une compacité apparente généralement lâche à moyenne, et les remblais cohésifs ont une consistance apparente ferme à raide.

4.3 Tourbe

Un horizon de tourbe a été intercepté au droit de certains sondages (PU-03-24 et PU-10-24). Cette couche a une épaisseur de 200 mm et de 940 mm respectivement. Elle se situe à une profondeur respective de 1,20 m et de 1,46 m par rapport au niveau actuel de la chaussée.

La couche de tourbe contient d'autres matières organiques (radicelles, racines, terre noire, branches, souches) en proportions importantes, ainsi que des blocs et des cailloux par endroits.

4.4 Sols naturels

Les sols naturels ont été interceptés au droit de tous les sondages, sous les matériaux de remblais, la sous-fondation ou la couche de tourbe décrits précédemment, et ce, à partir de profondeurs comprises entre 0,51 m et 2,50 m par rapport au niveau actuel de la chaussée.

Deux analyses granulométriques et deux essais de détermination des limites d'Atterberg ont été réalisés sur des échantillons représentatifs prélevés dans les sols naturels de nature cohésive. Les résultats de ces essais, lesquels ont permis de définir quelques caractéristiques géotechniques de ces dépôts, sont résumés aux tableaux 7 et 8.

Tableau 7 : Résultats des analyses granulométriques - Sols naturels cohésifs

Sondage	Éch.	Prof. (m)	Gravier > 5 mm (%)	Sable < 5 mm et > 80 µm (%)	% Silt < 80 µm et > 2 µm	% Argile < 2 µm	Teneur en eau (%)	Classification USCS
PU-01-24	MA-03	1,25 - 1,50	0,0	6,4	93,6 ⁽¹⁾		19,0	CL
PU-06-24	MA-03	0,51 - 1,10	8,6	22,5	68,9 ⁽¹⁾		18,0	CL

⁽¹⁾ Aucune analyse sédimentométrique permettant de déterminer la teneur en argile n'a été effectuée sur cet échantillon.

Tableau 8 : Résultats des limites de consistance - Sols naturels cohésifs

Sondage	Éch.	Prof. (m)	W	W _L	W _P	I _P	I _L	Classification USCS
PU-01-24	MA-03	1,25 - 1,50	19,0	29	20	9	-0,1	CL
PU-06-24	MA-03	0,51 - 1,10	18,0	38	21	17	-0,2	CL

W : teneur en eau (%)

I_P : indice de plasticité (%)

W_L : limite de liquidité (%)

I_L : indice de liquidité

W_P : limite de plasticité (%)

Selon les données recueillies ainsi que sur la base des observations visuelles, les sols naturels sont majoritairement composés de :

- Sable avec un peu de silt à silt sableux, avec des proportions variables de gravier et des traces à un peu d'argile, par endroits, de couleur brune à grise (PU-01-24 à PU-08-24, PU-10-24 à PU-21-24 et PU-24-24);
- Silt avec un peu d'argile à argileux, avec des traces de sable à sableux et des traces à un peu de gravier, de couleur brune à grise (PU-01-24, PU-06-24, PU-09-24, PU-22-24, PU-23-24, PU-25-24 et PU-26-24). Selon les résultats des limites d'Atterberg (voir le tableau 8), les sols naturels cohérents en place ont une plasticité faible à moyenne.

Les sols naturels contiennent des blocs et des cailloux, par endroits. Des matières organiques (radicelles, terre noire, morceaux de bois) en faibles proportions ont été observées dans le dépôt naturel au droit de PU-09-24.

Selon une appréciation visuelle lors du creusage des puits d'exploration, les sols naturels granulaires en place présentent une compacité apparente généralement moyenne, et les remblais cohésifs ont une consistance apparente ferme à raide.

La consistance du dépôt cohérent au droit du sondage PU-06-24, telle qu'estimée au moment d'un essai scissométrique (Geonor 170010), peut être qualifiée de ferme, avec une valeur de résistance au cisaillement non drainée (C_u) de 44 KPa.

5

5 Eaux souterraines

Lors du creusage des puits d'exploration, des venues d'eau ont été observées à différentes profondeurs. Les données recueillies sont présentées au tableau 9.

Tableau 9 : Profondeur des venues d'eau observées dans les sondages

N° de sondage	Horizon dans lequel la venue d'eau a été observée	Profondeur par rapport à la chaussée à laquelle la venue d'eau a été observée (m)
PU-01-24	Sol naturel	1,50
PU-02-24	Remblai	1,95
PU-03-24	Aucune venue d'eau observée	
PU-04-24	Aucune venue d'eau observée	
PU-05-24	Sol naturel	0,80
PU-06-24	Sol naturel	1,10
PU-07-24	Sol naturel	2,10
PU-08-24	Sol naturel	1,88
PU-09-24	Remblai	1,29
PU-10-24	Remblai	1,86
PU-11-24	Aucune venue d'eau observée	
PU-12-24	Remblai	1,18
PU-13-24	Sol naturel	2,02
PU-14-24	Sol naturel	2,20

