



LIEU D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE DE SAINT-ALPHONSE

Rapport d'étude hydrogéologique et géotechnique

26 février 2007

N/Réf. : Hydrogéolo-Sol P010094
N/Réf. : PESCA Environnement 06132



Municipalité de Saint-Alphonse

Rapport d'étude hydrogéologique et géotechnique Lieu d'enfouissement technique de Saint-Alphonse

Préparé par :

Hugues Bouchard, géol. B.Sc.
Chargé de projet et chargé de discipline hydrogéologie
Hydrogéo-Sol

Et :

Karl LeBlanc, ing., M. Sc. A.
Chargé de discipline géotechnique
PESCA Environnement

Vérifié et approuvé par :

Louis Couillard, ing.
Directeur de projet
PESCA Environnement

Et :

Christian Denis, ing., M.Sc.A.
Hydrogéologue senior
Hydrogéo-Sol

PESCA Environnement inc.

574, boul. Perron Est, C.P. 11
Maria (Québec) G0C 1Y0
Téléphone : (418) 759-3605
Télécopieur : (418) 759-5524
Courriel : adm@pescaenvironnement.com
Site Web : www.pescaenvironnement.com

Experts-Conseils Hydrogéo-Sol inc.
Filiale de Dessau-Soprin inc.

245, rue Riverin, bureau 101
Chicoutimi (Québec) G7H 4R6
Téléphone : (418) 545-8256
Télécopieur : (418) 545-8254
Courriel : hydrogeosol@dessausoprin.com
Site Web : www.dessausoprin.com/

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Contexte de l'étude	1
1.1.1	<i>Étude géotechnique</i>	<i>2</i>
1.1.2	<i>Étude hydrogéologique</i>	<i>2</i>
1.1.3	<i>Calendrier des travaux</i>	<i>3</i>
2	MÉTHODOLOGIE	4
2.1	Travaux de terrain	4
2.1.1	<i>Implantation et nivellement des forages</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Forage et aménagement des puits d'observation</i>	<i>5</i>
2.1.3	<i>Échantillonnage des dépôts meubles</i>	<i>8</i>
2.1.4	<i>Échantillonnage du socle rocheux</i>	<i>8</i>
2.1.5	<i>Mesure des niveaux d'eau souterraine</i>	<i>8</i>
2.1.6	<i>Purge des puits d'observation</i>	<i>9</i>
2.1.7	<i>Essai de perméabilité in situ à charge variable</i>	<i>9</i>
2.1.8	<i>Échantillonnage de l'eau souterraine</i>	<i>9</i>
2.1.9	<i>Échantillonnage de l'eau de surface</i>	<i>10</i>
2.2	Travaux de laboratoire	11
2.2.1	<i>Analyses granulométriques et sédimentométriques</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Analyses chimiques sur les échantillons d'eau souterraine</i>	<i>13</i>
2.2.3	<i>Analyses chimiques sur les échantillons d'eau de surface</i>	<i>14</i>
2.3	Inventaire des puits d'alimentation en eau potable	14
3	DESCRIPTION PHYSIOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE	15
3.1	Généralités	15
3.2	Conditions climatiques et hydrologiques	15
3.3	Topographie	16
3.3.1	<i>Topographie régionale</i>	<i>16</i>
3.3.2	<i>Topographie locale</i>	<i>16</i>
3.4	Drainage superficiel	16
3.4.1	<i>Drainage régional</i>	<i>16</i>
3.4.2	<i>Drainage local</i>	<i>17</i>
4	CONTEXTE STRATIGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE	18
4.1	Géologie régionale	18
4.1.1	<i>Dépôts meubles</i>	<i>18</i>
4.1.2	<i>Socle rocheux</i>	<i>20</i>
4.2	Géologie locale	21
4.2.1	<i>Dépôts meubles</i>	<i>21</i>
4.2.2	<i>Socle rocheux</i>	<i>23</i>

5	CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE.....	25
5.1	Description des unités hydrostratigraphiques	25
5.2	Nappe d'eau souterraine	26
5.3	Conductivité hydraulique des unités hydrostratigraphiques	28
5.4	Écoulement souterrain et gradient hydraulique horizontal	30
5.4.1	<i>Gradient hydraulique horizontal.....</i>	<i>30</i>
5.4.2	<i>Vitesse horizontale moyenne d'écoulement.....</i>	<i>31</i>
5.4.3	<i>Gradient hydraulique vertical.....</i>	<i>32</i>
5.4.4	<i>Inventaire des puits d'alimentation en eau potable.....</i>	<i>32</i>
5.4.5	<i>Classification des eaux souterraines</i>	<i>33</i>
6	QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE	35
6.1	Critères d'évaluation des résultats d'analyses chimiques	35
6.2	Qualité des eaux souterraines avant l'aménagement et l'exploitation du LET	35
6.2.1	<i>Qualité de l'eau souterraine dans les dépôts meubles.....</i>	<i>35</i>
6.2.2	<i>Qualité de l'eau souterraine dans le socle rocheux</i>	<i>36</i>
6.2.3	<i>Discussion du dépassement des normes de certains paramètres dans les eaux souterraines.....</i>	<i>40</i>
6.2.4	<i>Qualité de l'eau de surface</i>	<i>40</i>
7	CONTEXTE GÉOTECHNIQUE	42
7.1	Capacité portante des sols.....	42
7.2	Eau souterraine	43
7.3	Excavation.....	44
7.4	Désaffectation du système de traitement des eaux usées.....	44
7.5	Sensibilité au remaniement et aux tassements potentiels.....	44
7.6	Stabilité des sols vis-à-vis le soulèvement du fond des cellules ou des talus	45
8	CONFORMITÉ DU SITE À L'ÉTUDE AU RÈGLEMENT SUR L'ENFOUISSEMENT ET L'INCINÉRATION DE MATIÈRES RÉSIDUELLES.....	46
8.1	Article 13.....	46
8.2	Article 14.....	46
8.3	Article 15.....	47
8.4	Article 16.....	47
8.5	Article 20.....	48
8.6	Article 21.....	48
8.7	Articles 22 et 23	49

9	CONCLUSION ET COMMENTAIRES.....	51
9.1	Contextes géologique et hydrogéologique.....	51
9.2	Qualité des eaux souterraines et de surface avant l'aménagement du LET.....	53
9.3	Contexte géotechnique.....	54
9.4	Conformité du site à l'étude.....	54
10	RECOMMANDATIONS.....	56
11	LIMITATIONS DE L'ÉTUDE.....	57
12	RÉFÉRENCES.....	59

Tableaux

Tableau 1 :	Caractéristiques de construction des puits d'observation.....	7
Tableau 2 :	Niveaux statiques de l'eau souterraine mesurés entre le 14 décembre 2006 et le 9 janvier 2007.....	27
Tableau 3 :	Valeurs de la conductivité hydraulique (K) obtenues à partir des essais de perméabilité à niveau variable ascendant.....	29
Tableau 4 :	Définition des classes d'eau souterraine.....	33
Tableau 5 :	Résultats d'analyses de l'eau souterraine des puits d'observation PO-1 à PO-5.....	38
Tableau 6 :	Résultats d'analyses de l'eau souterraine des puits d'observation PO-6 à PO-9.....	39
Tableau 7 :	Résultats d'analyses de l'eau de surface de « l'exutoire est » du cours d'eau.....	41
Tableau 8 :	Capacité portante des sols.....	42

Figures

Figure 1:	Localisation générale du site à l'étude
Figure 2:	Localisation du site à l'étude, des infrastructures et des puits d'observation
Figure 3:	Contexte géologique autour du site à l'étude (extrait de la carte de la géologie des sédiments meubles de la région New Richmond–New Carlisle , MRNF, 1983)
Figure 4:	Piézométrie à l'état statique de la nappe d'eau dans les dépôts meubles le 9 janvier 2007
Figure 5:	Stratigraphie le long de la coupe longitudinale A-A'
Figure 6:	Stratigraphie le long de la coupe longitudinale B-B'
Figure 7:	Stratigraphie le long de la coupe transversale C-C''
Figure 8:	Stratigraphie le long des coupes transversales D-D', E-E' et F-F'

Annexes

Annexe 1 : Description des forages et des puits d'observation

Annexe 2 : Rapport d'essais de perméabilité

Annexe 3 : Certificats d'analyses chimiques de l'eau

Annexe 4 : Rapport d'analyses des échantillons de sol

Ce document d'ingénierie, œuvre de PESCA Environnement inc. et Experts-conseils Hydrogéo-Sol inc., filiale de Dessau-Soprin, est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de PESCA Environnement, Experts-conseils Hydrogéo-Sol et leur client.

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

Les sous-traitants qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment qualifiés selon la procédure relative à l'approvisionnement du manuel qualité de Hydrogéo-Sol. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec le chargé de projet.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

La Municipalité de Saint-Alphonse a mandaté les firmes PESCA Environnement inc. et Experts-conseils Hydrogéolo-Sol inc., filiale de Dessau-Soprin (ci-après Hydrogéolo-Sol), pour la réalisation d'une étude hydrogéologique et géotechnique sur le site proposé pour l'aménagement du futur lieu d'enfouissement technique (LET) de Saint-Alphonse.

Le projet d'implantation du futur LET vise à répondre aux besoins des municipalités régionales de comté (MRC) de Bonaventure et d'Avignon et, possiblement, d'autres usagers dans la région de la Gaspésie. Ce projet est rendu nécessaire par la fermeture du lieu d'enfouissement sanitaire de New Richmond et l'abandon du projet d'agrandissement de ce site par la Régie intermunicipale de gestion des déchets solides de New Richmond, Caplan et Maria. De plus, avec l'entrée en vigueur en 2006 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP, 2006b), les dépôts en tranchées situés sur le territoire devront être fermés au plus tard le 19 janvier 2009 et les municipalités ne disposeront plus d'aucun lieu pouvant recevoir, de façon économique, les matières résiduelles. En effet, les lieux existants pouvant potentiellement recevoir ces matières (Rimouski, Matane et Gaspé) sont situés à de trop grandes distances et sont limités par décret, soit dans le tonnage annuel ou par le territoire qu'ils peuvent desservir.

Plusieurs études préliminaires réalisées par PESCA Environnement ont permis de recueillir des données pertinentes et d'acquérir des connaissances en vue de l'établissement d'un futur LET sur le territoire des MRC de Bonaventure et d'Avignon. En 2005, le Plan de gestion des matières résiduelles (PGMR) de ces deux MRC a été actualisé de manière à fixer les orientations à long terme en regard des particularités et conditions économiques régionales, des objectifs de récupération et des infrastructures à mettre en place pour le futur (PESCA Environnement, 2006).

La présente étude hydrogéologique et géotechnique a été réalisée dans le but de répondre à une partie de la directive émise par la Direction des évaluations environnementales du MDDEP concernant les projets d'aménagement de LET (MDDEP, 2006a). L'étude vise spécifiquement à mieux définir les caractéristiques hydrogéologiques et géotechniques du site à l'étude, situé à proximité des limites sud de la Municipalité de Saint-Alphonse, sur la moitié est du lot 1018 du

rang V dans le canton de Hamilton (figure 1). Le secteur prévu pour l'aménagement des infrastructures du LET, comprenant une zone d'enfouissement et des installations de traitement des eaux de lixiviation, couvre une superficie de l'ordre de 11,4 ha (figure 2).

1.1.1 Étude géotechnique

PESCA Environnement a mené en 2004 et 2005 des études préliminaires ayant pour but l'identification de sites potentiels pour l'aménagement d'un nouveau LET dans les MRC de Bonaventure et d'Avignon ainsi qu'une étude d'avant-projet visant à définir les aménagements requis et les coûts associés. Des relevés géotechniques préliminaires ont également permis d'identifier le site le plus approprié sur le territoire des deux MRC à la suite d'une analyse multicritère (PESCA Environnement/André Simard et associés, 2005 ; PESCA Environnement, 2004). Le site proposé est situé sur le territoire de la MRC de Bonaventure dans la Municipalité de Saint-Alphonse.

