
Annexe 5 Études géotechniques

Rapport no 4002-19-01

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

**Nouvelle prise d'eau de Sainte-Foy
Québec, Arrondissement n° 8**

Ville de Québec

**Dossier no 4002-19
Décembre 2002**



**LABORATOIRES
D'EXPERTISES
DE QUÉBEC LTÉE**

2320, rue de Celles, Québec (Québec) CANADA G2C 1X8
Tél. : (418) 845-0858 • Téléc. : (418) 845-0300 • leq@globetrotter.qc.ca



TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
1.0 INTRODUCTION.....	1
2.0 MÉTHODE DE RECONNAISSANCE.....	2
2.1 Travaux de chantier.....	2
2.1.1 Forages.....	2
2.1.2 Sismique réfraction.....	4
2.1.3 Essais d'injection d'eau.....	4
2.1.4 Arpentage.....	5
2.2 Travaux de laboratoire.....	5
2.3 Mise en rapport.....	5
3.0 NATURE ET PROPRIÉTÉS DES SOLS.....	7
3.1 Axe du tunnel et cheminée d'accès (forages F-1, F-2, F-4 et F-6).....	7
3.1.1 Sable et gravier.....	7
3.1.2 Sable silteux et graveleux.....	7
3.1.3 Sable graveleux, traces de silt.....	8
3.1.4 Socle rocheux.....	9
3.1.4.1 Shale.....	9
3.1.4.2 Siltstone.....	10
3.1.4.3 Grès fin.....	11
3.2 Batardeau (forages F-9 et F-10).....	11
3.2.1 Sable graveleux.....	11
3.2.2 Sable silteux.....	12
3.2.3 Socle rocheux.....	12
3.2.3.1 Shale.....	13
4.0 EAU SOUTERRAINE.....	14
5.0 PROFIL DU SOCLE ROCHEUX.....	15



TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<u>Page</u>
6.0	COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS..... 16
6.1	Batardeau..... 16
6.2	Puits d'accès et tunnel..... 17
6.2.1	Puits d'accès..... 18
6.2.2	Tunnel 19

ANNEXE « A »: Rapports de forage

ANNEXE « B »: Fiches de description du roc

ANNEXE « C »: Analyses granulométriques

ANNEXE « D »: Essais d'injection d'eau

ANNEXE « E »: Recueil photographique

ANNEXE « F »: Rapport sismique réfraction

ANNEXE « G »: 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 Ltée ont été retenus par la Ville de Québec selon la résolution CE-2002-2086 du 9 octobre 2002 en vue d'effectuer une étude géotechnique dans le cadre du projet d'aménagement de la nouvelle prise d'eau brute de Sainte-Foy.

Cette étude a pour objectifs de vérifier la nature des sols et du roc en place, de déterminer quelques-unes de leurs propriétés physiques et mécaniques, de mesurer la profondeur de la nappe d'eau souterraine et de formuler des recommandations pertinentes aux travaux proposés à savoir :

- Construction d'un puits d'accès vertical de 40,00 mètres de profondeur;
- Tunnel de 3,00 mètres de diamètre et de 617,5 mètres de longueur;
- Cheminée d'adduction de 1300 millimètres de diamètre coiffée de la prise d'eau proprement dite;
- Aménagement en rive d'un batardeau pour la construction du puits d'accès vertical.

Nous vous transmettons donc, dans ce rapport, tous les résultats des travaux de chantier et des essais en laboratoire, ainsi que nos commentaires et recommandations sur l'intégration du projet aux types de sols et de roc rencontrés sur le site étudié.



2.0 MÉTHODE DE RECONNAISSANCE

2.1 Travaux de chantier

Les travaux de reconnaissance sur le terrain ont été exécutés par le personnel technique de Laboratoires d'Expertises de Québec ltée et la firme sous-traitante Géophysique GPR International inc. selon les modalités de la révision du 4 septembre 2002 du « Programme d'étude géotechnique » de la firme Dessau-Soprin inc.

2.1.1 Forages

Au total, six forages géotechniques, identifiés F-1, F-2, F-4, F-6, F-9 et F-10, ont été réalisés dans le cadre de ce projet.

Les forages F-1, F-2, F-9 et F-10 ont été réalisés en rive lors des périodes de marée basse alors que les forages F-4 et F-6 ont été effectués au large, sur une barge.

