

# IX

**Appendix IX  
Geotechnical report by  
Laboratoires d'expertises de  
Québec Ltée (to Roche Ltée  
Groupe-Conseil)**



**Terratech**

## **APPENDIX IX**

---

**Geotechnical report by:  
Laboratoires d'expertises de Québec Ltée  
(to Roche Ltée Groupe-conseil)**

**Rapport no 4350-79-01**  
**ÉTUDE GÉOTECHNIQUE**

**Projet Rabaska**  
**Terminal Méthanier**  
**Lévis – Beaumont**

**Roche Itée Groupe-conseil**

**Dossier no 4350-79**  
**Décembre 2004**



**LABORATOIRES**  
**D'EXPERTISES**  
**DE QUÉBEC LTÉE**

2320, rue de Crillon, Québec (Québec) CANADA G2C 1X8  
Tél. : (418) 845-0058 • Téléc. : (418) 845-0380 • [info@leqtrich.com](mailto:info@leqtrich.com)



## TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
1.0 INTRODUCTION .....	1
2.0 MÉTHODE DE RECONNAISSANCE .....	2
2.1 Travaux de chantier .....	2
2.2 Travaux de laboratoire.....	4
2.3 Mise en rapport.....	5
3.0 NATURE ET PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX.....	6
3.1 Sable et gravier .....	6
3.2 Argile silteuse .....	7
3.3 Sable .....	7
3.4 Silt argileux .....	8
3.5 Silt.....	10
3.6 Gravier/sable graveleux.....	10
3.7 Socle rocheux .....	11
4.0 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS .....	13
4.1 Généralités.....	13
4.2 Caisson .....	13
4.3 Pieux .....	14
4.3.1 Capacité latérale .....	14
4.3.2 Capacité portante en pointe .....	15
4.3.3 Tassement.....	16
4.4 Ancrages .....	16

**ANNEXE "A":** Rapports des forages

**ANNEXE "B":** Analyses granulométriques

**ANNEXE "C":** Recueil photographique

**ANNEXE "D":** Stratigraphie des sols

**ANNEXE "E":** Localisation des forages



## 1.0 INTRODUCTION

Les services professionnels des consultants en géotechnique, en hydrogéologie et en ingénierie des sols et matériaux de Laboratoires d'Expertises de Québec Itée ont été retenus par Roche Itée Groupe-conseil en vue d'effectuer une étude géotechnique dans le cadre du projet Rabaska, soit l'implantation d'un terminal méthanier à Lévis-Beaumont.

Une proposition de services professionnels a été déposée le 8 septembre 2004 à Roche Itée Groupe-conseil laquelle a été acceptée le 23 septembre 2004 par SNC Lavalin inc. Le bon de commande 74269-00 de Roche Itée a suivi l'acceptation de l'offre le 9 novembre 2004.

Ce rapport fait état de tous les travaux de chantier, des essais en laboratoire, des résultats des calculs et des commentaires et recommandations qui en découlent pour adapter les ouvrages de génie civil prévus aux conditions de sols rencontrés.

## 2.0 MÉTHODE DE RECONNAISSANCE

### 2.1 Travaux de chantier

Les travaux de reconnaissance au chantier ont été exécutés dans la période du 18 octobre au 4 novembre 2004. Il était prévu réaliser les forages sur une période de 12 jours consécutifs, mais comme il y a eu un bris de la barge, jeudi le 28 octobre, et qu'il a été nécessaire de ramener la barge au quai du Groupe Océan, au Bassin Louise, les travaux de forage ont repris lundi le 1<sup>er</sup> novembre, en remobilisant la barge au site des travaux.