L'étude géotechnique incluse dans le présent rapport montre les résultats recueillis lors des travaux de forage et d'échantillonnage sur le terrain ainsi que les résultats des analyses en laboratoire réalisées entre décembre 2006 et janvier 2007. Il présente également le contexte géotechnique du projet d'implantation du LET ainsi que la conformité du site à l'étude en ce qui a trait à son utilisation à des fins d'enfouissement de matières résiduelles, tout en précisant les données pertinentes à la conception et à l'aménagement du LET.

1.1.2 Étude hydrogéologique

L'étude hydrogéologique présente les résultats recueillis lors des travaux d'aménagement de neuf puits d'observation et d'échantillonnage de l'eau sur le site ainsi que les résultats des analyses en laboratoire réalisées entre décembre 2006 et février 2007. Il présente également les contextes géologique et hydrogéologique du projet ainsi que la conformité du site à l'étude en ce qui a trait à son utilisation à des fins d'enfouissement de matières résiduelles, tout en précisant les exigences de la réglementation en vigueur afin de minimiser les risques d'impact environnemental. L'aménagement des puits d'observation vise à déterminer les propriétés hydrogéologiques du milieu ainsi qu'à échantillonner l'eau souterraine dans le cadre de l'application d'un suivi analytique.

1.1.3 Calendrier des travaux

Les travaux suivants ont été effectués dans le cadre du mandat :

- 6 août 2006 Appel d'offres pour services professionnels – Réalisation d'une étude géotechnique et hydrogéologique
- 17 et 28 août 2006 Visites de terrain par l'équipe de projet
- 30 août 2006 Présentation de l'offre de service professionnel par PESCA Environnement et Hydrogéo-Sol
- 2 octobre 2006 Acceptation de l'offre de service par le conseil municipal de Saint-Alphonse, conditionnellement à l'acceptation du règlement d'emprunt
- 13 novembre 2006 Autorisation à débiter le mandat par la Municipalité de Saint-Alphonse
- 15 au 30 novembre 2006 Étude du secteur et planification des forages et relevés de terrains
- 4 au 9 décembre 2006 Mobilisation du personnel et des équipements pour l'exécution des forages. Aménagement des puits d'observation. Travaux de forage sur le site
- 5 décembre 2006 Réunion de démarrage à Saint-Alphonse
- 9 au 15 décembre 2006 Pompage et échantillonnage de l'eau souterraine, réalisation des essais de perméabilité à niveau variable et échantillonnage de l'eau de surface. Premier relevé piézométrique
- 11 décembre 2006 au 20 février 2007 Analyse des échantillons de sol et d'eau et analyses en laboratoire
- 22 décembre 2006 Deuxième relevé piézométrique
- 9 janvier 2007 Troisième relevé piézométrique
- 17 janvier au 23 février 2007 Interprétation des analyses et rédaction du rapport.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 Travaux de terrain

Les travaux de terrain effectués entre décembre 2006 et janvier 2007 dans le cadre de la présente étude ont été les suivants :

- réalisation de huit forages à travers les dépôts meubles jusqu'au roc et leur aménagement en puits d'observation afin de connaître les conditions hydrogéologiques ponctuelles et de vérifier la qualité de l'eau souterraine dans les dépôts meubles sus-jacents au socle rocheux;
- réalisation d'un forage à travers les dépôts meubles jusqu'à 6,10 m dans le roc et son aménagement en puits d'observation afin de connaître les conditions hydrogéologiques locales et de vérifier la qualité de l'eau souterraine dans le socle rocheux;
- prélèvement des échantillons de sol en cours de forage et description visuelle;
- réalisation de trois relevés piézométriques pour connaître le niveau d'eau souterraine dans les neuf puits d'observation sous des conditions statiques;
- prélèvement d'échantillons d'eau souterraine dans chacun des neuf puits d'observation;
- prélèvement d'échantillons d'eau de surface dans le cours d'eau au sud de l'aire d'implantation projetée du LET;
- réalisation d'essais de perméabilité dans les huit puits d'observation aménagés dans les dépôts meubles et dans le puits d'observation aménagé dans le socle rocheux du site afin de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques des unités hydrostratigraphiques;
- relevé topographique complémentaire (en coordonnées géodésiques x, y, z) du site à l'étude et de chaque puits d'observation;
- inventaire des puits d'eau potable (privés et publics) et de tout ouvrage de captage d'eau souterraine ou de surface dans un rayon de un kilomètre autour du site à l'étude.

2.1.1 Implantation et nivellement des forages

L'emplacement des trous de forage (TF) réalisés dans le cadre de cette étude a été préalablement déterminé par PESCA Environnement et Hydrogéolo-Sol à partir des directives contenues dans le document d'appel d'offres et des recommandations et de la firme André Simard et associés (André Simard et associés, 2006). L'emplacement final des différents puits d'observation sur le terrain a été ajusté en fonction des limites de lots relevés par Pierre Bourque, arpenteur-géomètre, et de l'emplacement actuel du chemin utilisé par la machinerie forestière.

Une fois les puits d'observation installés, ceux-ci ont été nivelés et localisés par l'équipe d'arpenteurs de Pierre Bourque, arpenteur-géomètre. L'élévation du terrain naturel, le sommet du tubage en PVC des puits d'observation et le sommet du tubage protecteur en PEHD de chacun des ouvrages hydrauliques réfèrent à l'altitude géodésique obtenue à partir du repère géodésique n° 96K0004 situé à proximité du site. La figure 2 montre l'emplacement des puits d'observation (PO) implantés sur la partie de terrain destinée à aménager le LET projeté.

2.1.2 Forage et aménagement des puits d'observation

Au total, neuf forages ont été exécutés entre le 5 et le 8 décembre 2006 (figure 2). Tous les forages ont été foncés à la hauteur des dépôts meubles, sauf pour deux d'entre eux qui ont été arrêtés dans le socle rocheux. Le roc a été foré sur une course de 0,61 m dans le cas du PO-1 afin de confirmer sa présence. Le roc a été traversé sur une longueur totale de 6,10 m dans le cas du PO-2 afin de caractériser la formation rocheuse et permettre l'aménagement d'un puits d'observation.

Les forages ont été effectués à l'aide d'une foreuse de modèle B-53 montée sur chenilles utilisant des tarières ainsi que des tubes carottiers de calibre HQ et NQ. L'ensemble des forages a été réalisé par la compagnie Forages Comeau de Notre-Dame-de-Lourdes sous la supervision de monsieur David Parent, technicien en génie civil de PESCA Environnement et monsieur David Noël, technicien en hydrogéologie et environnement de Hydrogéolo-Sol. La profondeur des forages variait entre 2,56 et 13,72 m.

Huit des forages ont été aménagés en puits d'observation à simple niveau (PO-1 et PO-3 à PO-9) dans les dépôts meubles à une profondeur maximale de 6,25 m alors que le forage identifié comme PO-2 a été aménagé en puits d'observation à simple niveau à partir de 13,72 m de profondeur dans le socle rocheux sous-jacent aux dépôts meubles.

Chaque puits d'observation aménagé dans les dépôts meubles était constitué d'un tube en CPV de 51,0 mm de diamètre dont la section inférieure était munie d'une crépine caractérisée par des ouvertures de 0,25 mm et possédant au plus 3,05 m de longueur. La cellule piézométrique était composée de sable de silice placé dans l'espace annulaire compris entre la crépine de CPV et les parois du forage. Un bouchon étanche en bentonite surmontait la cellule piézométrique jusqu'à environ 0,60 m de la surface afin d'empêcher l'infiltration de l'eau de ruissellement le long du tubage. Les caractéristiques de construction des puits d'observation sont présentées au tableau 1.

Le puits d'observation PO-2 installé à la hauteur du socle rocheux était constitué d'un tube en ABS de 38,1 mm de diamètre dont la section inférieure était munie d'une crépine en ABS fabriquée à la main de 38,1 mm de diamètre et de 2,74 m de longueur. La cellule piézométrique était composée de sable de silice placé dans l'espace annulaire compris entre la crépine et les parois rocheuses. Un bouchon étanche en bentonite surmontait la cellule piézométrique pour éviter le lien hydraulique avec les dépôts meubles sus-jacents. Du tout-venant propre provenant des dépôts en place a été placé au-dessus du bouchon en bentonite. Un autre bouchon étanche en bentonite installé sur le tout-venant empêchait l'infiltration de l'eau de ruissellement. Enfin, du tout-venant propre a été placé au-dessus du bouchon de bentonite jusqu'en surface. Les caractéristiques de construction du puits d'observation sont présentées au tableau 1.

Un tubage protecteur en PEHD de 150,0 mm de diamètre a été installé en surface autour de chacun des tubages en CPV ou ABS afin de les protéger du vandalisme et des intempéries. Un couvercle cadenassé surmontait chaque tubage protecteur pour limiter l'accès au puits d'observation. Une solution chlorée a été injectée dans chacun des puits d'observation pour les désinfecter avant l'échantillonnage de l'eau souterraine.

Les détails d'aménagement de chacun des puits d'observation et les données de forage sont illustrés sur les fiches descriptives incluses à l'annexe 1 du présent rapport.

Tableau 1. Caractéristiques de construction des puits d'observation

Puits d'observation	Margelle « PVC ou ABS »		Sol Élévation (m)	Bouchon de bentonite		Cellule piézométrique		Crépine	
	Élévation (m)	Longueur (m)		Élévation (m)	Longueur (m)	Élévation (m)	Longueur (m)	Élévation (m)	Profondeur (m)
PO-1	127,15	1,19	125,96	125,960	0,91	125,05	3,36	123,98	2,13
PO-2	124,27	0,72	123,55	115,17 122,33	0,15 1,83	115,02	5,19	112,59	2,74
PO-3	124,40	0,92	123,48	123,48	0,91	122,57	5,21	120,28	3,05
PO-4	122,03	0,90	121,13	121,13	0,91	120,22	1,65	120,09	1,52
PO-5	121,57	0,60	120,97	120,97	0,94	120,03	2,17	119,38	1,52
PO-6	121,26	0,73	120,53	120,53	0,91	119,62	2,95	118,19	1,52
PO-7	119,56	0,66	118,90	118,90	1,30	117,60	2,81	116,55	1,52
PO-8	123,80	0,88	122,92	122,62	1,07	121,55	2,36	120,71	1,52
PO-9	123,77	0,87	122,90	121,99	0,92	121,07	2,49	120,69	1,52

Note : Les élévations sont données par rapport au système géodésique et mesurées à partir de la borne n° 96K0004.

2.1.3 Échantillonnage des dépôts meubles

Un total de 64 échantillons de sol a été prélevé à l'aide de cuillères fendues afin de déterminer la stratigraphie des dépôts meubles interceptés lors des forages. L'échantillonnage a été réalisé dans la plupart des forages par intervalle de 0,60 m. Pendant la progression des forages, l'indice N de pénétration standard a été mesuré à chaque prélèvement d'un échantillon de sol, selon la norme ASTM D-1586.

Tous les échantillons recueillis ont été décrits visuellement afin d'identifier la nature des sols. La position des échantillons prélevés dans chaque forage et les données stratigraphiques correspondantes sont présentées sur les fiches descriptives de l'annexe 1.

2.1.4 Échantillonnage du socle rocheux

Le massif rocheux a été échantillonné en continu au moyen d'un carottier diamanté de calibre NQ-2 au site du forage PO-2 seulement. Le roc a été carotté sur une longueur totale de 6,10 m en notant, entre autres, les pertes d'eau, la lithologie, les fractures et les éléments structuraux. Les carottes ont été décrites après chaque course de forage en calculant le taux de récupération et le RQD (« Rock Quality Designation »). Les données stratigraphiques sont présentées sur la fiche descriptive à l'annexe 1.