Tel que mentionné dans notre proposition, deux équipes complètes de forage ont été mobilisées dans le cadre de ce projet soit une pour les forages sur la rive et l'autre pour les travaux au large. Pour les travaux en rive, les forages ont été réalisés au moyen d'une foreuse géotechnique montée sur un véhicule à chenilles et munie de tous les accessoires permettant le prélèvement d'échantillons remaniés des sols et le carottage du socle rocheux. Pour leur part, les travaux au large ont été réalisés au moyen d'une foreuse géotechnique de marque Diedrich, modèle D-50 positionnée en porte-à-faux sur la barge et munie de tout l'équipement requis pour le prélèvement d'échantillons remaniés des sols et le carottage du socle rocheux.

En ce qui concerne l'équipement maritime, celui-ci a consisté en une barge de 30 pieds x 70 pieds munie de trois pieux d'ancrages (spuds) de 80 pieds de long et d'un treuil. Également, un remorqueur de 350 H.P. avec capitaine et un homme de barge ainsi qu'un bateau de 12 passagers de 200 H.P. pour le transport des hommes ont été mis à contribution.

En présence de dépôts meubles, pour les forages en rive seulement, un carottier fendu normalisé de 50,8 mm de diamètre extérieur a été employé afin d'en faire le prélèvement. Concurrément à l'échantillonnage, des essais de résistance à la pénétration standard ont été exécutés conformément à la norme NQ 2501-140. Du côté des forages situés au large, aucun échantillon de sol n'a été prélevé puisque cette activité était prévue au forage F-8 situé le plus au large, soit à l'endroit de la cheminée d'adduction. Ce forage n'a pas été réalisé à la demande des représentants de la Ville de Québec suite aux résultats obtenus aux forages F-4 et F-6.

Au large, les forages ont été avancés dans les dépôts meubles au moyen de tubages de calibre HW et NW munis d'une couronne diamantée et par l'utilisation de boue de forage pour en faciliter la rotation. De plus, toujours dans le but de faciliter l'avancement du tubage de calibre NW, un pré-forage a été réalisé au moyen d'un carottier de calibre NQ. Pour leur part, lorsque nécessaire, le support des sols à l'endroit des forages en rive a été réalisé avec l'aide d'un tubage de calibre NW.

En ce qui concerne le socle rocheux, tant sur la rive qu'au large, son prélèvement a été réalisé au moyen d'un carottier diamanté de calibre NQ tel que demandé dans le « Programme d'étude géotechnique » de Dessau-Soprin inc. De plus, après leur réalisation, tous les trous de forage dans le roc, à l'exception du forage F-2, ont été scellés sur toute leur longueur au moyen d'un mélange de ciment-bentonite. À l'endroit du forage F-2, un tubage d'acier de calibre NW a été laissé en place sur une longueur de

1,0 mètre environ en vue d'essais éventuels ou de la poursuite du forage selon les besoins futurs. À sa partie supérieure, le tubage a été fermé avec un bouchon d'acier. La surface de celui-ci est égale à celle du roc à cet endroit.

Par ailleurs, étant donné que tous les forages sont immergés à marée haute, aucun tube d'observation n'a été laissé en place dans les trous de forage en vue de permettre la mesure du niveau d'eau souterraine.

2.1.2 Sismique réfraction

Le long de l'axe prévu du tunnel, des travaux de sismique réfraction ont été réalisés en sous-traitance par la firme Géophysique GPR International inc. de Longueuil. La description des travaux de terrain est présentée dans leur rapport #M-02651 de décembre 2002 dont un exemplaire est joint à l'annexe « F ».

2.1.3 Essais d'injection d'eau

À l'intérieur du socle rocheux, des essais d'injection d'eau étaient requis dans une zone comprise entre 3,00 mètres sous le tunnel et 6,00 mètres au-dessus. Ces essais ont été réalisés à l'endroit du forage F-1 au moyen d'un obturateur de type Packer. Au forage F-6, ces essais se sont avérés infructueux puisqu'il a été impossible de descendre l'obturateur dans le trou de forage après le retrait du tube carottier. En effet, après cette opération, la présence de fragments de roc qui se détachaient de la paroi ont obstrué le trou de forage.

Pour ce qui est des autres forages, aucun essai n'a été réalisé compte tenu de la position incertaine du tunnel en raison du profil du socle rocheux.