Une foreuse à tarières évidées de marque Diedrich, modèle D-50, a été utilisée pour la réalisation des forages. Les tarières évidées ont été remplacées par des tubages télescopiques pour s'adapter aux conditions de terrain. La foreuse a été mise en place sur une barge faisant 12,0 mètres (40 pieds) de largeur par 42,0 mètres (140 pieds) de longueur et de 3,0 mètres (10 pieds) de hauteur. La barge était munie de deux pieux d'ancrage « spuds » faisant 27,0 mètres (90 pieds) de longueur, manœuvrés par un treuil à double câble. Une plate-forme en porte-à-faux faisant 3,0 mètres par 4,5 mètres a été aménagée à une extrémité de la barge pour faciliter le travail de l'équipe de forage. Une roulotte de chantier a été ajoutée sur la barge pour les travailleurs compte tenu de la période des travaux, soit au milieu de l'automne. Un canot de type « Zodiac » avec opérateur a été maintenu en permanence sur la barge pour assurer la sécurité de l'équipe de forage. Le transport des travailleurs matin et soir et le déplacement de la barge d'un point de forage à l'autre a été assuré par un remorqueur faisant plus de 15,0 mètres de longueur et d'une puissance de l'ordre de 750 H.P. Ce même équipement était disponible pour mettre la barge à l'abri en cas de mauvaises conditions climatiques, tel que grands vents, ce qui ne fut pas le cas.

Au total, six forages géotechniques, identifiés F-1, F-2A, F-3 et F-7 à F-9 ont été réalisés jusqu'à des profondeurs variant entre 18,38 et 26,86 mètres par rapport au lit du fleuve. Les forages ont été avancés par rotation des tubages HW et NW utilisés de façon télescopique jusqu'à leur ancrage dans le socle rocheux. Par la suite, le rocher a été échantillonné à l'aide d'un carottier à double paroi de calibre NQ. Un tuyau guide de 300 mm de diamètre et de 4,5 mètres de longueur a été soudé le long de la barge pour une meilleure stabilité des tubages. Un second tuyau guide d'acier de 150 mm de diamètre et de 6,5 mètres de longueur a été inséré dans le premier tuyau afin d'assurer une meilleure résistance au courant et réduire les risques de rupture du tubage HW dans les opérations d'ancrage au lit du fleuve et de retrait après le forage.

Un carottier fendu normalisé de 50,8 millimètres de diamètre extérieur a été employé afin de récupérer des échantillons de sol pour fins de description visuelle et d'analyses en laboratoire. Concomitamment à l'échantillonnage, des essais de pénétration standard ont été réalisés conformément à la norme NQ 2501-140.

Lorsque la nature des sols s'y prêtait, des échantillons ont été prélevés au moyen de tubes à paroi mince de type Shelby et d'un échantillonneur à piston de type GUS.

La localisation des forages a été effectuée par le personnel technique de Roche Itée Groupe-conseil, à partir d'un GPS et de stations de référence au sol. Les élévations du lit du fleuve à l'endroit de chaque forage ont été déterminées par la même équipe d'arpentage; elles sont marégraphiques. Il faut retrancher 1,96 mètre aux élévations marégraphiques pour obtenir les élévations géodésiques. Les coordonnées des forages sont les suivantes :

Forage	Coordonnées		Élévation marégraphique(m)
	X	Y	
F-1	260 606,561	5188322,450	- 11,62
F-2A	260 748,885	5188478,183	- 15,66
F-3	260 770,952	5188351,171	- 11,38
F-7	260 970,700	5188462,758	- 15,00
F-8	261 122,897	5188481,446	- 15,25
F-9	261 093,620	5188309,665	- 8,14

Par ailleurs, compte tenu que la barge suivait le mouvement des marées, l'élévation a été maintenue fixe par une inscription sur une des pattes de la barge pour chaque forage.

Finalement, précisons qu'il était prévu réaliser dix forages, identifiés F-1 à F-10, à des profondeurs variant entre 6,0 et 10,0 mètres par rapport au lit du fleuve, compte tenu que le rocher était en affleurement, tant sur la rive que dans le lit du fleuve à marée basse. Or, comme les dépôts meubles étaient beaucoup plus épais que ce qui était prévu, le nombre de forages a été réduit à 6 pour respecter sensiblement la même période de forage de 12 jours.