2.1.5 Mesure des niveaux d'eau souterraine

Un premier relevé piézométrique a été effectué le 14 décembre 2006 par monsieur David Noël, technicien en hydrogéologie et environnement de Hydrogéologie-Sol dans les neuf puits d'observation aménagés.

Un délai d'une semaine ou plus a été laissé entre ce premier relevé et les relevés piézométriques subséquents, soit le 22 décembre 2006 et le 9 janvier 2007, afin de permettre le retour à l'équilibre du niveau de l'eau souterraine. Ces deux derniers relevés ont été effectués par monsieur Karl LeBlanc, ingénieur de PESCA Environnement.

Les niveaux d'eau ont été mesurés à l'aide d'une sonde électrique conventionnelle de marque Solinst. Les mesures sont indiquées sur les fiches descriptives présentées à l'annexe 1.

2.1.6 Purge des puits d'observation

Préalablement à l'échantillonnage de l'eau souterraine, tous les puits d'observation ont été purgés de manière à retirer au moins trois fois le volume d'eau contenu dans chaque ouvrage et le massif filtrant ou jusqu'à l'assèchement des puits. Chacune des purges a été réalisée à l'aide d'une pompe à succion mécanique et de tubulure Waterra™ munie d'une pompe à clapet dédiée à chaque puits.

2.1.7 Essai de perméabilité *in situ* à charge variable

À la fin de chaque purge, un essai de perméabilité *in situ* par déplacement d'eau a été effectué à l'intérieur de tous les puits d'observation. La procédure de ce type d'essai par choc hydraulique à niveau variable ascendant consiste à vidanger un certain volume d'eau souterraine et à mesurer le recouvrement de la nappe à période fixe.

Durant l'essai, le niveau dynamique de l'eau a été suivi et mesuré à l'aide d'une sonde électrique conventionnelle en tentant d'obtenir au moins 80 % du rétablissement du niveau naturel de l'eau souterraine. Ce type d'essai permet d'évaluer la conductivité hydraulique à la hauteur de chacune des cellules piézométriques saturées en eau. Les données et l'interprétation des essais de perméabilité sont présentées à l'annexe 2.

2.1.8 Échantillonnage de l'eau souterraine

L'eau souterraine des puits d'observation PO-1 à PO-9 a été échantillonnée les 14 et 15 décembre 2006 par monsieur David Noël, technicien en hydrogéologie et environnement de Hydrogéo-Sol.

Suite à la réalisation des essais de perméabilité, l'échantillonnage de l'eau souterraine a été réalisé en utilisant les mêmes équipements dédiés à chaque puits, et ce, conformément aux directives du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* publié par le MDDEP (MDDEP, 1994). La température de l'eau souterraine a été mesurée sur le terrain à l'aide d'un thermomètre portatif préalablement calibré et soigneusement nettoyé entre chaque mesure.

Les échantillons d'eau souterraine ont été confinés dans des contenants préalablement préparés par le laboratoire responsable des analyses et conservés dans une glacière remplie de contenants réfrigérants jusqu'à leur dépôt au laboratoire. Les échantillons ont été codifiés, transportés et préservés selon les règles de l'art et les directives du MDDEP. Les échantillons dédiés à l'analyse des métaux ont été filtrés au laboratoire.

2.1.9 Échantillonnage de l'eau de surface

L'eau de surface a été échantillonnée le 14 décembre 2006 par monsieur David Noël, technicien en hydrogéologie et environnement de Hydrogéol-Sol dans le cours d'eau situé au sud de l'aire d'implantation projetée du LET. L'emplacement du point d'échantillonnage de l'eau de surface est présenté à la figure 2.

L'échantillonnage de l'eau de surface a été réalisé manuellement par immersion des contenants dans le ruisseau, et ce, conformément aux directives du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* (MDDEP, 2003). Une attention particulière a été portée afin de ne pas remuer le fond du cours d'eau au moment de plonger les bouteilles face au courant.

Les échantillons d'eau de surface ont été confinés dans des contenants préalablement préparés par le laboratoire responsable des analyses et conservés dans une glacière remplie de contenants réfrigérants jusqu'à leur dépôt au laboratoire. L'échantillon dédié à l'analyse des métaux a été filtré au laboratoire. La température de l'eau de surface a été mesurée sur le terrain à l'aide d'un thermomètre portable préalablement calibré et soigneusement nettoyé entre chaque mesure.

2.2 Travaux de laboratoire

Les travaux de laboratoire effectués entre décembre 2006 et janvier 2007 dans le cadre de la présente étude ont été les suivants :

- réalisation de dix-huit analyses granulométriques et de neuf analyses sédimentométriques sur des échantillons de sols représentatifs des horizons rencontrés;
- analyses chimiques sur les échantillons d'eau souterraine et d'eau de surface.

2.2.1 Analyses granulométriques et sédimentométriques

Les échantillons de sol prélevés dans les dépôts meubles ont été comparés entre eux afin d'optimiser le programme d'analyses en laboratoire. À partir de l'inspection visuelle des échantillons et des notes de terrain, dix-huit échantillons représentatifs de différents horizons stratigraphiques ont été sélectionnés parmi les 64 échantillons recueillis. Ces échantillons ont ensuite été expédiés à Laboratoire Géo-Construction inc. afin de réaliser des analyses granulométriques et sédimentométriques selon les normes respectives NQ 2560-040 et NQ 2501-025. Les analyses ont permis de qualifier les matériaux géologiques selon la proportion des diverses composantes granulométriques et de les identifier selon la classification unifiée. Les rapports d'analyses sont présentés à l'annexe 4.

Au total, dix-huit analyses granulométriques et neuf analyses sédimentométriques ont été effectuées, soit :

- PO-1, échantillon 3 : analyse granulométrique;
- PO-1, échantillon 4 : analyse granulométrique;
- PO-2, échantillon 11 : analyse granulométrique;
- PO-2, échantillon 15 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-2, échantillon 18 : analyse granulométrique;
- PO-2, échantillon 19 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-3, échantillon 31 : analyse granulométrique;
- PO-4, échantillon 34 : analyse granulométrique;

- PO-4, échantillon 36 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-4, échantillon 38 : analyse granulométrique;
- PO-5, échantillon 43 : analyse granulométrique;
- PO-6, échantillon 48 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-7, échantillon 49 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-7, échantillon 53 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-8, échantillon 55 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-8, échantillon 58 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-9, échantillon 61 : analyses granulométrique et sédimentométrique;
- PO-9, échantillon 63 : analyse granulométrique.

2.2.2 Analyses chimiques sur les échantillons d'eau souterraine

Les échantillons d'eau souterraine prélevés en décembre 2006 dans les puits PO-1 à PO-9 ont été transmis au laboratoire Bodycote inc. de Québec pour l'analyse chimique des paramètres suivants :

- Azote ammoniacal
- Baryum dissous
- Bore dissous
- Cadmium dissous
- Chlorures
- Chrome dissous
- Coliformes totaux
- Coliformes fécaux
- Cuivre dissous
- Cyanures totaux
- DBO₅
- DCO
- Fer dissous
- Manganèse dissous
- Mercure
- Nitrates + Nitrites
- Nickel
- Phénols (4AAP)
- Plomb dissous
- Sodium
- Sulfates
- Sulfures totaux
- Zinc dissous
- Benzène
- Toluène
- Xylène
- Éthylbenzène
- pH.

Les paramètres retenus pour l'analyse des échantillons d'eau souterraine prélevés en décembre 2006 sont ceux dictés à l'article 57 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (MDDEP, 2006b) et ceux recommandés dans la directive émise par la Direction des évaluations environnementales du MDDEP concernant les projets de LET (MDDEP, 2006a). Les certificats d'analyses chimiques sont présentés à l'annexe 3.

2.2.3 Analyses chimiques sur les échantillons d'eau de surface

Les échantillons d'eau de surface prélevés en décembre 2006 dans le cours d'eau localisé au sud de l'aire d'implantation projetée du LET ont été expédiés au laboratoire Bodycote inc. de Québec pour l'analyse chimique des paramètres suivants, et ce, afin de satisfaire à l'article 53 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (MDDEP, 2006b) :

- Azote ammoniacal
- Coliformes fécaux
- DBO₅
- Indice phénol
- Solides en suspension
- pH
- Zinc.

Les certificats d'analyses chimiques sont présentés à l'annexe 3.

2.2.3.1 *Contrôle de la qualité*

Le programme de contrôle de la qualité interne du laboratoire a été appliqué afin de vérifier la validité des résultats analytiques obtenus. Ce programme consiste en l'analyse de blancs de laboratoire, d'étalons de référence certifiés et de duplicatas de laboratoire.

2.3 Inventaire des puits d'alimentation en eau potable

Dans le but d'évaluer les impacts potentiels de l'établissement du futur LET sur la ressource en eau souterraine, un inventaire des points d'approvisionnement en eau potable a été réalisé dans un rayon de un kilomètre en périphérie du site à l'étude. L'inventaire a été mené à partir des données fournies par le Système d'information hydrogéologique du MDDEP (MDDEP, 2007) et des informations recueillies de monsieur Rock Pratte de la Municipalité de Saint-Alphonse.

3 DESCRIPTION PHYSIOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

3.1 Généralités

Le site à l'étude pour l'implantation du LET se situe dans la région physiographique de la péninsule sud de la Gaspésie en bordure de la baie des Chaleurs dont la plaine côtière est caractérisée par un relief peu accidenté. Vers le nord, le territoire montre un relief accidenté et montagneux. Le site à l'étude est situé à environ 8,0 km au nord-est du littoral de la baie des Chaleurs (figure 1).

3.2 Conditions climatiques et hydrologiques

La situation géographique, les grandes masses d'eau environnantes et le relief montagneux de la péninsule gaspésienne constituent des facteurs qui interagissent pour façonner un climat aux variations locales importantes susceptibles d'influencer les conditions hydrologiques. Cette région est sous l'influence d'un climat « continental humide ». De façon générale, le climat de la région de la Baie-des-Chaleurs est moins rigoureux que celui de la partie nord de la péninsule.

Sur la base annuelle des données météorologiques mesurées à la station climatique de Caplan entre 1947 et 1990, la température moyenne dans la région est de 4,0°C. Le mois de juillet est le plus chaud avec une moyenne de maxima de 17,7°C. Le mois de janvier s'avère être le plus froid avec une moyenne de minima de -10,4°C.

Les moyennes de précipitations pluviales et hivernales sur 43 ans sont respectivement de 758,0 mm et de 233,0 mm pour une moyenne de précipitations annuelles totales de 991,0 mm d'eau. L'évapotranspiration moyenne annuelle est évaluée à 564,9 mm. À partir de la relation d'équilibre du bilan hydrologique, on estime donc une moyenne annuelle de 247,8 mm d'eau qui peut potentiellement s'infiltrer dans le sol. Considérant la superficie estimée de l'aire d'implantation du LET à 0,114 km², on évalue approximativement à 77,7 m³/d la quantité d'eau qui peut potentiellement percoler dans le sol à la hauteur du site à l'étude. Toutefois, la nature silto/argileuse des dépôts meubles superficiels favorise davantage le ruissellement de l'eau météoritique que son infiltration.

3.3 Topographie

3.3.1 Topographie régionale

Le versant sud de la péninsule gaspésienne est caractérisé par une étroite plaine côtière au relief peu accidenté dont l'altitude est généralement inférieure à 150,0 m. Des cours d'eau traversent la plaine du nord vers le sud. Par endroits, il est possible d'observer un microrelief sous forme de ravinement qui s'est particulièrement développé à proximité des cours d'eau. Les collines visibles au nord-ouest et sud-est du site à l'étude représentent les reliefs les plus élevés avec des élévations de l'ordre de 200,0 à 500,0 m (figure 1).

