

Sherbrooke, le 17 juin 2005

**Écolosol inc.**  
3280, rue Blériot  
Mascouche (Québec)  
J7K 3C1

**OBJET : Études géotechnique et hydrogéologique  
Aménagement d'un centre de stockage des sols à Mascouche  
N/D : F027894-007**

Monsieur,

Suite à l'approbation de notre proposition, nous avons réalisé une étude géotechnique et hydrogéologique concernant le projet ci-haut mentionné et vous présentons le rapport qui en découle.

Nous espérons que ce rapport sera à votre entière satisfaction et nous vous prions d'agréer, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.

---

Gaétant Lacasse, Géol., M. Env.  
Directeur de projet

GL/dd

p.j. :

**Études géotechnique et hydrogéologique**

**Aménagement d'un centre de stockage des sols  
Mascouche (Québec)**

Rapport présenté à :

**Écolosol inc.**  
3280, rue Blériot  
Mascouche (Québec)  
J7K 3C1

Rapport préparé par :

**Labo S.M. inc. et S.M. Environnement**  
740, rue Galt ouest  
Sherbrooke (Québec) J1H 1Z3

---

Stéphanie Perret, ing., Ph.D.  
Chargée de projet - Géotechnique

---

Gaétan Lacasse, géol. M. Env.  
Directeur de projet  
S.M. Environnement

Juin 2005

N/D : F027894007 **Tables des matières**

<b><u>1.0</u></b>	<b><u>Introduction</u></b>	<b>6</b>
<b><u>2.0</u></b>	<b><u>Description du site à l'étude</u></b>	<b>3</b>
<b><u>3.0</u></b>	<b><u>Travaux réalisés</u></b>	<b>7</b>
<b><u>3.1</u></b>	<b><u>Travaux en chantier</u></b>	<b>7</b>
<b><u>3.1.1</u></b>	<b><u>Visite des lieux</u></b>	<b>7</b>
<b><u>3.1.2</u></b>	<b><u>Réalisation des sondages (automne 2004)</u></b>	<b>7</b>
<b><u>3.1.3</u></b>	<b><u>Forages verticaux (hiver 2005)</u></b>	<b>8</b>
<b><u>3.1.4</u></b>	<b><u>Échantillonnage et conservation des sols</u></b>	<b>9</b>
<b><u>3.1.5</u></b>	<b><u>Installation des tubes d'échantillonnage</u></b>	<b>10</b>
<b><u>3.1.6</u></b>	<b><u>Échantillonnage des eaux souterraines</u></b>	<b>12</b>
<b><u>3.1.7</u></b>	<b><u>Essais de perméabilité en chantier</u></b>	<b>12</b>
<b><u>3.1.8</u></b>	<b><u>Essais scissométriques</u></b>	<b>13</b>
<b><u>3.1.9</u></b>	<b><u>Travaux d'arpentage</u></b>	<b>13</b>
<b><u>3.2</u></b>	<b><u>Travaux en laboratoire</u></b>	<b>14</b>
<b><u>3.2.1</u></b>	<b><u>Analyses chimiques</u></b>	<b>14</b>
<b><u>4.0</u></b>	<b><u>Conditions géotechniques du terrain</u></b>	<b>21</b>
<b><u>4.1</u></b>	<b><u>Nature et description des sols</u></b>	<b>21</b>
<b><u>4.2</u></b>	<b><u>Propriétés physiques et mécaniques des matériaux rencontrés</u></b>	<b>28</b>
<b><u>5.0</u></b>	<b><u>Conditions hydrogéologiques</u></b>	<b>31</b>

<a href="#">5.1 Contexte géologique spécifique</a>	31
<a href="#">5.2 Perméabilité des argiles</a>	34
<a href="#">5.3 Niveau de la nappe phréatique</a>	41
<b><a href="#">6.0 Résultats des analyses en laboratoire</a></b>	<b>50</b>
<a href="#">6.1 Présentation des résultats</a>	50
<a href="#">6.2 Discussion des résultats</a>	58
<a href="#">6.3 Interprétation des résultats de contrôle de qualité</a>	59
<b><a href="#">7.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS</a></b>	<b>60</b>
<a href="#">7.1 Problématique des aménagements</a>	60
<a href="#">7.2 Stabilité des cellules contre le soulèvement</a>	61
<a href="#">7.3 Capacité portante des sols en place</a>	61
<a href="#">7.3.1 Capacité portante pour les bâtiments connexes</a>	61
<a href="#">7.3.2 Capacité portante en fond de cellule</a>	62
<a href="#">7.4 Tassements</a>	62
<a href="#">7.5 Stabilité des ouvrages</a>	63
<a href="#">7.6 Réalisation des excavations</a>	65
<b><a href="#">8.0 PERSONNEL</a></b>	<b>66</b>

### Liste des tableaux

<a href="#">Tableau 1</a>	<a href="#">Localisation et niveau d'installation des tubes d'échantillonnage</a>	11
<a href="#">Tableau 2</a>	<a href="#">Élévation des forages</a>	13
<a href="#">Tableau 3</a>	<a href="#">Paramètres et méthodes d'analyses pour les sols</a>	17
<a href="#">Tableau 4</a>	<a href="#">Paramètres et méthodes d'analyses pour l'eau souterraine</a>	18
<a href="#">Tableau 5</a>	<a href="#">Essais de laboratoire</a>	20
<a href="#">Tableau 6</a>	<a href="#">Résultats des analyses granulométriques</a>	23
<a href="#">Tableau 7</a>	<a href="#">Stratigraphie des sols dans les sondages</a>	25
<a href="#">Tableau 8</a>	<a href="#">Résultats des mesures des teneurs en eau et limites de consistance</a>	29
<a href="#">Tableau 9</a>	<a href="#">Résultats des essais oedométriques</a>	30
<a href="#">Tableau 10</a>	<a href="#">Résultats des essais de perméabilité en laboratoire</a>	35
<a href="#">Tableau 11</a>	<a href="#">Coefficients de perméabilité estimés à partir des essais in situ</a>	38
<a href="#">Tableau 12</a>	<a href="#">Coefficients de perméabilité calculés</a>	40
<a href="#">Tableau 13</a>	<a href="#">Niveaux piézométriques</a>	41
<a href="#">Tableau 14</a>	<a href="#">Échantillons de sols – concentrations en hydrocarbures pétroliers et en métaux</a>	52
<a href="#">Tableau 15</a>	<a href="#">Échantillons de sols – concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques</a>	
<a href="#">Tableau 16</a>	<a href="#">Échantillon d'eau souterraine – paramètres divers (15 février 2005)</a>	54
<a href="#">Tableau 17</a>	<a href="#">Échantillon d'eau souterraine – Chlorobenzènes lourds et hydrocarbures aromatiques</a>	
<a href="#">Tableau 18</a>	<a href="#">Échantillons d'eau souterraine – hydrocarbures halogènes totaux (15 février 2005)</a>	56
<a href="#">Tableau 19</a>	<a href="#">Échantillons d'eau souterraine – Composés organiques volatils (COV) (15 février 2005)</a>	57
<a href="#">Tableau 20</a>	<a href="#">Facteurs de sécurité – Pente de 3H : 1V</a>	64

## Liste des figures

<a href="#">Figure 1</a>	<a href="#">Localisation géographique du site à l'étude</a>	5
<a href="#">Figure 2</a>	<a href="#">Vue d'ensemble du site à l'étude</a>	6
<a href="#">Figure 3</a>	<a href="#">Géologie des dépôts de surface</a>	26
<a href="#">Figure 4</a>	<a href="#">Géologie du socle rocheux de la région de Mascouche</a>	27
<a href="#">Figure 5</a>	<a href="#">Patron des écoulements – roc</a>	47
<a href="#">Figure 6</a>	<a href="#">Patron des écoulements – till</a>	48
<a href="#">Figure 7</a>	<a href="#">Patron des écoulements - argile</a>	49

## Liste des annexes

**Annexe A : Plan de localisation des sondages**

**Annexe B : Note explicative  
Rapports de sondages**

**Annexe C : Rapports d'analyses chimiques (eau et sol)**

**Annexe D : Rapports d'analyses géotechniques**

**Annexe E : Rapports d'analyses SNC. Lavalin environnement inc. – mai 2005**

**Annexe F : Figures de référence pour l'évaluation des perméabilités**

## 1.0 Introduction

La compagnie d'excavation *Écolosol inc.* projette d'utiliser le site à l'étude dans le but d'y construire une cellule de stockage qui permettra de stocker des sols dont le niveau de contamination est inférieur au seuil des critères de l'annexe « C » du Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (c.Q-2, r.9). Toutefois, avant d'entreprendre un tel projet, des études géotechniques, géologiques et hydrogéologiques se doivent d'être effectuées, dans le but d'évaluer les caractéristiques du ou des dépôts présents à l'emplacement du projet. Une fois ces études complétées, elles seront intégrées à la demande de certificat d'autorisation prévue à l'article 2.2 de la Loi sur la qualité de l'Environnement (L.R.Q., C.Q-2) à laquelle des projets de cette nature sont assujettis.

C'est donc dans le but de couvrir ces différents volets que les services professionnels de **Labo S.M. inc.** et de **S.M. Environnement, une division de Les Consultants S.M. inc.**, ont été retenus en novembre 2004 par la firme Chamard et Associés, laquelle est mandatée par Écolosol pour préparer la demande de certificat d'autorisation. Ce rapport traite de la localisation et de la description physique des lieux, des travaux réalisés en chantier et en laboratoire, de la nature des matériaux et de leurs propriétés géotechniques, des conditions hydrogéologiques, des conditions physico-chimiques des eaux souterraines ainsi que de nos conclusions et recommandations.

Plus spécifiquement, le mandat couvert dans le cadre de cette étude a consisté à effectuer les travaux suivants :

- 1) quatorze (14) forages verticaux dans lesquels des tubes de mesure à section crépinée ont été installés, soit pour le prélèvement d'échantillons d'eau souterraine, soit pour établir les conditions hydrogéologiques qui prévalent au droit du site;
- 2) neuf (9) puits d'exploration réalisés à l'emplacement de la future cellule de confinement;
- 3) des essais de perméabilité à l'intérieur des différents tubes de mesure installés dans les trous de forage;
- 4) l'échantillonnage des sols de surface dans le but d'établir un portrait général de l'état de ces sols au droit du site;
- 5) l'échantillonnage de l'eau souterraine dans les tubes de mesure installés dans le socle rocheux;
- 6) des analyses en laboratoire sur les différents échantillons d'eau souterraine et ce, comme prévu au Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (c.Q-2, r.6.01);
- 7) différents essais de laboratoire en géotechnique sur certains des échantillons de sol prélevés dans les sondages et forages et ce, dans le but d'établir certains paramètres géotechniques qui serviront à la conception des ouvrages.

## 2.0 Description du site à l'étude

Le site investigué dans le cadre de la présente étude est situé à l'extrémité nord de la montée Dumais, soit tout juste à l'est du chemin de la Cabane Ronde qui lui, longe la rivière Mascouche. Les étangs aérés des municipalités de Terrebonne, secteur Lachenaie, et Mascouche sont d'ailleurs localisés à proximité du site à l'étude, soit à son extrémité sud-ouest. À l'exception de la partie sud-ouest, où on observe les étangs aérés mentionnés précédemment, le site est entouré sur l'ensemble de sa périphérie par un boisé. Les lignes de lot localisées au sud et à l'est du site correspondent aux limites de la municipalité de Mascouche. De plus, il est important

de mentionner qu'un dépôt de neiges usées est également présent entre la limite ouest du site et la rivière Mascouche.

Globalement, le site occupe une superficie de l'ordre de 404 000 m<sup>2</sup> et quatre cellules temporaires de confinement des sols contaminés sont déjà en place dans la partie centre sud du site. Plusieurs fossés de drainage sillonnent la propriété et dans l'ensemble, les eaux de ruissellement que captent ces fossés s'écoulent vers l'ouest, sauf dans la partie est du site où l'écoulement de surface semble plutôt se diriger vers l'est. À leur tour, ces fossés semblent s'écouler vers un fossé beaucoup plus important qui longe le chemin des 40 Arpents qui lui, constitue la voie de service de l'autoroute 640.

Du point de vue topographique, la région environnante affiche un relief relativement plat, alors que localement, seule une légère pente en direction ouest est perceptible à l'approche de la rivière Mascouche localisée à l'ouest.

La figure n° 1, présentée à la fin de cette section, permet au lecteur de localiser le site à l'étude par rapport à quelques points géographiques connus dans la région, alors que la figure n° 2 présentée à la suite illustre de façon un peu plus précise l'allure du site tel qu'il était au début des travaux.

Suivant un relevé géotechnique de la région correspondante (Terrebonne – L'Assomption DPV-552 (1978)) préparé par le service de la géotechnique du ministère des Richesses Naturelles du Québec, direction générale de la géologie, service de géotechnique, la région de Terrebonne-l'Assomption est recouverte par d'épais dépôts meubles du Quaternaire variant entre 15 et 50 m d'épaisseur par endroit.