N° de sondage	Horizon dans lequel la venue d'eau a été observée	Profondeur par rapport à la chaussée à laquelle la venue d'eau a été observée (m)
PU-16-24	Aucune venue d'eau observée	
PU-17-24	Aucune venue d'eau observée	
PU-18-24	Remblai	0,54
PU-19-24	Remblai	0,97
PU-20-24	Sol naturel	1,60
PU-21-24	Remblai	1,28
PU-22-24	Aucune venue d'eau observée	
PU-23-24	Sol naturel	1,35
PU-24-24	Sol naturel	2,00
PU-25-24	Sol naturel	1,45
PU-26-24	Aucune venue d'eau observée	

Il est à noter que la profondeur des venues d'eau ne correspond pas nécessairement au niveau de la nappe d'eau souterraine. Il s'agit d'une observation à court terme. Selon la perméabilité des sols en place, le délai de stabilisation de la nappe d'eau souterraine peut prendre un certain temps.

Il est également important de souligner que le niveau de l'eau dans les sols est susceptible de fluctuer, à la hausse ou à la baisse, en fonction des modifications apportées au milieu physique et selon les saisons ou les conditions climatiques.

Des indications sur la stabilité des parois des excavations lors du creusage des puits d'exploration sont indiquées dans la section « Remarques » sur les rapports de sondage joints à l'annexe B.



6 Recommandations

Selon les informations et le plan transmis par le client, le projet consiste en la réfection de chaussées de certains tronçons de rues problématiques du Domaine les Villas de l'Anse, situé à Magog (Québec). En effet, certains tronçons présentent un mauvais comportement au dégel (affaissements, apparition d'ornières profondes et instabilités). Ainsi, le client doit procéder régulièrement à un rechargement des structures de chaussées.

Il a été considéré que le niveau fini de la chaussée se trouvera approximativement au niveau du terrain actuel.

Les sections suivantes présentent des recommandations pertinentes quant à la réfection de la chaussée ainsi qu'à la préparation du site, en fonction des résultats des sondages et des résultats des essais en laboratoire disponibles exposés dans le présent rapport.

D'autre part, il est essentiel que les terrassements requis pour la construction de la structure de chaussée soient effectués comme décrit à la section 6.6, afin de s'assurer que son comportement face aux effets du dégel soit uniforme sur toute son étendue.

6.1 Limitations

Ce chapitre présente les paramètres géotechniques utiles au concepteur pour le dimensionnement des travaux projetés ainsi que les recommandations pertinentes pour la construction prévue. Les commentaires et recommandations présentés dans les sections suivantes dépendent à la fois des résultats de l'investigation géotechnique (sur le terrain et en laboratoire) et des informations obtenues dans le cadre du mandat.

Les recommandations d'Englobe formulées dans ce rapport s'adressent au client, au concepteur et à l'entrepreneur pour la préparation des plans et devis et les estimations de coûts. Toutefois, pour la construction, l'entrepreneur doit réaliser les investigations requises pour s'assurer que la méthode de travail qu'il envisage ne sera pas impactée par un élément géotechnique non décrit dans ce rapport.

Il est important de considérer que ce rapport a été rédigé avant la conception complète du projet et qu'il est impossible, à ce stade du projet, de prévoir tous les éléments susceptibles d'affecter les méthodes de travail pour la construction.

Les représentants d'Englobe doivent être avisés s'il y a des modifications au projet, ou de nouvelles données, afin de permettre de réviser les recommandations présentées dans ce rapport, au besoin.

Considérant que le client ne souhaite pas effectuer la reconstruction complète des chaussées, en excavant et en remplaçant les sols d'infrastructure inadéquats (notamment ceux qui contiennent des matières organiques en proportions importantes, ou des blocs et des cailloux), les solutions proposées par Englobe auront une durée de vie limitée, et requerront un entretien (rechargement et autres) régulier. Par ailleurs, les investigations réalisées ont permis de constater certaines conditions pouvant expliquer le comportement actuel de la chaussée au dégel. Celles-ci sont exposées dans ce chapitre.

6.2 Inspection du site et observations particulières en chantier

Lors de la réalisation des sondages, les 30 et 31 mai ainsi que le 3 juin 2024, il a été possible de constater que la surface granulaire des chaussées était stable et sans déformations majeures.

Les photos prises lors des travaux de chantier démontrent que les accotements des fossés sont généralement plus hauts que le niveau de la structure granulaire. Il est possible de constater que les fossés sont généralement peu profonds et fortement végétalisés. De plus, localement, il est possible de voir que certains fossés ont été fermés par les propriétaires privés.

Lors des travaux de chantier, il a été possible de constater que le niveau d'eau était inférieur à 1,0 m au droit des sondages PU-05-24, PU-18-24 et PU-19-24, et de près de 1,0 m au droit des sondages PU-06-24, PU-12-24 et PU-21-24. La présence d'une membrane géotextile a été observée au droit de la plupart des sondages et à deux profondeurs au droit des sondages PU-05-24, PU-18-24, PU-23-24 et PU-25-24. La présence d'un horizon de tourbe a été observée au droit des sondages PU-03-24 et PU-10-24.