3.3.2 Topographie locale

Localement, le site à l'étude se situe à la limite nord de la plaine côtière. Le terrain présente un relief relativement plat et uniforme caractéristique qui se trouve à une altitude moyenne de 124,0 m au-dessus du niveau moyen de la mer. Les reliefs les plus bas ou les dépressions observées à la hauteur du site sont généralement associées au passage des ruisseaux intermittents qui se sont creusés un lit dans la partie superficielle des dépôts meubles.

3.4 Drainage superficiel

3.4.1 Drainage régional

L'hydrographie de la région, fortement influencée par le relief, est caractérisée par la présence d'un grand nombre de cours d'eau de petite et de moyenne importance à régime d'écoulement permanent, intermittent ou torrentiel, dépendamment de leur emplacement par rapport à la plaine côtière. Le réseau hydrographique dans l'entourage du site fait partie du bassin versant de la rivière Bonaventure. La rivière Saint-Siméon située à environ 1,0 km à l'est du site à l'étude est un tributaire de la baie des Chaleurs.

L'eau de ruissellement s'écoule suivant une dénivellation moyenne naturelle de l'ordre de 3,3 % en direction de la rivière Saint-Siméon.

3.4.2 Drainage local

L'écoulement superficiel de l'eau est directement lié à la topographie de la surface du sol. L'écoulement de l'eau de ruissellement est localement contrôlé par la présence d'un fossé aménagé à même le coupe-feu périphérique à la limite ouest du site à l'étude. La partie superficielle des dépôts de surface se draine vers le sud-ouest jusqu'à l'atteinte des cours d'eau intermittents qui s'écoulent vers la rivière Saint-Siméon.

Sur la base des observations sur le terrain, l'ensemble du site semble plus ou moins bien drainé selon le secteur. L'eau s'infiltré faiblement dans le dépôt de terre végétale, mais se draine relativement bien aux abords des pentes du terrain et à proximité des ruisseaux. Les secteurs mal drainés sont principalement situés dans la moitié nord. Le dépôt de nature silto/argileuse ne favorise pas l'infiltration de l'eau, mais plutôt son ruissellement ou son accumulation dans les dépressions naturelles.

L'écoulement superficiel de l'eau s'effectue globalement vers l'est-sud-est selon une direction moyenne de N100° et un gradient d'écoulement moyen de 3,0 %. La direction et le gradient d'écoulement changent aux abords des cours d'eau qui s'écoulent au fond des dépressions façonnées dans la partie superficielle des dépôts meubles. La figure 2 montre la topographie locale du terrain et le drainage superficiel à l'intérieur du site à l'étude.

4 CONTEXTE STRATIGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

4.1 Géologie régionale

4.1.1 Dépôts meubles

La description géologique des dépôts meubles est basée sur les travaux de P. LaSalle et la carte de la géologie des sédiments meubles de la région de New Richmond–New Carlisle (LaSalle, 1983). Les dépôts meubles de la région reflètent des environnements marins, littoraux et fluvioglaciers de la dernière glaciation du quaternaire. Des alluvions récentes sont également visibles le long des principaux cours d'eau de la région. Les dépôts meubles présentent des épaisseurs très variables. La figure 3 montre le contexte géologique des dépôts de surface à la hauteur du site à l'étude. La séquence stratigraphique montre de la base au sommet les unités suivantes :

- *Till d'origine glaciaire*

Le till est un dépôt d'origine glaciaire indifférencié de granulométrie et de composition hétérogènes. Cette unité a une épaisseur variable et repose directement sur la roche en place souvent de manière discontinue. Le till est généralement peu perméable en raison de sa granulométrie très étalée et de son pourcentage de particules fines relativement élevé. On observe parfois un délavement du till aux endroits où il contient peu de particules fines, ce qui lui confère une plus grande perméabilité. Le till peut également montrer des variations de couleur selon la profondeur. Les dépôts de till sont considérés comme des aquitards, c'est-à-dire des formations géologiques partiellement ou complètement saturées d'où il n'est pas possible d'extraire de grandes quantités d'eau souterraine. À grande échelle, les aquitards permettent toutefois une certaine percolation de l'eau. Par endroits, le till est composé de colluviums constitués par des dépôts de talus. Le till recouvre la totalité du site à l'étude.

- *Sable et gravier d'origine fluvioglaciaire*

Ces unités géologiques composées de sable et de gravier interstratifiés constituent habituellement d'excellentes formations aquifères si elles sont saturées, propres, d'étendue et d'épaisseur suffisantes. Ces sédiments sont caractérisés par une forte perméabilité. Ces unités se trouvent généralement en épaisseur très variable au-dessus du till ou en contact avec le socle rocheux. Les sable et gravier d'origine fluvioglaciaire sont stratifiés et se présentent principalement sous forme de dépôts de contact de glace ou de plaines d'épandage à l'extérieur du site à l'étude.

- *Argile et silt d'origine marine*

Ces dépôts marins présentent un très faible potentiel hydrique souterrain. Dans la région, ces sédiments qualifiés de silt ou de silt argileux reposent directement sur le till, le sable et gravier d'origine fluvioglaciaire ou la roche en place en bordure de la baie des Chaleurs. Les formations silto/argileuses sont considérées comme des aquicludes, c'est-à-dire des formations géologiques imperméables totalement ou partiellement saturées dans lesquelles l'eau ne circule pas et où il n'est pas possible d'extraire d'eau souterraine sur une base économique.

- *Sable et gravier d'origine littorale*

Ces dépôts littoraux sont constitués de sable et de gravier qui reposent en faible épaisseur sur les sédiments d'origine marine retrouvés en bordure de la baie des Chaleurs. Une nappe libre caractérisée par un faible potentiel hydrique peut circuler au sein du dépôt de sable et gravier d'origine littorale.

- *Alluvions récentes*

Ces dépôts sont constitués d'un mélange de sable, gravier, silt et argile et localisés en bordure des cours d'eau majeurs qui traversent la région.

4.1.2 Socle rocheux

La description géologique du socle rocheux est basée sur les travaux de cartographie à l'échelle régionale de 1:50 000 de P.A. Bourque (1985). La Gaspésie se situe dans la province géologique des Appalaches formée de roches sédimentaires datant du cambrien (570-500 Ma) au carbonifère (360-295 Ma). Les Appalaches comprennent trois ensembles séparés par des discordances angulaires caractérisées par des discontinuités dans le pendage des strates : le cambro-ordovicien, fortement déformé par l'orogénèse taconique, le silurien-dévonien, légèrement déformé par l'orogénèse acadienne et le carbonifère, peu déformé, qui forme les couches de roches rouges visibles dans la région de la Baie-des-Chaleurs.

Les formations géologiques régionales sont composées de trois groupes de roches sédimentaires généralement orientées d'est en ouest et associées à la ceinture de la Gaspésie. Le premier groupe est composé de mudstone, de grès et de conglomérat polygénique issus des formations de Garin et d'Arseneault faisant partie du Groupe d'Honorat d'âge ordovicien. La seconde unité est composée de mudstone calcareux, de calcaire argileux, de grès et de mudstone de la formation de Pabos et de WhiteHead faisant partie du Groupe de Matapédia et d'âge silurien et ordovicien. Les roches du carbonifère sont caractérisées par des grès et des conglomérats appartenant à la formation de Bonaventure.

Les roches des Groupes d'Honorat et de Matapédia dominant au nord-ouest de Saint-Alphonse selon une orientation nord-est/sud-ouest. Les roches du carbonifère qui reposent en discordance sur les groupes précédents dominant la région de Saint-Alphonse vers le sud-est jusqu'à la baie des Chaleurs.

Les données disponibles sur les éléments structuraux proviennent des travaux de cartographie réalisés dans cette région par P.A. Bourque (1985). La principale structure est la présence de l'anticlinorium d'Aroostook-Percé. Des failles majeures sont associées à l'anticlinorium. Ces failles traversent la région d'est en ouest et sont situées au sein des formations de Garin, de Grand Pabos et de l'anticlinorium Aroostook-Percé/synclinorium Gaspé-Connecticut Valley. Près de ces failles, on trouve des zones de cisaillement, des changements lithologiques ainsi que des changements du degré de métamorphisme.

Les roches du carbonifère qui dominent la zone à l'étude sont très faiblement déformées en plus de ne pas être traversées par de grandes structures régionales. La fracturation locale observée est généralement parallèle à subparallèle au plan de litage.

4.2 Géologie locale

4.2.1 Dépôts meubles

4.2.1.1 Généralités

La description géologique des dépôts meubles est basée sur l'examen visuel des échantillons de sol recueillis lors de l'exécution des forages stratigraphiques (annexe 1).

De manière générale, un mince couvert de terre végétale repose sur un dépôt naturel de till silto/argileux contenant des proportions variables de gravier, de sable et de cailloux. Le dépôt est qualifié de cohésif en raison de la matrice silto/argileuse. Le dépôt de till est divisé en deux unités stratigraphiques. Une première unité est constituée de silt argileux à sable silteux brun contenant des proportions variables allant de traces de gravier à un peu de gravier. L'unité sous-jacente est composée de silt argileux à gravier silteux brun rougeâtre contenant des proportions variables allant de traces de cailloux à un peu de cailloux. À différentes profondeurs, l'ensemble du dépôt de till est recoupé sporadiquement par des horizons graveleux. Le dépôt de till recouvre directement le massif rocheux sédimentaire parfois fracturé et friable en surface, mais plus sain en profondeur.

À noter que l'unité stratigraphique de silt argileux à sable silteux brun est absente dans la partie nord-est du site à l'étude où sont implantés les puits d'observation PO-4 et PO-5. L'unité de silt argileux à gravier silteux brun rougeâtre n'a pas été rencontrée dans le secteur du puits d'observation PO-9 localisé au sud du cours d'eau qui traverse le site d'ouest en est (figure 2).

4.2.1.2 *Terre végétale*

Un couvert de terre végétale composé de silt brun ou noir contenant de la matière organique a été rencontré sur une épaisseur pouvant atteindre 0,07 m à l'emplacement des puits d'observation PO-4, PO-5, PO-6, PO-7 et PO-9. La densité relative de la terre végétale est qualifiée de très lâche.

4.2.1.3 *Silt argileux à sable silteux brun*

L'unité de silt argileux à sable silteux brun constituant la partie supérieure du dépôt de till a été interceptée directement sous le couvert de terre végétale à l'emplacement de tous les forages, à l'exception de ceux pratiqués à l'emplacement des puits d'observation PO-4 et PO-5. Cette unité rencontrée entre 0,00 et 0,07 m de profondeur contient des proportions variables de sable, de gravier et de cailloux. Le dépôt est caractérisé par une épaisseur qui varie de 2,22 à 4,25 m. Des horizons graveleux d'épaisseur variable recoupent sporadiquement cette unité à différentes profondeurs. La consistance de la partie supérieure du dépôt varie de très lâche à compacte en rapport avec les indices de pénétration normalisés qui varient de 2 à 16 coups/0,30 m. La consistance de la partie inférieure du dépôt varie de lâche à très dense en rapport avec les indices de pénétration normalisés qui varient de 8 à 80 coups/0,30 m.

La topographie de cette unité montre une pente faible de 0,9 % vers le sud-est selon une direction moyenne de N135 °. La configuration topographique du dépôt de silt est pratiquement la même que celle de la surface du sol à la hauteur de l'emplacement projeté d'implantation du LET. Les endroits les plus accidentés ont été observés à proximité du cours d'eau qui traverse le site de l'ouest vers l'est.