De fait, les dépôts de surface observés dans le secteur étudié correspondent à des argiles de la Mer de Champlain parfois recouvertes par des dépôts de sable dont l'épaisseur est généralement inférieure à 2 m. Les argiles de la Mer de Champlain constituent l'unité la plus épaisse et la plus fréquemment rencontrée sur le territoire et elle varie de 10 m à 25 m d'épaisseur par endroit dans la région.

Sous-jacent aux argiles de la Mer de Champlain, on retrouve un till de fond calcaireux très compact reposant directement sur le substratum rocheux. D'après la littérature, ce matériau est composé de 4 à 17 % de gravier, de 26 à 51% de sable, de 32 à 52% de silt et généralement moins de 10% d'argile. Son épaisseur excède rarement plus de 5 m.

De plus, selon le rapport géologique 152 du ministère des Richesses naturelles, direction générale des mines intitulé « Région de Montréal », le socle rocheux du secteur est identifié comme étant un shale qui fait partie de la Formation de Lachine et qui appartient au groupe de l'Utica. Une vérification faite à partir des échantillons prélevés confirme que le socle rocheux en place est composé d'un shale foncé comportant de minces lits calcaireux plus pâle.

**Figure 1 Localisation géographique du site à l'étude**

**Figure 2** Vue d'ensemble du site à l'étude

## **3.0 Travaux réalisés**

### **3.1 Travaux en chantier**

#### **3.1.1 Visite des lieux**

Avant de procéder à la réalisation des forages, une visite des lieux a été effectuée au mois d'octobre 2004 par un représentant de *S.M. Environnement*. Cette visite avait pour but d'optimiser la position des différents points de forages en rapport avec les accès au site, la proximité des cellules de confinement (puisque certains tubes d'échantillonnage pourraient être utilisés ultérieurement pour le suivi de la qualité de l'eau souterraine) et avec la direction anticipée de l'écoulement souterrain.

#### **3.1.2 Réalisation des sondages (automne 2004)**

Sur le terrain, l'implantation des sondages a été effectuée par le représentant de *S.M. Environnement* à partir des différents repères fixes installés par la firme *Tellus Expert-Conseil inc* qui eux, avaient préalablement procédé au déboisement du site et ce, au droit des différents sondages.

Au total, neuf puits d'exploration, numérotés S-01-04 à S-09-04, ont été effectués dans le cadre du premier volet de l'étude. Tous ces sondages ont été réalisés dans la partie nord-ouest du site à l'étude, soit dans la zone où la construction de la première cellule temporaire de stockage est projetée. Ces puits d'exploration, qui ont été réalisés le 19 novembre 2004 sous la supervision de M. Nelson DaRosa, ingénieur et chargé de projet pour cette partie des travaux, ont été effectués à l'aide d'une pelle mécanique munie d'un godet conventionnel. Les sondages ont été portés à des profondeurs qui varient entre 3,6 et 4,2 m sous le niveau de la surface du terrain, comme elle était en novembre 2004. À la fin des travaux, les trous de sondages ont été remblayés en remettant (dans la mesure du possible) les sols excavés dans le même ordre qu'avant leur excavation.

Au cours des sondages, l'identification visuelle des différents horizons de sols rencontrés a été effectuée. L'échantillonnage des matériaux a de plus été effectué à des profondeurs distinctes et ce, dans le but de procéder à leur caractérisation en laboratoire. Mentionnons que la nappe d'eau souterraine a parfois été atteinte en cours de sondage, mais aucun échantillon d'eau n'a toutefois été recueilli à l'intérieur de l'un ou l'autre de ces puits d'exploration.

La localisation des différents sondages (S-01-04 à S-09-04) est présentée à l'annexe A de ce rapport, alors que la stratigraphie des sols rencontrés au cours de la réalisation de ces puits d'exploration est décrite sur les rapports de sondages inclus à l'annexe B du présent document.

### **3.1.3 Forages verticaux (hiver 2005)**

Au total, six forages, numérotés TF-01-05 à TF-05-05 et TF-06-04 (à l'intérieur desquels des nids de piézomètre ont été installés), ont été réalisés sur l'ensemble de la propriété et ce, pour établir, d'une part, la nature et l'épaisseur des matériaux en place et dans le but d'établir, d'autre part, le patron d'écoulement des eaux souterraines et de caractériser la nappe d'eau souterraine. Pour ces raisons, le forage TF-01-05 a été positionné à l'extrême nord-ouest du site, le forage TF-02-05 a été implanté pratiquement au centre de la ligne de lot présente au nord de la propriété, le forage TF-03-05 a pour sa part été réalisé près du coin sud-ouest de la future cellule de confinement, le forage TF-04-05 a été effectué près du coin nord-est de la propriété, le forage TF-05-05 a quant à lui été implanté dans la partie centrale du site, mais près de l'extrémité est, alors que le forage TF-06-04 a été réalisé près de l'entrée du site, soit dans le coin sud-ouest de la propriété, là où l'on projette d'installer la balance et les infrastructures connexes. En ce qui a trait au forage TF-06-04, sa numérotation diffère des autres (-04 vs -05) en raison du fait que ce forage a été réalisé tard à l'automne 2004, alors que les autres ont été réalisés tôt à l'hiver 2005.

Tous les forages verticaux ont été effectués à l'aide d'une foreuse à tarières évidées, laquelle était montée sur une remorque. Cette méthode de forage est utilisée en géotechnique environnementale dans le but d'éviter toute modification physico-chimique des sols et de l'eau qu'implique l'utilisation de méthodes de forage conventionnelles qui elles, nécessitent l'utilisation d'eau lors de la rotation des tiges de forage.

En cours de forage, un échantillonnage remanié et non-remanié des sols rencontrés a généralement été effectué en continu et ce, dans le but d'établir une stratigraphie relativement précise des différents matériaux en place. Afin d'établir ce profil stratigraphique, cet échantillonnage a été réalisé soit à l'aide de tubes Shelby dans le but de recueillir les échantillons d'argile non remaniés, ou soit à l'aide d'un carottier fendu de calibre "B".

Ces forages ont atteint des profondeurs qui varient entre 8,08 m et 19,20 m. De plus, de manière à pouvoir établir les niveaux statiques des différentes nappes d'eau et de façon à recueillir des échantillons d'eau souterraine, des tubes d'échantillonnage (piézomètres) ont été installés à différents niveaux au droit de tous les forages. Au total, quatorze (14) tubes d'échantillonnage ont donc été installés à l'intérieur des différents forages.

### **3.1.4 Échantillonnage et conservation des sols**

À moins qu'un horizon spécifique de sols ne présente des caractéristiques de contamination, l'échantillonnage des sols a été réalisé en constituant un échantillon composite de l'épaisseur de la couche contenue dans la première cuillère fendue (CF-1) récupérée et ce, au droit de chacun des six forages. Cette procédure d'échantillonnage permet d'obtenir un portrait environnemental représentatif de la contamination qui pourrait être présente en surface à chacun de ces endroits.

Tous les échantillons de sols recueillis dans le cadre du volet de caractérisation ont été homogénéisés en chantier puis insérés immédiatement dans des contenants de verre préalablement identifiés. Ces pots ont par la suite été insérés dans une glacière (<4 °C) pour être acheminés, la journée même, à notre laboratoire d'environnement. Les procédures d'échantillonnage considérées sont celles décrites dans le « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 5 » produit par le ministère de l'Environnement du Québec (MENV). Globalement, cette procédure consiste, dans un premier temps, à rincer l'échantillonneur avec de l'eau propre, laver

l'échantillonneur dans l'eau chaude contenant du détergent, rincer l'échantillonneur avec de l'eau propre et le rincer de nouveau avec de l'eau distillée. Compte tenu que, dans certains cas, les échantillons de sols étaient soumis à des analyses chimiques organiques, une seconde étape de nettoyage a été utilisée. Cette deuxième étape a consisté à rincer l'échantillonneur à l'acétone, puis à l'hexane et de nouveau avec de l'acétone pour assécher le tout. De plus, avant le début des analyses, chaque échantillon a fait l'objet d'un examen exhaustif de la part d'un spécialiste en environnement (odeur, texture, couleur, etc.). De plus, comme des biogaz ont été interceptés à l'intérieur de la couche de till présente au droit du forage TF-05-05, des lectures visant à déterminer la pression de ces gaz ont été effectuées à deux reprises.

### **3.1.5 Installation des tubes d'échantillonnage**

Dans le but de prélever des échantillons d'eau souterraine, des tubes d'échantillonnage à sections crépinées ont été mis en place dans tous les trous de forage réalisés à l'automne 2004 et à l'hiver 2005. Ainsi, des tubes d'échantillonnage ont été installés au niveau du socle rocheux, du till et de l'argile au droit de forages TF-01-05, TF-05-05 et TF-06-04, alors que dans les autres forages, les tubes d'échantillonnage ont été installés uniquement à l'intérieur de la couche d'argile et ce, à des niveaux distincts. Le tableau n° 1, présenté à la page suivante, indique la position de chacun des tubes d'échantillonnage et ce, en rapport avec la nature du dépôt dans lequel le tube a été installé et l'élévation en mètres par rapport au niveau de la mer.

**Tableau 1 Localisation et niveau d'installation des tubes d'échantillonnage**

<i>Numérotation des tubes d'échantillonnage</i>	<i>Niveau d'installation des tubes d'échantillonnage</i>	<i>Profondeur du centre de la section crépinée (m)</i>
TF-01-05/PZ-1	Roc sain	17,40
TF-01-05/PZ-1A	Till	13,30
TF-01-05/PZ-1B	Argile	6,20
TF-02-05/PZ-1	Argile	6,10
TF-02-05/PZ-1B	Argile	3,80
TF-03-05/PZ-1	Argile	4,40
TF-03-05/PZ-1B	Argile	2,40
TF-04-05/PZ-1	Argile	3,50
TF-05-05/PZ-1	Roc sain	12,80
TF-05-05/PZ-1A	Till	10,20
TF-05-05/PZ-1B	Argile	3,70
TF-06-04/PZ-1	Roc sain	18,20
TF-06-04/PZ-1A	Till	14,80
TF-06-04/PZ-1B	Argile	4,30

Ces tubes sont constitués de crépines, de longueurs variables et ayant 50 mm de diamètre, lesquelles crépines sont reliées à la surface par des tubes de PVC de même diamètre, permettant ainsi la vidange et l'échantillonnage de la nappe d'eau souterraine par des moyens conventionnels (pompe Waterra ou échantillonneur de type Bailer).

Ces installations sont constituées de tubes vissés; aucune colle ou solvant n'a été utilisé pour les montages. L'enrobage des crépines est formé d'un matériau granulaire calibré (sable de silice) et les tubes d'échantillonnage ont été scellés en surface au moyen de bentonite, afin d'éliminer l'infiltration des eaux de ruissellement au pourtour de ceux-ci. À la fin des travaux, un tuyau protecteur en HDPE a été mis en place par dessus chacune des installations et ce, dans le but de protéger l'intégrité des équipements de suivi.

Un plan de localisation de ces forages ou des tubes d'échantillonnage qui ont été aménagés est également fourni à l'annexe A présentée à la fin du rapport. Un schéma descriptif, illustrant de façon sommaire l'installation de chaque composante des tubes d'échantillonnage, est quant à lui fourni sur les rapports de forage présentés à l'annexe B de ce document.

### **3.1.6 Échantillonnage des eaux souterraines**

Après la mise en place de ces installations, une vidange suffisante de leur contenu en eau a été effectuée. Ainsi, pour permettre à la nappe d'eau de retrouver ses conditions initiales, l'échantillonnage de la nappe souterraine a été réalisé quelques jours après la dernière vidange et ce, à l'aide d'un tube à clapet (pompe Waterra). Dans ce cas, les procédures d'échantillonnage appliquées sont celles décrites dans le « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 3 » produit par le MENV. Le volume d'eau purgée est équivalent à plus ou moins trois fois la colonne d'eau contenue dans la crépine et dans la lanterne de sable de silice installée en périphérie de cette dernière.

### **3.1.7 Essais de perméabilité en chantier**

Vingt essais de perméabilité à charge hydraulique variables ont été réalisés dans les tubes d'échantillonnage (piézomètres) pour caractériser les dépôts naturels en place. Avant de réaliser les essais de perméabilité, le niveau d'eau a été mesuré dans chacun de ces tubes. Ces relevés et essais ont été effectués en février 2005, puis répétés en avril 2005 et ce, en raison des conditions hivernales rencontrées lors de la première série d'essais. Les essais de perméabilité *in situ* ont donc été réalisés conformément à la norme applicable du Bureau de Normalisation du Québec, soit la norme BNQ 2501-135.

Les résultats des essais de perméabilité réalisés en chantier sont présentés et discutés à la section 5.0 du présent rapport.