## 2.2 Travaux de laboratoire

Tous les échantillons prélevés au chantier ont été transportés à notre laboratoire de Québec où un examen visuel a été effectué sur chacun d'entre eux par l'ingénieur Raymond Jumeau pour les sols et l'ingénieur Luc Carrier pour les échantillons de roc. Vingt-trois échantillons jugés représentatifs des sols rencontrés au chantier ont fait l'objet d'analyses granulométriques par tamisage mécanique et/ou sédimentométriques. La teneur naturelle en eau a été mesurée sur 10 échantillons de sol argileux. Les limites d'Atterberg (liquidité et plasticité) ont été déterminées sur 9 échantillons également de sol argileux. L'angle de frottement au repos des sols granulaires a été mesuré sur sept échantillons. La résistance au cisaillement à l'état non

drainé a été mesurée en laboratoire au cône tombant sur un échantillon seulement, les autres échantillons étant trop remaniés pour en effectuer un essai valable. La grande sensibilité au remaniement du silt argileux et de l'argile silteuse en est responsable. Sur des parties de carottes de rocher suffisamment longues et saines, des essais en compression simple ont été réalisés pour déterminer la résistance de la roche en compression.

Tous les échantillons inutilisés pour fins d'analyses demeureront entreposés pendant une période de trois mois à partir de la date d'émission de ce rapport. Ce laps de temps écoulé, les échantillons seront détruits à moins d'avis contraire de la part d'un représentant de Roche liée Groupe-conseil.

### **2.3 Mise en rapport**

Les rapports de forage, présentés à l'annexe « A », contiennent tous les renseignements obtenus sur le chantier ainsi que des indications sur les profondeurs auxquelles les échantillons soumis aux essais en laboratoire ont été prélevés. Les courbes granulométriques, pour leur part, sont présentées à l'annexe « B ». Plusieurs photographies ont été prises le 27 octobre 2004 lors d'une visite de chantier. Les plus représentatives sont présentées à l'annexe « C ». Une coupe-type de la stratigraphie des sols passant par les forages F-1, F-3, F-7 et F-8 est présentée à l'annexe « D ». Finalement, la localisation des forages est montrée sur le dessin 4350-79-01 de l'annexe « E ».

Toutes les mesures, résultats et symboles exprimés dans ce rapport le sont suivant le système international SI.

### **3.0 NATURE ET PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX**

D'après les résultats des forages F-1, F-2A, F-3 et F-7 à F-9, les dépôts de sols suivants ont été rencontrés.

#### **3.1 Sable et gravier**

Les six forages réalisés ont été localisés sur un fond marin dont l'élévation marégraphique variait entre - 11,38 et - 15,66 mètres, sauf le forage F-9 plus près de la rive, où le fond marin était à l'élévation - 8,14 mètres.

Dans tous les forages, le fond marin est constitué d'une couche de sable et gravier variant à sable graveleux contenant des traces à un peu de silt. La compacité de ce matériau est généralement moyenne selon les valeurs de l'indice « N » de l'essai de pénétration standard variant entre 11 et 46 coups pour 300 mm d'enfoncement. La valeur moyenne est égale à 25. L'épaisseur de cette couche de matériau est de 2,66 et 3,42 mètres aux forages F-3 et F-1 respectivement. Plus épaisse aux forages F-2A et F-7 à F-9, variant entre 4,14 et 6,63 mètres, elle enveloppe une couche d'argile silteuse qui sera décrite au chapitre suivant.

Les résultats de cinq analyses granulométriques effectuées sur des échantillons représentatifs sont présentés sur les planches B-1 et B-2 de l'annexe « B ». Ces échantillons contiennent entre 8,4 et 18,7% de silt, entre 47,9 et 63,2% de sable et entre 20,6 et 43,7% de gravier. L'angle de frottement au repos de ce matériau est égal à 34°.

### 3.2 Argile silteuse

Emprisonnée dans la couche de sable et gravier décrite précédemment, la couche d'argile silteuse grise contenant des traces à un peu de sable a été rencontrée dans les forages F-2A et F-7 à F-9 seulement, sur une épaisseur variant entre 1,73 et 4,05 mètres, pour une valeur moyenne de 2,74 mètres. L'argile silteuse est de consistance très molle car le tubage et/ou le carottier fendu et ses tiges s'enfonçaient tout seul sous leur propre poids. La résistance au cisaillement à l'état non drainé de l'argile n'a pas été mesurée au chantier à l'aide du scissomètre Nilcon à cause du mouvement vertical de la barge. Toutefois, elle a été mesurée en laboratoire au cône tombant sur un échantillon provenant du tube 2-TM prélevé dans le forage F-7. Elle était égale à 7,4 kPa.