4.2.1.4 *Silt argileux à gravier silteux brun rougeâtre*

L'unité de silt argileux à gravier silteux brun rougeâtre qui constitue la partie inférieure du dépôt de till a été interceptée entre 0,07 et 2,29 m de profondeur à l'emplacement de tous les forages, à l'exception de celui du puits d'observation PO-9. Cette unité, qui repose directement sur la surface du socle rocheux, possède une épaisseur variant entre 1,44 et 5,18 m et contient des proportions variables de sable, gravier et cailloux. Des horizons graveleux d'épaisseur variable recoupent sporadiquement cette unité à différentes profondeurs. La densité relative du till varie de lâche à très dense en rapport avec les indices de pénétration normalisés qui varient de 6 à 140 coups/0,30 m. La topographie de cette unité du till montre une pente faible de 0,9 % vers le sud-est selon une direction moyenne de N135 °. La configuration topographique du dépôt est pratiquement la même que celle de la surface du sol à la hauteur de l'emplacement projeté d'implantation du LET. La topographie de la surface de cette unité montre une pente modérée vers le nord-est et le sud-est, de part et d'autre du cours d'eau qui traverse le site de l'ouest vers l'est.

4.2.2 *Socle rocheux*

L'identification de la lithologie et des éléments structuraux a été réalisée à partir des observations effectuées sur les échantillons de roc prélevés en continu au site du forage visant à aménager le puits d'observation PO-2.

L'examen détaillé des échantillons de roc prélevés en forage indique que le socle rocheux est caractérisé par des roches du carbonifère montrant une alternance de grès et de conglomérats rouges typiques de la formation de Bonaventure. Ces roches affleurent notamment le long de la côte de la baie des Chaleurs.

Les grès rouges sont bien lités et montrent une granulométrie de fine à moyenne. Par endroits, la roche est friable en raison de la fracturation qualifiée de modérée à intense. Les lits de grès ont une épaisseur qui varie de 2,07 à 2,96 m.

Les horizons de conglomérat sont caractérisés par un rouge plus pâle. La roche est composée de fragments lithiques anguleux à subanguleux de 0,50 à 2,50 cm de diamètre agglomérés dans une matrice à grain fin. Le degré de fracturation de la roche est qualifié de faible. L'épaisseur des lits de conglomérat varie de 0,28 à 0,49 m.

Le socle rocheux a été atteint entre 4,27 et 7,62 m de profondeur à l'emplacement des puits d'observation PO-1 et PO-2. Le substratum rocheux présente un relief irrégulier et une faible pente de l'ordre de 1,1 % en direction sud-est. Localement, la pente s'accroît de part et d'autre du cours d'eau qui traverse le site d'ouest en est. Le socle rocheux montre une dépression à la hauteur du puits d'observation PO-2 (figure 2).

Des pertes d'eau associées à la présence de zones de fractures dans le roc ont été observées sporadiquement au cours de la réalisation du forage visant à aménager le puits d'observation PO-2. La récupération des carottes de roc a été excellente dans l'ensemble se situant à 100 % pour toutes les courses de forage. Les valeurs du « Rock Quality Designation » (RQD), qui varient de 0,0 à 17,5 %, indiquent une qualité de roc très mauvaise (annexe 1). Il est à noter que les fractures induites par les opérations de forage ne sont pas considérées dans le calcul du RQD.

5 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

5.1 Description des unités hydrostratigraphiques

D'un point de vue hydrogéologique, deux unités hydrostratigraphiques ont été définies à la hauteur du site à l'étude sur la base du contexte géologique et de la mesure des niveaux d'eau souterraine. Ces deux unités sont décrites ci-après.

1. La première unité hydrostratigraphique correspond au dépôt naturel de till dont la composition granulométrique ainsi que la couleur changent avec l'accroissement de la profondeur. Le till d'origine glaciaire repose directement sur le socle rocheux intercepté à 4,32 m de profondeur au droit du puits d'observation PO-9. L'unité hydrostratigraphique composée de till silto/argileux est considérée comme un aquitard, c'est-à-dire une formation géologique totalement ou partiellement saturée d'où il n'est pas possible d'extraire d'eau par pompage de façon économique, mais qui est assez perméable pour laisser percoler des quantités d'eau appréciables sur une grande échelle. La nappe qui circule au sein de cette unité peut être qualifiée de semi-libre, c'est-à-dire une nappe qui peut être alimentée en partie par la formation rocheuse sous-jacente et où la pression de l'eau est égale à la pression atmosphérique aux endroits de plus grande perméabilité.
2. La deuxième unité hydrostratigraphique correspond au massif rocheux constitué de roches sédimentaires. Le massif rocheux est considéré comme un aquifère aux endroits où la circulation de l'eau souterraine est possible par advection dans les fractures et les zones d'altération. À d'autres endroits, le roc est plutôt associé à un aquitard en l'absence de discontinuités structurales et de zones altérées. Le socle rocheux présente une pente générale vers le sud-est. Une nappe captive à semi-captive circule au sein des fractures subhorizontales du massif rocheux dont la partie supérieure peut être en lien hydraulique avec la portion inférieure du dépôt de till par endroits.

Le contexte hydrostratigraphique local est illustré sur les figures 4, 5, 6, 7 et 8 qui présentent une vue en plan ainsi que différentes coupes longitudinales et transversales du site à l'étude.

5.2 Nappe d'eau souterraine

Le niveau statique de l'eau souterraine a été relevé à l'aide d'une sonde électrique conventionnelle à l'intérieur de tous les puits d'observation. Il est important de noter que le niveau de l'eau souterraine subit des fluctuations dans le temps en raison des variations des conditions climatiques et saisonnières ainsi que des modifications de l'environnement. Le tableau 2 présente les niveaux statiques de la nappe d'eau souterraine mesurés entre le 14 décembre 2006 et le 9 janvier 2007. À noter que le rehaussement généralisé des niveaux d'eau est essentiellement attribuable à la pluie et à la fonte de la neige durant cette période.

La nappe d'eau souterraine qui circule dans l'unité de till peut être qualifiée de semi-libre. Le mouvement de l'eau est favorisé dans les horizons plus perméables contenant des proportions plus importantes de gravier. Cette nappe fait naturellement résurgence dans le cours d'eau identifié sur le site à l'étude pour l'alimenter principalement durant les périodes de crue saisonnière. Le cours d'eau coule à environ 110,0 m au sud du bassin d'accumulation projeté et à 180,0 m en aval hydraulique de la limite sud de l'aire d'implantation du LET. Le niveau statique de la nappe d'eau souterraine dans les dépôts a été observé à des profondeurs variant entre 0,235 et 1,740 m par rapport à la surface du terrain naturel.

La nappe d'eau souterraine qui circule dans le roc peut être qualifiée de captive à semi-captive selon la présence de fractures favorables à l'écoulement libre de l'eau et la perméabilité du till sus-jacent. Le niveau de la nappe d'eau souterraine dans le socle rocheux se situe à 1,465 m de profondeur par rapport à la surface du terrain naturel au site du puits d'observation PO-2. Par extrapolation, il s'avère que le niveau statique de la nappe qui circule dans le massif rocheux se maintient à une élévation plus élevée que la nappe du till. Cette configuration permet de constater qu'une partie de l'eau qui migre dans le massif rocheux peut alimenter la nappe du till par drainance verticale en raison des pressions ascendantes. Cette alimentation verticale est possible à l'interface roc/till uniquement aux endroits où des discontinuités qui traversent le massif rocheux sont en lien hydraulique avec des horizons plus perméables dans le dépôt meuble.

Tableau 2. Niveaux statiques de l'eau souterraine mesurés entre le 14 décembre 2006 et le 9 janvier 2007

Puits d'observation	Élévation du point de mesure (m)	Niveaux statiques de l'eau souterraine					
		14 décembre 2006		22 décembre 2006		9 janvier 2007	
		Lecture (m)	Élévation (m)	Lecture (m)	Élévation (m)	Lecture (m)	Élévation (m)
PO-1	127,18	2,51	124,67	2,68	124,50	2,42	124,76
PO-2	124,43	2,49	121,94	2,58	121,85	2,35	122,08
PO-3	124,51	1,39	123,12	1,47	123,04	1,31	123,20
PO-4	122,14	1,28	120,86	1,36	120,78	1,24	120,90
PO-5	121,89	2,80	119,09	3,02	118,87	2,66	119,23
PO-6	121,42	1,23	120,19	1,41	120,01	1,15	120,27
PO-7	119,76	1,16	118,60	1,10	118,66	1,12	118,64
PO-8	123,93	2,12	121,81	2,25	121,68	2,04	121,89
PO-9	123,82	1,56	122,26	1,69	122,13	1,42	122,40

Note : Lecture prise par rapport au sommet du tubage protecteur en PEHD

5.3 Conductivité hydraulique des unités hydrostratigraphiques

La conductivité hydraulique (K) des unités hydrostratigraphiques a été évaluée à partir des données des essais de perméabilité *in situ* par déplacement d'eau réalisés dans tous les puits d'observation aménagés dans les dépôts meubles et le massif rocheux.

Les données recueillies lors de chaque essai de choc hydraulique ont été interprétées à l'aide de la méthode d'analyse de Hvorslev (1951) développée pour un milieu poreux homogène et isotrope. Les tableaux de lecture et les graphiques d'interprétation sont présentés à l'annexe 2 tandis que les données sont résumées dans le tableau 3. Cette méthode d'analyse permet d'estimer la conductivité hydraulique (K) suivant la relation suivante pour $L/R > 8$:

$$K = r^2 \frac{\ln(L/R)}{2 L T_0} \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

- où L : longueur de l'intervalle d'essai saturé (m);
 R : rayon du forage (m);
 r : rayon du tubage PVC (m);
 T₀ : temps de décalage de base (« basic time lag ») (s).

La conductivité hydraulique mesurée à l'emplacement des puits d'observation PO-1, PO-3, PO-4, PO-5, PO-6, PO-7, PO-8 et PO-9 aménagés à la hauteur des dépôts meubles varie de $4,2 \times 10^{-8}$ à $2,0 \times 10^{-6}$ m/s pour une moyenne arithmétique de $8,6 \times 10^{-7}$ m/s (tableau 3). La conductivité hydraulique mesurée au site du puits d'observation PO-2 aménagé dans le socle rocheux est de l'ordre de $4,8 \times 10^{-7}$ m/s. Les résultats ont été compilés sur des rapports d'essais présentés à l'annexe 2. Le tableau 3 montre les valeurs de la conductivité hydraulique obtenues à partir des essais de perméabilité *in situ*.

Tableau 3. Valeurs de la conductivité hydraulique (K) obtenues à partir des essais de perméabilité à niveau variable ascendant

Puits d'observation	Intervalle d'essai			T ₀ (min)	K (m/s)
	Rayon du forage (R) (m)	Rayon du tubage (r) (m)	Longueur (L) (m)		
PO-1	0,04445	0,0254	3,07	175	4,2x10 ⁻⁸
PO-2	0,03810	0,01905	5,19	6,0	4,8x10 ⁻⁷
PO-3	0,04445	0,0254	5,31	13,0	3,7x10 ⁻⁷
PO-4	0,04445	0,0254	1,65	6,0	2,0x10 ⁻⁶
PO-5	0,04445	0,0254	1,28	265	5,3x10 ⁻⁸
PO-6	0,04445	0,0254	2,95	4,25	1,8x10 ⁻⁶
PO-7	0,04445	0,0254	2,57	7,25	1,2x10 ⁻⁶
PO-8	0,04445	0,0254	2,36	8,00	1,1x10 ⁻⁶
PO-9	0,04445	0,0254	2,49	23,0	3,8x10 ⁻⁷

5.4 Écoulement souterrain et gradient hydraulique horizontal

5.4.1 Gradient hydraulique horizontal

Les niveaux statiques de l'eau souterraine mesurés le 9 janvier 2007 ont été utilisés pour déterminer la direction d'écoulement de l'eau souterraine ainsi que les gradients hydrauliques horizontaux à partir des puits d'observation aménagés à la hauteur des dépôts meubles. Les mesures réalisées le 9 janvier ont été retenues pour l'analyse car elles représentaient le mieux la stabilisation du système après les forages. À noter qu'il n'est pas possible d'illustrer le régime d'écoulement de la nappe d'eau souterraine du roc en raison du manque de points de mesure.