### **3.1.8**

## Essais scissométriques

Cinq profils (numérotés V-1 à V-5), regroupant près de cent essais scissométriques, ont été réalisés au sein du dépôt d'argile au moyen d'un scissomètre Nilcon. Pour ce faire, un bâti Nilcon a été utilisé et les essais ont été effectués en continu jusqu'au refus à l'enfoncement et ce, conformément à la norme ASTM D 2573/BNQ 2501-200. Les essais de cisaillement ont été réalisés sur l'argile intacte. La localisation des essais scissométriques est présentée sur le plan de localisation des sondages de l'annexe A. Les résultats obtenus de ces essais sont quant à eux montrés sous forme graphique sur les rapports de forage TF-03-05 pour V-3, TF-04-05 pour V-4, TF-05-05 pour V-5 et TF-06-04 pour V-1. Quant à l'essai scissométrique V-2, ce dernier a été réalisé à proximité du centre du terrain où aucun forage n'a été effectué. Pour cette raison, les résultats de l'essai V-2 sont présentés uniquement sous forme graphique à l'annexe B.

### 3.1.9 Travaux d'arpentage

Le nivellement des différents points de sondage a été réalisé par le personnel technique de *Tellus Expert-conseil* et ce, à l'aide d'un géodimètre, lequel était muni d'un carnet électronique. Les élévations de surface des sondages et des forages ont été établies à partir de deux repères géodésiques (no 86KST87 et no 78KP306) dont les élévations respectives sont de 22,2 m et 22,4 m.

À la fin des travaux, les données contenues dans le carnet électronique ont été traitées puis mises en plan sur un fond de carte contenant la position des principales infrastructures dans le secteur à l'étude.

**Tableau 2**      **Élévation des forages**

<b>Numérotation des forages</b>	<b>Élévation de la surface du terrain (m)</b>
TF-01-05	17,50
TF-02-05	16,00
TF-03-05	15,80
TF-04-05	15,30
TF-05-05	14,60
TF-06-04	17,50

## 3.2 Travaux en laboratoire

### 3.2.1 Analyses chimiques

Dès leur arrivée à notre laboratoire d'environnement, les échantillons dédiés à la caractérisation environnementale ont été codifiés puis placés au réfrigérateur et conservés à une température de  $4\text{ }^{\circ}\text{C}\pm$ , en attendant le début des analyses. Le choix des différents paramètres à analyser pour la caractérisation des sols et de l'eau souterraine a été dicté à partir des exigences du règlement sur l'enfouissement des sols contaminés.

Les analyses chimiques ont été effectuées en conformité avec les méthodes suggérées dans le document du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec intitulé: « Guide des méthodes de conservation et d'analyse des échantillons d'eau et de sols », mai 1990.

Au total, cinq échantillons de sols et trois échantillons d'eau souterraine ont fait l'objet d'analyses en laboratoire dans le cadre de ces deux volets de caractérisation. Ainsi, les sols ont fait l'objet d'analyses pour les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, les métaux

et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), alors que pour les eaux souterraines, la liste des paramètres est beaucoup plus exhaustive et elle se décrit comme suit :

- l'acrylonitrile	- l'aluminium
- l'antimoine	- l'antimoine dissous
- l'argent dissous	- l'arsenic dissous
- l'azote ammoniacal	- le baryum dissous
- le benzène	- le Bis (2-Chloroéthyl) Ether
- le cadmium dissous	- les chlorures
- le chrome dissous	- le cobalt dissous
- les composés organiques volatils (COV)	- le cuivre dissous
- les cyanures dissous	- les cyanures disponibles
- les fluorures	- le formaldéhyde
- le glycol et l'éthylglycol	- le manganèse dissous
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques	- le molybdène dissous
- le mercure dissous	- le nickel dissous
- les nitrites / nitrates	- le pentachloroéthane
- les nitrites	- les nitrates
- les phénols	- le phosphore total
- le plomb dissous	- le sélénium dissous
- le sodium dissous	- les sulfures
- le zinc dissous	- les HHT

Dans le cas des échantillons de sols, les résultats des analyses chimiques ont été comparés aux différents critères génériques présentés dans la Politique de protection et de réhabilitation des terrains contaminés (A, B, ou C) du ministère de l'Environnement du Québec (MENV).

Dans le cas des eaux souterraines, aucune interprétation n'a été effectuée puisque dans ce cas, les résultats obtenus avaient pour unique but de dresser un portrait de la qualité de la nappe d'eau souterraine avant le début de l'exploitation du site.

Les résultats détaillés des analyses effectuées en laboratoire et scellés par le chimiste sont regroupés à l'annexe C du présent rapport, alors que les tableaux n<sup>os</sup> 3 et 4, présentés à la fin de cette section, font état des différents paramètres analysés, des méthodes d'analyses et des limites de détection analytique pour chacune des méthodes utilisées.

#### ↪ **Contrôle de la qualité**

Afin de vérifier la fiabilité des résultats, des analyses en laboratoire supplémentaires ont de plus été effectuées pour les différents paramètres à l'étude et ce, sur certains des échantillons prélevés dans le cadre de cette étude. Ces duplicata sont répartis sur une fréquence minimale d'un contrôle par lot dont le nombre d'échantillons est inférieur à dix. Les résultats de ces duplicata sont également inclus à l'annexe C du présent rapport.

De plus, les laboratoires qui ont procédé aux différentes analyses (Laboratoire d'Analyses S.M. inc., Bodycote essais de matériaux Canada inc. et Maxxam Analytique inc.) sont tous les trois accrédités par le MENV pour les domaines d'analyses qu'ils ont respectivement réalisées. Cette accréditation est subordonnée à l'application d'un programme d'assurance-qualité conforme au Programme d'assurance-qualité ou de contrôle de la qualité du ministère de l'Environnement du Québec qui lui, comprend un ensemble de procédures couvrant les éléments suivants :

- la réception, la conservation et le cheminement des échantillons en laboratoire;
  - l'étalonnage des méthodes d'analyses;
- les analyses de contrôles intégrés, d'échantillons témoins, d'échantillons de référence, de blancs de procédure et d'échantillons répliques;

- la compilation et la validation des résultats;
- et la participation à des études inter laboratoires.

Des mesures de contrôle de qualité en chantier ont de plus été appliquées tout au cours de la campagne d'échantillonnage. Concrètement, la mise en oeuvre de ces mesures de qualité se traduisent en chantier par :

- l'application des procédures d'échantillonnage pour les sols et les eaux souterraines;
  - le nettoyage (suivant les procédures prescrites par le MENV) des outils et/ou équipements utilisés pour l'échantillonnage des sols et de l'eau souterraine;
  - et par le transport des différents échantillons.

**Tableau 3 Paramètres et méthodes d'analyses pour les sols**

<b>Paramètres</b>	<b>Méthodes d'analyses</b>	<b>Limite de détection</b>
C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub>	Dosage des hydrocarbures pétroliers (C10-C50); MENV, 1997, MA 400-HYD1.0	100 mg/kg
Scan de métaux	Dosage des métaux par ICP MA-200 – Mét. 1.0	1,0 mg/kg Cd, Mo 1,5 mg/kg As, 5 mg/kg Sn 10 mg/kg Pb, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn, 20 mg/kg Al, Mo 50 mg/kg Fe, K, Ca
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Dosage des HAP par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse	<0,05 mg/kg

**Tableau 4 Paramètres et méthodes d'analyses pour l'eau souterraine**

<b>Paramètres</b>	<b>Méthodes d'analyses</b>	<b>Limite de détection</b>
Acrylonitrile	Dosage des composés organiques volatils; dosage par purge and trap couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spetromètre de masse MA 400-COV 1.0	<0,006 mg/L
Nitrites/Nitrates	Dosage des nitrites /nitrates par chromatographie ionique MA 308- N02/N03 1.0	<0,02 mg/l
Phénols chlorés et non-chlorés	Dosage des composés phénoliques par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse MA-400 - Phé 1.1, EPA 625	entre <0,3 et <10 ug/L
Chlorures	Dosage des chlorures par chromatographie ionique MA 308- CL 1.0	<2,0 mg/L
Pentachloroéthane	Dosage des composés organiques volatils; dosage par purge and trap couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spetromètre de masse EPA 8270C	< 0,6 ug/L
Bis- 2 (Chloroéthyl éther)	Dosage des composés organiques volatils; dosage par purge and trap couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spetromètre de masse EPA 8270C	<0,5 ug/L
Sulfures	Dosage des sulfures par	<0,02 mg/L

	spectrophotométrie MA 300- S 1.0	
Cyanures	Détermination des Cyanures par électrode spécifique MA 308- CN 1.0	<0,02 mg/L
Fluorures	Détermination des fluorures par chromatographie ionique MA 308- F1.0	<0,04 mg/L
Glycols	Dosage des glycols par chromatographie en phase gazeuse couplé à un détecteur à ionisation de flamme MA 400- Eth. Gly 1.0	<10 mg/L
Arsenic / Sélénium	Dosage de l'arsenic et sélénium ; méthode automatisée par spectrophotométrie d'absorption atomique; génération d'hydrures MA 203- As 1.0 MA 203- Se 1.0	As et Se : <0,0010 mg/L
Mercure	Dosage du mercure; méthode automatisée par spectrophotométrie d'absorption atomique; vapeur froide MA 203- Hg 1.0	<0,0002 mg/L
Azote ammoniacal	Détermination de l'azote NH <sub>4</sub> ; méthode colorimétrique automatisée MA 300- N 1.0	<0,06 mg/l
C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub>	Dosage des hydrocarbures pétroliers (C <sub>10</sub> -C <sub>50</sub> ); MENV, 1997, MA 400- HYD1.0	<0,3 mg/L
Scan de métaux	Dosage des métaux par ICP MA-200 - Mét. 1.0	<u>0,005 mg/L :</u> Pb <u>0,003 mg/L</u> ; Cu, Mn, zn <u>0,006 mg/L</u> ; Sb, Ag <u>0,0010 mg/L</u> ; Cd <u>0,010 mg/L</u> Ba, Cr, Al, Co, Mo <u>0,002 mg/L</u> Ni <u>1,0 mg/L</u> Na <u>0,02 mg/L</u> P
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Dosage des HAP par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse : MA-400 - HAP 1.1	Entre <0,08 et <0,05 ug/L
COV, HMA, HHT	Dosage des composés organiques volatils; dosage par purge and trap couplé à un chromatographe en phase gazeuse et à un spetromètre de masse MA 400-COV 1.0	Entre < 0,2 et <0,6 ug/L

### 3.2.2 Essais de caractérisation géotechnique

Tous les échantillons récupérés ont été transportés à notre laboratoire de Varennes où ils ont fait l'objet d'une description visuelle détaillée par un ingénieur en géotechnique. Le tableau n° 5 résume les essais de laboratoire effectués sur les échantillons sélectionnés :

**Tableau 5 Essais de laboratoire**

<i>Essais de laboratoire</i>	<i>Normes</i>	<i>Nombre d'essais</i>
Analyses granulométriques par sédimentométrie	BNQ 2501-025	8
Détermination de la teneur en eau	BNQ 2501-170	18
Limites de plasticité et de liquidité	BNQ 2501-092	8
Détubage et description visuelle	Manuel SEBJ (fasc. n° 2)	6
Perméabilité triaxiale	ASTM D5084-90	2
Consolidation à l'oedomètre	ASTM D-2435	2
Pourcentage de matières organiques	ASTM D-2974	1
Essai Proctor normal	BNQ 2501-250/255	1

Les résultats des essais de laboratoire sont présentés sur les feuilles d'essais incluses à l'annexe D. Les résultats des mesures de teneurs en eau et des limites de consistance sont également reportés dans les rapports des forages sous forme graphique.

Les échantillons de sols non utilisés pour les essais seront conservés jusqu'en date du 1<sup>er</sup> juin 2006. Ils seront par la suite détruits, à moins d'avis contraire de la part du client.

## **4.0 Conditions géotechniques du terrain**

### **4.1 Nature et description des sols**

Dans le but de déterminer la nature et les paramètres mécaniques des matériaux en place, l'ensemble des informations obtenues en chantier et en laboratoire ont été synthétisées dans les paragraphes qui suivent. Les informations concernent la nature des sols en place et leurs propriétés géotechniques pouvant affecter la conception et la construction des futurs aménagements. Des considérations concernant la stabilité des ouvrages y sont également présentées.

Dans les paragraphes qui suivent, nous décrivons brièvement la stratigraphie des sols à l'emplacement des différents sondages.

#### **↪ Remblai**

A l'emplacement de tous les forages et sondages, un remblai de sable ou d'argile silteuse remaniée ou encore une mince couche de terre végétale a été traversé avant d'atteindre le terrain naturel. Le remblai est généralement de faible épaisseur au droit des sondages, soit entre 0,15 et 1,75 m. Au droit du forage TF-06-04, son épaisseur est cependant plus importante et atteint 4,42 m. Des morceaux de bois ont d'ailleurs été notés dans la matrice du remblai présent à l'emplacement du forage TF-06-04.

#### **↪ Terrain naturel**

##### **Sable**

À l'endroit des puits d'exploration S-01-04 à S-03-04 et S-05-04 à S-09-04, une couche de sable a été interceptée en surface sous la couche de terre végétale et ce, sur des épaisseurs qui varient entre 0,15 m et 1,65 m.

