

*Rapport final*

## Projet d'agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire de Saint-Thomas

Étude géotechnique, hydrogéologique et environnementale  
*Volume 1 : Rapport*



*Août 2003*

*Rapport final - 05-01241*

---

## **Projet d'agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire de Saint-Thomas**

**Étude géotechnique, hydrogéologique et environnementale**

***Volume 1 : Rapport***

*Août 2003*

CE RAPPORT A ÉTÉ PRÉPARÉ PAR LE PERSONNEL DE  
TECSULT INC. AVEC LA COLLABORATION PARTICULIÈRE  
DES PROFESSIONNELS SUIVANTS :

RÉDACTION :



Claude Robitaille, ing., M. Ing.



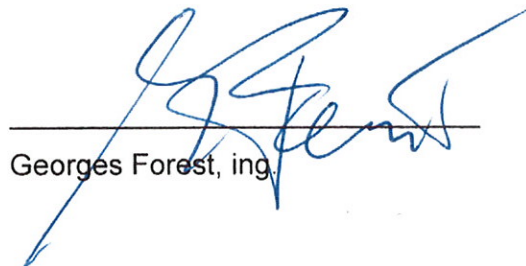
Luc Demers, ing., M. Sc. A.



RÉVISION ET APPROBATION:



Ronald Anderson, ing., M. Sc.



Georges Forest, ing.



**VOLUME 1**

1	INTRODUCTION .....	1-1
1.1	Mandat.....	1-1
1.2	Objet du rapport.....	1-1
2	CARACTÉRISTIQUES DU SITE.....	2-1
2.1	Localisation.....	2-1
2.2	Installations et infrastructures existantes.....	2-1
2.3	Topographie.....	2-3
2.4	Végétation.....	2-3
2.5	Drainage de surface.....	2-3
3	CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE .....	3-1
3.1	Géologie régionale.....	3-1
3.2	Géologie du site.....	3-4
	3.2.1 Socle rocheux.....	3-4
	3.2.2 Dépôts meubles.....	3-4
3.3	Hydrogéologie régionale .....	3-5
4	TRAVAUX DE RECONNAISSANCE.....	4-1
4.1	Relevés topographiques et cartographiques .....	4-1
4.2	Travaux de reconnaissance géotechniques, hydrogéologiques et environnementaux .....	4-1
	4.2.1 Forages et essais conventionnels, automne 2001 .....	4-1
	4.2.2 Sondages au piézocône et essais de perméabilité au perméamètre autoforeur, automne 2001 .....	4-4
	4.2.3 Forages avec échantillonnage en continu, printemps 2002 .....	4-6
	4.2.4 Sondages au piézocône, printemps 2002 .....	4-6
	4.2.5 Forages environnementaux, printemps 2002.....	4-7
	4.2.5.1 Travaux de forage et d'échantillonnage des sols.....	4-8
	4.2.5.2 Installation de puits et échantillonnage des eaux souterraines .....	4-9
	4.2.6 Forages profonds, printemps 2002 .....	4-11
	4.2.7 Levés de sismique réflexion, printemps 2002 .....	4-12
4.3	Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines .....	4-13
5	CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE .....	5-1
5.1	Stratigraphie .....	5-1
5.2	Caractérisation des dépôts deltaïques .....	5-39
5.3	Caractérisation des dépôts de transition .....	5-43
5.4	Caractérisation des dépôts marins.....	5-46
5.5	Caractérisation des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires .....	5-51
5.6	Nappes gazeuses .....	5-52

	page
6	CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE ..... 6-1
6.1	Unités hydrogéologiques..... 6-1
6.2	Propriétés hydrauliques ..... 6-2
6.2.1	Aquifère supérieur ..... 6-2
6.2.2	Aquitard..... 6-5
6.2.3	Aquifère captif ..... 6-7
6.3	Régime d'écoulement ..... 6-8
6.3.1	Nappe phréatique ..... 6-8
6.3.2	Nappe captive ..... 6-10
6.3.3	Gradients verticaux..... 6-12
7	CARACTÉRISATION ENVIRONNEMENTALE ..... 7-1
7.1	Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines ..... 7-1
7.2	Caractérisation environnementale des sols au droit de la cellule d'enfouissement C-3 ..... 7-1
7.3	Caractérisation environnementale des eaux souterraines au droit de la cellule d'enfouissement C-3 ..... 7-4
8	RÉFÉRENCES ..... 8-1

## **VOLUME 2**

ANNEXE A Rapports de forage et des essais *in situ* et en laboratoire (sites F-4 à F-16)

## **VOLUME 3**

ANNEXE B Rapports de forage et des essais *in situ* et en laboratoire (sites E à TF-4-91)

ANNEXE C Rapport sur les essais au piézocône, au perméamètre autoforeur et sur les levés de sismique réflexion

---

	page
Tableau 5.1	Résumé des propriétés géotechniques des sols..... 5-2
Tableau 5.2	Résultats des essais d'identification Dépôts deltaïques ..... 5-39
Tableau 5.3	Résultats des essais d'identification Zone de transition ..... 5-44
Tableau 5.4	Résultats des essais de consolidation Couche de transition ..... 5-46
Tableau 5.5	Résultats des essais d'identification Argile silteuse ..... 5-48
Tableau 5.6	Résultats des essais de consolidation Argile silteuse ..... 5-50
Tableau 6.1	Tableau récapitulatif des conductivités hydrauliques mesurées..... 6-3
Tableau 6.2	Niveaux d'eau dans les piézomètres ..... 6-9
Tableau 7.1	Résultats analytiques de l'eau souterraine sur l'ensemble du site ..... 7-2
Tableau 7.2	Résultats analytiques de la qualité des sols sous la cellule C-3 (mg/kg)..... 7-3
Tableau 7.3	Résultats analytiques de la qualité de l'eau souterraine sous la cellule C-3 (mg/L)..... 7-5

---

	page
Figure 2.1 Localisation et état des lieux – Site du projet d'agrandissement à l'intérieur d'un écran périphérique d'étanchéité .....	2-2
Figure 3.1 Géologie du rocher .....	3-2
Figure 3.2 Géologie des dépôts meubles .....	3-3
Figure 4.1 Localisation des sondages .....	4-2
Figure 5.1-A Profil géotechnique F-4 .....	5-12
Figure 5.1-B Profil géotechnique F-5 .....	5-16
Figure 5.1-C Profil géotechnique F-6 .....	5-20
Figure 5.1-D Profil géotechnique F-7 .....	5-24
Figure 5.1-E Profil géotechnique E .....	5-28
Figure 5.1-F Profil géotechnique F-1 .....	5-30
Figure 5.1-G Profil géotechnique F-2 .....	5-33
Figure 5.1-H Profil géotechnique F-3 .....	5-36
Figure 5.2 Coupe - axe de l'écran périphérique d'étanchéité .....	5-40
Figure 5.3 Coupe est-ouest .....	5-41
Figure 5.4 Coupe nord-sud .....	5-42
Figure 5.5 Niveau supérieur de la couche d'argile .....	5-47
Figure 5.6 Niveau inférieur de la couche d'argile .....	5-49
Figure 6.1 Piézométrie de surface .....	6-11
Figure 6.2 Piézométrie du till .....	6-13

## **1 INTRODUCTION**

### **1.1 Mandat**

Dépôt Rive-Nord Inc. (DRN), exploite un lieu d'enfouissement sanitaire (L.E.S.), dénommé L.E.S. de Saint-Thomas, à Saint-Thomas dans la région de Lanaudière. Le L.E.S. est exploité depuis près de 25 ans et est composé de quatre (4) cellules complétées (cellules C-1, C-2A, C-2B et C-2C) et d'une (1) cellule en exploitation (cellule C-3). Dépôt Rive-Nord Inc. souhaite procéder à l'agrandissement du site actuel et cet agrandissement diffèrera de la façon dont le site a été exploité jusqu'à maintenant. En effet, DRN vise une exploitation «en excavation» et «en surélévation» du site alors qu'elle a été essentiellement «en surélévation» jusqu'à maintenant. Ce mode d'exploitation est justifié par la présence, en profondeur, d'une couche d'argile ayant d'excellentes propriétés d'imperméabilisation. La future cellule d'enfouissement nécessitera toutefois un écran périphérique d'étanchéité sur son périmètre compte tenu de la perméabilité relativement élevée du dépôt granulaire sus-jacent à l'argile.

Les services de TECSULT INC. ont donc été retenus par DRN pour, dans un premier temps, effectuer une étude de faisabilité technique visant la sélection du type d'écran vertical périphérique puis, dans un deuxième temps, déterminer les conditions géotechniques, hydrogéologiques et environnementales du site de l'agrandissement nécessaires à la conception de l'écran et de la cellule du projet d'agrandissement du L.E.S. de Saint-Thomas.

### **1.2 Objet du rapport**

Le rapport d'étude géotechnique, hydrogéologique et environnementale regroupe toutes les informations factuelles ainsi que l'interprétation des travaux de reconnaissance géologiques, géotechniques, hydrogéologiques et géophysiques réalisés au site de l'agrandissement du L.E.S. de Saint-Thomas. Ce rapport couvre tous les travaux d'investigation de TECSULT (automne 2001 à été 2002) et intègre aussi les résultats pertinents issus des travaux d'investigation antérieurs réalisés par Les Consultants HGE (HGE) dans le cadre de trois mandats différents qui ont mené aux rapports suivants :



- «Rapport hydrogéologique, Dépôt Rive Nord, Berthierville» préparé par Les Consultants HGE Inc. en août 2000;
- «Étude géotechnique préliminaire, Dépôt Rive Nord, Berthier» préparée par Les Consultants HGE Inc. en décembre 2000;
- «Étude de caractérisation du milieu récepteur, Agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire de Saint-Thomas» préparée par Les Consultants HGE Inc. en février 2002.

Ce dernier mandat a aussi fait l'objet de travaux d'investigation exhaustifs visant la caractérisation précise des propriétés de l'aquifère supérieur.

De plus, les données provenant d'autres sondages effectués antérieurement dans la zone à l'étude (réalisés par Golder ou Monteval pour le compte de SNC) ont aussi été intégrées dans ce rapport. Les résultats d'essais *in situ* et en laboratoire de même que les rapports de sondage pertinents disponibles relativement aux sondages antérieurs sont inclus à l'annexe B.

Dans tous les cas, des essais *in situ* et en laboratoire ont été complétés soit dans les forages réalisés soit sur des échantillons récupérés de ces forages. Plusieurs piézomètres ont été installés à différents niveaux dans les forages, suivant différents objectifs du mandat de caractérisation des conditions d'eau souterraine dans la zone prévue pour l'agrandissement du L.E.S.

La caractérisation géotechnique, hydrogéologique et environnementale de ces dépôts en rapport avec le projet de construction d'un écran périphérique d'étanchéité et d'excavation d'une cellule profonde pour l'enfouissement de matières résiduelles, vise principalement à établir :

- la profondeur de la couche imperméable ( $<10^{-6}$  cm/s) qui constitue le niveau à atteindre par l'écran d'étanchéité périphérique;
- les conditions hydrogéologiques, y compris les pressions d'eau, dans les couches de sable et de silt, la transition silt-argile, la couche d'argile et dans la couche perméable sous-jacente à l'argile afin de quantifier les régimes d'écoulement et les problèmes éventuels de soulèvement de fond;

- les caractéristiques mécaniques des horizons de mort-terrain pour permettre la conception sécuritaire de l'excavation à l'intérieur de l'enceinte formée par l'écran périphérique d'étanchéité;
- la qualité chimique des sols et des eaux souterraines à l'endroit de la cellule d'enfouissement C-3 qui devront être gérés lors des travaux d'aménagement de la nouvelle cellule.

Le présent rapport, assemblé en trois (3) volumes, est divisé en sept (7) chapitres dont le premier qui introduit le cadre et l'objet de l'étude. Le chapitre 2 présente les caractéristiques du site de l'agrandissement alors que le contexte géologique et hydrogéologique général du site fait l'objet du chapitre 3. La méthodologie des travaux d'investigation réalisés par TECSULT est décrite au chapitre 4. Le chapitre 5, 6 et 7 sont respectivement dédiés à la caractérisation géotechnique, hydrogéologique et environnementale du site de l'agrandissement. Le volume 1 inclut les chapitres 1 à 7 de l'étude alors que les annexes contenant toutes les données de terrain et de laboratoire, les rapports de sondages au piézocône et au perméamètre autoforeur ainsi que le rapport sur les levés de sismique réflexion sont fournies dans les volumes 2 et 3.