2.1.4 Arpentage

L'implantation des forages en rive et sur l'eau a été réalisée par l'équipe d'arpentage de Dessau-Soprin inc. Celle-ci s'est effectuée au moyen d'une station totale.

2.2 Travaux de laboratoire

Tous les échantillons de sol et de roc prélevés ont été ramenés à notre laboratoire de Québec pour fin d'identification visuelle. Tel qu'entendu avec l'ingénieur concepteur Denis Maltais de la firme Dessau-Soprin inc., aucun essai de laboratoire n'a été réalisé sur les échantillons de roc prélevés. Cependant, quelques carottes de roc ont été scellées et paraffinées en vue d'en optimiser leur conservation. Toutefois, tel qu'entendu aucun échantillon n'a été conservé en chambre humide contrairement aux spécifications du « Programme d'étude géotechnique » en raison de la prolifération de moisissures à l'endroit des boîtes de carottes.

Tous les échantillons de sol et de roc prélevés seront conservés en entrepôt pour une période d'un an à partir de la date d'émission de ce rapport à moins d'avis contraire d'un représentant de la Ville de Québec.

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. L'annexe « B » regroupe les fiches de description du roc alors que les résultats des analyses granulométriques réalisées sur les dépôts meubles sont présentés à l'annexe « C ». Pour sa part, l'annexe « D » présente les résultats des essais



d'injection d'eau dans le roc et l'annexe « E » regroupe les photographies de toutes les carottes de roc. Enfin, à l'annexe « F », on retrouve le rapport de sismique réfraction de la firme Géophysique GPR International inc. alors que le plan de localisation de l'annexe « G » montre l'emplacement des forages effectués lors de la présente étude.

3.0 NATURE ET PROPRIÉTÉS DES SOLS ET DU ROC

La réalisation des forages géotechniques le long de l'axe prévu du tunnel, de la cheminée d'accès pour la prise d'eau et à l'endroit d'un batardeau pour réaliser la cheminée d'accès près de la rive, ont indiqué pour chacun la présence des matériaux suivants :

3.1 Axe du tunnel et cheminée d'accès (forages F-1, F-2, F-4 et F-6)

3.1.1 Sable et gravier

En surface, à l'endroit du forage F-1 (cheminée d'accès) et vraisemblablement à partir du fond marin observé à l'élévation géodésique -3,34 mètres au forage F-4 (axe du tunnel), un dépôt de sable et gravier contenant des traces à un peu de silt est présent. À l'endroit du forage F-4, la présence occasionnelle de cailloux a été notée lors de l'avancement du tubage par rotation. L'épaisseur de ce dépôt est de 0,60 mètre à F-1 et estimée à 14,53 mètres au forage F-4.

3.1.2 Sable silteux et graveleux

Au forage F-1, immédiatement sous le dépôt de sable et gravier décrit ci-dessus et à l'endroit du forage F-6 (axe du tunnel), soit vraisemblablement à partir de l'élévation géodésique -12,99 mètres et sous le dépôt de sable graveleux qui est décrit au paragraphe 3.1.3, un dépôt de sable silteux contenant un peu de gravier à graveleux est présent. Ce dépôt présente une épaisseur de 1,90 mètre à F-1 et est estimée à 27,11 mètres à l'endroit du forage F-6. Dans ce forage, la présence occasionnelle de cailloux et blocs faisant au maximum 300 millimètres de diamètre a été notée lors de l'avancement du tubage par rotation et lavage.

Une analyse granulométrique réalisée sur un échantillon représentatif provenant du forage F-1 a indiqué que celui-ci contient 30,1% de gravier, 49,1% de sable et 20,8% de silt. Ces résultats sont présentés à la planche C-1 de l'annexe « C ».

Pour sa part, la compacité du dépôt est qualifiée lâche sur la base de l'indice « N » de résistance à la pénétration standard qui est de 8 coups du marteau pour 300 mm d'enfoncement du carottier fendu.

3.1.3 Sable graveleux, traces de silt

À l'endroit des forages F-1 et F-6, soit sous le dépôt de sable silteux et graveleux décrit au paragraphe 3.1.2 pour F-1 et vraisemblablement à partir du fond marin localisé à l'élévation géodésique -9,53 mètres pour F-6 , un dépôt de sable silteux contenant des traces de silt est présent. Au forage F-1, ce dépôt présente une épaisseur de 1,68 mètre alors qu'au forage F-6, son épaisseur est estimée à 3,46 mètres. À ce forage, on note également la présence occasionnelle de cailloux sur la base des observations faites lors de l'avancement du tubage par rotation et lavage.