La couche présente en surface est une fondation granulaire dont la granulométrie s'apparente à une pierre concassée de calibre 0-40 mm, excepté au droit du sondage PU-04-24 où la sous-fondation actuelle, composée de gravier concassé, est directement en surface.

6.3 Historique de construction et d'entretien

Tel qu'indiqué par la représentante du client les 10, 13 et 25 juin 2024, les premières rues ont été construites en 1986-1987. Selon la coupe type fournie, les structures ont été construites de la manière suivante : une couche de 100 mm de gravier concassé de calibre 19-0 mm sur une couche de 200 mm de gravier concassé de calibre 63-0 mm. Cette dernière couche repose sur un géotextile de séparation. Toujours selon la coupe, les fonds des fossés ont été construits à 300 mm sous la ligne d'infrastructure.

Les chaussées gravelées sont rechargées chaque printemps, principalement aux points bas. Certaines sections des fossés ont été nettoyées. Cependant, il est parfois impossible de bien les nettoyer en raison de l'élévation des ponceaux des entrées charretières. De plus, on nous indique que les problèmes sont plus importants à l'emplacement des points bas, où sont installés des ponceaux.

Selon les photos prises le printemps dernier et envoyées à Englobe le 11 mars dernier, il est possible de constater que la surface de la chaussée présente des ornières profondes et qu'elle est saturée d'eau.

6.4 Analyse des résultats de laboratoire et constats

La structure de chaussée actuelle est d'une épaisseur variant entre 0,28 et 1,50 m pour une épaisseur moyenne de l'ordre de 730 mm. Les analyses granulométriques effectuées sur les matériaux de fondation et de sous-fondation indiquent que les teneurs en particules fines (passant le tamis d'ouverture 0,080 mm) de ces matériaux varient entre 5,9 % et 26,9 %, et ne respectent pas, en grande partie, les exigences en particules fines pour une fondation et une sous-fondation.

La structure de chaussée est constituée généralement de matériaux granulaires de classification SM ou GM selon la classification USCS. L'infrastructure est constituée de matériaux SM ou CL selon la classification USCS. Pour fins de dimensionnement, un sol de type SM a été utilisé en infrastructure. Les matériaux de type GM ou SM peuvent subir, respectivement, un affaiblissement au dégel de 25 % et de 45 % tel qu'indiqué à l'annexe 1 du Guide d'utilisation des géosynthétiques de séparation et de renforcement des chaussées du MTMD. Le pourcentage d'affaiblissement au dégel doit être augmenté de 10 % lorsque la nappe phréatique est à moins d'un mètre de la surface, ce qui est le cas dans plusieurs sondages.

De plus, la présence de matières organiques a été observée localement dans la sous-fondation et dans les remblais de plusieurs sondages. Les teneurs en matières organiques mesurées en laboratoire, de 0,8 % à 2,2 %, sont acceptables et respectent la teneur maximale de 3,0 % exigée à l'article 11.11.1.2 du CCDG. Une valeur supérieure à l'exigence (valeur de 9,7 %) a toutefois été observée au droit du sondage PU-03-24. À noter que, tel qu'indiqué à la section 4, les teneurs en matières organiques mesurées en laboratoire ne sont pas nécessairement représentatives des conditions réelles sur le terrain. De plus, la présence d'un horizon de tourbe a été observée au droit des sondages PU-03-24 et PU-10-24, à des épaisseurs respectives de 0,20 m et 0,94 m, et celui-ci est situé à des profondeurs respectives de 1,20 et 1,46 m par rapport au niveau actuel de la chaussée. Bien que la présence de branches ait été observée dans la matière organique de différents sondages et que celles-ci n'aient pas été échantillonnées, la majorité des matériaux organiques sont décomposés ou leur décomposition subséquente se fera graduellement, ce qui sera facilement corrigeable dans le cas d'une chaussée gravelée.

L'état de détérioration de la chaussée, qui survient principalement au printemps, apparaît être principalement attribuable à une structure de chaussée ayant des matériaux qui se drainent mal en raison des fossés peu profonds et en raison de leur quantité importante de particules fines, qui augmente la rétention de l'eau à la surface de la chaussée. Cette importante quantité de particules fines est potentiellement attribuable à l'utilisation de matériaux granulaires non conformes comme fondation et sous-fondation lors de la construction. En effet, la coupe de structure de chaussée envoyée par le client fait mention d'un matériau n'ayant pas de fuseau granulométrique défini et de type gravier concassé. Tel que mentionné à la norme BNQ 2560-114, une couche de fondation (MG 20 ou MG 56) doit avoir une quantité de particules fines située entre 2,0 et 7,0 %, alors que pour une couche de roulement d'une chaussée gravelée, la plage acceptable se situe entre 5,0 et 11,0 % (MG 20b). Également, la quantité de particules fracturées doit être de plus de 50 % selon les exigences de caractéristiques de fabrication des gros granulats d'une couche de roulement ou d'une fondation. L'importante quantité de particules fines pourrait aussi être attribuable à la contamination par des matériaux granulaires impropres, liée à la circulation des véhicules lourds transportant des matériaux pour la construction ou la rénovation des nouvelles résidences. Elle pourrait aussi être attribuable à la contamination liée aux matériaux de rechargement granulaire non conformes. Finalement, l'importante quantité de particules fines pourrait aussi être attribuable à la migration des particules fines de l'infrastructure vers la sous-fondation aux endroits n'ayant pas de géotextile et pouvant supposer, aux emplacements où le géotextile est présent, que celui-ci est perforé ou mal installé, ce qui limite son rôle de séparation.