## **2 CARACTÉRISTIQUES DU SITE**

### **2.1 Localisation**

Le site de l'agrandissement projeté (aire délimitée par le futur écran d'étanchéité) est situé sur le lot 389 ainsi que sur une partie des lots 376, 388, 390 et 391 à la limite nord du cadastre de la paroisse Saint-Thomas au nord du rang Saint-Joseph. La localisation et l'état du site de l'agrandissement sont montrés à la figure 2.1.

### **2.2 Installations et infrastructures existantes**

L'accès du site, dont l'entrée est contrôlée par un poste d'accueil (poste de pesée et bâtiments d'exploitation), se fait à partir du rang Saint-Joseph qui rejoint, entre autres, le rang Bardochette, situé le long du côté nord-ouest de l'autoroute 40.

Deux lignes électriques, une de 120 kV et une autre de 735 kV, ceinturent respectivement les côtés sud-est et nord-est du site de l'agrandissement. Un chemin de fer est également situé le long du côté sud-est du site de l'agrandissement, parallèlement à la ligne de 120 kV.

La partie est du site d'agrandissement est occupée par la cellule C-3 actuellement en exploitation. La crête de la cellule C-3, déjà remplie dans sa partie sud, atteint le niveau 34 m. La partie non remplie de la cellule C-3 (partie nord) est au niveau 21 m. Cette partie a déjà été excavée jusqu'à environ 1 m au-dessus de la nappe phréatique.

Les parties centrale et nord du site de l'agrandissement sont partiellement exploitées comme sablière. Le centre de compostage est présent au nord-ouest du site de l'agrandissement. Le reste du site est soit boisé, soit en friche.

### **2.3 Topographie**

Le niveau du terrain naturel des secteurs non aménagés ou non exploités du site de l'agrandissement varie de 23 à 25 m. Le site de l'agrandissement est donc généralement plat, exception faite de la zone haute de la partie remplie de la cellule C-3 ainsi que des zones basses des sablières actives et passées.

### **2.4 Végétation**

La superficie du site de l'agrandissement comporte environ 30 % de surface boisée, localisée essentiellement dans le secteur sud-ouest. Celui-ci est caractérisé par la présence d'une végétation mixte de feuillus et de conifères. Une végétation de type herbacé est également présente à la surface des sections comblées de la cellule C-3. Le reste du site de l'agrandissement est plutôt dénudé de végétation.

### **2.5 Drainage de surface**

L'ensemble du site de l'agrandissement est drainé essentiellement par un réseau de fossés situés le long des routes périphériques et du chemin de fer. Aucun fossé de drainage n'est situé dans la partie centrale du site de l'agrandissement. Le site est caractérisé par un haut taux d'infiltration des eaux de précipitation.

### 3 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

#### 3.1 Géologie régionale<sup>1</sup>

Le site à l'étude est situé au cœur des Basses-Terres du Saint-Laurent, région caractérisée par un relief de terrasses sédimentaires. La limite physiographique des Basses-Terres du Saint-Laurent coïncide approximativement avec le contact géologique entre le rocher d'âge paléozoïque (plus récent), au sud, et les roches précambriennes (plus anciennes), au nord. Dans la région à l'étude, le socle rocheux est constitué essentiellement de shale du groupe d'Utica et de calcaire du groupe de Trenton (formation de Tétreauville). La géologie du roc de la région est présentée à la figure 3.1.

Les différentes formations rocheuses supportent une épaisseur variable de matériaux non consolidés correspondant aux phases glaciaires, marines et deltaïques qui ont affecté la région. La puissance de ces dépôts peut être supérieure à 90 m (300') près du fleuve. À cet endroit, l'argile est couverte d'alluvions sableuses.

À la base des dépôts meubles, un till correspondant à l'épisode glaciaire recouvre le socle rocheux par endroit. Selon leur origine et leur position, les tills présentent une grande variété de matériaux. Des dépôts laissés par les eaux de fonte lors du retrait des glaciers, consistant en des dépôts fluvio-glaciaires, sont également présents sur une faible épaisseur, à certains endroits sous la couche de dépôts marins. La figure 3.2 présente la géologie des dépôts meubles de la région.

---

<sup>1</sup> La description géologique est tirée du Rapport Géologique 155 «Région de Sorel» par Clark et Globensky, Québec, 1976, du Levé Hydrogéologique H.G.P.-8 «Saint-Cuthbert Comté de Berthier, Joliette et de Maskinongé» par Claude Grenier, Québec, 1973, ainsi que du Rapport Géologique DP140 «Géologie des dépôts meubles de la région de Joliette - Sorel» par Pierre Lasalle, Québec, 1973.

Les dépôts glaciaires et le substratum rocheux de la région sont également reconnus pour renfermer des quantités de gaz naturel plus ou moins importantes. Le gaz naturel est observé en plusieurs endroits répartis sur l'ensemble de la région. Une nappe gazière située sous le lac Saint-Pierre est d'ailleurs présentement exploitée à Pointe-du-Lac.

## **3.2 Géologie du site**

### **3.2.1 Socle rocheux**

Les rapports géologiques indiquent que le socle rocheux au droit du site est principalement constitué de shale (schiste argileux) du groupe d'Utica. La puissance de cette formation pourrait atteindre 150 m (490'). Seule l'extrémité ouest du site serait constituée de calcaire du groupe de Trenton dont l'épaisseur est estimée à environ 145 m (475').

Les forages réalisés sur le site par le passé n'ont toutefois pas permis de confirmer cette situation. En fait, la seule identification du rocher réalisée sur le site (Golder, 1994) indique que même dans la portion est, celui-ci serait fracturé et de nature plutôt calcaire que schisteuse. Cette caractérisation, réalisée sur la base d'un seul forage, ne permet cependant pas de conclure avec exactitude sur la nature de la roche en place.

### **3.2.2 Dépôts meubles**

Les dépôts meubles présents sur le site sur une épaisseur variant de 70 à 94 m, sont constitués principalement de till, d'argile marine et d'alluvions deltaïques. Les nombreux forages réalisés sur le site ont permis de confirmer la présence de ces matériaux.

Le till, dont l'épaisseur observée varie entre 3 m et 7 m, repose directement sur le socle rocheux. Ces dépôts glaciaires très denses, sont constitués de sable silteux avec gravier, cailloux et blocs. Certaines observations et analyses tirées des forages réalisés sur le site indiquent qu'à certains endroits, le till pourrait être recouvert d'une couche moins compacte de matériaux fluvio-glaciaires constitués essentiellement de sable avec un peu de particules fines

(< 0,08 mm) et un peu de gravier. Les données disponibles ne permettent cependant pas d'établir l'épaisseur de ces dépôts dont l'étendue n'apparaît pas uniforme. La présence de gaz naturel et d'eau sous pression a été observée à certains endroits dans cette unité.

L'argile silteuse est rencontrée sur l'ensemble du site à des profondeurs variant entre 28 m et 38 m sous la surface du terrain. Celle-ci, issue de la transgression marine de la mer de Champlain, se présente comme un matériau homogène, plastique de consistance raide à très raide. L'épaisseur de cette couche est de l'ordre de 40 m.

Une couche de transition composée de silt argileux, de silt et de sable silteux recouvre l'argile silteuse. Cette transition résulte du passage graduel d'un environnement marin à un environnement d'eau douce, caractérisé par l'instauration progressive de conditions estuariennes. L'épaisseur de cette couche varie entre 6 m et 15 m sur l'ensemble du site.

La séquence géologique des dépôts meubles est complétée en surface par des dépôts deltaïques constitués essentiellement de sable de hautes terrasses. Il s'agit de sables moyens stratifiés dont l'épaisseur est d'environ 17 m à 29 m.

### **3.3 Hydrogéologie régionale<sup>2</sup>**

Le site à l'étude est situé sur la rive gauche de la vallée du Saint-Laurent à cheval sur les bassins versant de la rivière La Chaloupe, au nord, et de la rivière Saint-Joseph, au sud. Ces deux rivières drainent les Basses-Terres de la région vers le nord-est, avant de bifurquer vers l'est pour se jeter dans le fleuve.

---

<sup>2</sup> Le contexte hydrogéologique régional a été établi à partir de l'étude hydrogéologique «Rive nord du Saint-Laurent» par Renald McCormack, Ministère de l'Environnement, Québec, 1983, et du Levé Hydrogéologique H.G.P.-8 «Saint-Cuthbert, comté de Berthier, Joliette et de Maskinongé» par Claude Grenier, ministère des Richesses naturelles, Québec, 1973.

Le climat de cette région est classé comme continental humide à été doux. La précipitation annuelle est d'environ 940 mm dont 200 mm tombent sous forme de neige entre les mois de novembre et avril. Les températures moyennes mensuelles oscillent entre -10 °C et 19 °C, alors que le taux d'évapotranspiration pour la région est de l'ordre de 45 %.

La région est caractérisée par la présence de quatre unités hydrogéologiques distinctes :

- les dépôts alluvionnaires en surface;
- les dépôts marins argilo-silteux;
- les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires;
- le socle rocheux.

Parmi les dépôts meubles, seuls les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires ainsi que les dépôts alluvionnaires constitués de matériaux granulaires, présentent des propriétés hydrauliques suffisamment intéressantes pour constituer de bons aquifères.

Les dépôts marins argilo-silteux possèdent, quant à eux, des conductivités hydrauliques beaucoup trop faibles pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Ces dépôts peuvent donc être considérés comme étant une unité très peu perméable (aquitard).

Dans le cas du socle rocheux, les propriétés hydrauliques observées dans la région diffèrent grandement selon les formations géologiques rencontrées. Les calcaires du groupe de Trenton, présent au nord-ouest du site à l'étude, constituent de très bons aquifères. Ceux-ci semblent fournir aux puits tubulaires qui les pénètrent, des débits de l'ordre de 0,4 l/sec à 1,13 l/sec (5 à 15 gpm). Dans la partie sud-est, les shales du groupe d'Utica, dont les constituants argileux sont en général peu propices à l'écoulement de l'eau, forment de pauvres aquifères. C'est au droit de cette dernière formation qu'est située la majeure partie du site à l'étude.



La consultation de la Banque de Données Hydrogéologiques (BDH)<sup>3</sup> a permis d'établir le profil piézométrique régional des eaux souterraines. Ainsi, on constate que dans la région, le niveau général des eaux souterraines dans les dépôts meubles se situe entre 0,61 m et 2,90 m de profondeur. La direction générale d'écoulement semble être orientée vers le fleuve. Cependant, le faible nombre de données piézométriques disponibles associé au manque d'information relative à l'obtention de ces données, ne permet pas de vérifier l'influence des cours d'eau secondaires sur le régime d'écoulement régional des eaux souterraines.

Dans le rocher, la majorité des données piézométriques disponibles concerne la formation de calcaire du Trenton, beaucoup plus propice à l'exploitation de l'eau souterraine que le shale. Ces données indiquent que le niveau des eaux souterraines dans le rocher varie entre 3 m et 7 m de profondeur. Le faible nombre de données piézométriques disponibles ainsi que l'hétérogénéité des propriétés hydrauliques offertes par les différentes formations rocheuses en présence, ne nous permet cependant pas d'établir avec certitude la direction d'écoulement des eaux souterraines dans cette formation.

---

<sup>3</sup> Bilodeau, C., 1985 «Annuaire de puits et forages», Tome 2, Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement.

## **4 TRAVAUX DE RECONNAISSANCE**

### **4.1 Relevés topographiques et cartographiques**

DRN a fourni la topographie du site à une échelle 1 : 4 000 avec courbes de niveau à équidistance de 1,0 m. Cette topographie est issue d'une restitution photogrammétrique de photo aérienne datant du 3 décembre 2000 dont l'échelle approximative est de 1 : 8 000.

Le relevé de la position et des niveaux des forages et piézomètres sur le site de l'agrandissement a également été réalisé par le personnel de DRN. Toutes les coordonnées et niveaux utiles sont fournis sur les rapports de forage et profils géotechniques à l'annexe A.

### **4.2 Travaux de reconnaissance géotechniques, hydrogéologiques et environnementaux**

#### **4.2.1 Forages et essais conventionnels, automne 2001**

Le premier volet de la campagne d'investigation géotechnique, hydrogéologique et environnementale initiale, réalisé par TECSULT du 9 octobre 2001 au 21 décembre 2001, a consisté en la réalisation de forages et essais « conventionnels » dans les dépôts meubles. Les travaux de forages ont été réalisés par la compagnie Gestion Guy Chapedelaine sous la supervision d'un représentant de TECSULT.

Au total, neuf (9) forages géotechniques conventionnels répartis en quatre (4) sites d'investigation (F-4 à F-7) ont été complétés dans le cadre de ce volet. La localisation de ces forages est présentée à la figure 4.1.