Les courbes isopièzes rectilignes et parallèles ont été obtenues par l'interpolation linéaire des niveaux d'eau souterraine suivant la méthode graphique par triangulation. Une droite tracée perpendiculairement aux courbes isopièzes indique la direction d'écoulement de l'eau souterraine. Les gradients hydrauliques horizontaux sont fonction de la variation de la charge hydraulique entre deux points de mesure et de la distance horizontale qui les sépare. Les gradients hydrauliques horizontaux se calculent selon la relation suivante :

$$i_h = \frac{\Delta h}{\Delta l_h} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

où Δh : variation de la charge hydraulique entre deux points de mesure (m);

Δl_h : distance horizontale entre les deux points de mesure (m).

À la hauteur de l'aire d'implantation projetée du LET, l'eau souterraine circulait le 9 janvier 2007 dans le dépôt de till selon une direction moyenne de N135 ° vers le sud-est sous un gradient hydraulique horizontal moyen de 1,8 %. En référence à la figure 4, le régime d'écoulement de la nappe change en bordure du cours d'eau qui agit localement comme une zone d'appel de l'eau souterraine. À titre indicatif, la direction de l'eau souterraine peut varier du sud vers le nord-est et s'écouler selon un gradient hydraulique horizontal moyen de 5,7 % au sein de la zone d'appel autour du cours d'eau.

5.4.2 Vitesse horizontale moyenne d'écoulement

La vitesse horizontale moyenne d'écoulement de l'eau souterraine a été évaluée à la hauteur des puits d'observation aménagés au sein de l'unité hydrostratigraphique de till saturée en eau à partir de la loi de Darcy (1856) :

$$v = \frac{K i_h}{n_e} \quad (\text{m/an}) \quad (3)$$

où K : conductivité hydraulique moyenne (m/an);
 i_h : gradient hydraulique horizontal moyen (m/m);
 n_e : porosité efficace (sans unité).

À la hauteur de l'aire d'implantation projetée du LET, la vitesse horizontale moyenne d'écoulement de la nappe dans le dépôt de till le 9 janvier 2007 a été évaluée à 1,9 m/an en considérant une conductivité hydraulique moyenne de $8,6 \times 10^{-7}$ m/s, un gradient hydraulique horizontal moyen de 0,018 m/m (figure 4) et une porosité efficace de 25 %. La vitesse horizontale moyenne de l'eau souterraine peut augmenter jusqu'à 6,2 m/an au sein de la zone d'appel autour du cours d'eau.

5.4.3 Gradient hydraulique vertical

Le gradient hydraulique vertical a été estimé en comparant l'extrapolation du niveau de la nappe du till avec le niveau de la nappe du roc mesurés au site du puits d'observation PO-2. Le gradient hydraulique vertical se calcule à partir de la relation suivante :

$$i_v = \frac{\Delta h}{\Delta l_v} \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

où Δh : variation de la charge hydraulique entre deux points de mesure (m);

Δl_v : distance verticale entre les deux points de mesure (m).

Sous la condition statique du 9 janvier 2007, un gradient hydraulique vertical ascendant de 9,0 % a été évalué dans le secteur du puits d'observation PO-2 entre le roc et le till.

5.4.4 Inventaire des puits d'alimentation en eau potable

Selon le Système d'information hydrogéologique du MDDEP (MDDEP, 2007) et les renseignements obtenus de la Municipalité de Saint-Alphonse, aucun puits d'alimentation en eau potable n'est présent dans un rayon de un kilomètre des limites du site proposé pour l'aménagement du futur LET. De plus, aucun réseau d'aqueduc n'est présent dans le secteur à l'étude.

Le puits municipal d'alimentation en eau potable est situé à 3,0 km vers le nord-ouest par rapport au site à l'étude et localisé en amont hydraulique. Six puits privés d'alimentation en eau souterraine sont situés entre 2,0 et 2,5 km vers le nord-est et le nord-ouest par rapport au site à l'étude.

5.4.5 Classification des eaux souterraines

La classification des eaux souterraines a été réalisée en conformité avec la méthodologie proposée dans le *Guide de classification des eaux souterraines* du MDDEP (MDDEP, 1999) qui dérive d'une adaptation de celle appliquée par la U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Le système de classification comprend trois classes majeures : I, II et III. Les classes II et III sont subdivisées en deux sous-classes dans un but de raffinement (tableau 4).

Tableau 4. Définition des classes d'eau souterraine

CLASSE	DÉFINITION
I	Hautement vulnérable et irremplaçable pour une population substantielle ou vitale écologiquement
IIA	Source courante d'eau de consommation
IIB	Source potentielle d'eau de consommation
IIIA	N'est pas une source d'eau de consommation : degré de liaison hydraulique intermédiaire à élevé; de piètre qualité; ne peut être purifiée ou ne présente pas un potentiel suffisant en quantité ou ne peut être considérée d'un point de vue économique comme un substitut valable, en totalité ou en partie, à la source actuelle d'approvisionnement
IIIB	N'est pas une source d'eau de consommation : faible degré de liaison hydraulique; piètre qualité et ne peut être purifiée

En référence à cette procédure de classification, il s'avère que les nappes d'eau souterraine qui circulent au sein des unités hydrostratigraphiques de till silto/argileux et de roc se situent à l'intérieur de la classe IIIA, et ce, pour les raisons suivantes :

- aucun puits de captage n'est actuellement aménagé dans un rayon de plus de un kilomètre au sein des deux unités hydrostratigraphiques;
- les nappes d'eau souterraine ne sont pas exploitées comme des sources d'approvisionnement en eau potable dans un rayon de un kilomètre du LET projeté;
- le potentiel hydrique souterrain des deux unités hydrostratigraphiques est qualifié de faible en vertu des résultats des essais de perméabilité;
- il n'existe aucun projet municipal visant à rechercher une source d'alimentation en eau souterraine ou à implanter un ouvrage de captage collectif dans le secteur visé pour y aménager un LET;
- il existe un lien hydraulique entre la nappe du till et le cours d'eau qui traverse le terrain au sud du LET projeté;
- l'eau souterraine qui circule dans le roc est de piètre qualité à l'égard de la concentration de certains paramètres qui excède les critères de potabilité.

6 QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE

6.1 Critères d'évaluation des résultats d'analyses chimiques

Dans le cadre d'un projet d'implantation d'un lieu d'enfouissement technique (LET), il importe que le site à l'étude soit conforme à la réglementation en vigueur. Un aspect important à vérifier est la conformité de la qualité des eaux souterraines et de surface aux normes dictées respectivement aux articles 53 et 57 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR)* (MDDEP, 2006b).

Tel que décrit à la section 2 du présent rapport, des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés à l'emplacement de tous les puits d'observation après que ceux-ci aient été désinfectés avec une solution chlorée. De plus, le point d'échantillonnage de l'eau de surface était situé dans le cours d'eau qui traverse une partie du terrain à l'étude. Les certificats d'analyses fournis par le laboratoire sont présentés à l'annexe 3. Certains résultats compilés aux tableaux 5 et 6 aux pages 38 et 39 ont été comparés aux normes prescrites aux articles 53 et 57 du *REIMR*.

6.2 Qualité des eaux souterraines avant l'aménagement et l'exploitation du LET

6.2.1 Qualité de l'eau souterraine dans les dépôts meubles

Les tableaux 5 et 6 présentent les résultats analytiques pour les échantillons d'eau souterraine prélevés les 14 et 15 décembre 2006 dans tous les puits d'observation aménagés dans les dépôts meubles et le massif rocheux. La comparaison des résultats d'analyses aux normes de l'article 57 du *REIMR* permet de faire ressortir les points suivants :

- De façon générale, les échantillons d'eau souterraine provenant des dépôts meubles présentent une température froide qui varie entre 4,8 et 5,5 °C et un pH basique qui se situe entre 7,6 et 8,1. À l'émergence, l'eau souterraine ne dégage pas d'odeur et ne montre pas d'effervescence. Seule l'eau souterraine prélevée au puits d'observation PO-3 dégage une légère odeur de soufre.

- Les concentrations des éléments suivants respectent les normes prescrites à l'article 57 du *REIMR* : pH, azote ammoniacal, bore dissous, cadmium dissous, chlorures totaux, chrome dissous, cyanures totaux, fer dissous, mercure dissous, nickel dissous, nitrites/nitrates, plomb dissous, sodium dissous, sulfates totaux, sulfures totaux, zinc total, benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes (p,m,o) et coliformes fécaux.
- Les teneurs de baryum dissous, de cuivre dissous, de la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO₅), de la demande chimique en oxygène (DCO), des phénols (4AAP) et des coliformes totaux qui sont non détectables ou relativement faibles ne peuvent pas être comparées en l'absence de normes réglementaires.
- Plus de 200 bactéries atypiques ont été dénombrées à l'emplacement des puits d'observation PO-4 et PO-5, alors qu'une seule est observée dans l'eau souterraine provenant du puits d'observation PO-8. Aucune bactérie atypique n'est dénombrée dans l'eau souterraine prélevée des autres puits d'observation.
- Les concentrations de manganèse dissous dans les échantillons d'eau souterraine provenant des puits d'observation PO-3, PO-4, PO-6 et PO-8 excèdent la norme de l'article 57 du *REIMR*. Les concentrations de manganèse dissous mesurées dans l'eau souterraine prélevée des autres puits d'observation respectent la norme.

6.2.2 Qualité de l'eau souterraine dans le socle rocheux

Le tableau 5 présente les résultats analytiques de l'échantillon d'eau souterraine prélevé le 15 décembre 2006 dans le puits d'observation PO-2 aménagé dans le roc. La comparaison des résultats d'analyses aux normes de l'article 57 du *REIMR* permet de faire ressortir les points suivants :

- L'échantillon d'eau souterraine présente une température froide de 5,5 °C et un pH basique de 9,1 qui dépasse la norme maximale prescrite. À l'émergence, l'eau souterraine ne dégage pas d'odeur particulière et ne montre pas d'effervescence.
- Les concentrations des éléments suivants respectent les normes prescrites à l'article 57 du *REIMR* : pH, azote ammoniacal, bore dissous, cadmium dissous, chrome dissous, cyanures totaux, fer dissous, manganèse dissous, mercure dissous, nickel dissous, nitrites/nitrates,

plomb dissous, sulfates totaux, sulfures totaux, zinc total, benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes (p,m,o) et coliformes fécaux.

- Les teneurs de baryum dissous, de cuivre dissous, de la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO₅), de la demande chimique en oxygène (DCO), des coliformes totaux et des bactéries atypiques qui sont non détectables ou relativement faibles ne peuvent pas être comparées en l'absence de normes réglementaires.
- Les concentrations de chlorures totaux et de sodium dissous excèdent leur norme respective.
- La teneur des phénols (4AAP) qui est relativement élevée ne peut pas être comparée en l'absence d'une norme réglementaire.