Afin d'améliorer le comportement de la structure de chaussée, le système de drainage devra être revu tel qu'indiqué à la section 6.5 et les matériaux de surface devront être excavés et remplacés de manière à respecter les exigences de la section 6.9.

De plus, aux endroits des points bas, c'est-à-dire, près des ponceaux et des zones des sondages ayant des niveaux d'eau ayant une profondeur inférieure à 1,0 m, la structure de chaussée devrait être rehaussée.

Le concepteur devra consulter un spécialiste en hydraulique afin de déterminer les différentes conditions d'écoulement et les solutions à apporter au système de drainage. En effet, selon le courriel de la représentante du client envoyé le 25 juin 2024, un rehaussement du profil fini de la surface gravelée ne serait pas envisagé par rapport à celui de la chaussée en place.

Il est essentiel de s'assurer de conserver un recouvrement minimal de sols à l'endroit des ponceaux, afin de conserver leur intégrité.

6.5 Recommandations relatives au drainage

Il est possible d'observer, sur des photos prises par le représentant d'Englobe et jointes en annexe E, que les fossés sont généralement peu profonds et fortement végétalisés. Localement, il est possible de voir que les accotements sont parfois plus hauts que la structure actuelle et que certains fossés ont été fermés par les propriétaires privés. Il n'a pas été possible de voir et de constater la nature des matériaux mis en œuvre dans les fermetures de fossés.

Pour assurer un drainage efficace souterrain de la structure de la chaussée et des eaux de surface, il est recommandé de procéder à la mise en œuvre des travaux suivants, de façon non limitative, préalablement à la réfection de la chaussée :

1. Inspection de l'ensemble du réseau pluvial, incluant les fossés et les décharges (profondeur, pente longitudinale) afin de s'assurer de l'évacuation efficace de l'eau des précipitations et de fonte de la neige. **Le concepteur devra consulter un spécialiste en hydraulique afin de déterminer les différentes conditions d'écoulement et les solutions à apporter au système de drainage;**
2. Inspection des fermetures des fossés. Ceux-ci devront respecter les exigences de l'article 12.3.5.1 du tome 1 *Conception routière* du MTMD;
3. Creuser le fond des fossés de manière à respecter les exigences de la norme 3101 du tome 6 *Entretien* du MTMD. Toutefois, considérant les problématiques actuelles de drainage et les épaisseurs de structure de chaussée granulaires plus minces que pour une chaussée avec revêtement bitumineux, une profondeur de fossé de l'ordre de 500 mm sous le niveau de la ligne d'infrastructure projetée serait recommandée;
4. Rehausser, aux endroits des points bas et des zones ayant des niveaux d'eau relativement élevés, par exemple, au droit des sondages PU-05-24, PU-18-24 et PU-19-24, afin de s'éloigner de la nappe phréatique;
5. Conception et construction de purges dans la paroi des fossés, du côté de la chaussée, afin de mettre en communication les matériaux de la structure de chaussée et les fossés. Ces purges doivent être effectuées à un intervalle de 50 mètres, en alternance, de chaque côté de la chaussée, et permettre un drainage adéquat des matériaux de la structure de chaussée;
6. Nettoyage, nivelage et gravelage des accotements de la chaussée de manière à ce qu'il n'y ait plus de végétation et que les accotements soient plus bas que la surface de chaussée. Ces mesures permettront aux eaux de surface de s'écouler vers les fossés plutôt que de s'accumuler en bordure de la chaussée et d'en pénétrer et d'affaiblir les matériaux.

La durée de vie fonctionnelle estimée des interventions recommandées dans cette étude sera réduite de façon significative, dans l'éventualité où les travaux d'amélioration du drainage décrits à la présente section se seraient pas effectués et que le drainage des matériaux de la structure de chaussée ne se ferait pas de façon efficace.

6.6 Terrassements

Englobe recommande la méthode de réalisation des travaux de terrassement suivante afin d'assurer le bon comportement à long terme de la chaussée :