La réalisation de ces forages a été effectuée au moyen d'une foreuse de type Acker et de tubages de calibre PW, HW, NW et BW dont l'avancement a été permis soit par battage soit par rotation et lavage à la boue de bentonite ou de polymère. À chacun des sites d'investigation, un forage a été complété dans les dépôts marins ou à proximité de ceux-ci et un autre devait atteindre les dépôts d'origine glaciaire. Des échantillons remaniés ont été prélevés à intervalles de 3 m dans les sols granulaires au moyen de cuillères fendues qui ont également permis la réalisation simultanée d'essais de pénétration standard (SPT).

Dans la couche d'argile, des échantillons non remaniés ont été prélevés à intervalles de 1,5 m dans la partie supérieure et de 5 m dans la partie plus profonde, au moyen de tubes à parois minces attachés au système de piston Osterberg modifié. Des essais scissométriques de type Nilcon ont également été réalisés à plusieurs niveaux de l'argile dans les forages F-4 et F-6-B. Dans le forage F-4, les matériaux d'origine glaciaires ont été carottés sur une longueur de 1,30 m au moyen d'un carottier de calibre NQ. Les échantillons de sol ainsi prélevés ont été soumis à un programme complet d'essais en laboratoire. Il est à noter qu'aucun des forages réalisés dans le cadre de la campagne d'investigation n'a atteint le roc.

Des essais de perméabilité à niveaux variables ont également été réalisés à plusieurs niveaux en cours d'avancement des forages. Trois (3) essais en bout de tubage et cinq (5) essais de type Lefranc ont respectivement été effectués dans les forages F-4 et F-7 selon les normes CAN/BNQ2510-130 (1988) et CAN/BNQ2501-135 (1988).

Huit (8) des neuf (9) forages réalisés (2 par sites d'investigation) ont été munis de piézomètres de type Casagrande de 2 cm de diamètre, installés dans le till, dans l'argile et/ou dans la transition. Dans le sable en surface, ce sont des crépines de 2 cm de diamètre qui ont été installées. À chacun des quatre (4) sites d'investigation, quatre (4) piézomètres ont donc été installés à différents niveaux.

Seul le forage F-6-A n'a pas été équipé de piézomètre. En fait, celui-ci a dû être cimenté après que des pressions de gaz naturel (section 5.6) aient été rencontrées et mesurées dans les dépôts d'origine glaciaire situés sous le dépôt d'argile marine. Un forage additionnel (F-6-B) a

donc été réalisé à ce site d'investigation, de façon à installer un piézomètre profondément dans la couche d'argile.

La localisation exacte des échantillons prélevés, leur description visuelle de terrain, les remarques sur l'avancement dans le sol ainsi que les détails de construction des piézomètres dans les différents forages sont indiqués sur les rapports de forage présentés à l'annexe A. Les résultats d'essais *in situ* et en laboratoire relatifs à ces forages sont également inclus à l'annexe A.

#### 4.2.2 Sondages au piézocône et essais de perméabilité au perméamètre autoforeur, automne 2001

Le deuxième volet de la campagne d'investigation géotechnique, hydrogéologique et environnementale initiale s'est déroulé du 30 novembre au 9 décembre 2001. Celui-ci a consisté à réaliser deux sondages au piézocône et deux séries d'essais de perméabilité au perméamètre autoforeur aux sites d'investigation F-5 et F-7 (figure 4.1).

Les travaux d'investigation ont été réalisés par la firme TECHMAT sous la supervision d'un représentant de TECSULT. Ces travaux ont nécessité la réalisation de pré-forages faits à la tarière évidée de 100 mm de diamètre pour les 12 premiers mètres et par battages de tubage de calibre HW et NW par la suite. Une foreuse de type Diedrich D-50 montée sur chenillard a été utilisée tout au long des travaux.

Les sondages au piézocône ont été réalisés au moyen d'une sonde de type Hogentogler d'une capacité de 10 tonnes, foncée dans le sol à l'aide de la foreuse.

Des mesures de résistance en pointe ( $q_c$ ), de pression interstitielle ( $\mu$ ), de frottement ( $f_s$ ), d'inclinaison ( $i$ ) et de température ( $T$ ) ont été réalisées à intervalle de 1 cm. La vitesse d'enfoncement de la sonde a été maintenue à 60 cm/min. À l'exception de la vitesse d'enfoncement, l'essai au piézocône a été effectué conformément à la norme émise par le

Comité International sur les essais de pénétration ISSMEE (1989) et au volume «Cone Penetration Testing» de *Lunne et al.* (1997).

À la zone d'investigation F-7, le sondage au piézocône CPTU-07 a été réalisé entre 19,5 m et 22,5 m de profondeur et entre 26,60 m et 42,20 m de profondeur. À la zone d'investigation F-5, le sondage au piézocône CPTU-05 a été réalisé de 24,4 m à 42,4 m de profondeur. Des essais de dissipation des pressions interstitielles nécessitant l'interruption de l'enfoncement de la sonde, ont également été effectués à quelques niveaux dans le sondage CPTU-05. Au total, quatre (4) essais de dissipation d'une durée variant entre 15 et 90 minutes ont été réalisés : à 27,01 m, 30,21 m, 32,40 m et 33,42 m de profondeur.

Les essais de perméabilité au perméamètre autoforeur ont été réalisés au moyen d'un appareil de type PERMAC développé par la firme Roctest Ltée. Il s'agit d'une sonde perméamétrique de 2 250 mm de long et de 73 mm de diamètre extérieur, munie d'une cellule macroporeuse de 300 mm de long dans sa partie médiane. Le fonçage de l'appareil jusqu'aux profondeurs d'essais désirées a été effectué par effet combiné de la poussée hydraulique de la foreuse et de la rotation d'un outil désagrégateur situé à l'intérieur de l'extrémité inférieure de l'appareil.

Un système de tubulures et de membrane interne a permis l'enfoncement de l'appareil et le lavage des résidus laissés par la trousse coupante, sans colmatage de la cellule macroporeuse.

Les essais de perméabilité d'une durée variant entre 30 et 120 minutes selon les types de sols rencontrés, ont été réalisés à charge constante au moyen de bouteilles de Mariotte reliées à la cellule macroporeuse.

Il est à noter que des délais d'environ une heure ont été observés avant le début de chaque essai de façon à saturer complètement le système et à permettre une dissipation des pressions interstitielles générées dans le sol par le fonçage de l'appareil.

À la zone d'investigation F-7, cinq (5) essais de perméabilité au PERMAC (PER-07) ont été réalisés à plusieurs niveaux : à 32,0 m, 33 m, 36 m, 37 m et 38 m de profondeur.

À la zone d'investigation F-5, un seul essai au PERMAC (PER-05), à 30,2 m de profondeur, a pu être complété.

Tous les résultats des essais au perméamètre autoforeur ont été interprétés par Techmat conformément aux articles de Tavenas *et al.* (1983, 1986 et 1990) et de Leroueil, S. (1988).

Les détails concernant la réalisation et l'interprétation des sondages au piézocône et des essais au perméamètre autoforeur sont présentés dans le rapport préparé par TECHMAT pour TECSULT (TECHMAT, février 2002) inclus à l'annexe C.

#### 4.2.3 Forages avec échantillonnage en continu, printemps 2002

De façon à préciser la distribution granulométrique des sols aux extrémités nord et sud du site de l'agrandissement, des travaux supplémentaires d'échantillonnage ont été réalisés du 11 au 14 juin 2002. Ces travaux, effectués par la firme L.B.M. sous la supervision de TECSULT, ont consisté en la réalisation de deux forages (F-15 et F-16) de 36,15 m et 39,75 m de profondeur, à l'intérieur desquels les sols ont été échantillonnés en continu. La localisation de ces forages est indiquée à la figure 4.1.

Ces travaux ont été effectués au moyen d'une foreuse à percussion de type Rotary munie d'un échantillonneur de 3 m de long et de 100 mm de diamètre intérieur. Les échantillons prélevés ont été soumis à des analyses granulométriques et, dans certains cas, à des mesures de teneurs en eau naturelle en laboratoire. Les résultats d'essais en laboratoire ainsi que les rapports de forages relatifs à ces sondages sont inclus à l'annexe A.

#### 4.2.4 Sondages au piézocône, printemps 2002

Une campagne supplémentaire de sondages au piézocône a été menée du 13 mai au 16 juin 2002 par la firme COGEMAT sous la supervision de TECSULT. Cette campagne, visant à localiser le niveau supérieur de la couche d'argile le long de l'axe d'implantation de l'écran

d'étanchéité périphérique, a consisté en la réalisation de 40 sondages au piézocône (CPTU-101 à CPTU-140) répartis à intervalles d'environ 60 mètres le long de cet axe (figure 4.1).

Ces travaux ont nécessité la réalisation de pré-forages effectués par fonçage de tubages de calibre BW jusqu'à 20 m de profondeur. Une foreuse conventionnelle de type Boyles BBS-15 a été utilisée tout au long de ces travaux. L'ensemble des sondages au piézocône se sont limités à des profondeurs variant entre 32,95 m et 43 m, soit au moins 2 m sous le niveau supérieur de la couche d'argile silteuse.

Les sondages au piézocône ont été réalisés au moyen de sondes de type Hogentogler d'une capacité de 10 tonnes (modèle 740 TC) pour les sondages CPTU-01 à CPTU-124 et CPTU-130 à CPTU-140 et de 5 tonnes (modèle T 705 TC) pour les sondages CPTU-125 à CPTU-129. Le fonçage des sondes dans le sol a été réalisé à l'aide de la foreuse.

Des mesures de résistances en pointe ( $q_c$ ), de pression interstitielle ( $u$ ), de frottement ( $f_s$ ) et d'inclinaison ( $i$ ) ont été réalisées à intervalle de 1 cm. La vitesse d'enfoncement de la sonde a été maintenue à 2 cm/min. Tous les essais au piézocône ont été effectués conformément à la norme émise par le Comité International sur les essais de pénétration ISSMEE (1989) et à la norme ASTM 3441.

Les détails concernant la réalisation et l'interprétation des sondages au piézocône sont présentés dans le rapport préparé par COGEMAT pour TECSULT (COGEMAT, août 2002) inclus à l'annexe C.

#### 4.2.5 Forages environnementaux, printemps 2002

Dans le but d'évaluer l'impact des eaux de lixiviation générées par la cellule d'enfouissement C-3 sur les eaux souterraines et les sols sous-jacents, des travaux de caractérisation environnementale ont été réalisés du 3 au 13 juin 2002.

Ces travaux ont consisté en la réalisation de six (6) forages qui ont permis l'installation d'autant de puits d'observation (groupés en deux (2) nids de puits) au droit de la portion sud de la cellule C-3 (figure 4.1). Ces travaux ont été effectués par la firme L.B.M. sous la supervision de TECSULT.

Chacun de ces nids est constitué de trois puits d'observation distincts, espacés d'au moins trois (3) mètres latéralement et installés à trois niveaux différents dans le terrain naturel, sous les déchets.

#### 4.2.5.1 Travaux de forage et d'échantillonnage des sols

Les travaux de forage ont été réalisés au moyen d'une foreuse de type « Barber » permettant l'utilisation simultanée d'un tricône et de tubages pour l'avancement, le lavage et le maintien des trous de forage.

Dans les déchets, un pré-forage de 305 mm de diamètre a d'abord été réalisé jusqu'à l'interface entre la couche de boues de désencrage située à la base des déchets et le sol naturel (niveau 20,1 à 20,4 m). Un lavage et une vidange complète de l'intérieur du tubage ont ensuite été réalisés avant la mise en place de l'équipement nécessaire à la poursuite des forages dans les sols naturels.

Le forage dans les sols naturels a par la suite été réalisé au moyen d'un tricône et de tubages de 150 mm (6 po) de diamètre.

Trois forages (F-13-A, F-13-B et F-13-C) de 3 m, 5 m et 7 m de profondeur sous le niveau du terrain naturel ont ainsi été réalisés au site F-13, alors que les trois forages réalisés au site F-14 (F-14-A, F-14-B et F-14-C) ont été complétés jusqu'à des profondeurs respectives de 2,44 m, 3,76 m et 6,7 m sous la base des déchets.



Par ailleurs, un échantillonnage en continu des sols naturels a été effectué dans les forages les plus profonds de chacun des deux nids de puits. L'échantillonnage a été réalisé au moyen d'un échantillonneur à percussion de 3 m de long et de 100 mm de diamètre intérieur.

Les échantillons de sols ainsi prélevés, ont été divisés en sous-échantillons (F-13-1 à F-13-8 et F-14-C-1 à F-14-C-6) représentatifs d'horizons de 0,2 m à 0,9 m d'épaisseur sous le niveau de la base des déchets.