### **Argile silteuse de la mer de Champlain**

Les quinze sondages ont intercepté, sous le remblai ou le cas échéant sous la couche de sable décrite précédemment, un important dépôt d'argile rubanée. Ce dépôt, mis en place à l'époque de la mer de Champlain, est constitué en surface d'argile silteuse grise pouvant contenir des traces de sable, de consistance généralement raide, de haute plasticité et de type CH, alors que plus en profondeur (aux environs des élévations 9 à 11 m), le dépôt est plutôt constitué d'argile et silt de couleur gris plus foncé. À ce niveau, la consistance de l'argile est plutôt raide, la plasticité est moyenne et l'argile est de type CL ou OL-ML et on observe parfois de la matière organique à l'intérieur de la matrice d'argile. Au contact de l'argile grise CH et de l'argile contenant de la matière organique, on peut observer un horizon d'argile rose / rougeâtre et ce, sur une faible épaisseur, alors que plus en profondeur (en s'approchant de la couche de till sous-jacente), l'argile devient gris foncé. Cette stratigraphie typique a été retrouvée dans pratiquement tous les forages.

L'épaisseur du dépôt d'argile silteuse est de 11,45 m au droit du forage TF-01-05, de 7,78 m au droit du forage TF-05-05 et de 8,08 m au droit du forage TF-06-04. Quant aux autres forages (TF-02-05, TF-03-05 et TF-04-05), ils ont tous été interrompus à  $\pm 8$  m de profondeur, soit à l'intérieur du dépôt d'argile. Tous les puits d'exploration (S-01-04 à S-09-04) se sont également terminés au sein du dépôt d'argile.

Les valeurs de  $N_{spt}$  dans le dépôt d'argile sont généralement inférieures à 2 coups/300 mm, ce qui le caractérise comme très lâche.

Six analyses granulométriques par sédimentométrie ont été réalisées sur des échantillons d'argile grise. Le tableau n° 6 suivant présente les résultats obtenus de ces analyses.

**Tableau 6 Résultats des analyses granulométriques**

<i>Échantillon</i>	<i>Profondeur (m)</i>	<i>% de gravier</i>	<i>% de sable</i>	<i>% de silt</i>	<i>% d'argile</i>	<i>Description</i>
S-02A	2,2 à 3,2	0	1,1	40,9	58	Argile et silt, traces de sable
S-08A	4,1 à 5,1	0	1,3	35,3	63,4	Argile et silt, traces de sable
TF-03; TS-03	1,4 à 1,5	0	0,2	33,8	66,0	Argile silteuse
TF-03; TS-05	3,4 à 3,5	0	0,2	68,6	31,2	Silt argileux
TF-03; TS-07	4,75 à 4,8	0	0,5	41,9	57,6	Argile et silt
TF-03; TS-09	6,3 à 6,4	0	0,2	47,9	51,9	Argile et silt
TF-05; TS-05	3,2 à 3,3	0	0,2	33,3	66,5	Argile silteuse
TF-05; TS-09	6,06 à 6,1	0	0,2	47,7	52,1	Argile et silt

Les résultats des analyses en laboratoire effectuées sur ces différents échantillons sont présentés à l'annexe D de ce document.

**Till**

Les forages TF-01-05, TF-05-05 et TF-06-04, qui ont été poursuivis jusqu'au niveau du socle rocheux, ont intercepté une couche de till sous le dépôt d'argile. L'épaisseur de cette couche varie de 2,75 m dans le forage TF-01-05 à 3,43 m dans le forage TF-05-05. La couche de till est composée de silt contenant un peu de sable à sableux et pouvant contenir, à l'occasion, des traces de gravier et d'argile. Dans l'ensemble, la compacité de cette couche varie de compacte à dense.

Au droit du forage TF-05-05, des venues de gaz inflammable ont été observées lors de l'enfoncement des tiges de forage dans la couche de till. Dans les forages TF-01-05 et TF-06-04, un horizon de roc désagrégé, de cailloux ou de till contenant beaucoup de gravier a été intercepté avant d'atteindre le socle rocheux. Cette couche est généralement très dense.

La figure n° 3 présentée dans les pages suivantes, laquelle a été extraite du relevé géotechnique de la région de Terrebonne-l'Assomption, rapport DPV (1978) préparé par le ministère des Richesses Naturelles du Québec, permet de visualiser la répartition spatiale des différents dépôts meubles dans la région.

#### **Roc**

Sous la couche de till, le socle rocheux a été foré dans les trois mêmes forages (TF-01-05, TF05-05 et TF-06-04). Ce dernier se décrit comme étant un shale gris foncé, dans lequel on peut observer de minces interlits de grès très fins (siltstone) et plus compétent. Le roc se situe environ aux élévations 3,10 m à 1,10 m par rapport au niveau de la mer. Son pendage est horizontal et sa lithologie très fissile suit le même pendage que les unités stratigraphiques. Des fractures et/ou joints, dont les angles sont soit obliques ou soit verticaux, ont pu être observés dans tous les échantillons recueillis.

La qualité du socle rocheux obtenue à partir de l'indice RQD (Rock Quality Designation) indique généralement que la qualité du roc varie de mauvaise à excellente. Le pourcentage de récupération obtenu en cours de forage reflète également la qualité variable du socle rocheux, puisque celui-ci varie entre 25 % et 100 %. De façon générale, le roc est généralement très fracturé et de mauvaise qualité en surface, alors que sa qualité et sa compétence augmentent plus en profondeur.

Le tableau n° 7, présenté à la page suivante, résume la stratigraphie rencontrée dans les différents forages et sondages et ce, en rapport avec leur élévation.

La figure n° 4, extraite du rapport géologique no 152 du ministère des Richesse Naturelles du Québec et présentée à la fin de cette sous-section, permet de visualiser la nature des différentes unités géologiques que l'on trouve dans la région immédiate du site à l'étude.

**Tableau 7 Stratigraphie des sols dans les sondages**

<b>Sondage</b>	<b>Élévation de surface (m)</b>	<b>Prof. (élev.) du remblai / terre végétale (m)</b>	<b>Prof. (élev.) du sable (m)</b>	<b>Prof. (élev.) de l'argile silteuse (m)</b>	<b>Prof. (élev.) du till (m)</b>	<b>Prof. (élev.) du roc fracturé ou des cailloux (m)</b>	<b>Prof. (élev.) du roc (m)</b>
TF-01-05	17,5	0,0 à 0,55 (17,5 à 16,95)	abs	0,55 à 12,0 (16,95 à 5,5)	12,0 à 14,75 (5,5 à 2,75)	14,75 à >16,35 (2,75 à >1,15)	16,35 à 19,03 (1,15 à 1,53)
TF-02-05	16,0	0,0 à 1,75 (16,0 à 14,25)	abs	1,75 à >8,08 (14,25 à >7,92)	N/D	N/D	N/D
TF-03-05	15,8	0,0 à 0,5 (15,8 à 15,3)	abs	0,5 à >8,08 (15,3 à >7,72)	N/D	N/D	N/D
TF-04-05	15,3	0,0 à 0,85 (15,3 à 14,45)	abs	0,85 à >8,08 (14,45 à >7,22)	N/D	N/D	N/D
TF-05-05	14,6	0,0 à 0,3 (14,6 à 14,3)	abs	0,3 à 8,08 (14,3 à 6,52)	8,08 à 11,51 (6,52 à 3,09)	N/D	11,51 à 14,56 (3,09 à 0,04)
TF-06-04	17,5	0,0 à 4,42 (17,5 à 13,08)	abs	4,42 à 12,5 (13,08 à 5,0)	12,5 à 15,5 (5,0 à 2,0)	15,5 à 16,41 (2,0 à 1,09)	16,41 à 19,2 (1,09 à 1,7)
S-1-04	18,3	0,0 à 0,25 (18,3 à 18,05)	0,25 à 1,9 (18,05 à 16,4)	1,9 à >4,0 (16,4 à >14,3)	N/D	N/D	N/D
S-2-04	15,5	0,0 à 0,2 (15,5 à 15,3)	0,2 à 0,35 (15,3 à 15,15)	0,35 à >4,0 (15,15 à >11,5)	N/D	N/D	N/D
S-3-04	16,0	0,0 à 0,4 (16,0 à 15,6)	0,4 à 1,6 (15,6 à 14,4)	1,6 à >3,6 (14,4 à >12,4)	N/D	N/D	N/D
S-4-04	16,3	0,0 à 0,3 (16,3 à 16,0)	abs	0,3 à >4,0 (16,0 à >12,3)	N/D	N/D	N/D
S-5-04	15,6	0,0 à 0,15 (15,6 à 15,45)	0,15 à 0,35 (15,45 à 15,25)	0,35 à >4,0 (15,25 à >11,6)	N/D	N/D	N/D
S-6-04	16,2	0,0 à 0,8 (16,2 à 15,4)	0,8 à 1,6 (15,4 à 14,6)	1,6 à >4,0 (14,6 à >12,2)	N/D	N/D	N/D
S-7-04	16,1	0,0 à 0,25 (16,1 à 15,85)	abs	0,25 à >4,2 (15,85 à >11,9)	N/D	N/D	N/D
S-8-04	16,8	0,0 à 1,2 (16,8 à 15,6)	1,2 à 1,6 (15,6 à 15,2)	1,6 à >4,2 (15,2 à >12,6)	N/D	N/D	N/D
S-9-04	15,9	0,0 à 0,3 (15,9 à 15,6)	0,3 à 1,6 (15,6 à 14,3)	1,6 à >4,0 (14,3 à	N/D	N/D	N/D

				>11,9)			
--	--	--	--	--------	--	--	--

abs : Absent  
N/D : Non disponible

**Figure 3 Géologie des dépôts de surface**

**Figure 4 Géologie du socle rocheux de la région de Mascouche**

## 4.2 Propriétés physiques et mécaniques des matériaux rencontrés

L'argile présente sur le site et qui constituera le matériau de fond des cellules de confinement a été caractérisée de façon exhaustive et l'ensemble des résultats obtenus sont résumés dans les paragraphes qui suivent.

### ↪ Teneur en matières organiques

Une mesure de la teneur en matières organiques a été réalisée sur un échantillon prélevé à 6,5 m de profondeur (élévation 9,3 m) dans le forage TF-03-05, dans la couche d'argile et silt de type OL-ML. Les résultats de cet essai démontrent que l'argile est constituée à 2,2 % de matières organiques.

### ↪ Teneur en eau et limites de consistance

Globalement, les mesures de teneurs en eau naturelle réalisées sur dix-huit échantillons d'argile indiquent que celles-ci varient entre 45 et 75 %. Quant aux limites de liquidité, les valeurs obtenues indiquent qu'elles varient entre 34,4 et 67,6 % alors que celles des limites de plasticité indiquent que la variation s'échelonne entre 23,2 à 29,2 %. Ainsi, les échantillons d'argile prélevés sous les élévations  $\pm 9,0$  à  $\pm 11,0$  m peuvent être classés comme des argiles de type CL ou OL-ML (argile de plasticité moyenne) tandis que les échantillons prélevés au-dessus de ces élévations indiquent que les argiles sont de type CH, c'est à dire de haute plasticité.

Les indices de plasticité des deux (2) échantillons d'argile OL-ML ou CL sont respectivement de 9,7 et 11,5 %, tandis que ceux des argiles de type CH varient de 23,3 à 42,1 %.

Ces résultats mettent en évidence la présence de strates d'argile de plasticité différente au sein même d'un dépôt d'argile qui, à première vue, apparaît comme homogène. Ces valeurs constituent une des particularités du dépôt d'argile du secteur. Le tableau n° 8 suivant regroupe les teneurs en eau naturelle et les limites de consistance des échantillons d'argile grise mesurées dans les sondages.

**Tableau 8 Résultats des mesures des teneurs en eau et limites de consistance**

<b>Échantillon</b>	<b>Profondeur (m)</b>	<b>W (%)</b>	<b>Limite de liquidité (%)</b>	<b>Limite de plasticité %</b>	<b>Indice de plasticité %</b>	<b>Classification unifiée (USCS)</b>
S-02A	2,2 à 3,3	65	64,9	27,1	37,8	CH
S-08A	4,1 à 5,1	67	65,1	27,0	38,1	CH
TF-03; TS-03	1,4 à 1,5	63	67,6	25,5	42,1	CH
	65	-	-	-	-	
TF-03; TS-05	2,98 à 3,00	72	-	-	-	-
	68	-	-	-	-	
	68	51,8	25,9	26,0	CH	
TF-03; TS-07	4,6 à 4,62	45	-	-	-	-
	64	51,2	28,0	23,3	CH	
TF-03; TS-09	5,98 à 6,0	56	-	-	-	-
	53	34,4	24,7	9,7	OL-ML	
	6,4 à 6,42	53	-	-	-	-
	53	-	-	-	-	

TF-05; TS-05	2,95 à 2,97	53	-	-	-	-
	71	65,1	29,2	35,8	CH	
TF-05; TS-09	6,02 à 6,04	54	-	-	-	-
	54	34,7	23,2	11,5	CL	
	58	-	-	-	-	

- : Aucun essai

#### ↪ **Résistance au cisaillement non drainé**

À partir des essais scissométriques réalisés, la résistance au cisaillement non drainé de l'argile varie de 50 à 95 kPa pour une moyenne d'environ 70 kPa pour l'ensemble du dépôt. La résistance au cisaillement démontre de plus que l'argile grise est généralement de consistance raide.