La teneur naturelle en eau de l'argile varie entre 77,7 et 98,1%, la limite de liquidité entre 46,8% et 58,3%, la limite de plasticité entre 21,2 et 22,8% pour un indice de plasticité variant entre 24,9 et 35,4%. L'indice de liquidité de l'argile est élevé, variant entre 1,90 et 2,50.

Les résultats de deux analyses granulométriques effectuées sur des échantillons représentatifs sont présentés sur la planche B-6 de l'annexe « B ». Ces échantillons contiennent 54,6 et 58,3% d'argile, 32,3 et 33,1% de silt, 5,1 et 13,1% de sable et moins de 3,5% de gravier.

### 3.3 Sable

Dans chacun des forages, sauf à F-9, sous la couche de sable et gravier, à des profondeurs variant entre 2,66 et 4,94 mètres (élévation marégraphique -14,04 et -20,19 mètres), il a été rencontré un dépôt de sable fin gris contenant des traces

de silt et de gravier. La compacité du sable est généralement moyenne selon les valeurs de l'indice N de l'essai de pénétration standard variant entre 15 et 42 coups pour 300 mm d'enfoncement. La valeur moyenne est de 25. L'épaisseur de cette couche varie entre 2,50 et 8,25 mètres pour une valeur moyenne de 5,0 mètres.

Les résultats de quatre analyses granulométriques effectuées sur des échantillons représentatifs sont présentés sur les planches B-3 et B-4 de l'annexe « B ». Ces échantillons contiennent entre 3,9 et 6,6% de silt, entre 87,6 et 96,0% de sable et moins de 5,8% de gravier. L'angle de frottement au repos de ce matériau mesuré sur trois échantillons varie entre 31 et 32° pour une valeur moyenne de 32°.

### 3.4 Silt argileux

Sous la couche de sable dans tous les forages, sauf F-9, et sous la couche de sable et gravier au forage F-3, il a été rencontré un dépôt de silt contenant un peu d'argile à argileux aux profondeurs et élévations suivantes :

Forage	Profondeur (m)	Élévation marégraphique (m)	Épaisseur (m)
F-1	5,92	- 17,54	7,73
F-2A	6,63	-22,29	1,15
F-3	5,41	- 16,79	6,37
F-7	12,39	-27,39	4,61
F-8	12,54	- 27,79	3,15

Comme indiqué ci-dessus, la couche de silt argileux varie entre 1,15 et 7,73 mètres d'épaisseur pour une valeur moyenne de 4,6 mètres. La consistance du silt argileux est très molle, le tubage d'acier et/ou le carottier fendu et ses tiges s'enfonçant tout seuls sous leur propre poids.

Les propriétés physiques du silt argileux sont les suivantes :

Forage	Échantillon	$\omega$ (%)	LL	LP	$I_p$	$I_L$	$\phi$
F-1	5-CF	28,6	25,8	14,8	11,0	1,25	28°
F-1	7-CF	29,6	23,7	13,6	10,1	1,58	—
F-1	9-CF	33,6	26,2	14,5	11,7	1,63	—
F-7	7-CF	32,6	26,0	14,2	11,2	1,64	—
F-8	9-CF	24,7	18,3	15,7	2,6	3,46	38°

où  $\omega$  = teneur naturelle en eau

LL = limite de liquidité

LP = limite de plasticité

$I_p$  = indice de plasticité

$I_L$  = indice de liquidité

$\phi$  = angle de frottement

Ce matériau possède une faible plasticité avec une limite de liquidité variant entre 18,3 et 26,2%. Combiné à un indice de liquidité variant entre 1,25 et 3,46, ce matériau demeure très sensible au remaniement. L'angle de frottement du silt argileux est égal à 28° au forage F-1 alors qu'il atteint 38° au forage F-8, là où le pourcentage d'argile est plus faible.

Les résultats de 3 analyses granulométriques effectuées sur des échantillons représentatifs sont présentés sur les planches B-5 et B-7 de l'annexe « B ». Ces échantillons contiennent entre 12,5 et 30,3% d'argile, entre 62,3 et 74,4% de silt, entre 4,1 et 13,1% de sable et moins de 3,1% de gravier.