Tableau 5. Résultats d'analyses de l'eau souterraine des puits d'observation PO-1 à PO-5

Projet : LET - Saint-Alphonse	Dates de prélèvement : 14 et 15 décembre 2006
No. : P010094	Puits d'observation : PO-1, PO-2, PO-3, PO-4, PO-5

PARAMÈTRES	RÉSULTATS					NORMES *
	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	Conc. max.
ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES						
Coliformes totaux UFC/100mL	0	0	0	0	0	-----
Bactéries atypiques UFC/100mL	0	0	0	> 200	> 200	-----
Coliformes fécaux UFC/100mL	0	0	0	0	0	0
ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES						
pH	8,0	9,1	8,0	7,8	7,6	6,5 - 8,5
Température de l'eau °C	5,5	5,5	5,5	4,8	5,5	15
Odeur (<i>in situ</i>)	Aucune	Aucune	Soufre	Aucune	Aucune	-----
Effervescence (<i>in situ</i>)	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	-----
Azote ammoniacal (N) mg/L	0,03	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	1,50
Baryum dissous mg/L	0,04	0,16	0,18	0,13	0,06	-----
Bore dissous mg/L	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	5,0
Cadmium dissous mg/L	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,005
Chlorures totaux mg/L	2,8	260,0	< 0,5	29,0	39,0	250
Chrome dissous mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,002	0,032	0,05
Cuivre dissous mg/L	0,002	0,002	< 0,001	0,008	< 0,001	-----
Cyanures totaux mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,20
Fer dissous mg/L	0,04	0,05	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,30
DBO ₅ mg/L	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	-----
DCO mg/L	12	6	18	13	< 5	-----
Manganèse dissous mg/L	0,03	< 0,01	0,27	0,06	< 0,01	0,05
Mercuré dissous mg/L	0,0003	0,0006	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,001
Nickel dissous mg/L	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	0,02
Nitrites/Nitrates (N) mg/L	0,11	0,18	0,05	0,16	0,61	10
Phénols (4AAP) mg/L	< 0,002	0,040	0,003	< 0,002	0,002	-----
Plomb dissous mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01
Sodium dissous mg/L	3,7	240	2,4	19	29	200
Sulfates totaux mg/L	6,1	21,1	0,8	6,5	6,8	500
Sulfures totaux mg/L	< 0,04	0,03	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,05
Zinc total mg/L	0,003	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	5,0
Benzène ug/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	5,0
Toluène ug/L	0,11	0,49	< 0,10	0,59	< 0,10	24
Éthylbenzène ug/L	< 0,10	0,40	< 0,10	< 0,10	< 0,10	2,4
Xylènes (p,m,o) ug/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	300

Remarques :

----- : non analysé ou pas de norme ou critère

* Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (MDDEP, 2006b)

Tableau 6. Résultats d'analyses de l'eau souterraine des puits d'observation PO-6 à PO-9

Projet : LET - Saint-Alphonse	Dates de prélèvement : 14 et 15 décembre 2006
No. : P010094	Puits d'observation : PO-6, PO-7, PO-8, PO-9

PARAMÈTRES	RÉSULTATS				NORMES *
	PO-6	PO-7	PO-8	PO-9	Conc. max.
ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES					
Coliformes totaux UFC/100mL	0	0	0	0	-----
Bactéries atypiques UFC/100mL	0	0	1	0	-----
Coliformes fécaux UFC/100mL	0	0	0	0	0
ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES					
pH	7,9	7,9	8,1	7,9	6,5 - 8,5
Température de l'eau °C	5,5	5,5	5,5	5,5	15
Odeur (<i>in situ</i>)	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	-----
Effervescence (<i>in situ</i>)	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	-----
Azote ammoniacal (N) mg/L	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	1,50
Baryum dissous mg/L	0,31	0,17	0,13	0,02	-----
Bore dissous mg/L	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	5,0
Cadmium mg/L	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	0,005
Chlorures totaux mg/L	15,0	2,7	22,0	17,0	250
Chrome dissous mg/L	< 0,001	< 0,001	0,002	0,008	0,05
Cuivre dissous mg/L	< 0,001	0,005	< 0,001	< 0,001	-----
Cyanures totaux mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,20
Fer dissous mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,30
DBO ₅ mg/L	< 6	< 6	< 6	< 6	-----
DCO mg/L	5	6	< 5	< 5	-----
Manganèse dissous mg/L	0,08	0,03	0,07	< 0,01	0,05
Mercuré dissous mg/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0002	0,001
Nickel dissous mg/L	0,002	< 0,001	0,006	0,001	0,02
Nitrites/Nitrates (N) mg/L	0,10	0,04	0,06	0,09	10
Phénols (4AAP) mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	-----
Plomb dissous mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,01
Sodium dissous mg/L	18	3,0	16	17	200
Sulfates totaux mg/L	2,7	2,5	6,0	8,7	500
Sulfures totaux mg/L	< 0,04	0,03	< 0,04	< 0,04	0,05
Zinc total mg/L	< 0,002	0,032	< 0,002	< 0,002	5,0
Benzène ug/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	5,0
Toluène ug/L	< 0,10	< 0,2	< 0,3	< 0,2	24
Éthylbenzène ug/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	2,4
Xylènes (p,m,o) ug/L	< 0,2	< 0,2	< 0,3	< 0,2	300

Remarques :

----- : non analysé ou pas de norme ou critère

* Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (MDDEP, 2006b)

6.2.3 Discussion du dépassement des normes de certains paramètres dans les eaux souterraines

Le manganèse dissous constitue le seul élément dont les concentrations excèdent occasionnellement la norme prescrite dans l'eau souterraine qui circule dans le till glaciaire à l'emplacement des puits d'observation PO-3, PO-4, PO-6 et PO-8. Le manganèse, qui n'est pas considéré comme un élément toxique, se trouve souvent en concentrations relativement élevées dans certaines eaux souterraines au Québec. Il est donc convenu de considérer les teneurs en manganèse comme naturelles dans l'eau souterraine qui migre dans le till caractérisé au site du futur LET.

Les concentrations élevées de chlorures totaux et de sodium dissous mesurées au site du puits d'observation PO-2 aménagé dans le roc sont apparentées à une eau souterraine montrant des caractéristiques légèrement saumâtres. La valeur basique du pH qui excède la norme maximale permise est directement associée à la condition de l'eau souterraine. À noter qu'il n'est pas exceptionnel de mesurer naturellement de telles valeurs de chlorures, de sodium et de pH dans des eaux souterraines qui migrent lentement au sein de massifs rocheux de nature sédimentaire au Québec.

6.2.4 Qualité de l'eau de surface

Le tableau 7 présente les résultats analytiques pour les échantillons d'eau de surface prélevés le 14 décembre 2006 à la hauteur de l'exutoire est du cours d'eau qui traverse le site à l'étude d'ouest en est. La figure 2 montre le point d'échantillonnage de l'eau de surface situé en aval hydraulique de l'aire d'implantation projetée du futur LET. La comparaison des résultats d'analyses aux normes de l'article 53 du *REIMR* permet de faire ressortir les points suivants :

- L'eau de surface présente une température froide de 1,0 °C et un pH basique de 7,8, ne dégage pas d'odeur particulière et ne montre pas d'effervescence.
- Les concentrations des éléments suivants respectent les normes prescrites à l'article 53 du *REIMR* : azote ammoniacal, demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO₅), phénols (4AAP), solides en suspension et zinc total.
- Le dénombrement nul des coliformes fécaux respecte la norme de l'article 53 du même règlement.

Tableau 7. Résultats d'analyses de l'eau de surface de « l'exutoire est » du cours d'eau

Projet : LET - Saint-Alphonse	Date de prélèvement : 14 décembre 2006
No. : P010094-100	Point d'échantillonnage de l'eau de surface : Cours d'eau « exutoire est »

PARAMÈTRES	RÉSULTATS	NORMES *
	Eau de surface	Conc. max.
ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES		
Coliformes fécaux UFC/100mL	0	275
ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES		
pH	7,8	6,0 - 9,5
Température de l'eau (<i>in situ</i>) °C	1,0	15
Odeur (<i>in situ</i>)	Aucune	-----
Effervescence (<i>in situ</i>)	Aucune	-----
Azote ammoniacal (N) mg/L	< 0,02	25
DBO ₅ mg/L	< 6	150
Phénols (4AAP) mg/L	0,002	0,085
Solides en suspension mg/L	< 4	90
Zinc total mg/L	0,010	0,17

<p>Remarques :</p> <p>----- : non analysé ou pas de norme ou critère</p> <p>* <i>Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles</i> (MDDEP, 2006b)</p>
--

7 CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

La description du contexte géotechnique concerne plus particulièrement l'évaluation de la capacité portante des sols du site projeté d'implantation du LET en ce qui a trait à son utilisation à des fins d'enfouissement de matières résiduelles tout en précisant les données pertinentes relatives à sa conception et à son aménagement.

7.1 Capacité portante des sols

Le tableau qui suit résume les données géotechniques des sols présents sur le site. Les plages de valeurs indiquées indiquent les limites inférieures et supérieures observées dans l'ensemble des forages. La capacité portante indiquée a été interprétée à partir des limites inférieures des indices de pénétration normalisés (N) (CGS, 1992). Cette valeur inférieure devrait être utilisée lors de la conception afin de maintenir un design conservateur. De plus, les valeurs supérieures de N sont biaisées par la résistance créée lorsque la cuillère fendue interceptait de grosses particules de gravier ou des cailloux au sein du till d'origine glaciaire.

Tableau 8. Capacité portante des sols

Profondeur (m)	Nature du sol	Indice N (coups/30 cm)	Capacité portante estimée (kPa)
0,00 - 0,07	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Couvert végétal et systèmes racinaires ▪ Consistance des portions supérieures du till variant de très lâche à lâche 	2 - 4	Nulle
0,00 – 0,60	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limites supérieures du till avec présence de matière organique ▪ Présence d'une mince couche de particules fines imperméable par endroits ▪ Consistance variant de lâche à moyenne 	3 - 15	75
0,60– 7, 62	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Till à prédominance variant de silt argileux à sable silteux avec une proportion variable de sable et gravier ▪ Consistance variant de moyenne près de la surface à très dense en profondeur 	11 - 83	300
2,56 – 7,62	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite supérieure du socle rocheux 		

7.2 Eau souterraine

Les variations des niveaux de l'eau souterraine mesurés après les forages entre décembre 2006 et janvier 2007 sont de l'ordre d'environ 200 mm (tableau 2). Ces variations s'expliquent en partie par la faible conductivité hydraulique du till en place et l'effet des températures plus douces et pluvieuses du début janvier 2007. Les données de janvier 2007, qui sont rapportées à l'annexe 1, devraient être utilisées pour la conception du LET car elles représentent mieux les fluctuations saisonnières attendues sur le site.

La proximité du niveau de l'eau souterraine avec la surface, en particulier aux puits d'observation PO-3, PO-4, PO-6 et PO-7, cause une problématique en ce qui a trait à l'excavation nécessaire lors de la construction. En effet, la couche végétale ainsi que les sols sous-jacents de faible capacité portante devront être excavés sur une profondeur moyenne de 0,60 m et remplacés par un remblai de meilleure qualité avant d'envisager l'installation des systèmes imperméabilisants et de captage des eaux de lixiviation. Le niveau de l'eau devra donc être abaissé afin de prévenir des complications lors de la construction et de permettre l'aménagement des géomembranes et du LET en respectant les règles de l'art et les normes en vigueur.

Le réseau de fossés périphériques ou tout autre système de drainage destiné à intercepter les eaux de ruissellement provenant de l'extérieur du LET selon l'article 30 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (MDDEP, 2006b) devrait aussi être aménagé de façon à abaisser le niveau de l'eau souterraine lors de la construction. Le système de drainage aura également la fonction de contrôler les fluctuations saisonnières de la nappe souterraine pour réduire les risques de soulèvement par pression hydrostatique, assurant ainsi l'intégrité du système d'imperméabilisation à la base des cellules (article 31 du *REIMR*).

Les puits d'observation installés dans le cadre de la présente étude seront d'une grande utilité lors de la construction du LET pour quantifier les fluctuations saisonnières des niveaux de l'eau souterraine dans les dépôts meubles et pour vérifier l'efficacité des ouvrages de drainage au cours de la construction.

7.3 Excavation

La couche végétale supérieure ainsi que les souches et systèmes racinaires devront être excavés du site en raison de leur faible capacité portante et des risques de perforation par les racines des géomembranes et nattes benthoniques. La couche de sol sous-jacente, qui est trop faible et pratiquement imperméable, devra également être retirée jusqu'à une profondeur moyenne de 600 mm.