- Les travaux de déblayage ou de remblayage doivent être effectués de manière à permettre de construire la structure de chaussée présentée au tableau 10. De plus, le fond des excavations devra être approuvé par un ingénieur géotechnicien, ou son représentant, afin de s'assurer que tous les matériaux impropres à la construction aient été retirés et que le sol d'infrastructure ait été adéquatement préparé;
- Des mesures appropriées doivent être prévues durant la construction de la chaussée, telle que l'installation d'un système de pompage adéquat et efficace, afin d'éliminer les eaux de ruissellement et d'infiltration qui pourraient s'accumuler au fond des excavations. Selon les résultats des sondages, les sols en place au niveau de la ligne d'infrastructure, notamment les sols naturels, présenteront une importante proportion de particules fines. Le fond de l'excavation doit être maintenu à sec et stable sur une épaisseur suffisante pour permettre la mise en place et le compactage des matériaux de la fondation granulaire de la chaussée. **Ceux-ci seront stables, à condition que la surface soit bien drainée** et que les matériaux délétères, le cas échéant, aient été retirés. En présence d'eau, des instabilités pourront se produire, par exemple, lors d'opérations de compactation ou de circulation lourde. Dans le but de réduire les risques de remaniement, nous recommandons d'utiliser un godet lisse (sans dents) lors des opérations de mise en forme des sols-supports;
- Les travaux de terrassement applicables selon l'article 11 du Cahier des charges et devis généraux (CCDG) du ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec (MTMD) devront être réalisés avant la mise en place de la structure de chaussée. La préparation de la surface de l'infrastructure devra s'effectuer selon les indications applicables de l'article 11.11 du CCDG du MTMD. Si applicable, selon les sols en place, la réalisation d'essais de portance concluants selon l'article 11.11.4 du CCDG est recommandée;
- Les opérations de compactage et d'essais de portance devront être réalisées sans risque pour les infrastructures souterraines sous-jacentes (exemple : conduites s'il y a lieu);
- La surface du sol-support, préalablement à la mise en place des matériaux de la structure de chaussée, doit être exempte de tout matériau jugé impropre à la construction, remanié, gelé ou instable et de toute déformation de la surface causée, entre autres, par le passage, s'il y a lieu, des équipements de construction sur la plateforme. À ce sujet, il sera important de ne pas remanier le sol demeurant en place à la ligne d'infrastructure (et sous cette dernière) avant de procéder à la mise en place de la structure de la chaussée. Le degré de compactage du sol-support doit être d'au minimum 90 % de la valeur maximale de la densité sèche mesurée en laboratoire lors d'un essai à énergie de compactage modifiée (Proctor modifié), selon la norme NQ 2501-255. L'avis d'un ingénieur en géotechnique routière est nécessaire dans le cas où ce pourcentage de compactage ne peut être atteint selon le type et les caractéristiques du sol présent;
- La surface de l'infrastructure doit être bien fermée, c'est-à-dire ne présenter aucun vide. Tous les blocs, cailloux et débris dont la dimension est supérieure à 300 mm, et présents jusqu'à une profondeur de 0,6 m sous le niveau de la ligne d'infrastructure, doivent être retirés. Le dernier 0,3 m sous la ligne d'infrastructure doit être exempt de matières organiques, de cailloux ou de débris dont la dimension est supérieure à 150 mm. Ces mesures permettent d'éviter les déformations majeures de la surface de la chaussée causées par l'action successive des cycles de gel et de dégel;
- Si des sols remaniés, gelés, instables, organiques ou à contenu organique, ou jugés impropres à la construction doivent être excavés sous le niveau de la ligne d'infrastructure, leur remplacement doit être assuré par des matériaux présentant une granulométrie similaire aux sols avoisinants et présenter les caractéristiques d'un remblai défini au CCDG.

Un certain tri des matériaux mis en réserve, le cas échéant, devra être réalisé afin de sélectionner les sols les plus aptes et exempts de débris, de blocs/cailloux ou de matières organiques, tel que mentionné ci-haut, pour le remplacement des sols inadéquats jusqu'à la ligne d'infrastructure, si applicable. Les opérations de remplacement de ces sols doivent être effectuées par couches de 300 mm d'épaisseur, ou moins, avant le compactage. Les matériaux mis en place doivent être densifiés à au moins 90 % de la valeur maximale de la densité sèche mesurée en laboratoire lors d'un essai à énergie de compactage modifiée (Proctor modifié);

- Advenant un rehaussement du terrain, ou si un remplacement de sols jugés impropres à la construction est jugé nécessaire sous le niveau de la ligne des infrastructures, les matériaux utilisés doivent présenter les caractéristiques suivantes :
 - Présenter une granulométrie similaire aux sols et aux matériaux avoisinants;
 - Être exempts de matières organiques;
 - Ne pas contenir de particules supérieures à 300 mm et de matériaux impropres à la construction (débris). Par ailleurs, le dernier 0,3 m sous la ligne d'infrastructure doit être exempt de tous les cailloux et les débris de plus de 150 mm de dimension;
 - Présenter une granulométrie étalée et une teneur en eau facilitant leur compactage au moment des travaux;
- S'il s'agit de déblais, un certain tri des matériaux mis en réserve, le cas échéant, devra être réalisé afin de sélectionner les sols les plus aptes et exempts de débris, de blocs/cailloux ou de matières organiques, comme mentionné ci-haut. Les opérations de mise en place des matériaux doivent être effectuées par couches de 300 mm d'épaisseur, ou moins, avant le compactage. Les matériaux mis en place doivent être densifiés à au moins 90 % de la valeur maximale de la densité sèche mesurée en laboratoire lors d'un essai à énergie de compactage modifiée (Proctor modifié);
- La construction des zones de transition applicables dans les pentes des excavations est requise pour la mise en place de conduites, et ce, lorsque le matériau de remblayage est de gélivité ou de portance différente que celles des sols en place;
- Dans le but d'obtenir un meilleur comportement de la chaussée, il est recommandé de maintenir une couronne, ou les pentes applicables, sur toutes les surfaces compactées, incluant la surface de l'infrastructure, afin de permettre l'écoulement vers un système de drainage permanent et efficace des eaux qui peuvent s'infiltrer dans la structure de la chaussée;
- Pour toutes les excavations, les exigences contenues dans la version la plus récente du « Code de sécurité pour les travaux de construction » et les exigences de la CNESST devront respectées. Aux fins de construction, puisque les pentes d'excavation seront temporaires, il est de la responsabilité de l'entrepreneur de réaliser des pentes d'excavation stables et sécuritaires. Également, les méthodes de construction utilisées devront être appropriées et approuvées par le surveillant, afin d'éviter le remaniement et la contamination du sol d'infrastructure ainsi que des matériaux de sous-fondation et de fondation pendant l'ensemble des travaux de construction. Les méthodes de travail devront également être sélectionnées afin d'éviter des dommages aux infrastructures souterraines et aux géotextiles, le cas échéant, si ces derniers sont prévus à la surface du sol support.