Chacun de ces sous-échantillons a par la suite été soumis à un programme d'analyses environnementales visant à vérifier la présence et l'impact de certains paramètres contenus dans le lixiviat de la cellule C-3 sur les sols naturels sous-jacents.

Les sols ont donc été analysés pour les hydrocarbures pétroliers HP C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM), les métaux (Aluminium, Fer, Chrome, Cuivre, Mercure, Manganèse, Nickel, Plomb et Zinc) et les Cyanures totaux.

Tous les détails concernant les travaux de forage et d'échantillonnage des sols dans les forages F-13 (A, B et C) et F-14 (A, B et C) sont indiqués sur les rapports de forage présentés à l'annexe A.

#### 4.2.5.2 Installation de puits et échantillonnage des eaux souterraines

À l'endroit de chacun des deux nids de puits (F-13 et F-14), les trous de forage réalisés ont été munis de puits d'échantillonnage constitués de tubes et de crépines en PVC de 5 cm de diamètre, installés de façon à intercepter trois profondeurs différentes de la nappe d'eau souterraine sous la base des déchets (niveau 20,1 à 20,4 m) :

- F-13-A de 1,17 m à 1,83 m de profondeur;
- F-13-B de 3,39 m à 5,19 m de profondeur;
- F-13-C de 5,51 m à 7,01 m de profondeur;

- F-14-A de 0,64 m à 2,44 m de profondeur;
- F-14-B de 1,93 m à 3,76 m de profondeur;
- F-14-C de 4,87 m à 6,70 m de profondeur.

Les détails d'installation de ces puits sont présentés à l'annexe A. Il est à noter à cet effet que la méthode de construction prévue a dû être modifiée pour les puits F-13-C, F-14-A, F-14-B et F-14-C après que des températures élevées dégagées dans les déchets aient menacé l'intégrité structurale des tubages de PVC au puits F-13-A et F-13-B. Le coulis de ciment-bentonite utilisé dans l'espace annulaire de ces deux puits au droit des déchets n'aurait pas suffi à isoler convenablement le tubage contre la chaleur dégagée.

Il a donc été décidé, pour la construction des autres puits, de laisser en place le tubage d'acier de 150 mm de diamètre au-dessus de la lanterne de sable filtrant, et, de façon à maintenir une couche d'air isolante autour du tubage de PVC, de ne pas combler l'espace annulaire entre les deux tubages pour la portion située dans les déchets. De plus, l'espace annulaire entre les déchets et le tubage d'acier a été comblé en utilisant en alternance des couches de sable tout-venant et de bentonite granulaire à la place du coulis de ciment-bentonite.

Une fois les puits complétés, des mesures de niveaux d'eau ont été réalisées à plusieurs reprises par TECSULT. Des échantillons d'eau souterraine ont également été prélevés par la firme HGE pour des fins d'analyses environnementales à deux reprises, soit le 19 juin 2002 et le 3 avril 2003. Des analyses pour les paramètres identifiés dans le lixiviat de la cellule C-3, c'est-à-dire les Chlorures, Cyanures totaux, DBO<sub>5</sub>, DCO, Sulfures totaux, Azote ammoniacale, Nitrites, Nitrites et Nitrates, Sulfates, Métaux (Aluminium, Chrome, Cuivre, Fer, Mercure, Manganèse, Nickel, Plomb et Zinc), Huiles et graisses totales et Phénols 4AAP, ont été effectuées sur les échantillons d'eau souterraine prélevés de façon à déterminer l'impact du lixiviat sur la qualité des eaux souterraines sous la cellule C-3.

#### 4.2.6 Forages profonds, printemps 2002

De façon à préciser les conditions hydrogéologiques et les pressions de gaz naturel existant sous la couche d'argile silteuse, au droit de la future cellule d'enfouissement, des travaux exploratoires supplémentaires y ont été réalisés. Ces travaux, effectués du 27 mai au 12 juillet 2002 par la firme GÉOHYDROTECH sous la supervision de TECSULT, ont consisté à aménager cinq puits d'observation profonds (F-8 à F-12; voir localisation à la figure 4.1).

En raison de sous-pressions de gaz rencontrées antérieurement sous la couche d'argile et ayant compliqué la réalisation de certains puits profonds (section 4.2.1), des mesures particulières ont dû être observées pour le forage et l'aménagement des cinq nouveaux puits.

Ainsi, la première étape des travaux a consisté à effectuer un pré-forage de 267 mm de diamètre (222 mm dans le cas de F-10 et F-12) jusqu'à un niveau variant entre 3,03 m et 20,16 m au-dessus du niveau inférieur de la couche d'argile. Ces travaux ont été effectués à la boue de bentonite au moyen d'une foreuse de type Gardner-Denver munie de tricônes. Seul le forage F-8, situé au droit de la cellule C-3, a nécessité la réalisation d'un pré-forage additionnel de 265 mm de diamètre pour la section supérieure située dans les déchets. Celui-ci, a été réalisé avec une foreuse de type « Barber » munie de tubage d'acier, selon la procédure établie précédemment pour la réalisation des forages environnementaux à travers les déchets (section 4.2.5).

Une fois les profondeurs désirées atteintes, un tubage d'acier de 165 mm de diamètre a été positionné à l'intérieur du trou du pré-forage dont le fond et l'espace annulaire entre le tubage et les sols, a été cimenté au moyen d'un coulis de ciment-bentonite.

Par la suite, une fois tous les pré-forages terminés, la deuxième étape a consisté à forer à travers l'épaisseur d'argile résiduelle située sous l'extrémité inférieure du pré-forage, jusque dans les matériaux d'origine glaciaire sous-jacents. Ces travaux ont été réalisés à l'eau avec un tricône de 152 mm de diamètre, au moyen d'une foreuse de type Gardner-Denver munie d'un BOP (Blow out preventer). Ce dernier, installé en tête de forage, a été utilisé de façon à

assurer un contrôle des pressions à l'intérieur du forage dans les cas où des venues de gaz seraient rencontrées sous la couche d'argile. Une fois les opérations de forage et de lavage terminées, des puits d'observation de 2,54 cm de diamètre en PVC ont été installés dans chacun des trous de forage réalisés, selon les schémas d'installation présentés à l'annexe A. Les rapports de forages relatifs à ces sondages sont également inclus à l'annexe A.

Il est à noter que dans chacun de ces forages, l'espace annulaire autour du tubage de PVC a été scellé avec un coulis de ciment-bentonite sur au moins toute l'épaisseur de la couche d'argile.

Des mesures de niveaux d'eau et de pression ont par la suite été réalisées par TECSULT à plusieurs reprises à l'intérieur de ces puits, au moyen de sondes à niveau d'eau et d'un manomètre.

#### 4.2.7 Levés de sismique réflexion, printemps 2002

Des travaux d'investigation par sismique réflexion ont été réalisés du 21 au 27 mai 2002 par la firme Géophysique Sigma inc. (SIGMA). Ces travaux, visant à préciser la position et le profil du niveau inférieur de la couche d'argile entre les forages profonds, ont consisté en la réalisation de quatre levés (LS-01 à LS-04) positionnés de façon à couvrir l'ensemble du fond de la future cellule d'enfouissement (figure 4.1). Au total, 2190 m de levé de sismique réflexion ont été réalisés dans le cadre de ces travaux.

Avant le début des travaux d'exploration sismique, une implantation et un arpentage des extrémités de chacune des lignes ont été effectués par DRN. Un piquetage et un contrôle horizontal et vertical des lignes sismiques ont également été effectués par SIGMA.

Par la suite, les travaux d'exploration sismique ont consisté à enregistrer, au moyen de géophones, le signal émis par l'explosion de charges explosives. Les charges explosives et les géophones étaient placés à un mètre sous la surface du sol, alors que deux capteurs de 100 Hz espacés horizontalement de 3 m ont été utilisés.

Des mesures de propagation des ondes sismiques dans chacun des horizons réflecteurs d'intérêt (le roc et les dépôts glaciaires situés sous la couche d'argile) ont ainsi été enregistrées à intervalles de 6 m le long des lignes sismiques.

L'évaluation de ces vitesses a par la suite permis de déterminer la position du niveau inférieur de la couche d'argile et du toit du roc avec une précision de l'ordre de 5 %.

Les détails concernant la réalisation et l'interprétation des levés de sismique réflexion sont présentés dans le rapport préparé par SIGMA pour TECSULT (SIGMA, août 2002) inclus à l'annexe C.

#### **4.3 Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines**

La caractérisation physico-chimique des eaux souterraines a été réalisée par la firme Les Consultants HGE dans le cadre de l'étude hydrogéologique qu'ils ont menée sur le site en 2001.

Le programme de caractérisation présenté par HGE dans le cadre de cette étude comprenait l'échantillonnage de 17 puits répartis sur le site de l'agrandissement et installés dans l'aquifère supérieur. Il est à noter, à cet effet, que les piézomètres installés par TECSULT dans le cadre de l'investigation géotechnique, hydrogéologique et environnementale n'ont pas été intégrés dans ce programme.

Les échantillons d'eau prélevés ont été soumis à un programme d'analyses physico-chimiques et bactériologiques essentiellement pour les paramètres identifiés à l'article 45 du projet de *Règlement sur l'élimination des matières résiduelles*, ci-après appelé Projet de Règlement. Les détails concernant ce programme et les diverses activités reliées à celui-ci sont présentés dans l'étude hydrogéologique de caractérisation de l'aquifère supérieur réalisée par HGE.

## 5 CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE

Les travaux d'investigation réalisés dans le cadre de la présente étude ont permis de préciser la nature et les propriétés géotechniques des différents matériaux rencontrés sur le site de l'agrandissement. La présente section fait état des résultats obtenus suite à ces travaux. Le tableau 5.1 présente la synthèse des propriétés géotechniques obtenues pour le site de l'agrandissement en intégrant également les résultats des campagnes antérieures (HGE, août et décembre 2000).

### 5.1 Stratigraphie

Les quatre unités stratigraphiques composant les dépôts meubles identifiées à la section 3 ont été rencontrées à chacune des zones investiguées sur le site de l'agrandissement. La séquence stratigraphique pour l'ensemble du site se présente comme suit :

- dépôts deltaïques constitués d'alluvions sableuses et silteuses en surface;
- dépôts de transition constitués d'une alternance de lits de sable, de silt et d'argile;
- dépôts marins constitués d'argile silteuse;
- dépôts glaciaires recouverts par endroit de dépôts fluvio-glaciaires;
- socle rocheux.

La description et la position des unités stratigraphiques rencontrés à chacun des sites d'investigation sont indiqués sur les rapports de forage (annexes A et B) et aux profils géotechniques des sites de forage F-4, F-5, F-6 et F-7 (TECSULT, 2002) et des sites E, F-1, F-2 et F-3 (HGE, déc. 2000) fournies aux figures 5.1-A à 5.1-H suivantes. La position des échantillons prélevés ainsi que les résultats de divers essais et analyses réalisés *in situ* et en laboratoire apparaissent également sur les profils géotechniques produits pour chacun de ces sites d'investigation. La légende des symboles et termes utilisés pour les profils géotechniques ainsi que pour les rapports de forages est incluse aux annexes A et B.

Trois coupes stratigraphiques illustrant la géomorphologie des dépôts rencontrés sur le site de l'agrandissement ont été produites aux figures 5.2, 5.3 et 5.4 : une coupe longitudinale suivant l'axe d'implantation de l'écran d'étanchéité périphérique, une coupe transversale selon un axe est-ouest et une coupe transversale selon un axe nord-sud. La position du niveau inférieur de la couche d'argile, déterminée par levés de sismique réflexion (SIGMA, août 2002), est également indiquée sur les deux coupes transversales.

## 5.2 Caractérisation des dépôts deltaïques

La couche de matériaux d'origine deltaïque au sommet de la séquence stratigraphique est constituée principalement de sable fin, puis de sable et de silt à partir de 5 à 10 m de profondeur. L'épaisseur de cette couche, déterminée à partir des descriptions d'échantillons prélevés, varie entre 17,0 m et 29,0 m de profondeur sur l'ensemble du site de l'agrandissement.

Les échantillons représentatifs de ces dépôts ont été soumis à des essais d'identification en laboratoire (analyses granulométriques et teneurs en eau). Le tableau 5.2 résume les résultats de ces essais.

**Tableau 5.2**  
**Résultats des essais d'identification**  
**Dépôts deltaïques**

Propriétés physiques	Résultats
Teneur en eau naturelle ( $w_n$ ) (au-dessus du niveau de la nappe d'eau souterraine)	6,1 % à 8,1 %**
Teneur en eau naturelle ( $w_n$ ) (sous le niveau de la nappe d'eau souterraine)	23,0 % à 44,0 %
Pourcentage de sable (0,08 mm – 4,75 mm)	9 %* à 98 %
Pourcentage de silt et argile (< 0,08 mm)	2 % à 91 %*

\* Valeurs limites correspondant aux lits de particules fines observés.