Une analyse granulométrique réalisée sur un échantillon provenant du forage F-1 indique qu'il contient 33,1% de gravier, 58,8% de sable ainsi que 8,1% de silt. Ces résultats sont présentés à la planche C-1 de l'annexe « C ».

À l'endroit du forage F-1, la compacité de ce dépôt est qualifiée lâche considérant l'indice « N » mesuré qui est de 5 coups pour 300 millimètres d'enfoncement du carottier fendu.

3.1.4 Socle rocheux

Les forages F-1, F-4 et F-6 ont indiqué la présence du socle rocheux immédiatement sous l'un ou l'autre des dépôts meubles décrits aux paragraphes précédents alors qu'au forage F-2 (axe du tunnel), le socle rocheux a été observé en surface du terrain. Ces forages ont indiqué la présence de trois types de roc distinct qui sont par ordre d'abondance : shale, siltstone et grès fin. L'orientation de la stratification, à partir de mesures prises sur des affleurements rocheux situés en rive indique qu'elle varie entre N15° et N355°. Pour chaque type de roc une brève description est présentée ci-après. Pour plus de détails il est recommandé de se référer aux rapports de forage, aux fiches de description du roc ainsi qu'aux photographies des carottes présentées respectivement aux annexes « A », « B » et « E » du rapport.

3.1.4.1 Shale

Le shale a été observé dans tous les forages et constitue le principal groupe rocheux du secteur. De couleur variable, soit noir, gris ou gris-verdâtre, ce roc renferme occasionnellement des veinules de carbonates. Il a été noté entre les élévations géodésiques de -1,86 à -11,15 mètres au forage F-1, de -0,71 à -20,08 mètres et de -31,27 à -80,56 mètres (fin du forage) au forage F-2, de -17,90 à -45,84 mètres à F-4 et de -40,10 à -57,52 mètres (fin du forage) à F-6. Ce roc se caractérise principalement par un pendage faisant généralement entre 35 et 75° avec l'horizontale. Également, il présente une qualité très variable qui est comprise entre très mauvaise et excellente sur la base de l'indice de qualité du roc (RQD) qui varie entre 0 et 100%. On doit dire cependant que la qualité du roc est généralement très mauvaise à bonne. Également, il faut noter que dans tous les forages, des secteurs très fracturés dont le diamètre des fragments est inférieur à 25 millimètres ont été notés. De plus, plusieurs échantillons ont permis d'observer des signes de schistosité et la

présence de miroirs de cisaillement le long des plans de stratification ou de schistosité. À l'occasion, des cassures sub-verticales ont également été notées.

3.1.4.2 Siltstone

À l'endroit des forages F-1 et F-4, du siltstone de couleur grise ou grise-verdâtre a été observé entre les élévations géodésiques de -11,15 à -42,15 mètres (fin du forage) à F-1 et de -45,84 à -66,72 mètres (fin du forage) à F-4. Les deux forages ont indiqué, à l'intérieur de ce groupe rocheux, la présence de shale noir et au forage F-1, des passages occasionnels de grès fin calcaireux.

Le pendage de la stratification est compris entre 30 et 50° avec l'horizontale et la qualité du roc est qualifiée de très mauvaise à excellente (RQD de 19 à 93%) au forage F-1, quoique bonne à très bonne de façon générale et de bonne à excellente à l'endroit du forage F-4 (RQD de 52 à 100%).

Par ailleurs, les essais d'injection d'eau réalisés au moyen d'obturateurs de type Packer à l'intérieur d'une zone comprise entre les élévations géodésiques -29,37 à -40,60 mètres, ont indiqué un taux d'absorption nul ou pouvant atteindre jusqu'à 0,32 gallons/minutes/pieds selon la position de l'essai et la pression appliquée. Comme le montre les résultats de l'annexe « D », le coefficient de perméabilité, lorsqu'il y avait écoulement, est inférieur à $1,4 \times 10^{-3}$ cm/s. Considérant qu'un coefficient de perméabilité de $1,0 \times 10^{-3}$ cm/s indique la limite entre une perméabilité moyenne et une perméabilité faible, on peut dire qu'en général, la perméabilité du roc est faible quand elle n'est tout simplement pas nulle.