6.7 Méthode de dimensionnement structural

Le dimensionnement de la structure de chaussée gravelée a été effectué en conformité avec la méthodologie du guide d'utilisation des géosynthétiques de séparation et de renforcement des chaussées du ministère des Transports et de la Mobilité Durable du Québec (MTMD), édition 2004, pour une période de conception structurale de 10 ans, durée de vie maximale selon le guide ou de 10 000 passages de camions.

6.8 Sollicitation anticipée

Le tableau 10, présente la structure de chaussée minimale applicable pour la reconstruction des chaussées gravelées de certains tronçons de rues du Domaine les Villas de l'Anse, situé à Magog (Québec). La structure de chaussée proposée est basée sur les informations transmises par la représentante du client en date des 10, 13 et 25 juin 2024. Plus particulièrement, les hypothèses de circulation suivantes ont été utilisées :

- Durée de vie utile de 10 ans;
- Débit journalier d'au plus 250 véhicules par jour sur toute la durée de vie utile;
- 5000 véhicules lourds pour la durée de vie utile de type une unité 4 essieux, c'est-à-dire de types A.3 ou A.4 selon la classification du guide des normes de charges et dimensions des véhicules routiers du MTMD. Un maximum de 500 passages de véhicules lourds par année a donc été considéré pour le dimensionnement;
- Des camions pleins ont été considérés dans le dimensionnement.

Englobe devra être avisée dans le cas où ces paramètres ne seraient pas représentatifs de la réalité, afin de réviser, s'il y a lieu, les recommandations. **De plus, il serait préférable de restreindre le passage de véhicules lourds en période de dégel de manière à ne pas déstabiliser la structure de chaussée.**

6.9 Structure de chaussée minimale recommandée

Le tableau 10, présente la structure de chaussée minimale applicable pour la reconstruction des rues.

Englobe ne recommande pas de mettre en place une structure de chaussée d'une épaisseur totale inférieure à celle présentée au tableau 10. La consultation des notes au bas de ce tableau est particulièrement importante afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage.

Tableau 10 : Structure de chaussée gravelée recommandée pour les rues à l'étude

Élément de la chaussée	Type de matériaux	Épaisseur (mm)	Compactage (%)
Couche de roulement ou fondation supérieure	Pierre concassée de type MG 20b ⁽²⁾	150	Selon les articles 12.3.3.2 à 12.3.3.5 du CCDG MTMD 2024
Fondation inférieure	Pierre concassée de type MG 20 ⁽²⁾	250	Selon les articles 12.3.3.2 à 12.3.3.5 du CCDG MTMD 2024
Sols-support à la ligne d'infrastructure	⁽¹⁾⁽⁴⁾	s/o	90 % min. (NQ 2501-255) à la ligne d'infrastructure ⁽³⁾

⁽¹⁾ Les matériaux de la couche de roulement et de la fondation inférieure devront avoir un CBR de plus de 80. De plus, la réalisation d'essais de portance concluants selon l'article 11.11.4 du CCDG est recommandée, afin de confirmer que la portance des matériaux de fondation est adéquate ;

⁽²⁾ Les granulométries des matériaux MG 20b et de MG 20 de couche de roulement et de fondation inférieure devront être conformes à la norme NQ 2560-114. Les matériaux de couche de roulement de type MG 20b et de fondation inférieure de type MG 20 devront, par ailleurs, respecter les exigences de caractéristiques intrinsèques, de fabrications et complémentaires de la norme BNQ 2560-114. Par ailleurs, selon les disponibilités, les matériaux de fondation inférieure de calibre MG 20 peuvent être remplacés par un matériau granulaire de type MG 56;

⁽³⁾ L'avis d'un ingénieur en géotechnique routière est nécessaire dans le cas où ce pourcentage de compactage ne peut pas être atteint selon le type et les caractéristiques du sol présent ou dans le cas de sol argileux;

⁽⁴⁾ Un sol-support classifié SM fin a été considéré aux fins de dimensionnement structural. La préparation de la surface de l'infrastructure devra s'effectuer selon les indications applicables de la section 11 du CCDG du MTMD, de sorte à assurer une stabilité et une uniformité de la future chaussée. Si le critère de filtre n'est pas respecté ou qu'aucune donnée le démontrant n'est disponible, une membrane géotextile (grade S1-F2 selon BNQ 7009-210 et respectant les exigences de l'article 12.7 du CCDG MTMD 2024) devra être installée à la limite du sol-support et de la fondation inférieure

Tel que mentionné à la section 6.5, la mise en œuvre d'un système de drainage fonctionnel est essentielle préalablement à la réhabilitation de la chaussée, afin d'assurer un drainage adéquat des matériaux granulaires, sans quoi la fonctionnalité de cette dernière sera moindre.