\*\* Une valeur supérieure de 23,2 % a été mesurée sur l'échantillon F-15-1-A prélevé à 0,5 m de profondeur, au-dessus du niveau de la nappe d'eau souterraine. Ce résultat est cependant douteux puisqu'il ne correspond pas à des valeurs de teneur en eau naturelle typiquement mesurées dans les sables non saturés.

L'examen des résultats de ces essais révèle que les matériaux situés dans la partie supérieure du dépôt correspondent à un sable uniforme contenant peu de particules fines (<12 %) pouvant être classées « SP » à « SP-SM » selon le système de classification unifié (USCS). Dans la partie inférieure, le pourcentage plus important (> 12 %) de matériaux fins permet de classer les sols parmi les sables silteux « SM ».

Le poids volumique estimé à partir des teneurs en eau et de la densité relative des grains, varie entre 17,5 kN/m<sup>3</sup> et 20,30 kN/m<sup>3</sup>. Rappelons que le poids volumique est inversement proportionnel à la proportion de particules fines dans le sable.

L'indice de pénétration (SPT) a été mesuré à plusieurs reprises dans ces dépôts. Les valeurs obtenues, comprises entre 2 et 43, indiquent que les dépôts sont de compacité très variable selon les profondeurs, passant de très lâche à dense.

Des essais triaxiaux (CIU)<sup>4</sup> et (CID)<sup>5</sup>, ont également été réalisés en laboratoire sur des échantillons prélevés à deux niveaux différents au forage F-7-A (6,4 m de profondeur pour un sol classé « SP » et 21,8 m de profondeur pour un sol classé « ML »). Les résultats de ces essais indiquent que les sables et les sables silteux constituant la couche de surface, sont caractérisés par un angle de frottement effectif  $\phi'$  mesuré à grande déformation variant entre 31,5° et 34,1° selon leur compacité.

### 5.3 Caractérisation des dépôts de transition

La couche de transition située entre les dépôts marins en profondeur et les dépôts deltaïques en surface, est constituée d'une alternance de lits de sable, de silt et d'argile d'épaisseur variable. L'importance de cette couche varie entre 6 m et 15 m sur l'ensemble du site de l'agrandissement.

---

<sup>4</sup> CIU : consolidation isotrope, cisaillement non drainé avec mesure de la pression interstitielle.

<sup>5</sup> CID : consolidation isotrope, cisaillement drainé.



Les résultats des essais d'identification en laboratoire réalisés sur des échantillons représentatifs de cette zone stratifiée sont résumés au tableau suivant :

**Tableau 5.3**  
**Résultats des essais d'identification**  
**Zone de transition**

Propriétés physiques	Résultats
Teneur en eau naturelle ( $w_n$ )	19,4 % à 47,2 %
Limite de liquidité ( $w_L$ )	26,3 % à 50,5 %
Limite de plasticité ( $w_p$ )	13,8 % à 22,7 %
Indice de plasticité ( $I_p$ )	8,1 % à 28,5 %
Indice de liquidité ( $I_L$ )	0,5 à 1,6
Pourcentage de sable (0,08 mm – 4,75 mm)	3 % à 56 %
Pourcentage de silt et d'argile (< 0,08 mm)	44 % à 97 %

Ceux-ci indiquent que la zone de transition, malgré son hétérogénéité verticale, peut être considérée globalement comme une argile inorganique de plasticité faible à moyenne « CL » (USCS). Le poids volumique mesuré en laboratoire ainsi que celui estimé à partir des teneurs en eau et de la densité relative des grains, varie entre  $17,6 \text{ kN/m}^3$  et  $19,4 \text{ kN/m}^3$  selon les horizons interceptés. Il est cependant à noter que les résultats des sondages au piézocône réalisés par COGEMAT, combinés aux descriptions visuelles des échantillons prélevés et à certaines analyses granulométriques, ont permis de constater que la partie supérieure de cette zone correspond plutôt à un silt sableux.

Plusieurs mesures de la résistance au cisaillement non drainé ont été réalisées dans la zone de transition. Ces mesures comprennent les essais *in situ* au scissomètre de type Nilcon ainsi que les essais au cône suédois réalisés en laboratoire sur des échantillons intacts prélevés par TECSULT et HGE (2000), au moyen de tubes à parois minces de type Osterberg modifié (piston).

Des six essais au scissomètre Nilcon réalisés par TECSULT dans la zone de transition (F-4 et F-6), seulement deux essais ont permis d'atteindre la rupture de l'argile intacte, à 163 kPa (F-4) et 155 kPa (F-6). Les quatre (4) autres essais ont révélé que la résistance mesurée au scissomètre est supérieure à 91, 101, 192 et 198 kPa. Il est à remarquer que dans le cas des valeurs > 91 kPa et > 101 kPa, les palettes de 6,5 cm x 13 cm du scissomètre étaient utilisées alors que dans les autres cas, ce sont les palettes 5 cm x 11 cm qui ont été utilisées.

Dans le cas des essais réalisés antérieurement dans les forages F-1, F-2 et F-3 (HGE, déc. 2000), les résistances mesurées au scissomètre varient de 76 kPa à 176 kPa alors que celles mesurées en laboratoire se situent généralement entre 92 kPa et 198 kPa. Seules trois mesures prises dans le forage F-1 ont donné des valeurs plus faibles de 23 kPa, 68 kPa et 76 kPa. Hormis ces dernières valeurs qui sont attribuables soit à un remaniement des sols évalués, soit à des conditions locales non représentatives de l'ensemble du milieu, la consistance de la couche de transition peut être qualifiée de raide à très raide. Aucune tendance particulière n'a été observée en ce qui a trait à l'évolution de la consistance avec la profondeur dans cette formation.

La résistance au cisaillement non drainé de l'argile à l'état remanié a été mesurée en laboratoire au moyen d'essais au cône suédois et *in situ* au scissomètre. Les valeurs obtenues varient de 4 kPa à 10 kPa pour le cône et de 54 à 55 kPa pour le scissomètre.

La sensibilité, définie comme le rapport de la résistance au cisaillement de l'argile intacte sur celle de l'argile remaniée, se situe donc entre 3 et 38. Celle-ci peut être qualifiée de faible à moyenne pour l'ensemble de la couche de transition.

Des échantillons prélevés dans les forages à différents niveaux dans cette couche ont également été soumis à des essais de consolidation oedométrique. Les résultats obtenus sont résumés au tableau suivant :

**Tableau 5.4**  
**Résultats des essais de consolidation**  
**Couche de transition**

Propriétés	Résultats
Pression de préconsolidation ( $\sigma'_p$ )	de 320 à 750 kPa
Indice de recompression ( $C_r$ )	de 0,01 à 0,04
Indice de compression ( $C_c$ )	de 0,17 à 0,55

La résistance au cisaillement des matériaux constituant la zone de transition a été évaluée au moyen d'essais triaxiaux (CIU) réalisés sur des échantillons prélevés au forage F-5A entre 29,0 et 31,1 m de profondeur. Les résultats de ces essais indiquent que l'angle de frottement effectif est de l'ordre de 34° alors que la cohésion effective est nulle.

#### 5.4 Caractérisation des dépôts marins

Les dépôts marins sont constitués d'argile silteuse typique de la mer de Champlain. Il s'agit d'une argile très homogène. Le sommet de cette couche a été localisé à partir des descriptions visuelles et des essais d'identification (limites d'Atterberg, teneur en eau naturelle et sédimentométrie) réalisés sur les échantillons prélevés. Les sondages au piézocône (CPTU-05 et CPTU-07) réalisés aux zones d'investigation F-5 et F-7 et (CPTU-101 à CPTU-140) réalisés le long de l'axe d'implantation de l'écran périphérique d'étanchéité, ont aussi permis de confirmer cette localisation.

Selon ces interprétations, le niveau supérieur de la couche d'argile se situe entre 27,57 m et 36,97 m de profondeur sur l'ensemble du site de l'agrandissement. La figure 5.5 présente la topographie du toit de l'argile silteuse selon les sondages au piézocône. Il peut être remarqué qu'il y a une inclinaison générale du toit de l'argile, d'un niveau plus élevé situé au nord-ouest vers un niveau plus profond situé au sud-est du site de l'agrandissement.

Le niveau inférieur de cette couche, localisé à partir des observations effectuées lors de la réalisation des forages profonds, varie de 65,70 m à 82,45 m de profondeur. À la figure 5.6, il peut être constaté que cette variation semble converger radicalement vers un point bas situé au sud du site de l'agrandissement.

Les résultats des essais d'identification réalisés sur la couche d'argile homogène sont résumés au tableau suivant :

**Tableau 5.5**  
**Résultats des essais d'identification**  
**Argile silteuse**

<b>Propriétés physiques</b>	<b>Résultats</b>
Teneur en eau naturelle ( $w_n$ )	38,9 % à 58,7 %
Limite de liquidité ( $w_L$ )	45,8 % à 75 %
Limite de plasticité ( $w_P$ )	19,4 % à 28,8 %
Indice de plasticité ( $I_p$ )	24 à 49,6
Pourcentage de sable (0,08 mm - 4,75 mm)	0 % à 9 %
Pourcentage de silt et d'argile (< 0,08 mm)	91 % à 100 %

Selon le système de classification unifié (USCS), la couche de dépôts marins est généralement constituée d'argile inorganique de plasticité élevée (CH). Seule la partie supérieure de l'argile, en contact avec les dépôts de transition stratifiés, se classe quelques fois parmi les argiles de plasticité moyenne (CL). Le poids volumique de l'argile mesuré en laboratoire pour différentes profondeurs dans la couche d'argile varie entre 16,1 kN/m<sup>3</sup> et 17,8 kN/m<sup>3</sup>.

La résistance au cisaillement non drainé de l'argile intacte a été mesurée en place, au moyen d'essais au scissomètre de type Nilcon et en laboratoire, au moyen d'essais au cône suédois. Dans le cas des essais au scissomètre réalisés par TECSULT dans le forage F-4, un seul essai a permis d'atteindre la rupture à 169 kPa. Tous les autres essais révèlent une résistance supérieure à 171 kPa jusqu'à supérieure à 202 kPa. Pour l'essai où la rupture a été atteinte, la résistance mesurée à l'état remanié est de 70 kPa pour une sensibilité  $S_t$  de 2.

Dans le cas des essais antérieurs (HGE, déc. 2000), les résistances au scissomètre mesurées varient de 95 à 168 kPa. Aucun résultat d'essai au scissomètre à l'état remanié n'est fourni dans cette étude.

Dans le cas des essais au cône, les valeurs obtenues pour ces essais varient entre 95 kPa et 327 kPa. Seule une mesure effectuée au cône suédois a donné une valeur plus faible de 42 kPa, probablement attribuable au remaniement de l'échantillon d'argile. Selon ces résultats, la consistance de l'argile silteuse intacte peut être qualifiée de raide à dure.

La résistance au cisaillement de l'argile à l'état remanié a également été mesurée en laboratoire au moyen du cône suédois. Les essais ont été réalisés sur les échantillons pour lesquels des essais sur l'argile intacte ont préalablement été réalisés. Les valeurs obtenues varient de 7 à 21 kPa. Les valeurs de sensibilité du dépôt d'argile variant quant à elles entre 6 et 23, indiquent que celui-ci possède une sensibilité que l'on peut qualifier de faible à moyenne.

Deux échantillons représentatifs ont été soumis à des essais de consolidation oedométrique. Les résultats de ces essais sont résumés au tableau suivant :

**Tableau 5.6**  
**Résultats des essais de consolidation**  
**Argile silteuse**

Propriétés	Résultats
Pression de préconsolidation ( $\sigma'_p$ )	600 à 800 kPa
Indice de recompression ( $C_r$ )	0,01
Indice de compression ( $C_c$ )	1,08 à 1,23

Les paramètres de résistance au cisaillement ont été déterminés par le biais d'essais triaxiaux (CIU) réalisés sur des échantillons prélevés au forage F-5 entre 39,8 m et 40,1 m de profondeur et entre 53,5 m et 53,8 m de profondeur. Ces essais indiquent pour leur part que l'angle de frottement effectif ( $\phi'$ ) de l'argile silteuse varie approximativement entre 29° et 33° pour des

cohésions effectives respectives de 12 et 0 kPa selon l'interprétation des résultats des essais à grandes déformations.