3.1.4.3 Grès fin

Au forage F-2, soit entre les élévations géodésiques de -20,08 et -31,27 mètres, un grès fin de couleur grise présentant à l'occasion des passages de shale a été observé. Dans le grès, la présence de carbonates disséminés a été notée de même que quelques joints sub-horizontaux. Localement, des zones très fracturées ont été observées, particulièrement à l'endroit du shale où les fragments font moins de 25 millimètres de diamètre. Dans ce dernier, un pendage de 50° avec l'horizontal a été mesuré.

Pour sa part, la qualité du grès est qualifiée mauvaise à bonne puisque les indices RQD sont compris entre 35 et 81%. On peut dire toutefois qu'en général elle est bonne.

3.2 Batardeau (forages F-9 et F-10)

3.2.1 Sable graveleux

En surface, à l'endroit du forage F-9, on retrouve un dépôt de sable graveleux variant à sable et gravier. Contenant un peu de silt, ce dépôt de couleur grise se poursuit jusqu'à 3,45 mètres de profondeur (élévation géodésique de -2,33 mètres). Deux analyses granulométriques réalisées sur des échantillons représentatifs indiquent qu'ils contiennent 26,6 et 40,4% de gravier, 59,8 et 42,2% de sable ainsi que 14,0 et 17,4% de silt. Ces résultats d'analyses sont présentés à la planche C-2 de l'annexe « C ».

La compacité de ce dépôt est qualifiée moyenne à très dense puisque les indices « N » de résistance à la pénétration standard mesurés sont de 12, 39, 69 et 112 coups de marteau pour 300 millimètres d'enfoncement du carottier fendu. Il faut noter toutefois que la valeur de 112 coups n'est pas représentative du dépôt en raison de la présence du socle rocheux à cette profondeur.

3.2.2 Sable silteux

Au forage F-10, immédiatement à partir de la surface du terrain, un dépôt de sable silteux gris contenant des traces à un peu de gravier a été observé. Ce dépôt se poursuit jusqu'à 1,40 mètre de profondeur (élévation géodésique de -1,64 mètre). Deux analyses granulométriques réalisées sur des échantillons de ce dépôt indiquent qu'ils contiennent 11,9 et 5,4% de gravier, 57,4 et 71,0% de sable ainsi que 30,7 et 23,6% de silt. Ces résultats sont présentés à la planche C-3 de l'annexe « C ».

Pour sa part, la compacité de ce dépôt est qualifiée lâche à moyenne puisque les indices « N » mesurés sont de 6 et 18 coups pour 300 millimètres d'enfoncement du carottier fendu.

3.2.3 Socle rocheux

Cette section présente une brève description du socle rocheux observé à l'endroit des forages F-9 et F-10. L'examen des rapports de forage, des fiches de description du roc ainsi que des photographies des carottes est recommandée pour plus de détails.

3.2.3.1 Shale

Immédiatement sous l'un des dépôts décrits ci-dessus pour F-9 et F-10, le socle rocheux a été observé. Échantillonné jusqu'à 6,75 mètres de profondeur (élévation -5,63 mètres) pour F-9 et 4,57 mètres de profondeur (élévation -4,81 mètres) à F-10, celui-ci se compose de shale noir dont le pendage de la stratification fait 40° avec l'horizontale.

L'examen des carottes prélevées indique que le roc présente quelques miroirs de cisaillement et est très fracturé par endroits, de telle sorte que les fragments présentent un diamètre inférieur à 25 millimètres.

Pour sa part, la qualité du roc est très mauvaise puisque l'indice de qualité du roc RQD est de 0% pour les six courses de forages réalisées.



4.0 EAU SOUTERRAINE

À l'endroit des forages F-1, F-2, F-9 et F-10 réalisés en rive, aucun tube d'observation n'a été laissé en place pour la mesure du niveau de l'eau souterraine puisque ce dernier correspond à celui des marées. Selon la table des marées, celui-ci se situerait entre les valeurs extrêmes d'élévation de -3,34 mètres pour la marée basse et de 5,06 mètres pour la marée haute.