#### ↪ **Compressibilité**

Deux essais de consolidation oedométrique ont été effectués sur des échantillons d'argile grise prélevés dans les forages. Les résultats sont présentés au tableau n° 9 ci-après et sont également joints à l'annexe D du présent rapport. Dans l'ensemble, les pressions de préconsolidation des échantillons d'argile testés sont de 290 kPa. Ainsi, en supposant que le niveau de la nappe phréatique se situe à 1,2 m de profondeur au droit du forage TF-03-05, la surconsolidation de l'argile serait alors de 258 et de 233 kPa selon les échantillons testés. Ces valeurs indiquent donc que les argiles sont surconsolidées, avec des degrés de surconsolidation respectifs de 4 et 8.

**Tableau 9 Résultats des essais oedométriques**

Échantillon	Profondeur (m)	W (%)	$\gamma_p$ (kPa)	$\gamma_{vo}$ (kPa)	$C_s$	$C_c$	$C_u$ (kPa)	$C_u/\gamma_p$	$e_0$	$\gamma_p - \gamma_{vo}$ (kPa)
TF-03-05; TS-05	3,4 à 3,5	68	290	32,2	0,055	1,52	71,7	0,25	1,814	257,8
TF-03-05; TS-09	6,42 à 6,52	53	290	56,5	0,023	0,89	72,9	0,25	1,433	233,5

#### ↪ **Optimum Proctor**

Un essai Proctor normal a été réalisé sur un échantillon d'argile provenant du puits d'exploration S-02A à une profondeur de 2,2 m. La teneur en eau obtenue à l'optimum Proctor est de 34,2% pour une masse volumique sèche de 1 345 kg/m<sup>3</sup>.

## 5.0 Conditions hydrogéologiques

### 5.1 Contexte géologique spécifique

Les résultats obtenus à partir de l'interprétation des différents forages réalisés dans le cadre de cette étude et à partir de d'autres études et/ou travaux d'investigation effectués par le ministère des Ressources naturelles réalisés dans la région de Mascouche, montrent que le lieu de stockage de sols contaminés d'Écolosol inc. sera entièrement positionné à l'intérieur du dépôt d'argile dont l'épaisseur semble relativement variable dans la région. Sus-jacent à ce dépôt d'argile, un horizon de sable contenant des traces de silt et parfois des traces de gravier est souvent mentionné dans la littérature. Toutefois, mis à part les secteurs boisés présents sur le

site au début des travaux de forage et certains autres secteurs qui eux, étaient observés de façon ponctuelle, cette couche de sable est quasi-inexistante sur la propriété où Écolosol inc. projette d'implanter le centre de stockage des sols contaminés. De fait, les informations obtenues à ce sujet indiquent que la couche de sable qui était omniprésente sur l'ensemble du site aurait été ramassée pour être utilisée comme matériel de remblai dont une partie aurait servi lors de l'aménagement des cellules construites par le ministère de l'Environnement du Québec au cours des années 1990. Ainsi, la majeure partie de la surface du terrain aurait à l'époque été dénudée de sa couche de matériel granulaire et pour cette raison, la surface actuelle est aujourd'hui presque exclusivement constituée par le dépôt d'argile. Aux endroits où la couche de sable a pu être rencontrée lors des sondages, d'importantes venues d'eau ont été observées à l'interface entre l'horizon de sable et le dépôt d'argile. Ces venues d'eau sont d'ailleurs le reflet de la faible perméabilité du dépôt d'argile et elles constituent, en terme hydrogéologique, ce qui est communément appelé une nappe perchée. La présence d'une telle nappe sera cependant facilement contrôlée, puisqu'il est prévu que des fossés périphériques soient creusés au pourtour du site et ce, de manière à canaliser les eaux de surface. De plus, la perméabilité élevée de cette couche de matériaux granulaires fera en sorte qu'il sera facile de drainer cette nappe perchée si la géométrie de ces fossés est adéquate et si les fossés sont positionnés aux endroits stratégiques.

En ce qui a trait à la couche d'argile, les trois forages qui ont été poursuivis jusqu'au niveau du socle rocheux indiquent que sa composition granulométrique, tout comme son épaisseur, varie légèrement d'un secteur à l'autre. De fait, la description stratigraphique faite lors de l'échantillonnage des sols indique que dans le secteur du forage TF-1-05/PZ-1, l'argile grise rencontrée est plutôt de nature silteuse dans la partie supérieure du dépôt (entre 0,55 m et  $\pm 8,0$  m), alors que la proportion de silt augmente à partir de ce niveau et, plus en profondeur, on observe des interlits de silt argileux. À cet endroit (dans la partie nord-ouest du site), l'épaisseur totale de la couche d'argile atteint 11,45 m. Ailleurs, au droit du forage TF-05-05/PZ-1, le même type d'argile a été identifié dans la partie supérieure du dépôt (entre 0,30 m et  $\pm 5,50$  m), alors que plus en profondeur, le pourcentage de silt augmente et devient davantage apparenté à une argile et silt. À cet endroit, le dépôt d'argile atteint une épaisseur de 7,78 m. Finalement, une couche d'argile silteuse a été rencontrée entre 4,42 et 5,90 m au droit du forage TF-06-04/PZ-1. Sous-jacent à cette couche d'argile silteuse, le pourcentage de silt augmente comme ailleurs et la composition devient celle d'une argile et silt pour redevenir, par la suite, une argile silteuse à l'intérieur de laquelle on peut observer des interlits de silt argileux. À ce forage, l'épaisseur totale du dépôt d'argile atteint 8,08 m. De plus, il est important de mentionner qu'à cet endroit, le dépôt d'argile a été identifié uniquement à partir de 4,42 m de profondeur par rapport à la surface actuelle du terrain. Un important remblai hétérogène a donc été mis en place pour combler la dépression présente dans ce secteur. À notre avis, cette dépression a été créée lors de la construction des cellules érigées par le Ministère et l'argile en place aurait possiblement été utilisée pour le confinement des sols contaminés dans les cellules.

Ces trois mêmes forages (TF-01-05/PZ-1, TF-05-05/PZ-1 et TF-06-04/PZ-1) ont également permis d'identifier un dépôt de till de faible épaisseur sous le dépôt d'argile. Ce dépôt, dont l'épaisseur varie entre  $\pm 2,75$  m et  $\pm 3,43$  m, est constitué de silt contenant des proportions variables de sable et d'argile, alors que l'on observe toujours des traces de gravier. La compacité de ce dépôt marque une nette différence avec l'argile, puisque à ce niveau, la compacité passe de très lâche à lâche dans l'argile pour devenir compacte à dense dans la couche de till.

Finalement, le socle rocheux a été rencontré dans tous les cas sous le dépôt de till. À cet égard, mentionnons que le contact entre le till et le roc dans deux des forages (TF-01-05/PZ-1 et TF-06-04/PZ-1) a été difficile à identifier puisque la transition entre le till et le toit du socle rocheux était constituée d'un mélange composé soit de roc désagrégé, soit de cailloux et/ou de roc fracturé, soit de roc altéré et/ou de till graveleux. De par sa composition et/ou de par sa mauvaise qualité (dans le cas du socle rocheux), ce type de lithologie présente des particularités hydrogéologiques qui font en sorte qu'elles favorisent un écoulement préférentiel de la nappe d'eau souterraine. Plus en profondeur, la qualité du socle rocheux s'améliore légèrement, si on considère uniquement le pourcentage de récupération qui lui, atteint 100% au droit des forages TF-01-05/PZ-1 et TF-05-05/PZ-1, alors qu'il varie entre 25 et 60% au droit du forage TF-06-04/PZ1. Cependant, si on tient compte de l'indice RQD (Roc Quality Designation), on note que la qualité du socle rocheux varie de très mauvaise à mauvaise, sauf en profondeur au droit du forage TF-01-05/PZ-1 où sa qualité semble excellente. Ainsi, à partir de ces deux types d'information et à partir de la description des échantillons de roc recueillis, il est possible de croire, à priori, que la nappe d'eau souterraine présente à l'intérieur du socle rocheux sera celle où la vitesse d'écoulement sera la plus notable. De fait, si on se réfère à la description lithologique du massif rocheux, on note que le roc est constitué d'un shale gris foncé à l'intérieur duquel on peut observer des interlits de microgrès. Son pendage est généralement horizontal (perpendiculaire à l'axe de forage) alors qu'on observe régulièrement des fractures obliques et/ou verticales et ce, par rapport à l'axe du forage. Dans ce contexte, de telles informations portent à croire que la perméabilité du socle rocheux sera davantage dictée par le réseau de fractures que par la nature et/ou la composition même du roc.

## **5.2 Perméabilité des argiles**

### **↪ Détermination du coefficient de perméabilité dans l'argile**

Le coefficient de perméabilité constitue sans aucun doute le paramètre le plus important pour la conception d'un lieu de confinement de sols contaminés.

Ainsi, le coefficient de perméabilité du dépôt d'argile en place a été déterminé au moyen des trois méthodes, à savoir:

- 1) Essais de perméabilité en laboratoire réalisés sur des échantillons d'argile intacts prélevés dans les sondages ;
- 2) Essais de perméabilité in-situ réalisés dans des piézomètres installés dans différents forages;
- 3) Méthode empirique établie pour les argiles de la mer Champlain.

### **↪ Essais de perméabilité en laboratoire**

Deux essais de perméabilité en cellule triaxiale ont été effectués sur des échantillons intacts d'argile prélevés dans différents forages et/ou sondages. Un des essais a été effectué sur l'échantillon d'argile TS-12 prélevé à  $\pm 8,4$  m de profondeur dans le forage TF-06-04. À ce niveau, l'échantillon d'argile TS-12 a été classé comme une argile de type CL et l'essai de perméabilité indique un coefficient de perméabilité (k) d'environ  $1,6 \times 10^{-8}$  cm/s. Le deuxième essai a quant à lui été effectué sur un échantillon composé d'un bloc d'argile intact prélevé à  $\pm 2,2$  m de profondeur au droit du sondage S-02-04 et qui porte la codification S-02A. À cet endroit, le coefficient de perméabilité obtenu est de l'ordre de  $9 \times 10^{-8}$  cm/s. L'échantillon d'argile S-02A est classé comme une argile de type CH.

Parallèlement à ces essais de laboratoire, deux forages, numérotés TF-2 et TF-2A, ont été réalisés le 10 mai dernier sur le site à l'étude, sous la supervision de SNC Lavalin environnement inc. La localisation approximative de ces nouveaux forages est également présentée sur le plan de localisation qui apparaît à l'annexe A de ce document.

Au cours de cette nouvelle campagne, sept échantillons d'argile ont été prélevés à l'intérieur de ces deux forages. De ce nombre, trois d'entre-eux ont été acheminés au laboratoire de sol *Terratech* de ville St-Laurent, pour y subir des essais de perméabilité. Cette seconde campagne, réalisée par une firme et un laboratoire indépendant, avait donc pour but de valider les résultats des essais de perméabilité obtenus à ce jour.

Le tableau n° 10 suivant résume l'ensemble des résultats en laboratoire obtenus à partir des essais de perméabilité effectués sur différents échantillons d'argiles non remaniés.

**Tableau 10 Résultats des essais de perméabilité en laboratoire**

<i>Localisation de l'échantillon</i>	<i>Numérotation de l'échantillon</i>	<i>Profondeur de l'essai triaxial (m)</i>	<i>Élévation du prélèvement (m)</i>	<i>Classification de l'échantillon</i>	<i>Conductivité hydraulique (k)</i>
TF-06-04	TS-12	8,4 à 8,8	8,7 à 9,1	CL	$1,6 \times 10^{-8}$
S-02-04	S-02A	2,2 à 3,3	12,2 à 13,3	CH	$9 \times 10^{-8}$
TF-2	TF-2/3-3,75	5,33 à 6,24	N/D	N/D	$1,2 \times 10^{-7}$
TF-2A	TF-2A/5-5,75	6,67 à 7,62	N/D	N/D	$1,0 \times 10^{-7}$
TF-2A	TF-2A/5,75-6	7,62 à 8,63	N/D	N/D	$2,9 \times 10^{-8}$

Globalement, les résultats de ces trois nouveaux essais de perméabilité indiquent des valeurs à peu près du même ordre que celles obtenues suite aux deux premiers essais en laboratoire.

De fait, si on fait abstraction de la classification du type d'argile, on obtient une conductivité hydraulique moyenne (k) de  $5,3 \times 10^{-8}$  cm/sec suite aux deux premiers essais, alors que la perméabilité moyenne obtenue des trois autres essais en laboratoire est de  $8,3 \times 10^{-8}$  cm/sec, soit des valeurs qui peuvent caractériser ce matériau comme étant imperméable.