## 5.5 Caractérisation des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires

Sous la couche d'argile silteuse, des matériaux d'origine glaciaire complètent la séquence stratigraphique jusqu'au roc. L'épaisseur de ces matériaux n'a pas été mesurée systématiquement dans le cadre de la campagne d'investigation menée par TECSULT, puisque l'intérêt résidait dans l'identification des matériaux la composant et surtout dans la mesure du niveau piézométrique existant au sein de cette unité. Toutefois, quelques données tirées des forages P-28 et F-8 à F-11 jumelées aux levés de sismique réfraction et de sismique réflexion effectués sur le site de l'agrandissement par HGE et SIGMA, indiquent que le toit du roc se situe entre 70,41 m et 94,49 m de profondeur pour l'ensemble du site de l'agrandissement. Encore une fois, on remarque un niveau bas localisé dans la portion sud-est du site de l'agrandissement.

Les observations effectuées au droit des forages réalisés dans ces dépôts indiquent la présence de deux types de matériaux d'origine glaciaire : les dépôts glaciaires (till) constitués de sable silteux et graveleux et les dépôts fluvio-glaciaires constitués d'horizons stratifiés de sable uniforme et de gravier.

Les premiers apparaissent être présents au contact du roc sur la majorité du site de l'agrandissement. Ils ont été rencontrés aux forages P-28, F-5, F-9, F-10, F-11 et F-12 ainsi qu'à trois autres forages (TF-2, TF-3 et TF-4) situés en périphérie du site de l'agrandissement. Les résultats des essais de pénétration à la cuillère fendue (SPT) effectués à son endroit (N = 50 et plus) indiquent que le till présent sur le site est très dense.

D'autres observations réalisées aux forages F-4, F-6, F-7, F-9 et F-12 indiquent la présence, sous la couche d'argile, d'horizons de sable et de gravier plus uniformes. Ces matériaux d'origine fluvio-glaciaire recouvriraient par endroit les dépôts glaciaires (till) sous-jacents.

Malgré les résultats élevés ( $N > 50$ ) de trois essais de pénétration à la cuillère fendue (SPT) réalisés sur les matériaux fluvio-glaciaires, d'importantes remontées de sable survenues à l'intérieur des forages réalisés dans ces matériaux, indiquent que certains horizons au sein de cette formation sont relativement lâches et perméables. Les résultats élevés des essais SPT pourraient quant à eux être attribuables à la présence d'horizons plus graveleux.

Des essais d'identification en laboratoire (granulométrie) réalisés sur un échantillon de la remontée de sable survenue au forage F-6-A, a permis de confirmer les observations réalisées sur le terrain. Les résultats de cet essai (88 % de sable et 12 % de silt et argile) indiquent que les matériaux ayant remonté à l'intérieur du trou de forage sur plus de 8 m, correspondent à un sable uniforme.

Par ailleurs, dans le secteur sud du site de l'agrandissement, à l'endroit du forage F-8, la couche d'argile repose directement sur le roc.

## 5.6 Nappes gazières

La présence de gaz naturel a été observée sur le site de l'agrandissement dans la plupart des forages (F-6, F-7, F-9, F-10, F-11 et F-12) réalisés dans les dépôts d'origine glaciaire. Cette présence, se manifestant par des pressions de gaz plus ou moins élevées à l'intérieur de ces forages, semble être confinée dans la partie supérieure des dépôts d'origine glaciaire ou fluvio-glaciaire, tout juste sous la couche d'argile silteuse.

La pression de gaz mesurée au moyen d'un manomètre installé à la surface du forage F-6 pendant environ 40 minutes, indique que celle-ci, malgré les fuites et les pertes de charges associées à cette installation temporaire, est supérieure à  $58 \text{ lb/po}^{2(6)}$  (400 kPa), soit l'équivalent d'une charge hydraulique d'environ 41 m d'eau. D'autres mesures, effectuées à l'intérieur des

---

<sup>6</sup>  $1 \text{ lb/po}^2 = 6,895 \text{ kPa}$

tiges de forage lors de la réalisation des forages F-9 à F12, indiquent la présence de pressions de gaz variant entre 65 lb/po<sup>2</sup> (448 kPa) et 100 lb/po<sup>2</sup> (690 kPa), soit l'équivalent d'une charge hydraulique de 46 m à 70 m d'eau.

Un relevé réalisé par le Ministère des Richesses Naturelles (MRN, 1964) indique que les pressions de gaz observées sous la couche d'argile dans la région, sont généralement inférieures à 90 lb/po<sup>2</sup> (620 kPa), soit environ l'équivalent de la pression d'eau observée sous cette couche. Ces conditions ont été confirmées par la Direction du gaz et du pétrole du Ministère des Ressources Naturelles lors d'une conversation téléphonique.

Ces données indiquent donc qu'il existe un équilibre entre les pressions hydrostatiques et les pressions générées par les nappes gazières confinées sous la couche d'argile.

Aucune mesure exacte en ce qui a trait à l'importance des nappes gazières localisées au droit du site de l'agrandissement n'a été réalisée dans le cadre de la campagne d'investigation. Toutefois, les observations réalisées à l'endroit des forages profonds, ont permis d'identifier une présence plus importante de gaz dans le secteur est du site de l'agrandissement, à l'endroit des forages F-9 et F-6. La remontée de la base de l'argile à cet endroit, laissant supposer la présence d'un dôme confinant vers l'est du site de l'agrandissement, est propice à l'accumulation de gaz, plus léger que l'eau. L'absence de gaz observée dans le puits F-8 où le niveau inférieur de la couche d'argile est nettement plus bas, confirme d'ailleurs ces observations.



## 6 CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE

### 6.1 Unités hydrogéologiques

Les nombreux sondages réalisés depuis plus de 30 ans sur le site ainsi que ceux réalisés dans le cadre de la présente étude ont permis de confirmer la présence de trois unités hydrogéologiques distinctes dans les dépôts meubles : un aquifère supérieur libre (nappe phréatique), un aquitard et un aquifère profond sous-jacent (nappe captive).

L'aquifère supérieur correspond aux alluvions deltaïques de surface, composées de sable et de silt, et aux dépôts de transition composés de silt argileux, de silt et de sable silteux. Il s'agit d'un aquifère à nappe libre qui se prolonge en profondeur jusqu'aux dépôts marins et dont l'épaisseur d'environ 35 m, varie en fonction des fluctuations saisonnières du niveau de la nappe, alimentée directement par l'infiltration venant de la surface. Considérant un taux annuel de précipitation d'environ 940 mm/an, un taux d'évapotranspiration d'environ 45 % (HGE, 2000) et négligeant le taux de ruissellement à la surface du terrain, la recharge de cet aquifère est estimé à environ 517 mm/an. Une analyse par bilan hydrique a quant à elle permis d'évaluer la recharge annuelle à environ 480 mm/an, confirmant ainsi l'estimation précédente ( $\approx 500$  mm/an).

En dessous, les dépôts marins composés d'argile silteuse représentent un horizon imperméable que l'on peut qualifier d'aquitard. L'épaisseur de cette unité est d'environ 40 m (section 5.4).

Sous ces dépôts marins, les matériaux glaciaires et fluvio-glaciaires ainsi que la partie supérieure du roc, relativement fracturée, constituent un aquifère captif dont l'épaisseur peut être supérieure à 13 m à certains endroits. La zone de recharge principale de cet aquifère est située dans les collines, au nord-ouest, à la limite d'extension de la mer Champlain dont le niveau maximum se situe à environ 200 m d'altitude. À cet endroit, le contact entre les dépôts d'origines glaciaires affleurant et le roc, permet une infiltration d'eau dans l'aquifère situé sous la couche d'argile.

Il est à noter que le roc profond n'a pas été caractérisé au droit du site de l'agrandissement. Selon les données régionales recueillies, il semble toutefois que les propriétés hydrauliques du shale ne soient pas intéressantes et que l'on puisse considérer ce dernier comme étant un aquitard.

## 6.2 Propriétés hydrauliques

Les essais et observations (*in situ* ou en laboratoire) réalisés à plusieurs endroits du site de l'agrandissement, ont permis d'établir les propriétés hydrauliques des différentes unités hydrogéologiques en présence. Le tableau 6.1 présente les résultats des essais de perméabilité réalisés par TECSULT dans le cadre du présent mandat, ainsi que ceux réalisés sur le site de l'agrandissement par HGE.

### 6.2.1 Aquifère supérieur

Les résultats des essais réalisés par TECSULT et HGE dans l'aquifère supérieur, indiquent que les deux unités constituant ce dernier (les dépôts deltaïques en surface et les dépôts de transition en profondeur) se démarquent par leurs conductivités hydrauliques.

Dans la portion du haut, composée principalement de sable, les conductivités hydrauliques mesurées sont de l'ordre de  $7 \times 10^{-3}$  cm/s. Bien que quelques horizons de silt observés à certains endroits de cette unité aient présenté des conductivités hydrauliques plus faibles, il semble que ceux-ci soient d'étendue limitée et que les conductivités hydrauliques correspondantes soient non représentatives de l'ensemble du milieu plutôt perméable. Les résultats d'un essai de pompage réalisé dans la partie supérieure de l'aquifère par HGE en décembre 2001 indiquent d'ailleurs que la conductivité hydraulique de cette portion de l'aquifère est de l'ordre de  $9 \times 10^{-3}$  cm/s, confirmant ainsi la perméabilité élevée mesurée précédemment sur l'ensemble des essais de perméabilité *in situ*.

Par ailleurs, cet essai a également permis d'établir un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de  $7 \times 10^{-4}$  et un débit de pompage optimal de l'ordre de  $8 \text{ m}^3/\text{h}$  (34 guspm) pour la portion supérieure de cet aquifère.

Plus en profondeur, entre 19,50 m et 37,50 m sous la surface, les stratifications d'argile, de silt et de sable, propres aux dépôts de transition, présentent des conductivités hydrauliques globales plus faibles que celles des dépôts sous-jacents. Les conductivités hydrauliques mesurées à partir d'essais *in situ*, varient entre  $2 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  et  $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  selon les horizons interceptés. En raison de la stratification horizontale rencontrée dans cette portion de l'aquifère, la conductivité hydraulique globale mesurée à partir des essais *in situ*, correspond surtout à une conductivité hydraulique horizontale gouvernée par les horizons les plus perméables. La conductivité hydraulique verticale a, quant à elle, été mesurée au moyen d'essais de perméabilité en laboratoire. Tel qu'anticipé, la conductivité hydraulique verticale est beaucoup plus faible avec des valeurs mesurées en cellules oedométriques et en cellules triaxiales variant entre  $3,4 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$  et  $7 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  selon les horizons évalués.

Ces résultats indiquent que la zone de transition présente des propriétés hydrauliques plus favorables à l'écoulement horizontal que vertical; ce dernier étant gouverné par les horizons les moins perméables.

#### 6.2.2 Aquitard

Les essais de perméabilité *in situ* réalisés à proximité de l'interface *zone de transition-dépôt d'argile silteuse* ont permis d'établir avec précision le niveau supérieur de l'aquitard, caractérisé par une conductivité hydraulique inférieure à  $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ , qui est l'exigence incluse au Projet de Règlement.

La première série d'essais *in situ* réalisée, c'est-à-dire, les essais de perméabilité conventionnels de type Lefranc, en bout de tubage et en piézomètre, indiquent que le début de la couche imperméable se situe :

- entre 31,20 m et 34 m de profondeur dans le secteur nord du site de l'agrandissement (Forages F-5 et N);
- en deçà de 32,90 m de profondeur dans le secteur ouest du site de l'agrandissement (Forages F-4 et O);
- entre 34,70 et 38,00 m de profondeur dans le secteur sud du site de l'agrandissement (Forages F-7 et S);
- en deçà de 31,20 m de profondeur dans le secteur est du site de l'agrandissement (Forages F-6 et E).

Pour chacun de ces secteurs, les essais de perméabilité conventionnels réalisés montrent qu'au-dessus des profondeurs indiquées, les conductivités hydrauliques sont légèrement supérieures à  $1 \times 10^{-6}$  cm/s. Les essais *in situ* réalisés plus profondément, dans la couche d'argile silteuse homogène et plastique, donnent des conductivités hydrauliques nettement inférieures, variant entre  $2 \times 10^{-7}$  cm/s et  $1 \times 10^{-7}$  cm/s.

La deuxième série d'essais de perméabilité *in situ* réalisée par TECSULT, c'est-à-dire, les essais au perméamètre autoforeur, indiquent qu'au droit du secteur sud (sondage PER-7) le sommet de la couche imperméable se situe entre 37,00 m et 38,00 m de profondeur (points milieux des essais PER -7-4 et PER-7-5). Les conductivités hydrauliques mesurées au-dessus et en dessous de cet horizon sont respectivement supérieures et inférieures à  $1 \times 10^{-6}$  cm/s. Les résultats concordent avec ceux obtenus lors de la première série d'essais *in situ*. Ils confirment également les observations réalisées sur les échantillons prélevés au forage F-7-A ainsi que celles réalisées lors du sondage au piézocône (CPTU-07) qui indiquent que dans le secteur sud, le début de la couche d'argile silteuse homogène et plastique se situe à environ 37,50 m de profondeur.