Un régalaage occasionnel de la surface gravelée sera à prévoir. Cet entretien doit être réalisé pour maintenir une surface fonctionnelle afin de compenser les comportements différentiels et la déformation permanente de la fondation granulaire en période de dégel, suite aux passages des véhicules.

Il est à mentionner que la structure proposée ne respecte pas la protection partielle minimale recommandée pour une structure revêtue. Dans l'éventualité où cette structure serait recouverte d'un revêtement en enrobé bitumineux, la fondation inférieure de la structure présentée au tableau 10 devra être épaissie à 650 mm pour atteindre une structure totale de l'ordre de 800 mm. De plus le MG 20b en surface devra être remplacé par du MG 20. Aussi, les horizons de tourbe ou zones de matières organiques devront être excavés dans le cas de la mise en œuvre d'un enrobé bitumineux. Finalement, la profondeur de fossé pourrait être réduite à 300 mm par rapport à la ligne d'infrastructure si une épaisseur de structure de chaussée de l'ordre de 800 mm était retenue.

Dans le but d'obtenir un meilleur comportement de la chaussée, il est recommandé de maintenir une couronne, ou les pentes applicables, sur toutes les surfaces compactées, incluant la surface de l'infrastructure, pour permettre l'écoulement vers un système de drainage permanent et efficace des eaux qui peuvent s'infiltrer dans la structure de la chaussée.

6.10 Recommandations relatives aux matériaux de chaussée

Les matériaux mentionnés à ce chapitre sont ceux visés par les normes contenues dans le Tome VII - Matériaux du MTMD, et le recueil des méthodes d'essai du Laboratoire des chaussées du MTMD ainsi que la norme NQ 2560-114. De façon plus spécifique, les matériaux doivent également respecter les exigences spécifiées aux sections suivantes.

6.10.1 Granulats pour fondation et sous-fondation (emprunt)

Les matériaux constituant les éléments de la chaussée doivent être mis en place puis compactés jusqu'aux degrés de compactage décrits au tableau 10. Les matériaux de type MG 20b et MG 20 devront avoir un indice CBR supérieur à 80 tel que recommandé par le Guide d'utilisation des géosynthétiques du MTMD. De plus, la réalisation d'essais de portance concluants selon l'article 11.11.4 du CCDG est recommandée, afin de confirmer que la portance des matériaux de fondation est adéquate.

Les granulats doivent satisfaire les exigences formulées dans la norme NQ 2560-114, concernant les fuseaux granulométriques des granulats, les caractéristiques intrinsèques, de fabrication et complémentaires des gros granulats et des granulats fins pour une couche de roulement ou une fondation.

6.11 Réutilisation des matériaux en place

Sur la base des analyses granulométriques réalisées sur certains échantillons, les matériaux de fondation, de sous-fondation et de remblai présentent une proportion de particules fines (diamètre < 80 µm) bien souvent au-dessus de 10 %. Par conséquent, ces matériaux ne respectent pas les fuseaux granulométriques des matériaux MG 20 et MG 112 recommandés en matériaux de fondation granulaire et de sous-fondation. À priori, les déblais ne pourront donc pas être réutilisés au-dessus de la ligne d'infrastructure.

Dans le cas où les matériaux excavés ne seraient pas réutilisables, un matériau d'emprunt conforme aux exigences indiquées précédemment et ayant une granulométrie et une teneur en eau facilitant son compactage doit être utilisé pour effectuer le remblayage. Ce matériau doit être exempt de particules dont la dimension est supérieure à 300 mm.

Par ailleurs, les remblais et les sols naturels non organiques et triés des blocs/cailloux et des débris qu'ils pourraient contenir pourront être réutilisés comme matériaux d'appoint aux endroits où aucune exigence granulométrique ou de compacité n'est spécifiée. Il n'est cependant pas recommandé de réutiliser des sols saturés.

La possibilité de réutiliser les matériaux d'excavation dépendra des conditions climatiques au moment des travaux et des méthodes de travail de l'entrepreneur. Par ailleurs, on devra utiliser des équipements et des méthodes de compactage appropriés aux types de matériaux et aux conditions de chantier.

Si applicable, les déblais considérés pour une réutilisation devront être mis en piles, triés et caractérisés pour vérifier que leurs propriétés correspondent à l'usage projeté.

La gestion des déblais en chantier devra être conforme aux normes environnementales en vigueur.