Les résultats des analyses en laboratoire réalisées par SNC Lavalin environnement inc. sont regroupés dans un rapport distinct présenté à l'annexe E.

#### ↪ **Essais de perméabilité in-situ**

Le coefficient de perméabilité des argiles de la mer Champlain est très faible et pour cette raison, il est difficile de la mesurer en suivant les variations d'un niveau d'eau à l'intérieur des tubes d'observation installés dans un forage. Dans un tel cas, la perméabilité en place est habituellement évaluée par l'injection d'eau dans le sol à partir d'une cavité généralement de forme cylindrique de dimensions connues. Deux types d'essais peuvent donc être réalisés pour établir cette perméabilité, soit les essais de type Lefranc à charges variables et les essais à charges constantes.

L'essai à charge variable est l'essai de perméabilité in-situ le plus utilisé. On remplit le tube d'observation jusqu'à un niveau connu avec une charge « h » qui elle, est située au-dessus du niveau de la nappe d'eau souterraine. Par la suite, la descente du niveau d'eau à l'intérieur du tube d'observation (variation de la charge) est mesurée et ce, en fonction du temps. L'interprétation des résultats obtenus à partir de cette méthode se fait selon l'équation  $k = a / (F D t) \ln (h_1 / h_2)$ , où « a » est la section du tube;

« D » le diamètre de la cavité; « F » un facteur de forme de la cavité et « t » le temps pour que la charge hydraulique passe de la hauteur  $h_1$  à  $h_2$ . Cette technique de mesure de perméabilité in situ présente toutefois les défauts suivants (Tavenas et al., 1983) :

- l'argile présente autour du puits d'observation est remaniée lors de l'installation et reconsolidée avec le temps, ce qui implique que l'indice des vides devient inférieur à celui de l'argile naturelle ;
  - l'élément poreux de la plupart des piézomètres et/ou des crépines peut facilement se colmater;
  - l'argile présentée à l'interface avec les tiges de forages est remaniée lors de la réalisation des forages et ce, particulièrement lorsque les forages sont réalisés à l'aide de tarières.

De plus, bien que la théorie des essais de perméabilité in situ soit bien établie depuis les travaux de Hvorslev (1951), la valeur obtenue peut ne pas représenter la perméabilité réelle du sol en place à cause des diverses sources d'erreurs possibles pouvant survenir lors de la réalisation des essais. Ces sources d'erreurs peuvent entre autres être causées par :

- les fuites d'eau par les joints ou au contact sol-tubage ;
  - les variations locales de perméabilité dans le sol ;
  - le claquage hydraulique du sol ;
- le remaniement du sol pendant les travaux de forage et l'installation du piézomètre et/ou du puits d'observation ;
  - le colmatage par sédimentation ;
  - les remontées de sol dans le tubage ;
- le retard dans le temps de réponse du piézomètre et/ou du puits d'observation.

En pratique, on peut réduire les sources d'erreurs en contrôlant rigoureusement les opérations de forage et en limitant la colonne d'eau appliquée. Il est par contre plus difficile de contrôler les fuites d'eau (Chapuis et al, 1981).

À la lumière de ces informations, les essais de perméabilité in situ ont donc été interprétés, dans un premier temps, sans aucune correction. L'interprétation de ces essais a toutefois conduit à des coefficients de perméabilité jugés trop élevés pour les argiles présentes dans la région de Mascouche. Le tableau n° 11 résume les perméabilités calculées à partir des mesures faites en chantier.

**Tableau 11 Coefficients de perméabilité estimés à partir des essais in situ**

<i>Piézomètre</i>	<i>Profondeur du milieu du piézomètre (m)</i>	<i>Nature du milieu</i>	<i>K (cm/s), février 2005, sans correction</i>	<i>K (cm/s) avril 2005, sans correction</i>	<i>K (cm/s) avec correction, février 2005</i>
TF-01-05/PZ-1	17,0	Roc	$3,4 \times 10^{-3}$	A/E	A/E
TF-01-05/PZ-1A	13,0	Till	$6 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$
TF-01-05/PZ-1B	6,0	Argile	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,3 \times 10^{-7}$
TF-02-05/PZ-1	6,2	Argile	$5 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-6}$
TF-02-05/PZ-1B	3,8	Argile	$2 \times 10^{-5}$	$9,5 \times 10^{-5}$	A/E
TF-03-05/PZ-1	4,5	Argile	$2,2 \times 10^{-6}$	$4,2 \times 10^{-5}$	A/E
TF-03-05/PZ-1B	2,4	Argile	$9,4 \times 10^{-6}$	$5,4 \times 10^{-5}$	A/E

TF-04-05/PZ-1	3,6	Argile	$8,5 \times 10^{-6}$	$4,2 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-6}$
TF-05-05/PZ-1	12,8	Roc	$2,7 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	A/E
TF-05-05/PZ-1A	10,2	Till	$6,8 \times 10^{-6}$	$5,3 \times 10^{-5}$	A/E
TF-06-04/PZ-1B	4,2	Argile	A/E	$2,9 \times 10^{-5}$	A/E

A/E : aucun essai

Nous avons repris l'interprétation des essais de perméabilité en effectuant la correction suggérée par Chapuis et al. (1981). Les valeurs ainsi corrigées sont reportées dans la dernière colonne du tableau précédent. Avec cette correction, les coefficients de perméabilité obtenus dans le dépôt d'argile varient entre  $3 \times 10^{-6}$  cm/s et  $4 \times 10^{-7}$  cm/s. La limite supérieure de perméabilité mesurée,  $3 \times 10^{-6}$  cm/s, nous semble encore élevée et pour cette raison, nous croyons que de telles valeurs peuvent être dues au remaniement de l'argile en place occasionné par l'utilisation de tarières évidées lors des forages et/ou la fuite d'eau au niveau des bouchons de bentonite qui eux, ont été mis en place dans des conditions de terrains très difficiles. Quoiqu'il en soit, basé sur cette remarque, nous estimons que le coefficient de perméabilité du dépôt d'argile intacte non fissurée de type CH (argile sous la croûte surconsolidée) est d'environ  $4 \times 10^{-7}$  cm/s, alors que celui de l'argile CL ou argile faible organique de type OL (sous une charge de 100 kPa), est de l'ordre de  $10^{-6}$  cm/s. Cette estimation de perméabilité est corroborée par la perméabilité estimée par deux essais réalisés en laboratoire et la méthode empirique décrite ci-après.

#### ↪ **Calcul de perméabilité par méthode empirique**

L'existence de relations empiriques entre les propriétés mécaniques qui sont difficiles et coûteuses à mesurer et la connaissance de certaines propriétés physiques facilement mesurables constitue une approche intéressante pour améliorer la qualité des études géotechniques. Le rôle principal de ces relations est de permettre une vérification rapide de la qualité des différentes mesures réalisées sur un site par contrôle de leur conformité avec les relations établies pour la région. Elles permettent également d'obtenir une estimation des paramètres mécaniques ou hydrauliques du site à l'étude. Tavenas et al. (1983) ont présenté une méthode empirique pour estimer le coefficient de perméabilité des argiles naturelles. Ils ont étudié en laboratoire les caractéristiques de perméabilité d'une série de huit (8) sites d'argiles molles naturelles intactes du Québec, des États-Unis, et de la Suède. Ceci leur a permis de proposer des relations empiriques entre la perméabilité et d'autres propriétés physiques des argiles échantillonnées. Les courbes 3-35 et 3-36 de Leroueil et al. (1985), présentées à l'annexe F, montrent les relations empiriques proposées. La courbe 3-36 de Leroueil et al (1985) permet d'estimer la perméabilité de l'argile en fonction de l'indice des vides, de l'indice de plasticité et du pourcentage des particules passant au tamis 0,002 mm. Un des sites étudiés par Tavenas et al. (1983) est d'ailleurs situé à Mascouche et l'argile du site de Mascouche, prélevée vers 3,8 m de profondeur et mentionnée dans cette étude, possède les propriétés suivantes :

- teneur en eau naturelle de 61%;
  - limites de liquidité et de plasticité de 55 et 24 %, respectivement avec indice de plasticité de 31 %;
  - pourcentage de particules de dimensions inférieures à 0,002 mm de 77 %;
  - pression de préconsolidation de 290 kPa;
- indice de compression  $C_c = 2,8$ .

L'échantillon M de la figure 13 de Tavenas et al. (1983), présentée à l'annexe F, montre la relation empirique obtenue entre la perméabilité et l'indice des vides pour les échantillons d'argile de Mascouche. Selon cette figure, la perméabilité des argiles de Mascouche est d'environ  $8 \times 10^{-7}$  cm/s. De plus, la figure 14 de Tavenas et al. (1983), présentée à l'annexe F, montre la relation empirique entre la perméabilité et l'indice

des vides des argiles de la mer Champlain. Selon cette figure, la perméabilité des argiles de la mer Champlain varie entre  $4 \times 10^{-7}$  cm/s et  $2 \times 10^{-9}$  cm/s. Toujours selon Tavenas et al. (1983), l'anisotropie de perméabilité des argiles marines naturelles est faible et la variation du coefficient de perméabilité avec l'indice des vides peut s'exprimer par la relation  $\log(k/k_0) = (e - e_0) / C_k$ , avec  $C_k = 0,5 e_0$ ,

Le tableau n° 12 présenté à la page suivante résume, pour les échantillons analysés dans le cadre de la présente étude, les valeurs du coefficient de perméabilité calculé directement par des essais de laboratoire ou indirectement par la méthode empirique mentionnée.

**Tableau 12 Coefficients de perméabilité calculés**

<i>Échantillon</i>	<i>Profondeur (m)</i>	<i>W (%)</i>	<i>Indice des vides</i>	<i>Indice de plasticité (%), Class.</i>	<i>%0,002 m</i>	<i>IP + %0,002m</i>	<i>K empirique (cm/s)</i>	<i>K<sub>lab</sub> (cm/s)</i>
S-02A	2,2 à 2,3	65	1,75	38, CH	58	96	$3 \times 10^{-8}$	$9 \times 10^{-8}$
TF-3, TS-3	1,4 à 1,5	63	1,70	42, CH	66	108	$4 \times 10^{-8}$	AEL
TF-3, TS-5	3,4 à 3,5	68	1,84	26	69	95	$1,4 \times 10^{-7}$	AEL
TF-3, TS-7	4,8 à 4,9	64	1,73	23, CH-CL	58	81	$2 \times 10^{-7}$	AEL
TF-3, TS-9	6,3 à 6,4	53	1,43	10, OL/ML	52	62	$3 \times 10^{-7}$	AEL
TF-5, TS-5	3,0 à 3,1	71	1,90	36, CH	66	101	$1 \times 10^{-7}$	AEL
TF-5, TS-9	6,0 à 6,1	54	1,46	11, CL	52	63	$3 \times 10^{-7}$	AEL
TF-6, TS-12	8,4 à 8,5	56	1,51	19, CL	54	73	$1,8 \times 10^{-7}$	$1,6 \times 10^{-8}$
S-08A	4,1 à 5,1	67	1,81	38	63	101	$7 \times 10^{-8}$	AEL

**AEL : Aucun essai de laboratoire**

En résumé, basé sur les résultats des essais de perméabilité effectués, les corrections établies et les relations empiriques mentionnées, nous établissons à environ  $4 \times 10^{-6}$  à  $4 \times 10^{-7}$  cm/s, le coefficient de perméabilité des argiles intactes présentes au site du projet.

### **5.3 Niveau de la nappe phréatique**

Le niveau des eaux souterraines a été relevé à différentes dates dans l'ensemble des piézomètres installés sur le site. Les forages ayant été réalisés en hiver, certains des piézomètres ont été bloqués par la glace qui a empêché la prise de mesures lors de certains relevés. Le tableau n° 13 qui suit présente l'ensemble des lectures obtenues.

**Tableau 13 Niveaux piézométriques**

<i>Piézomètre</i>	<i>Position</i>	<i>03-02-2005</i>	<i>03-03-2005</i>	<i>02-04-2005</i>
TF-01-05/PZ-1	Roc	5,77	-	-
TF-01-05/PZ-1A	Till	5,62	-	4,76
TF-01-05/PZ-1B	Argile	5,72	1,88	1,52
TF-02-05/PZ-1	Argile	±1,24 (gelé)	-	gelé
TF-02-05/PZ-1B	Argile	±1,17 (gelé)	-	gelé

TF-03-05/PZ-1	Argile	4,04	1,19	1,19
TF-03-05/PZ-1B	Argile	±0,46 (gelé)	-	gelé
TF-04-05/PZ-1	Argile	3,25	0,84	0,93
TF-05-05/PZ-1	Roc	2,08	-	1,70
TF-05-05/PZ-1A	Till	3,07	-	gelé
TF-05-05/PZ-1B	Argile	gelé	-	±1,14 gelé
TF-06-04/PZ-1	Roc	5,51	-	-
TF-06-04/PZ-1A	Till	5,59	-	-
TF-06-04/PZ-1B	Argile	1,52	-	1,46

- Aucun résultat

On gardera à l'esprit que ces lectures sont représentatives des conditions qui prévalaient lors de l'étude et, comme le niveau des eaux souterraines fluctue avec les saisons, il est possible qu'il soit différent lors de la réalisation des travaux d'aménagement.