5.0 PROFIL DU SOCLE ROCHEUX

Les levés de sismique réfraction réalisés sur l'axe du tunnel par la firme Géophysique GPR International inc. de Longueuil ont révélé que la surface du socle rocheux plonge de façon prononcée à partir approximativement du chaînage 0+090 jusqu'au chaînage 0+450 environ. Passé ce chaînage et jusqu'à la limite du tracé du tunnel, soit jusqu'au chaînage 0+630, le profil du roc devient à peu près horizontal. Entre les chaînages 0+090 et 0+450, la surface du roc se situe environ à l'élévation géodésique -1,0 mètre pour descendre jusqu'à l'élévation approximative de -45,0 mètres, ce qui représente une pente moyenne de l'ordre de 12%.

Le levé de sismique réfraction indique que la surface du socle rocheux est beaucoup plus abrupte et profonde que ce qui était anticipé. En effet, les données initiales laissaient croire à une pente de l'ordre de 8% et à une profondeur maximale correspondant approximativement à l'élévation -25,0 mètres.

Plus de détails sont présentés dans le rapport de Géophysique GPR International inc. présenté à l'annexe « F ».

6.0 COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS

6.1 Batardeau

La construction de la cheminée d'accès au tunnel se réalisera dans une zone soumise à la fluctuation des marées. Ce secteur sera donc, à l'occasion, inondé ce qui nécessite la construction d'un batardeau pour isoler et étancher la zone de travail des eaux fluviales. Pour ce faire, deux types de batardeaux sont envisagés soit la construction d'une digue avec un noyau imperméable en argile ou la mise en place d'un rideau de palplanches d'acier. Une coupe-type de chaque batardeau a été présentée par Dessau-Soprin inc.

Tout d'abord, il faut noter que les forages F-1, F-9 et F-10 indiquent la présence en surface de dépôts de nature sableuse dont l'épaisseur est comprise entre 1,40 et 4,18 mètres. La présence de ces dépôts semble toutefois localisée dans la moitié nord-est du demi-cercle composant le batardeau puisqu'un examen visuel de la surface du terrain confirme la présence du socle rocheux dans la moitié nord-ouest.

Les résultats des analyses granulométriques effectuées sur les échantillons de sable prélevés à l'endroit des forages montrent des pourcentages de particules fines (diamètre des particules inférieur à 80 microns) qui varient entre 8,1 et 30,7%. Ces résultats indiquent que les sols en place présentent une conductivité hydraulique pouvant atteindre généralement dans sa partie la plus perméable, jusqu'à $2,0 \times 10^{-2}$ cm/sec. Ces sols ne sont donc pas étanches et devront être excavés dans l'option d'une digue avec noyau d'argile. Dans ce cas, étant donné que les dépôts de sable se poursuivent jusqu'à au moins l'élévation géodésique -2,33 mètres et que la marée basse moyenne se situe à l'élévation -1,24 mètre et la marée basse extrême à l'élévation -3,34 mètres, il est peu probable que l'excavation des sols puisse se faire

en conditions « sèches ». Cela rend donc difficile l'inspection du fond d'excavation afin de s'assurer que le noyau d'argile sera bien appuyé sur le roc et limite de façon importante la période de travail. De plus, en raison des vagues et des marées, l'ensablement de l'excavation risque d'être important voire problématique. Pour ces raisons, l'approche d'un batardeau composé d'une digue étanche nous apparaît peu indiquée, du moins dans la moitié nord-est du batardeau.

En ce qui concerne l'utilisation de palplanches, celles-ci, pourraient dans la partie nord-est du batardeau, être battues jusqu'au refus sur le roc. Cependant, à leur base, la mise en place d'une clé en béton de ciment telle que montrée sur la coupe-type apparaît difficile de réalisation et ce, pour les mêmes raisons que pour le noyau de la digue étanche. Également, comme l'ont indiqué les forages, le socle rocheux présente une qualité très mauvaise ce qui signifie donc qu'il présente un réseau de fissures et de fractures très bien développé. Conséquemment, on peut s'attendre à avoir des venues d'eau significatives par le roc. L'injection de ce dernier de façon à sceller les fractures et fissures devra donc être envisagée et ce, pour l'ensemble du batardeau si on veut limiter la quantité d'eau s'infiltrant à l'intérieur de la zone de travail prévue.

6.2 Puits d'accès et tunnel

Les forages F-1 (puits d'accès), F-2, F-4 et F-6 (axe du tunnel) réalisés dans le cadre de ce projet montrent que le roc se compose principalement de shale mais également de siltstone et de grès fin.

Il est donc probable que les ouvrages prévus interceptent l'un ou l'autre de ces types de roc.