Dans le secteur nord, l'essai réalisé entre 30,05 m et 30,35 de profondeur (PER-5-1) indique que la conductivité hydraulique dans l'horizon d'argile silteuse de faible plasticité situé à la base de la zone de transition, est d'environ  $1 \times 10^{-6}$  cm/s.

Ce résultat combiné aux résultats des essais de perméabilité réalisés dans cet horizon lors de la première série d'essais (F-5-A-F-1 et N-102), indiquent que la conductivité hydraulique

moyenne, tout juste au-dessus de 31,20 m de profondeur, est légèrement supérieure à  $1 \times 10^{-6}$  cm/s.

Les résultats du sondage au piézocône (CPTU-05) ainsi que les observations réalisées sur les échantillons prélevés au forage F-5 ont permis de localiser le sommet de la couche d'argile inorganique de plasticité élevée (CH) à 31,50 m de profondeur, tout juste sous la couche d'argile inorganique de faible plasticité (CL) appartenant à la zone de transition (section 5.4). Rappelons que les argiles inorganiques de plasticité élevée (CH) sont reconnues pour présenter des conductivités hydrauliques typiquement inférieures à celles présentées par les argiles inorganiques de faible plasticité (CL). Par conséquent, il est raisonnable de considérer que l'horizon situé sous 31,50 m de profondeur présente une conductivité hydraulique inférieure à  $1 \times 10^{-6}$  cm/s, tel que démontré par la conductivité hydraulique de  $4,3 \times 10^{-7}$  cm/s mesurée dans l'horizon situé entre 33,20 m et 34,80 m de profondeur (N-101).

Les essais réalisés dans les piézomètres installés de la série F-300-B dans l'argile plastique, indiquent que la conductivité hydraulique de cette unité peut atteindre des valeurs aussi faibles que  $3 \times 10^{-8}$  cm/s en profondeur.

Les essais de perméabilité en cellules triaxiales et oedométriques réalisés sur les échantillons prélevés dans la couche d'argile plastique (F-6-TM-5, F-6-TM-9, N-102, F-101, S-100, F-302-B, F-303-B, F-304-B, F-305-B, F-306-B et F-308-B) indiquent pour leur part que la conductivité hydraulique verticale de cette formation est inférieure à  $8 \times 10^{-8}$  cm/s. Les faibles différences existant entre les conductivités hydrauliques verticales mesurées en laboratoire et les mesures *in situ* de conductivités hydrauliques globales, suggèrent l'absence d'anisotropie dans les propriétés hydrauliques offertes par la couche d'argile imperméable.

### 6.2.3 Aquifère captif

Parmi les huit (8) essais de perméabilité *in situ* réalisés dans les dépôts glaciaires et fluvioglaciers durant les présentes campagnes d'investigation, cinq ont permis de déterminer la conductivité hydraulique des matériaux en place.

De façon générale, ces résultats indiquent que la conductivité hydraulique des dépôts d'origine glaciaire varie de  $4 \times 10^{-5}$  cm/s à  $3 \times 10^{-4}$  cm/s. Seul un essai (F-5-1), réalisé à l'endroit du forage F-5, a donné une conductivité hydraulique plus faible de  $5 \times 10^{-8}$  cm/s.

Il faut cependant mentionner que l'essai F-5-1 a été réalisé dans un piézomètre dont l'intégrité semble avoir été affectée par les travaux d'investigation au piézocône et au perméamètre autoforeur effectués à proximité. Des anomalies en ce qui a trait à l'ouverture du tube intérieure et à la profondeur du piézomètre ont été observées suite à ces travaux. Ces anomalies pouvant avoir affectées le déroulement de certains essais, nous croyons qu'il est plus approprié de ne pas considérer la conductivité hydraulique mesurée à cet endroit.

### **6.3 Régime d'écoulement**

Le régime d'écoulement des eaux souterraines dans les différentes unités hydrogéologiques en présence a été étudié au moyen de niveaux d'eau observés par TECSULT et HGE dans la plupart des piézomètres installés sur le site à l'étude. Ces observations, réalisées durant la période du 24 octobre 2001 au 29 juillet 2002, sont présentées au tableau 6.2. Les niveaux d'eau stabilisés ont été utilisés pour établir les conditions piézométriques prévalant au sein de chacune des unités hydrogéologiques.

#### **6.3.1 Nappe phréatique**

La nappe phréatique présente dans l'aquifère supérieur constitue un volume d'eau important compte tenu de son épaisseur (>30 m) et de la porosité relativement élevée (40 %) de ses différents matériaux constitutifs.

Tableau 6.2  
Niveaux d'eau dans les piézomètres

Date / Piézomètre	F-4H	F-4M	F-4F	F-4A	F-5	F-5AH	F-5AM	F-5AF	F-6AH	F-6AM	F-6AF	F-6B	F-7AH	F-7AM	F-7AF	F-7	F-8	F-9	F-10	F-11	F-12	F-13-A	F-13-B	F-13-C	F-14-A	F-13-B	F-13-C	P-25	P29	P-12	P-61			
Niveau du sol (m)	23.62	23.62	23.62	23.65	23.05	23.04	23.04	23.04	20.43	20.43	20.43	19.81	22.46	22.46	22.46	22.41	34.73	20.86	21.52	23.58	22.08	34.59	34.64	34.44	31.54	31.72	31.59	19.20	22.20	16.74	19.28			
Niveau du PVC (m)	24.60	24.56	24.41	24.53	23.85	23.99	24.06	24.06	21.36	21.34	21.32	20.50	23.45	23.44	23.43	23.34	35.70	21.65	22.42	24.38	23.24	35.24	35.29	35.37	32.47	32.41	32.35	19.28	23.16	18.01	20.50			
24-oct-01	20.96	20.29	20.63																															
25-oct-01	20.96	20.26	20.65																															
26-oct-01	20.92	20.47	20.60																															
29-oct-01	20.98	20.55	20.55																															
30-oct-01	20.98	20.88	20.56																															
31-oct-01	20.96	20.90	20.56																															
1-nov-01	20.98	20.83	20.59	21.15																														
2-nov-01	20.97	20.83	20.66	20.97																														
5-nov-01	20.95	20.98	20.63	20.56																														
7-nov-01	20.95	20.89	20.61	20.48									18.69	13.66	18.98																			
8-nov-01	20.94	20.89	20.63	20.46									18.76	17.68	18.90																			
9-nov-01	20.94	20.85	20.63	20.51									18.70	18.49	18.97																			
12-nov-01	20.92	20.87	20.50	20.43									18.71	18.80	18.95																			
13-nov-01	20.93	20.86	20.50	20.40									18.71	18.80	18.99																			
14-nov-01	20.91	20.84	20.49	20.38									18.67	18.80	18.99																			
15-nov-01	20.93	20.84	20.49	20.39									18.75	18.83	18.99																			
19-nov-01	20.91	20.84	20.48	20.36									18.76	18.82	18.96																			
20-nov-01													18.76	18.83	18.98																			
21-nov-01													18.74	18.80	18.96																			
22-nov-01													18.74	18.81	18.97																			
23-nov-01						20.47							18.74	18.80	18.97																			
26-nov-01						20.48																												
25-nov-01																																		
27-nov-01						20.47	20.40	21.82					18.74	18.80	18.97																			
28-nov-01																																		
29-nov-01					19.68	20.46	19.87	20.78																										
30-nov-01	20.88	20.84	20.46	20.32	19.74	20.45	19.88	20.85																										
1-déc-01					19.79	20.48	19.88	20.53					18.69	18.83	18.99	21.03																		
2-déc-01	20.88	20.83	20.45	20.32	19.82	20.50	19.87	20.43	19.19	18.05	14.43		18.75	18.82	18.96	20.94																		
3-déc-01	20.86	20.81	20.45	20.32	19.79	20.49	19.86	20.36	19.24	18.58	16.54		18.74	18.83	18.98	20.89																		
4-déc-01					19.80	20.47	19.84	20.27								20.85																		
5-déc-01																																		
6-déc-01	20.86	20.83	20.47	20.31	19.81	20.48	19.85	20.20	19.34	18.91	19.00		18.81	18.88	19.00	20.75																		
7-déc-01						20.47	19.93	20.44																										
8-déc-01													18.85	18.86		20.64																		
10-déc-01	20.90	20.87	20.48	20.33	20.33	20.41	19.86	20.29	19.33	18.88	19.07																							
11-déc-01									19.32	18.85	18.88																							
12-déc-01					20.34	20.05	19.82	20.49			19.74																							
13-déc-01					22.51	20.41	20.09	20.07		18.36	18.84																							
14-déc-01	20.95	20.89	20.49	20.34	22.43	20.42	19.97	20.08		18.84	18.74		18.90	18.88	19.10	20.51																		
17-déc-01									20.03	18.83	18.89																							
18-déc-01					22.18	20.41	19.83	19.96	19.85	18.82	18.90																							
23-janv-02	20.95	20.83	20.19	20.28	21.37	20.30	19.69	19.68	19.81	19.41	18.45		18.77	18.80	18.95	19.91																		
5-févr-02											19.92																							
6-févr-02	20.81	20.78	20.23	20.24	21.19	20.26	19.67	19.64					18.69	18.74	18.91	19.71																		
30-avr-02	21.34	21.30	20.42	20.59	20.86	20.63		19.81	21.36	20.36	20.20	19.27	19.16	19.17	19.22	18.81																		
17-mai-02	21.48	21.40	20.49	20.69	20.83	20.67		19.88	21.36	20.34	20.14	19.28	19.26	19.23	19.29	18.66																		
13-juin-02																							19.84	19.96	19.75	19.72								
14-juin-02																																		
16-juin-02																																		
19-juin-02																																		
27-juin-02	21.51	21.45	21.29</																															

Les niveaux d'eau observés à certains endroits durant le suivi piézométrique indiquent que le niveau de la nappe se situe près de la surface du sol et varie généralement entre 1,30 m et 4,77 m de profondeur selon les endroits<sup>7</sup>. La piézométrie de la nappe à l'endroit de l'aquifère supérieur est présentée à la figure 6.1. On y observe une direction générale d'écoulement orientée de l'ouest vers l'est, respectant ainsi la direction d'écoulement régionale également orientée vers le fleuve à l'est. On constate également la présence d'un niveau piézométrique plus élevé dans la partie nord-ouest du site de l'agrandissement, à l'endroit du centre de compostage. Cet endroit correspond à un niveau topographique plus élevé qui contribue à rehausser localement le niveau de la nappe intimement lié à l'infiltration d'eau venant de la surface. Un niveau légèrement plus élevé est également présent au droit de la cellule d'enfouissement C-3. Ce niveau se situe au niveau du terrain naturel, tout juste à la base de la cellule d'enfouissement. Le rehaussement du niveau topographique (cellule d'environ 14 m de haut) serait encore une fois responsable de ces conditions.

Les gradients hydrauliques horizontaux sont relativement constants avec des valeurs de l'ordre de 0,002 à 0,005 pour l'ensemble du site de l'agrandissement.

### 6.3.2 Nappe captive

La nappe captive, localisée dans les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires, est séparée de la nappe de surface par environ 40 m d'argile «impermeable».

Cette couche confinante contribue à maintenir des conditions artésiennes dans l'aquifère captif dont la zone de recharge principale est située dans les collines au nord-ouest, à la limite d'extension de la mer Champlain.

---

<sup>7</sup> Une profondeur moins importante du niveau de la nappe est observée au printemps à l'endroit des puits F-6. Toutefois, ces conditions sont probablement influencées par les pressions de gaz observées à l'intérieur de ces derniers.



Les mesures de niveaux d'eau effectuées dans les piézomètres profonds F-4-F, F-8, F-9, F-10, F-11 et F-12, installés dans les matériaux d'origine glaciaire ou la partir supérieure du roc, indiquent que les niveaux piézométriques de la nappe captive au droit du site de l'agrandissement se situe entre 5 et 7 m de la surface. La piézométrie de la nappe captive est présentée à la figure 6.2.

On constate que le régime d'écoulement de la nappe captive est similaire à celui observée dans l'aquifère supérieur, avec une direction générale d'écoulement orientée de l'ouest vers l'est.

Les gradients hydrauliques horizontaux sont un peu plus variables que ceux observés dans la nappe de surface avec des valeurs se situant entre 0,02 et 0,001.

### 6.3.3 Gradients verticaux

Les mesures de niveaux d'eau réalisées dans les nombreux piézomètres installés à différents niveaux à l'intérieur de la couche d'argile imperméable, ont permis d'établir les conditions piézométriques existant au sein de cette unité et de les mettre en relation avec celles observées dans les deux unités plus perméables situées de part et d'autre.