Les relevés piézométriques, effectués le 3 février 2005, le 3 mars 2005 et le 2 avril 2005 à l'intérieur des différentes installations mises en place sur le futur site d'Écolosol inc., ont été utilisés pour les conditions hydrogéologiques qui prévalent dans ce secteur. Globalement, les valeurs obtenues (bien que difficiles à interpréter en raison du fait que plusieurs installations étaient gelées), indiquent que le niveau d'eau dans la couche d'argile se situe généralement à faible profondeur (moins de 2,00 mètres par rapport à la surface actuelle du terrain), alors que ceux dans le till et dans le roc se situent beaucoup plus en profondeur, soit à  $\pm 5,60$  m dans le till et dans le roc au droit des forages TF-01-05/PZ-1 et PZ-1A et TF-06-04/PZ-1 et PZ-1A, alors que ce niveau est de 2,08 m dans le roc au droit du forage TF-05-05/PZ-1 et 3,07 m dans la crépine installée dans le till au même forage (PZ-1A). À notre avis, compte tenu que ces niveaux d'eau souterraine sont profonds, nous croyons qu'ils sont fiables puisqu'ils n'étaient pas influencés par la température en surface. Dans le cas des autres installations (celles positionnées dans l'argile), nous croyons que les lectures réalisées en mars et en avril sont nettement plus fiables que celles mesurées en février 2005 puisqu'elles ont été effectuées au cours de périodes beaucoup plus clémentes.

### → **Écoulement souterrain**

À partir de l'ensemble de ces informations, des cartes piézométriques ont été tracées à l'aide du logiciel « In Road » qui lui, permet d'établir avec précision le patron d'écoulement présent dans chacune des unités lithologiques à l'étude. Ainsi, les figures n<sup>os</sup> 5 à 7 présentées à la fin de cette section permettent de visualiser le sens d'écoulement des eaux souterraines.

#### **Argile (figure n<sup>o</sup> 5)**

Les courbes piézométriques obtenues à partir des mesures de niveau d'eau effectuées en mars et en avril 2005 dressent un portrait relativement complexe du patron d'écoulement souterrain à l'intérieur du dépôt d'argile. À priori, on aurait tendance à croire que ces valeurs sont peu fiables et ce, en raison de l'influence qu'aurait pu exercer la température extérieure. Cependant, la similitude entre les élévations de niveau d'eau observées au droit des forages TF-01-05/PZ-1B, TF-03-05/PZ-1 et TF-04-05/PZ-1 en mars et en avril fait en sorte que les lectures effectuées en avril 2005 ont été considérées comme relativement fiables.

Ainsi, il apparaît que l'écoulement souterrain dans le secteur nord-ouest de la propriété (TF01-05/PZ-1B) s'effectue en direction sud/sud-est, celui dans le secteur des forages TF0405/PZ-1 et TF-05-05/PZ-1B, tous les deux localisés dans la partie est de la propriété, semble converger vers le sud et l'est du site, alors que celui présent dans le secteur du forage TF-06-04/PZ-1B semble plutôt constituer un point haut à partir duquel l'écoulement s'effectue de façon radiale.

Dans ce cas, il est fort probable que le patron d'écoulement observé dans la partie supérieure de la couche d'argile soit influencé par la présence de nombreux fossés qui drainent actuellement la propriété à l'étude. Ainsi, compte tenu de la faible profondeur de la nappe d'eau souterraine présente à l'intérieur du dépôt d'argile et de la profondeur (> 2.0 mètres) de certains de ces fossés, il est normal d'observer un tel comportement, puisque le rabattement occasionné par des fossés plus profond peut, à plus ou moins long terme, modifier localement le sens de l'écoulement des eaux souterraines.

À partir du patron d'écoulement illustré à la figure no 5, trois gradients hydrauliques (i) distincts ont été obtenus, soit  $i_h = 0,005$  dans le secteur nord-ouest,  $i_h = 0,0076$  dans la partie est et  $i_h = 0,0051$  dans la partie sud-est de la propriété. À cet égard, il est important de mentionner que les gradients retenus pour les parties est et sud-ouest sont les cas où les gradients sont les plus élevés donc les plus défavorables.

Ainsi, en considérant :

v : vitesse d'écoulement en m/an;

$k_{moy}$  : la conductivité hydraulique moyenne à partir des essais en laboratoire réalisés sur l'argile;

$i_h$  : le gradient hydraulique horizontal moyen;

$n_e$  : la porosité efficace des matériaux constituant le dépôt argileux.

La vitesse d'écoulement peut être estimée comme suit :

Étant donné la nature imperméable du dépôt d'argile, les valeurs suivantes ont été prises en compte pour le calcul de la vitesse d'écoulement, à savoir :

$$K_{\text{moy}} = 2,19 \times 10^{-9} \text{ m/s}$$
$$i_h = \text{la moyenne arithmétique entre } 0,005, 0,0076 \text{ et } 0,0051 = 0,0059 = i_{h \text{ moy}}$$

$$n_e = \pm 2 \%$$

À partir de ces valeurs moyennes on peut estimer que la vitesse d'écoulement à travers le dépôt d'argile est de l'ordre de 2 cm/année.

### **Till (figure n° 6)**

Dans le cas du till, l'écoulement souterrain est beaucoup plus simple. De fait, sur la figure n° 7 présentée à la fin de cette sous-section, on observe que l'écoulement souterrain s'effectue vers l'ouest/nord-ouest et ce, de façon très lente et très régulière. Dans ce cas, le gradient hydraulique ( $i_h$ ) mesuré est de 0,00058, soit pratiquement le même que le gradient moyen obtenu dans l'argile, ce qui, en terme hydrogéologique, s'apparente à ce qui est communément appelé une nappe immobile. Ainsi, en considérant comme hypothèse de calcul que :

$$i_h : 0,00058$$
$$k_{\text{moy}} : 6,68 \times 10^{-7} \text{ m/sec (la moyenne des lectures de février)}$$
$$n_e : \pm 2 \%$$

On obtient dans ce cas une vitesse d'écoulement ( $v$ ) de l'ordre de 60 cm/année.

### **Socle rocheux (figure n° 7)**

En ce qui concerne l'écoulement souterrain à l'intérieur du socle rocheux, le patron obtenu est pratiquement similaire à celui de la couche de till, c'est-à-dire que l'écoulement souterrain s'effectue en direction  $\pm$ ouest/nord-ouest, de façon tout aussi régulière avec un gradient hydraulique de 0,001. Cette fois, en considérant comme hypothèse de calcul que :

$i_h$  : 0,001  
 $k_{moy}$  :  $1,8 \times 10^{-5}$  m/sec (la moyenne des lectures de février)  
 $n_e$  :  $\pm 5 \%$

On obtient dans ce cas une vitesse d'écoulement ( $v$ ) de l'ordre de 11,30 m/année.

En ce qui concerne la porosité efficace du socle rocheux, la littérature considère qu'une valeur de l'ordre de 2% est représentative d'un roc ayant cette composition et sans fissure. Pour fins de calcul, une valeur moyenne de porosité de 5% a été utilisée dans le calcul de la vitesse d'écoulement dans le roc et ce, de manière à prendre en considération sa mauvaise qualité. A cet égard, il est important de mentionner encore une fois que dans le cas du socle rocheux, les vitesses d'écoulement peuvent varier sensiblement et ce, en raison du taux de fracturation qui varie d'un secteur à l'autre.

**Figure 5 Patron des écoulements – roc**

**Figure 6 Patron des écoulements – till**

**Figure 7 Patron des écoulements - argile**

## **6.0 Résultats des analyses en laboratoire**

### **6.1 Présentation des résultats**

Les résultats des différentes analyses chimiques réalisées sur les échantillons de sols prélevés entre la surface et 600 mm de profondeur au droit des forages TF-01-05 à TF-05-05 sont présentés aux tableaux n<sup>os</sup> 14 et 15 inclus à la fin de cette sous-section. Dans un premier temps, on trouve le tableau n<sup>o</sup> 14 qui se rattache plus spécifiquement aux échantillons de sols prélevés dans le but de les caractériser pour les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> et les métaux. Le tableau n<sup>o</sup> 15 présente quant à lui les résultats des analyses en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) effectuées sur ces mêmes échantillons de sols.

Pour les échantillons de sols, les zones ombragées que l'on trouve sur les tableaux n<sup>os</sup> 14 et 15 indiquent (s'il y a lieu) les différents degrés de contamination ou de dépassements de la réglementation. Dans ce cas, les concentrations mesurées ont été comparées aux différents critères génériques présentés dans la Politique de protection et de réhabilitation des terrains contaminés (A, B, C) du ministère de l'Environnement du Québec.

La valeur A correspond à ce que l'on appelle, le bruit de fond pour les éléments ou composés qui se trouvent de façon naturelle dans le milieu et à la limite de détection en ce qui concerne les produits chimiques organiques. La plage qui s'étend entre les seuils A et B caractérise les sols faiblement contaminés. Ainsi, le seuil du critère B indique un seuil à partir duquel on considère qu'il faut habituellement approfondir les analyses pour cerner la contamination. La plage comprise entre le seuil B et le seuil C (plage B-C) caractérise des sols contaminés où il peut y avoir certaines restrictions d'usage (usages agricoles, résidentiels et récréatifs). Habituellement, le sol ne fait pas l'objet de travaux de décontamination, à moins que la nappe d'eau souterraine soit contaminée et qu'elle serve à l'alimentation en eau potable.

Quant aux concentrations supérieures aux critères de l'annexe « C », elles indiquent le seuil à partir duquel il pourrait y avoir nécessité d'une action corrective, tout dépendant du contexte environnemental.

Dans le cas des eaux souterraines, les tableaux n<sup>os</sup> 16 à 19 présentent les résultats obtenus sur les échantillons d'eau souterraine prélevés à l'intérieur des trois forages réalisés au niveau du socle rocheux (TF-01-05/PZ-1, TF-05-05/PZ-1 et TF-06-04/PZ-1) et ce, pour la majorité des paramètres prévus à l'article 25 et à l'annexe II du Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (RESC).

Dans le cas de l'eau souterraine, les résultats des analyses en laboratoire n'ont été comparés à aucun critère et/ou norme, puisque leur caractérisation avait uniquement pour but d'établir les concentrations des différents paramètres analysés et ce, avant le début des opérations d'enfouissement. Par la suite, ces valeurs, qui constituent le temps zéro, serviront de référence lors du suivi ultérieur de la qualité de la nappe d'eau souterraine.

Les rapports d'analyses, scellés par le chimiste, sont inclus à l'annexe C du présent document.

**Tableau 14**    **Échantillons de sols – concentrations en hydrocarbures  
pétroliers et en métaux**

**Tableau 15 Échantillons de sols – concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques**

**Tableau 16**  
**2005)**

**Échantillon d'eau souterraine – paramètres divers (15 février**

**Tableau 17**      **Échantillon d'eau souterraine – Chlorobenzènes lourds et hydrocarbures aromatiques polycycliques (15 février 2005)**

**Tableau 18**      **Échantillons d'eau souterraine – hydrocarbures halogènes  
totaux (15 février 2005)**

**Tableau 19 Échantillons d'eau souterraine – Composés organiques volatils (COV) (15 février 2005)**

## 6.2 Discussion des résultats

### ↳ Échantillons des sols

#### **Hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub> - C<sub>50</sub> (tableau no 14)**

Parmi les cinq échantillons de sols qui ont fait l'objet d'analyses en laboratoire pour ce paramètre, aucun d'entre-eux ne présente une contamination. De fait, les résultats obtenus se situent dans tous les cas sous la limite de la méthode d'analyse qui elle est de 100 ppm.

#### **Métaux (tableau no 14)**

Tous comme les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, aucun des échantillons analysés ne présente de contamination au niveau de l'un ou l'autre des onze métaux analysés. Dans la majorité des cas, les résultats obtenus se situent sous le seuil du critère A de la grille des critères génériques du MENV. Seule la valeur obtenue pour le cobalt sur l'échantillon

TF-06-04/CF-1 indique une valeur qui se situe sur le seuil du critère A (15 ppm).

#### **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (tableau no 15)**

Dans le cas des HAP, quelques valeurs ont pu être détectées et ce, en très faible concentration. Dans le premier cas, il s'agit de l'échantillon TF-02-05/CF-1 où une concentration de 0,2 ppm a été décelée pour le chrysème. Dans tous les autres cas, les concentrations mesurées pour le phénanthrène, le fluoranthène et le pyrène sur l'échantillon TF-05-05/CF-1 se situent sous la limite de détection de la méthode d'analyse mais largement en deçà du seuil du critère A. Dans tous les autres cas, les valeurs sont en deçà de la limite de la méthode analytique.