6.2.1 Puits d'accès

Le puits d'accès, qui sera vertical, sera construit dans du shale et du siltstone, du moins jusqu'à au moins l'élévation géodésique -42,15 mètres. Comme le shale présente une qualité très mauvaise à mauvaise et même parfois des zones très fracturées où les fragments font moins de 25 millimètres de diamètre, des problèmes de stabilité des parois sont à prévoir. Par contre, à l'endroit du siltstone, la qualité de ce dernier qui est généralement bonne à excellente, indique que les parois devraient offrir un meilleur comportement. Dans un cas comme dans l'autre cependant, du boulonnage devra être prévu, particulièrement à l'endroit de la face sud du puits d'accès en raison de l'orientation et du pendage de la stratification qui est défavorable.

Comme le degré de fragmentation du shale est élevé, des venues d'eau non négligeables sont à prévoir à ce niveau alors que celles-ci seront moindres à l'intérieur du siltstone. En effet, les essais d'injection d'eau réalisés entre les élévations -29,37 et -40,60 mètres à l'intérieur de ce type de roc indiquent que le réseau de fractures fait en sorte que la perméabilité varie de faible à nulle.

Néanmoins, pour minimiser les infiltrations d'eau et donc faciliter, s'il y a lieu le bétonnage des parois, l'injection des fissures et fractures du roc devra être prévue.

Enfin, comme la surface du socle rocheux est située à une profondeur plus grande que celle prévue initialement, le tunnel et donc la base du puits d'accès, devrait être localisée vers l'élévation géodésique -63,24 mètres selon Dessau-Soprin inc. Conséquemment, il sera nécessaire de réaliser un forage jusqu'à cette élévation, si on veut connaître la nature et certaines propriétés du roc à ce niveau et ainsi compléter nos commentaires et recommandations.

6.2.2 Tunnel

Considérant la profondeur anticipée du tunnel (élevations -63,24 à -61,41 mètres) suite à l'information obtenue de la géophysique et des forages, seuls les forages F-2 et F-4 ont intercepté l'élévation recherchée, alors que le forage F-6 a été arrêté juste avant, soit à l'élévation géodésique -57,52 mètres. À l'endroit du tunnel, les forages indiquent la présence de shale de qualité très mauvaise à mauvaise pour le forage F-2 et de siltstone de qualité excellente à F-4. Pour sa part, à la base du forage F-6, le roc se compose de shale de qualité mauvaise.

À la lumière de ces résultats on constate que le tunnel croisera au moins deux types de roc dont les qualités sont à l'opposée. Ainsi, on peut s'attendre, tout comme pour le puits d'accès, à des problèmes de stabilité des parois du tunnel lorsqu'on sera en présence de shale alors que ces problèmes seront vraisemblablement moins importants dans le siltstone. Du boulonnage des parois du tunnel devra cependant être prévu et ce, particulièrement à l'endroit du shale.

Pour ce qui est des venues d'eau, celles-ci seront gouvernées d'une part par le réseau de fractures et de fissures du roc, et d'autre part par la nature et l'épaisseur des dépôts meubles situés au-dessus.

On peut donc présumer qu'elles seront relativement importantes en présence de shale, en raison du réseau de fractures et de fissures qui est plus important que pour le siltstone. Donc, tout comme pour le puits d'accès, de l'injection devra être réalisée pour contrôler ces venues d'eau et permettre le bétonnage des parois s'il y a lieu.

Enfin, comme un tubage d'acier a été laissé en place à l'endroit du forage F-2, il sera possible d'y réaliser des essais d'injection d'eau sous pression si nécessaire.



Nous espérons le tout à votre entière satisfaction et nous demeurons à votre disposition pour toute information additionnelle.

LABORATOIRES D'EXPERTISES DE QUÉBEC LTÉE

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



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



Québec, le 19 décembre 2002

LC/lr

Distribution:

- | | |
|--|----------|
| . Ville de Québec, arrondissement n° 3 | 1 copie |
| . Centre d'Expertises en sols et matériaux | 2 copies |
| . Dessau-Soprin inc. | 2 copies |
| . Laboratoires d'Expertises de Québec ltée | 1 copie |

En conformité avec la norme ISO 9001, vous êtes informés que ce rapport est composé de 107 pages. Il ne peut être reproduit en partie sans l'autorisation écrite de Laboratoires d'Expertises de Québec ltée.