De façon générale, le niveau piézométrique observé dans chacune de ces unités se situe à moins de 5 m sous la surface du sol. Une différence de l'ordre de 4 m est généralement observée entre le niveau de la nappe phréatique et le niveau piézométrique de la nappe captive situé sous le dépôt d'argile. Les niveaux piézométriques observés dans la couche d'argile confirme cette tendance avec des niveaux piézométriques se situant généralement entre les deux.

En raison de l'importance de l'épaisseur de la couche d'argile (environ 40 m), les différences de charge hydraulique observées de part et d'autre de celle-ci induisent des gradients hydrauliques verticaux relativement faibles dans cette unité. Ceux-ci, évalués à environ 0,1, indiquent que l'écoulement de l'eau dans la couche d'argile se fait du haut vers le bas, soit de la nappe de surface vers la nappe captive située sous l'argile.

## **7 CARACTÉRISATION ENVIRONNEMENTALE**

### **7.1 Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines**

Les résultats de la caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines dans l'aquifère supérieur sont présentés au tableau 7.1 (HGE, février 2002). Ces résultats seront complétés par d'autres analyses pour s'assurer de l'absence de contaminants pouvant nuire à l'intégrité de l'écran périphérique d'étanchéité. Cet aspect est discuté dans le rapport «Ingénierie détaillée – Écran périphérique d'étanchéité» (TECSULT, août 2003).

### **7.2 Caractérisation environnementale des sols au droit de la cellule d'enfouissement C-3**

Les résultats des analyses environnementales effectuées sur les sols prélevés au droit des forages F-13 et F-14, ont permis d'évaluer l'impact du lixiviat généré par la cellule C-3 sur la qualité des sols sous-jacents. Ces résultats sont présentés au tableau 7.2. Les critères génériques de la politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du MENV y sont également inclus à titre indicatif.

Ainsi, on constate qu'aucun des échantillons prélevés ne présente de concentration supérieure au critère générique A du MENV, correspondant généralement à la teneur de fond pour les paramètres inorganiques ou à la limite de quantification pour les paramètres organiques.

Ces résultats démontrent donc l'absence d'impact significatif des activités reliées à l'exploitation de la cellule C-3 sur la qualité environnementale des sols sous-jacents.

**Tableau 7.1**  
**Résultats analytiques de l'eau souterraine sur l'ensemble du site <sup>1</sup>**

PIEZOMÈTRE:		F-301A	F-302A	F-303A	F-304A	F-305A	F-306A	F-307A	F-308A	P-24	P-31	PE-300	P-28	O-102	N-102	E-102	P-57A	F-301B	
DATE DE PRÉLÈVEMENT:		2001-11-21	2001-11-22	2001-11-22	2001-11-21	2001-11-22	2001-11-21	2001-11-22	2001-11-21	2002-02-07	2002-02-07	2001-12-20	2002-02-07	2002-02-07	2002-02-07	2002-02-07	2002-02-07	2002-02-07	
PROFONDEUR (m):		6,8-8,3	7,2-8,7	7,2-8,7	7,2-8,7	7,0-8,5	8,3-9,8	6,3-7,9	6,9-8,5	7,6-9,1	5,7-7,2	6,9-10,0	26,6-29,6	26,2-27,7	30,4-31,9	25,9-27,4	22,3-24,4	33,3-34,8	
PARAMÈTRES	unité	RÉSULTATS ANALYTIQUES																	
ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES																			
COLIFORMES TOTAUX	UFC/100ml	17	0	0	2	0	1	14	0	0	0	0	<2	>200	<2	>200	<10	>100	
COLIFORMES FÉCAUX	UFC/100ml	0	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	
ATYPIQUES	UFC/ml	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NA	<2	<2	5	<2	<10	0	
DBO5	mg/l	<6	150	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	<6	6	15	26	15	<6	9	
DCO	mg/l	<5	250	5	<5	<5	41	<5	<5	<5	25	<5	<5	21	33	16	6	9	
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES																			
AZOTE AMMONIACAL (N)	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.3	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.50	1.6	2.4	1.1	0.29	0.20	
BARYUM	mg/l	<0.01	0.35	0.28	0.02	0.12	<0.01	0.07	0.02	<0.01	0.16	<0.01	0.09	0.36	0.74	0.16	<0.01	0.10	
BORE	mg/l	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	<0,1	<0,1	<0,01	<0,1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	
CADMIUM	mg/l	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	
CHLORURES	mg/l	1.0	22	2.2	5.2	4.4	1.6	1.2	3.4	<2	8.0	0.4	25	410	150	100	<2	160	
CHROME	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
CUIVRE	mg/l	0.008	0.006	0.006	0.006	0.007	0.002	0.005	0.007	0.003	0.004	<0.006	0.004	0.006	0.005	0.005	0.005	0.003	
CYANURES TOTAUX	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.07	<0.01	<0.01	0.02	0.05	<0.01	
FER TOTAL	mg/l	<0.02	0.91	0.03	0.06	0.31	<0.02	0.13	0.58	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.83	0.41	0.08	<0.02	<0.02	
MERCURE TOTAL	mg/l	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
NITRATES + NITRITES	mg/l	<0.01	<0.01	0.58	<0.01	3.9	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	3.0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
pH	-	8.5	7.2	8.3	8.4	7.1	8.5	8	8.5	8.1	5.8	8.1	8.1	7.7	7.6	7.8	8.3	7.4	
PHÉNOLS (4 AAP)	mg/l	<0.002	0.1	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
PLOMB	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	
SULFATES	mg/l	11	<1	10	13	5	9	7	9	12	5	12	5	18	3	5	<2	11	
SULFURES (en H2S)	mg/l	0.1	0.05	<0.02	0.08	<0.02	0.11	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.08	0.10	0.14	0.06	
ZINC	mg/l	0.006	0.057	0.036	0.006	0.058	0.014	0.049	0.02	0.006	0.007	<0.010	0.006	0.008	0.006	0.006	0.005	0.008	

<sup>1</sup> Résultats fournis par HGE provenant de leur campagne de 2001-2002.



### **7.3 Caractérisation environnementale des eaux souterraines au droit de la cellule d'enfouissement C-3**

Le tableau 7.3 présente les résultats d'analyses environnementales effectuées sur les échantillons d'eau souterraine prélevés aux puits F-13-A à -C et F-14-A à -C. À la lumière de ces résultats, on constate que seul le sommet de l'aquifère supérieur apparaît avoir été affecté significativement par les eaux de lixiviation générées par la cellule C-3. Cet impact semble être confiné dans un horizon situé à moins de 2,5 m à 5 m de profondeur sous la base des déchets.

**Tableau 7.3**  
**Résultats analytiques de la qualité de l'eau souterraine sous la cellule C-3 (mg/L)**

No. Forage Date d'échantillonnage No. Échantillon Prof. sous la cell 3 (m)	F-13a	F-13b	F-13c		F-14a		F-14b		F-14c	
	19-06-2002	19-06-2002	19-06-2002	03-04-2003	19-06-2002	03-04-2003	19-06-2002	03-04-2003	19-06-2002	03-04-2003
	145898	145900	145901	281218	145902	281219	145903	281220	145904	281221
	1 à 3	3 à 5	5.5 à 7	5.5 à 7	0.5 à 2.5	0.5 à 2.5	2 à 3.8	2 à 3.8	5 à 6.7	5 à 6.7
Aluminium	7.3	2.5	0.60	-	0.85	-	1.9	-	0.92	-
Cadmium	-	-	-	<0.0005	-	<0.0005	-	<0.0005	-	<0.0005
Chlorure	2400	550	2	<2	240	54	40	<2	17	<2
Cyanures totaux	0.08	<0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.08
Chrome	0.50	0.27	0.003	<0.001	0.006	<0.001	0.004	<0.001	0.002	<0.001
Cuivre	0.04	0.05	0.004	<0.001	0.016	<0.001	<0.001	<0.001	0.007	0.001
DBO5	1400	740	<6	<2	99	9	<6	<2	<6	<2
DCO	5000	1900	<5	12	160	21	13	<5	5	<5
Fer	37	11	1.9	<0.07	24	15	2.4	0.28	3.9	<0.07
Sulfures	96	0.24	<0.1	<0.02	<0.02	<0.02	<0.1	<0.02	<0.02	<0.02
Mercure	0.0012	0.0003	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001
Manganèse	3.1	0.22	0.09	-	8.1	-	0.21	-	0.19	-
Azote amoniacal (en N)	850	460	0.09	-	3.1	-	0.06	-	<0.05	-
Nickel	0.25	0.14	0.02	<0.001	<0.02	0.007	0.02	<0.001	0.04	<0.001
Nitrites (en N)	0.040	0.020	0.012	-	<.001	-	0.024	-	0.016	-
Nitrites-Nitrates (en N)	<0.04	<0.02	<0.02	-	0.04	-	0.26	-	<0.02	-
Plomb	<.05	<0.05	<.003	<0.003	0.007	<0.003	0.004	<0.003	<0.03	0.006
Sulfates	<200	<20	6	9	110	4	130	8	10	10
Zinc	0.40	0.17	0.010	<0.003	0.061	0.003	0.017	<0.003	0.023	0.003
Huiles et graisses totales	64	31	<1.0	<1	<1.0	<1	6.2	<1	<1.0	<1
Phénols (4AAP)	2.6	2.1	<0.002	<0.002	0.20	0.007	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	-	-	-	0	-	0	-	0	-	0
Coliformes totaux (UFC/100 ml)	-	-	-	0	-	0	-	0	-	0

## 8 RÉFÉRENCES

Bilodeau, C. (1985). *Annuaire de puits et forages*, Tome 2, Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement.

CAN/BNQ 2501-130-M88 (1988). *Soils-Determination of permeability at the end of a casing*. National Standard of Canada.

CAN/BNQ 2501-135-M88 (1988). *Soils-Determination of permeability by the Lefranc method*. National Standard of Canada.

Chapuis *et al.* (1981). *In situ variable head permeability tests*. Proceedings, X<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Vol. 1, pp. 401-406.

Clark, T.H., Globensky, Y. (1976). *Rapport géologique 155 « Région de Sorel »*. Ministère des Richesses Naturelles.

Deblois, R., Simard, P., Houde, M. (1964). *Gaz et pétrole dans les Basses-Terres du Saint-Laurent*. Ministère des Richesses Naturelles.

Gazette Officielle du Québec, *Projet de règlement sur l'élimination des matières résiduelles*, octobre 2000, 132<sup>e</sup> année, no 43.

Grenier, C. (1973). *Levé hydrogéologique H.G.P.-8 « Saint-Cuthbert Comté de Berthier, Joliette et de Maskinongé »*. Ministère des Richesses Naturelles.

ISSMFE (1989). *Appendix A : « International reference test procedure for cone penetration test (CPT) »*. Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of soils – TC 16, with Reference to Test Procedures, Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Information, 7, pp. 6-16.

Lasalle, P. (1973). *Rapport géologique DP140 « Géologie des dépôts meubles de la région de Joliette-Sorel »*. Ministère des Richesses Naturelles.

Leroueil, S. (1988). *Tenth Canadian Geotechnical Colloquium : Recent developments in consolidation of natural clays*. *Can. Geotech. J.*, Vol. 25, pp. 85-107.

Lunne, T., Robertson, P.K. et Powell, J.J.M. (1997). *Cone penetration testing in geotechnical practice*. Blackie Academic & Professional, An Imprint of Chapman & Hall.

McCormack, R. (1983). Étude hydrogéologique « Rive nord du Saint-Laurent ». Ministère de l'Environnement du Québec.

Ministère de l'Environnement du Québec (1998) Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés.

RRQ Q-2, r.3.2, Règlement sur les déchets solides, à jour au 20 mai 2003.

Tavenas, F., Diene, M. et Leroueil, S. (1990). Analysis of the *in situ* constant-head permeability test in clays. *Can. Geotech. J.*, Vol. 27, pp. 305-314.

Tavenas, F., Tremblay, M., Larouche, G. et Leroueil, S. (1986). *In situ* measurement of permeability in soft clays. *Proceedings of In situ 86, ASCE CT Division, Blacksburg VA*, pp. 1034-1047.

Tavenas, F., Tremblay, M. et Leroueil, S. (1983). Mesure *in situ* de la perméabilité des argiles. *Bulletin de l'Association Internationale de géologie de l'ingénieur*, No 26-27, pp. 509-513.

Tecsult. Étude d'ingénierie détaillée – Écran périphérique d'étanchéité. Projet d'agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire de Saint-Thomas. Rapport final, août 2003.