6.12 Suivi de construction

En fonction des travaux devant être réalisés sur le site, Englobe recommande de prévoir un programme de contrôle pour l'approbation des fonds d'excavation et la construction de la structure de chaussée.

Ce programme doit inclure :

- La vérification de la qualité des matériaux granulaires utilisés en chantier;
- La vérification de leur mise en place conformément aux exigences;
- La mesure de la masse volumique en place à l'aide d'un nucléodensimètre dans le but de valider l'atteinte du degré de compaction exigé.

Si les tranchées d'excavation demeurent ouvertes pour des périodes de plus de quelques jours, il est recommandé que des inspections quotidiennes, par du personnel spécialisé en géotechnique, soient effectuées dans le but de déceler les risques de glissement ou de détachement et de déterminer les mesures à prendre pour corriger les situations dangereuses.

Annexe A

Portée de l'étude



PORTÉE DE L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

1.0 Caractéristiques des sols et du roc

Les caractéristiques des sols et du roc décrites dans ce rapport proviennent de forages et/ou de sondages effectués à une période donnée et correspondent à la nature du terrain aux seuls endroits où ces mêmes forages et sondages ont été effectués. Ces caractéristiques peuvent varier de façon importante entre les points de forage et de sondage.

Les formations de sol et de roc présentent une variabilité naturelle. Les limites entre les différentes formations présentées sur les rapports doivent donc être considérées comme des transitions entre les formations plutôt que comme des frontières fixes. La précision de ces limites dépend du type et du nombre de sondages, de la méthode de sondage, de la fréquence et de la méthode d'échantillonnage.

Les descriptions des échantillons prélevés ont été faites selon les méthodes d'identification et de classification reconnues et utilisées en géotechnique. Elles peuvent impliquer le recours au jugement et à l'interprétation du personnel ayant réalisé l'examen des matériaux. Celles-ci peuvent être présumées justes et correctes suivant la pratique courante dans le domaine de la géotechnique. Finalement, si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les propriétés des sols et du roc peuvent être modifiées de façon importante à la suite d'activités de construction, telles que l'excavation, le dynamitage, le battage de pieux ou le drainage, effectuées sur le site ou sur un site adjacent. Elles peuvent également être modifiées indirectement par l'exposition des sols ou du roc au gel ou aux intempéries.

2.0 Eau souterraine

Les conditions d'eau souterraine présentées dans ce rapport s'appliquent uniquement au site étudié. La précision et la représentation de ces conditions doivent être interprétées en fonction du type d'instrumentation mis en place et de la période, de la durée et du nombre d'observations effectuées. Ces conditions peuvent varier selon les précipitations, les saisons et éventuellement les marées. Elles peuvent également varier à la suite d'activités de construction ou de modifications d'éléments physiques sur le site ou dans le voisinage. La problématique de l'ocre ferreuse et ses effets n'est pas couverte par le présent rapport.

3.0 Utilisation du rapport

Les commentaires et recommandations donnés dans ce rapport s'adressent principalement à l'équipe de conception du projet. Pour déterminer toutes les conditions souterraines pouvant affecter les coûts et les techniques de construction, le choix des équipements ainsi que la planification des opérations, le nombre de forages ou de sondages nécessaire pourrait être supérieur au nombre de forages ou sondages effectué pour les besoins de la conception. Les entrepreneurs présentant une soumission ou effectuant les travaux doivent effectuer leur propre interprétation des résultats des forages et des sondages et au besoin leur propre investigation pour déterminer comment les conditions en place peuvent influencer leurs travaux ou leur méthode de travail.

Toute modification de la conception, de la position et de l'élévation des ouvrages devra être communiquée rapidement à Englobe de façon à ce que la validité des recommandations présentées puisse être vérifiée. Des travaux complémentaires de terrain ou de laboratoire pourraient éventuellement s'avérer nécessaires.

Le rapport ne doit pas être reproduit, sinon entier, sans l'autorisation de Englobe.

4.0 Suivi du projet

L'interprétation des résultats de chantier et de laboratoire et les recommandations présentées dans ce rapport s'appliquent uniquement au site étudié et aux informations disponibles sur le projet au moment de la rédaction du rapport.

Les informations disponibles sur les conditions de terrain et sur l'eau souterraine augmentent au fur et à mesure de l'avancement des travaux de construction. Les conditions de terrain ayant été interprétées et corrélées entre les points de forage et de sondage, Englobe devrait avoir la possibilité de vérifier ces conditions de terrain par des visites de chantier effectuées au fur et à mesure de l'avancement des travaux, afin de confirmer les informations obtenues des forages et sondages. S'il nous est impossible de faire de telles vérifications, Englobe n'assurera aucune responsabilité concernant l'interprétation géotechnique que des tiers feront des recommandations de ce rapport, particulièrement si la conception est modifiée ou que des conditions de terrain différentes à celles décrites dans ce rapport sont rencontrées. L'identification de tels changements requiert de l'expérience et doit être effectuée par un ingénieur géotechnicien expérimenté.

5.0 Environnement

Les informations contenues dans ce rapport ne couvrent pas les aspects environnementaux des conditions de terrain, ces aspects ne faisant pas partie du mandat d'étude.