### 3.5 Silt

Dans deux forages seulement, soit en F-1, entre 15,47 et 17,12 mètres de profondeur (élévation - 27,09 à - 28,74 mètres) et en F-9, entre 5,10 et 19,60 mètres (élévation - 13,24 à - 27,74 mètres), il a été rencontré un dépôt de silt sableux gris de compacité très dense selon les valeurs de l'indice « N » de l'essai de pénétration standard variant entre 78 et plus de 100 coups pour 300 mm d'enfoncement.

Les résultats de 4 analyses granulométriques effectuées sur des échantillons représentatifs sont présentés sur les planches B-7 et B-9 de l'annexe « B ». Ces échantillons contiennent entre 14,1 et 16,4% d'argile, entre 57,3 et 78,4% de silt, entre 7,3 et 25,9% de sable et moins de 1% de gravier.

### 3.6 Gravier/sable graveleux

Dans tous les forages, sauf en F-9, sous les dépôts meubles décrits précédemment, il a été rencontré une couche de gravier sableux à sable graveleux aux profondeurs et élévations suivantes :

Forage	Profondeur (m)	Élévation marégraphique (m)	Épaisseur (m)
F-1	13,65	- 25,27	7,67
F-2A	11,88	- 27,54	6,07
F-3	12,66	- 24,04	8,49
F-7	17,00	- 32,00	2,39
F-8	15,69	-30,94	2,76

Comme montré sur le tableau ci-dessus, cette couche de matériaux varie entre 2,39 et 8,49 mètres d'épaisseur, pour une valeur moyenne de 5,47 mètres. La couche de silt sableux décrite dans le chapitre précédent est intercalée dans cette couche de matériaux au forage F-1.

Les résultats de trois analyses granulométriques effectuées sur des échantillons représentatifs sont présentés sur la planche B-8 de l'annexe « B ». Ces échantillons contiennent entre 11,9 et 23,7% de silt, entre 38,3 et 56,7% de sable et entre 29,2 et 49,4% de gravier.

### 3.7 Socle rocheux

Le socle rocheux a été rencontré dans chacun des forages aux profondeurs et élévations suivantes :

Forage	Profondeur (m)	Élévation marégraphique (m)
F-1	21,32	- 32,94
F-2A	17,95	- 33,61
F-3	21,15	-32,53
F-7	19,39	- 34,39
F-8	18,45	- 33,70
F-9	24,46	- 32,60

Le roc a été identifié à une shale gris à brun rougeâtre aux forages F-1, F-2A, F-3 et F-7 alors qu'il est associé à un grès gris au forage F-8 et un schiste gréseux alternant avec du grès au forage F-9. La qualité du rocher varie de très mauvaise à excellente selon l'indice RQD (Rock Quality Designation) variant entre 0 et 100%. On peut toutefois dire qu'en général elle est moyenne.

Des sections de carotte de rocher ont été sélectionnées pour effectuer des essais en compression en laboratoire et pour mesurer le poids volumique du rocher. Les résultats suivants ont été obtenus :

Forage	Élévation marégraphique (m)	Diamètre moyen (mm)	Résistance en compression (MPa)	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )
F-1	- 35,14	47,4	49,1	26,6
F-3	- 32,78	46,8	37,1	25,7
F-7	- 35,39	47,6	250,0	25,5
F-8	- 34,47	47,5	121,9	25,6
F-9	- 32,79	47,3	48,5	26,0

En excluant les valeurs les plus élevées tel que 121,9 et 250,0 MPa, la résistance en compression moyenne à utiliser pour fin de calcul est égale à 45,0 MPa. Quant au poids volumique de la roche, la valeur moyenne de 26,0 KN/m<sup>3</sup> nous apparaît représentative.

## 4.0 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS

### 4.1 Généralités

Les six forages géotechniques effectués dans le cadre de ce projet ont révélé la présence de dépôts meubles d'épaisseur variable selon les relevés suivants :

Forage	Épaisseur (m)
F-1	21,32
F-2A	17,95
F-3	21,15
F-7	19,39
F-8	18,45
F-9	24,46

À l'intérieur de ces dépôts meubles qui font en moyenne 20,5 mètres d'épaisseur, il y a deux types de matériaux très compressibles, soit le silt argileux et l'argile silteuse. De plus, ces matériaux possèdent une résistance au cisaillement suffisamment faible pour générer une rupture sous une charge ponctuelle.