## 6.3

## ***Interprétation des résultats de contrôle de qualité***

Au cours du processus d'analyses, les laboratoires accrédités par le MENV se doivent d'exercer un contrôle de qualité sur les échantillons qui leur sont soumis. Dans le cadre du présent mandat, des duplicata ont été réalisés pour :

- les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> sur l'échantillon TF-06-06/CF-1 # 169659 avec des résultats pratiquement similaires;
  - les hydrocarbures pétroliers C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub> sur l'échantillon TF-01-CF-1 # 173105 avec un résultat identique;
  - le chrome hexavalent sur l'échantillon PZ-1 #174465 avec un résultat identique;
  - l'azote ammoniacal sur l'échantillon PZ-5 # 174466 avec un résultat identique;
  - les chlorures sur l'échantillon PZ-5 # 174466 avec un résultat identique;
  - les formaldéhydes sur l'échantillon PZ-6 #174467 avec un résultat identique.

Globalement, on peut conclure que les valeurs obtenues des duplicata sont généralement fiables et reproductibles.

Des blancs de laboratoire ont de plus été réalisés sur les sols et sur l'eau souterraine. Ces blancs de laboratoire ont dans chacun des cas montré que les valeurs obtenues se situent à l'intérieur de l'écart acceptable et ce, lors du contrôle certifié.

## **7.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

### ***7.1 Problématique des aménagements***

L'étude géotechnique présentée ici s'inscrit dans le cadre de l'aménagement d'une cellule de confinement pour des sols dont le niveau de contamination est inférieur aux critères de l'annexe « C » du Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (c.Q-2, r.9). Dans cette cellule, on prévoit y enfouir un volume d'environ 1,4 millions de mètres cubes et ce, répartis sur une période d'un peu moins de 25 ans. Selon les informations fournies par le client, le stockage d'un tel volume atteindrait une hauteur totale d'environ 24 m. Globalement, les matériaux qui y seront enfouis seront constitués de sols contaminés dans lesquels on peut parfois retrouver des fragments de roc et/ou des blocs. La masse volumique des matériaux destinés à l'enfouissement nous a été fournie par *Tellus Experts-Conseils* et correspond à  $\pm 1800 \text{ kg/m}^3$ .

D'après l'information dont nous disposons au moment de la rédaction de ce document, les aménagements impliqueront, entre autres, l'excavation de cellules dont la profondeur pourrait atteindre jusqu'à 7 m sous la surface actuelle du terrain. Il est prévu que la première cellule de confinement soit implantée dans le coin nord-ouest du site, là où les sondages S-01-04 à S-09-04 ont été réalisés. Il est également prévu qu'une balance, et les infrastructures connexes que cela imposent, soient construites à l'entrée du site qui elle, est actuellement localisée dans le coin sud-ouest de la propriété.

Les informations issues de la campagne d'investigations géotechniques réalisées en chantier et en laboratoire permettent de constater que les excavations seront réalisées dans le dépôt d'argile silteuse possédant un degré de sensibilité élevé. L'épaisseur d'argile considérée pour l'émission des recommandations présentées dans les paragraphes qui suivent est de 12 m, basé sur les informations obtenus lors du forage TF-01-04 qui est le proche de la future cellule. Le niveau de la nappe d'eau

souterraine, mesuré dans la couche d'argile présente dans le secteur de la future cellule, se situe à une profondeur qui varie entre 1,20 m et 1,90 m sous la surface actuelle du terrain, ce qui implique que les excavations seront nécessairement réalisées dans la couche d'argile sensible et sous le niveau statique actuel de la nappe d'eau souterraine.

## **7.2 Stabilité des cellules contre le soulèvement**

Le piézomètre mis en place au niveau de la couche de till sous-jacente au dépôt d'argile indique, dans le secteur du forage TF-01-05, la présence d'un niveau piézométrique dans le dépôt argileux. Une excavation importante réalisée dans la couche d'argile pourrait donc favoriser un soulèvement du fond de l'excavation. Afin d'éviter un soulèvement du fond de l'excavation (la cellule), la pression interstitielle mesurée à la base de la couche d'argile ne doit pas excéder 70% de la contrainte totale à ce niveau (selon le Manuel canadien d'ingénierie des fondations). Une épaisseur minimale d'argile devra donc être laissée en place au fond de la cellule, afin de contrer ces forces de soulèvement. Ainsi, en considérant que le niveau de la nappe d'eau mesuré dans la couche de till se situe à environ 5,0 m de la surface actuelle du terrain, l'épaisseur minimale d'argile à conserver sous le fond de l'excavation (la cellule) a été estimée à 5,8 m.

## **7.3 Capacité portante des sols en place**

La capacité portante de l'argile en place a été évaluée en considérant une résistance au cisaillement non drainée de 70 kPa selon les résultats obtenus lors des essais scissométriques.

### **7.3.1 Capacité portante pour les bâtiments connexes**

À partir de la résistance au cisaillement non drainé, pour des fondations positionnées à une profondeur d'environ 1,6 m de la surface du sol actuelle, la capacité portante ultime brute a été estimée à 300 kPa. La capacité portante admissible nette des sols est alors estimée à 100 kPa pour des fondations conventionnelles dont la largeur est inférieure ou égale à 1,20 m.

La capacité portante admissible des sols sera mobilisable, en autant que les fondations reposent sur des sols compacts et non remaniés. Si les sols sont remaniés, ceux-ci devront être excavés avant la mise en place des fondations et remplacés par un remblai structural. Ce remblai sera constitué d'un matériau granulaire de calibre MG-20, mis en place par couches d'au plus 300 mm et compacté à plus de 95% du Proctor modifié. Étant donné la nature argileuse et silteuse des sols naturels, on portera une attention particulière au compactage lors de la mise en place du remblai structural. Pour cette raison, on évitera de surcompacter ou de transmettre trop de vibrations en profondeur. À cet effet, il sera important d'utiliser un matériau ayant une granulométrie bien étalée et une humidité se rapprochant de la teneur en eau optimale pour faciliter la compaction à un niveau adéquat.

### **7.3.2 Capacité portante en fond de cellule**

Considérant une résistance au cisaillement non drainé moyenne de 70 kPa, la capacité portante nette de l'argile a été estimée à 100 kPa tel que mentionné précédemment. Compte tenu que l'excavation atteindra une profondeur maximale de 6,2 m, la capacité portante totale brute est donc estimée à 200 kPa et ce, pour un facteur de sécurité de 3. Ainsi si le poids volumique des sols à stocker est de 18 kN/m<sup>3</sup>, tel que précisé par le client, la hauteur maximale de stockage devra être limitée à 11 m. Si cette hauteur excède 11 m, et ce sera le cas ici, des mesures devront être prises pour s'assurer que la mise en place des sols à partir de 11 m de hauteur se fera par étape afin de permettre une dissipation des pressions interstitielles et donc une

consolidation de l'argile sous-jacente. La dissipation des pressions interstitielles devra être instrumentée et suivie au moyen de piézomètres à temps de réponse rapide. La mise en place d'une couche ne pourra se faire qu'après dissipation des pressions interstitielles dues à la mise en place de la couche précédente.

## **7.4 Tassements**

Lors des travaux d'excavation de la cellule, si cette dernière reste ouverte pour une longue période, le comportement élastique du sol impliquera un soulèvement du fond de l'excavation. Par la suite, la mise en place des sols contaminés dans les cellules aura pour effet de provoquer un tassement de l'argile sous-jacente. Compte tenu des caractéristiques de l'argile déterminées au cours de cette étude, le soulèvement du fond de l'excavation a été estimé à 80 mm. Le tassement brut induit par la mise en place de 24 m de sol dans la cellule de confinement a été estimé à 520 mm; soit un tassement net de 440 mm.

Il est important de mentionner que si seulement une partie de l'excavation est remblayée cette année et que le reste de l'excavation est remblayée ultérieurement, des tassements différentiels pourraient se produire, ce qui aurait probablement pour effet de créer des zones plus basses en terme d'élévation (des points bas) où les eaux de surface pourraient éventuellement s'accumuler.

## **7.5 Stabilité des ouvrages**

### **↪ Stabilité des pentes d'excavation**

Une modélisation des pentes d'excavation a été effectuée à l'aide du logiciel Slope/W. Pour ce faire, les hypothèses suivantes ont été prises en considération, à savoir :

#### **Dépôt d'argile :**

- épaisseur : 12 m
  - poids volumique : 17 kN/m<sup>3</sup>
  - cohésion non drainée : 70 kPa
- conditions drainées :  $c' = 5$  à 7 kPa  
 $\phi = 28^\circ$
- coefficient de pressions interstitielles : 0,5
  - profondeur de l'excavation : 6,2 m (couche de 5,8 m d'argile considérée sous le fond de l'excavation)

#### **Couche de till :**

- épaisseur : 1,5 m
  - poids volumique : 18 kN/m<sup>3</sup>
  - cohésion :  $c' = 0$  kPa
- angle de frottement :  $\phi = 36^\circ$
- coefficient de pressions interstitielles : 0,5

La stabilité des pentes après excavation (soit à court terme) a été évaluée en conditions non drainées, avec ou sans la présence d'un séisme. Par la suite, la stabilité à long terme a également été estimée, en conditions drainées. Dans les cas où un séisme est intégré à l'équation, une accélération sismique horizontale de 0,15 g correspondant à la région de Mascouche a été considérée.

De plus, les pentes des talus d'excavation ont été considérées à 3H : 1V pour l'ensemble des scénarios envisagés.

Le tableau n° 19 résume l'ensemble des facteurs de sécurité obtenus par la méthode de Bishop pour chacun des scénarios étudiés.

**Tableau 20 Facteurs de sécurité – Pente de 3H : 1V**

<b>Scénario</b>	<b>Séisme</b>	<b>C' argile (kPa)</b>	<b>Facteur de sécurité obtenu</b>	<b>Facteur de sécurité minimal requis</b>	<b>Conforme</b>
Stabilité à court terme	Non	N/a	4,59	1,3	OUI
	N/a	2,77	1,15	OUI	
Stabilité à long terme	Non	5	1,27	1,5	NON
		1,5	OUI		

On constate qu'à l'état statique, les facteurs de sécurité sont généralement atteints. Par contre, sous l'effet de sollicitations dynamiques telles un séisme, une pente de 3H :1V n'apparaît pas sécuritaire dans le cas d'une stabilité à long terme. Ainsi, basé sur les excavations expérimentales réalisées dans les argiles de Saint-Hilaire, nous recommandons que la pente soit adoucie à 4,0 H : 1V.

↪ **Stabilité de la masse des sols enfouis**

Lors de l'utilisation des cellules de confinement, la stabilité du dépôt de matériaux à stocker doit être assurée. L'ingénieur de projet devra procéder à une étude de stabilité des pentes de matériaux stockés en conditions dynamiques. À première vue, nous sommes d'avis que des pentes égales ou plus douces que 3,5H :1V devront être maintenues au sein de la masse des sols enfouis pour la stabilité de ces derniers.

**7.6 Réalisation des excavations**

L'excavation à réaliser sera portée sous le niveau de la nappe d'eau souterraine. Compte tenu de la nature argileuse des matériaux excavés, les venues d'eau devraient être faibles pendant la construction.

Durant les travaux d'excavation, des précautions devront toutefois être prises en considération, afin de minimiser les infiltrations d'eau et de ne pas remanier le fond des excavations. Les matériaux argileux et silteux sont en effet très sensibles au remaniement en présence d'eau et un contrôle des eaux de ruissellement sera requis, afin de maintenir les fonds de fouille dans des conditions acceptables pendant les travaux. Ainsi, il est recommandé de prévoir la mise en place d'un fossé de drainage périphérique afin de contrôler les eaux de surface.

De plus, afin d'éviter de déstabiliser les talus d'excavation, on évitera de circuler avec de la machinerie lourde en crête des talus et/ou d'y déposer des matériaux d'excavation ou toute autre surcharge. À cet effet, un dégagement équivalent au moins à la profondeur des excavations à réaliser devra être maintenu en tout temps en périphérie de la zone d'excavation.

**8.0 PERSONNEL**

Les travaux en chantier ont été réalisés par Messieurs Jean-Luc Gravel et Mario Bédard, foreurs, et Nelson Da Rosa, ingénieur. Madame Stéphanie Perret, ingénieure, et Monsieur Gaétant Lacasse, géologue, ont rédigé le présent rapport portant le no F027894-007.

Les recommandations contenues dans ce rapport ne sont applicables qu'en regard des hypothèses et des données utilisées au cours de l'étude et sur les limites et techniques d'exploration. Nous suggérons donc aux concepteurs d'établir un contact permanent avec le personnel technique ayant été chargé de l'exécution de l'étude géotechnique durant le projet. Ces derniers pourront préciser la portée de leurs recommandations et en formuler de nouvelles, si requis, pour la conception finale des aménagements.

**Annexe A**

**Plan de localisation des sondages**Annexe B

**Note explicative**  
**Rapports de sondages**  
**Annexe C**

**Rapports d'analyses chimiques (eau et sol)**  
**Annexe D**

**Rapports d'analyses géotechniques**Annexe E

**Rapports d'analyses SNC Lavalin environnement inc.**  
**(mai 2005)**  
**Annexe F**

**Figures de référence pour l'évaluation des perméabilités**