### 4.2 Caisson

L'aménagement du quai en eau profonde avec des caissons déposés sur le fond marin est une des variantes examinées par le concepteur. À titre d'exemple, un caisson en béton armé de forme circulaire pourrait être déposé dans le lit du fleuve à l'élévation marégraphique - 11,4 mètres, tel que mesuré au forage F-3. Un tel caisson de 25,0 mètres de diamètre par exemple et de 18,0 mètres de hauteur exercerait une pression au sol de l'ordre de 400 kPa. Le silt argileux rencontré entre les élévations marégraphiques - 16,8 et - 23,2 mètres serait sollicité suffisamment

pour rupturer et faire basculer le caisson. De plus, le silt argileux est un matériau très compressible susceptible de développer des tassements importants sous la charge d'un caisson, qui s'échelonnent dans le temps, sur une période qui pourrait dépasser quelques décennies.

Compte tenu de ces contraintes inhérentes aux types de sol, il est recommandé d'envisager une variante sur pieux.

### 4.3 Pieux

#### 4.3.1 Capacité latérale

Nous présentons des commentaires généraux sur l'usage de pieux sur ce projet et des recommandations spécifiques pourront être formulées au fur et à mesure de l'avancement de la conception du projet.

Comme pour les caissons, la présence des couches de silt argileux et d'argile silteuse est un obstacle à la mise en place de pieux battus au-dessus de ces couches qui les entraîneront dans des tassements excessifs. Les pieux doivent donc traverser ces couches de matériaux pour atteindre la couche de gravier et sable à sable graveleux qui repose sur le socle rocheux. De plus, comme ces pieux doivent être ancrés au roc pour résister aux efforts d'arrachement, ils reposeront probablement sur le socle rocheux. Aussi, compte tenu de l'épaisseur moyenne des dépôts meubles de l'ordre de 20,0 mètres, un support latéral des sols pourra être retenu pour le dimensionnement des pieux. Les propriétés géotechniques suivantes peuvent être utilisées pour fins de calcul :

Nature des sols	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Angle de frottement	Résistance au cisaillement (kPa)
Sable graveleux (surface)	20	35°	—
Argile silteuse	15	29°	7,4
Sable	18	32°	—
Silt argileux	19	33°	15 à 30
Sable et gravier au contact du roc	22	38°	—

#### 4.3.2 Capacité portante en pointe

La capacité portante en pointe du socle rocheux peut être obtenue à l'aide de la résistance en compression des carottes de rocher.

La capacité portante peut être calculée en utilisant la formule suivante qui fait intervenir la résistance en compression du socle rocheux :

$$q_a = \sigma_c \cdot K_{sp} \cdot d,$$

où  $q_a$  = Capacité portante admissible.

$\sigma_c$  = Valeur moyenne de la résistance en compression non confinée de la carotte de roc.

$K_{sp}$  = Coefficient empirique égal à 0,1, incluant un coefficient de sécurité de 3.

$d$  = Coefficient de profondeur =  $1 + 0,4 \times L_s/B_s \leq 3$ .

où  $L_s$  = Longueur de l'emboîture.

$B_s$  = Diamètre de l'emboîture.

Ainsi, à titre d'exemple, pour un pieu de 1,0 mètre de diamètre enfoncé par battage jusqu'au refus au socle rocheux, nettoyé par la suite et bétonné, on peut développer une capacité portante admissible de 4 500 kPa, soit une capacité de 3 535 kN par pieu.

### 4.3.3 Tassement

Le tassement des pieux sur le roc n'est pas facile à déterminer. Le tassement d'un pieu fondé sur le rocher sain est généralement négligeable. Par contre, il peut être significatif pour un pieu assis dans une masse rocheuse tendre comme un shale. Dans le cas qui nous concerne où nous avons du shale gris, du grès et du shale gréseux avec un pendage à 65° par rapport à l'horizontale à sub-vertical, nous n'anticipons pas de tassement significatif puisqu'il n'a pas été rencontré dans la masse rocheuse de joints ouverts ou des zones de matériaux compressibles. De plus, l'angle des stratifications réduit le risque de tassement par rapport à une schistosité qui serait à l'horizontale avec des risques de zones de matériaux compressibles interlités.

Aussi, compte tenu de ces éléments, le risque le plus grand de tassement provient-il de la qualité du contact du pieu avec le socle rocheux. On devra donc être prudent et s'assurer par une inspection soignée, qu'il n'y a pas de boue de forage et/ou de débris de rocher qui seraient demeurés au contact du rocher avant le bétonnage du pieu.

### 4.4 Ancrages

Les pieux qui reposeront sur le socle rocheux seront des ouvrages de faibles dimensions au sol par rapport à la hauteur totale de chacun des modules. Aussi, subiront-ils des poussées latérales qui induiront des moments renversants importants nécessitant des ancrages dans le socle rocheux.

Deux types d'ancrage sont possibles, soit des ancrages passifs ou actifs. D'une manière générale, le dimensionnement doit tenir compte des points suivants à savoir :

- Rupture de la masse rocheuse.
- Rupture à l'interface roc-coulis.
- Rupture à l'interface tige-coulis.
- Rupture du tendeur d'acier.

En ce qui concerne la masse rocheuse, un poids volumique de 26,0 kN/m<sup>3</sup> pourra être retenu pour le dimensionnement. Également, selon les données de la littérature, il peut être attribué un angle de frottement de l'ordre de 27° pour le shale et le shale gréseux et de 30° pour le grès.

En ce qui concerne la contrainte d'adhérence admissible coulis-roc, celle-ci doit être inférieure à 1/30<sup>e</sup> de la résistance en compression simple du rocher et à 1/30<sup>e</sup> de la résistance en compression simple du coulis sans toutefois dépasser 1000 kPa. Comme la résistance en compression simple moyenne du rocher établie en laboratoire est égale à 45,0 MPa en faisant abstraction des valeurs les plus élevées, la contrainte d'adhérence coulis-roc serait de 1 500 kPa, ce qui est supérieur à la valeur maximale permise de 1000 kPa, valeur qui est habituellement attribuée à des roches dures comme du granite ou du basalte. Selon la littérature toutefois, une valeur d'adhérence admissible coulis-roc de 300 kPa pour le shale /shale gréseux et de 400 kPa pour le grès peut être retenue pour fin de conception.

Du côté de l'adhérence à l'interface tige-coulis, celle-ci est fonction du modèle de la tige d'acier et du type de coulis utilisé. De façon préliminaire on peut considérer, pour une barre crénelée et un coulis d'au moins 30 MPa de résistance en compression, une adhérence ultime tige-coulis de 2 000 kPa.

Pour ce qui est de la rupture du tendeur d'acier, elle n'est généralement pas problématique, le choix de l'ancrage étant directement lié aux efforts anticipés.

Finalement, peu importe le type d'ancrage retenu, il est recommandé de réaliser au moins un essai de traction afin de valider la capacité d'un ancrage dans le rocher.

L'espacement minimum entre les ancrages doit être égal à  $4b$ , où  $b$  correspond au diamètre de l'aire de scellement. Si l'espacement est moindre que  $4b$ , ou s'il est inférieur à un cinquième de la longueur de l'ancrage, il faut tenir compte de l'interaction entre les tirants.

Nous espérons que ce rapport répondra à vos attentes et nous demeurons à votre disposition pour toute information additionnelle.

#### LABORATOIRES D'EXPERTISES DE QUÉBEC LTÉE

  
Raymond Juneau, ing. M.Sc.A.  
Vice-président



  
Luc Carrier, ing. M.Sc.A.  
Ingénieur géotechnicien





RJ/hg

Québec, le 14 décembre 2004

Distribution:

- |  |          |
|--|----------|
| - Roche Itée Groupe-conseil                | 5 copies |
| - Laboratoires d'Expertises de Québec Itée | 1 copie  |

En conformité avec les normes ISO 9001, vous êtes informé que ce rapport est composé de 54 pages. Il ne peut être reproduit en partie sans l'autorisation écrite de Laboratoires d'Expertises de Québec Itée.