Les excavations devraient être aménagées en pentes de 1,0 V:1,5 H et les excavations temporaires devraient être comblées le plus rapidement possible après les travaux. Lors de fortes pluies, il est recommandé, pendant les travaux de construction, de recouvrir les pentes d'un géotextile afin de réduire l'érosion causée par le ruissellement de surface.

7.4 Désaffectation du système de traitement des eaux usées

Le système de traitement des eaux usées localisé au sud-est du chalet présent sur le site à l'étude (figure 4) devra faire l'objet de mesures particulières lors des travaux d'aménagement du site. Selon les besoins d'aménagement des cellules du LET ou du système de traitement des eaux de lixiviation, la fosse septique raccordée à ce chalet devra être vidangée et enlevée ou remplie de sol ou d'un matériau inerte selon l'article 5 du *Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées* (MDDEP, 2006c). Les travaux d'excavation requis afin de dégager l'élément épurateur devront être réalisés de façon à protéger les travailleurs et l'environnement.

7.5 Sensibilité au remaniement et aux tassements potentiels

Le till présent sous le site prévu pour l'aménagement du LET comporte des proportions variables de particules fines (silt et argile). À l'exception des couches supérieures, la sensibilité au remaniement de ces dépôts ne sera pas problématique à condition d'en permettre un drainage efficace.

Le système de drainage servant à contrôler le niveau de l'eau souterraine entraînera des tassements à court terme lors de la construction et de l'aménagement des cellules du LET. À long terme, les tassements seront engendrés par les pressions de consolidation exercées par le remplissage du LET, en particulier tôt après l'application d'une surcharge. Le système de drainage périphérique devra accommoder le déplacement d'eau souterraine causé par l'augmentation des pressions hydrostatiques. Il est difficile de prédire avec exactitude ces tassements en raison de la nature

hétérogène du till. Cependant, à partir des données empiriques (Rowe, 2001), des tassements à long terme de l'ordre de 40 à 90 mm sont à prévoir. Afin d'éviter les tassements différentiels, les opérations de remplissage du LET devront s'effectuer en couches successives tout en maximisant l'utilisation des surfaces d'une même cellule.

7.6 Stabilité des sols vis-à-vis le soulèvement du fond des cellules ou des talus

Selon les données fournies dans l'avis de projet (André Simard et Associés, 2006), la charge exercée à la base des cellules sera d'environ 200 kPa. Comme le till est peu perméable et dense, les risques de soulèvement par pression hydrostatique demeurent faibles, à condition de fournir un drainage de fondation adéquat. De plus, la stabilité du fond des cellules n'est pas jugée problématique vu que le remplissage se fera très lentement de façon uniforme dans chaque cellule, ce qui permettra aux pressions hydrostatiques de se dissiper sur une longue période.

8 CONFORMITÉ DU SITE À L'ÉTUDE AU RÈGLEMENT SUR L'ENFOUISSEMENT ET L'INCINÉRATION DE MATIÈRES RÉSIDUELLES

Dans le cadre du projet d'implantation d'un lieu d'enfouissement technique (LET) à Saint-Alphonse, il importe de vérifier la conformité du site à l'étude à l'égard des dispositions prévues aux articles 13, 14, 15, 16, 20, 21, 22 et 23 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR)* (MDDEP, 2006b). Ces articles traitent notamment de la localisation ainsi que des conditions géologiques et hydrogéologiques devant prévaloir dans l'aménagement d'un LET.

Les prochaines sections présentent une discussion sur la conformité du site à l'étude en regard des dispositions de chacun des articles réglementaires précités.

8.1 Article 13

Il est prévu à l'article 13 que les zones de dépôts de matières résiduelles de tout lieu d'enfouissement technique de même que le système de traitement des lixiviats ou des eaux qui en proviennent, exception faite des bassins de sédimentation des eaux superficielles, doivent être aménagés à une distance minimale de un kilomètre (mesuré à partir de la limite intérieure de la zone tampon ceinturant le lieu d'enfouissement technique) de toute prise d'eau servant à la production d'eau de source ou d'eau minérale au sens du *Règlement sur les eaux embouteillées* (MDDEP, 1981), ou à l'alimentation d'un aqueduc autorisé en vertu de la *Loi sur la qualité de l'environnement*.

Le site à l'étude est conforme à l'article 13 en fonction des informations obtenues par le biais de l'inventaire des puits décrit aux sections 2.3 et 5.4.4 qui démontre l'absence d'ouvrages de captage dans un rayon de un kilomètre.

8.2 Article 14

Il est interdit, selon l'article 14, d'aménager un lieu d'enfouissement technique dans la zone d'inondation d'un cours ou d'un plan d'eau, qui est comprise à l'intérieur de la ligne d'inondation de récurrence de cent ans.

L'élévation moyenne du terrain naturel mesurée au sein de l'aire d'implantation projetée du futur LET est de 124,0 m. L'élévation moyenne du ruisseau le plus près situé au sud-ouest du futur LET varie entre 119,0 m et 110,0 m. Par conséquent, il s'avère que le site à l'étude, en n'étant pas localisé

dans une zone d'inondation d'un cours d'eau de récurrence de 100 ans, est conforme à l'article 14 du *REIMR*.

8.3 Article 15

À l'article 15, il est mentionné qu'il est interdit d'aménager un lieu d'enfouissement technique dans les zones à risque de mouvement de terrain.

À notre connaissance et selon la nature des sols naturels ainsi que la topographie dans le secteur, le site à l'étude ne se trouve pas dans une zone à risque de mouvement de terrain. L'article 15 est donc respecté.

8.4 Article 16

Selon l'article 16, l'aménagement d'un lieu d'enfouissement technique est interdit sur un terrain en dessous duquel se trouve une nappe libre ayant un potentiel aquifère élevé. Selon cet article, un potentiel aquifère élevé est défini par des essais de pompage démontrant qu'il peut être soutiré en permanence, à partir d'un même puits de captage, au moins 25,0 m³ d'eau par heure.

Sur la base des résultats des essais de perméabilité, il s'avère que les deux unités hydrostratigraphiques ne sont pas réputées perméables et conductrices d'un grand volume d'eau souterraine. Sans même réaliser d'essais de pompage, il est possible d'affirmer qu'il n'est pas faisable de soutirer un débit permanent d'au moins 25,0 m³/h du dépôt de till silto/argileux ou de la formation rocheuse de nature sédimentaire à la hauteur du site à l'étude. À titre indicatif, des valeurs de transmissivité supérieures à 1,5x10⁻² m²/s représentent habituellement de bons aquifères pour l'exploitation des eaux souterraines destinées à des usages industriels, municipaux ou agricoles. Des valeurs égales ou légèrement inférieures à 1,4x10⁻⁴ m²/s sont représentatives d'une formation aquifère pouvant tout juste satisfaire des besoins domestiques.

En considérant une conductivité hydraulique moyenne de 8,6x10⁻⁷ m/s et une épaisseur saturée moyenne de l'ordre de 3,95 m au sein du dépôt de till silto/argileux, la valeur de la transmissivité est évaluée à seulement 3,4x10⁻⁶ m²/s. À cette valeur de transmissivité correspond un débit de l'ordre de 0,26 m³/h qui peut potentiellement être soutiré par pompage de l'unité hydrostratigraphique de till.

En considérant une conductivité hydraulique de $4,8 \times 10^{-7}$ m/s et une épaisseur saturée estimée à 10,0 m au sein de la formation rocheuse sédimentaire, la valeur de la transmissivité est évaluée à seulement $4,8 \times 10^{-6}$ m²/s. À cette valeur de transmissivité correspond un débit de l'ordre de 0,94 m³/h qui peut potentiellement être soutiré par pompage de l'unité hydrostratigraphique de roc.

Sur la base des résultats obtenus, il s'avère qu'il n'est pas possible d'extraire un débit permanent de 25,0 m³/h de l'une ou l'autre des unités hydrostratigraphiques. La formation de till silto/argileux peut difficilement combler des besoins domestiques. Par contre, la formation rocheuse pourrait satisfaire des besoins domestiques si un ouvrage était aménagé sur une grande profondeur. Par conséquent, l'article 16 est respecté dans son intégralité.

8.5 Article 20

Afin d'empêcher la contamination du sol et des eaux souterraines par les lixiviats, il est prévu à l'article 20 que les lieux d'enfouissement technique ne peuvent être aménagés que sur des terrains où les dépôts meubles sur lesquels seront déposées les matières résiduelles se composent d'une couche naturelle homogène ayant en permanence une conductivité hydraulique mesurée *in situ* égale ou inférieure à $1,0 \times 10^{-6}$ cm/s ou $1,0 \times 10^{-8}$ m/s sur une épaisseur minimale de 6,00 m.

En fonction des résultats des essais de perméabilité et du contexte hydrostratigraphique global, il s'avère que le site à l'étude n'est pas conforme à l'article 20 à l'égard des valeurs de la conductivité hydraulique du till qui varient entre $4,2 \times 10^{-8}$ et $2,0 \times 10^{-6}$ m/s pour une moyenne arithmétique de $8,6 \times 10^{-7}$ m/s. De plus, le dépôt de till ne possède pas l'épaisseur minimale requise avec une épaisseur moyenne de 4,43 m.

8.6 Article 21

Comme l'article 20 est relativement restrictif, il est prévu à l'article 21 qu'un lieu d'enfouissement technique peut être aménagé sur un lieu donné lorsque l'on trouve en profondeur une couche de dépôts meubles satisfaisant aux exigences de l'article 20. Dans ce cas, la zone où seront déposées les matières résiduelles doit comporter un écran périphérique d'étanchéité.

Les conditions hydrogéologiques déterminées dans le cadre de la présente étude sont telles que le site à l'étude ne respecte pas les modalités de l'article 21.

8.7 Articles 22 et 23

Lorsqu'un site ne satisfait pas aux conditions d'imperméabilité mentionnées aux articles précédents (articles 20 et 21), un lieu d'enfouissement technique peut être aménagé sur un site pourvu que la zone où seront déposées les matières résiduelles comporte, sur son fond et ses parois, un système d'imperméabilisation à double niveau de protection. L'article 22 décrit le concept et les balises à respecter dans le cadre de l'aménagement d'un tel système.

En référence à l'article 23, la base du niveau inférieur de protection d'un système d'imperméabilisation à double niveau de protection d'un lieu d'enfouissement technique aménagé comme prescrit à l'article 22 doit être située au-dessus du niveau des eaux souterraines. L'abaissement du niveau de ces eaux par pompage, drainage ou autrement n'est permis que sur des terrains où les dépôts meubles se composent d'une couche naturelle homogène ayant en permanence une conductivité hydraulique inférieure ou égale à $5,0 \times 10^{-5}$ cm/s ou $5,0 \times 10^{-7}$ m/s sur une épaisseur minimale de 3,0 m, cette conductivité hydraulique devant être établie *in situ*. Dans les cas où ces conditions ne se trouveraient qu'en profondeur, les zones de dépôt des matières résiduelles doivent également être munies d'un écran périphérique d'étanchéité conforme aux prescriptions de l'article 21. De plus, toute excavation faite dans de telles zones ne doit pas compromettre la conductivité hydraulique et l'épaisseur minimale citées ci-dessus.

Étant donné le contexte hydrostratigraphique du site à l'étude, un système d'imperméabilisation à double niveau de protection devra être implanté dans le cadre de l'aménagement du lieu d'enfouissement technique tel que prescrit à l'article 22.

Tel que spécifié à l'article 22, la base du niveau inférieur du système de protection doit être située à une distance minimale de 1,50 m au-dessus du roc. De plus, tel que spécifié à l'article 23, la base du système d'imperméabilisation à double niveau de protection doit être localisée au-dessus du niveau des eaux souterraines.

La hauteur relativement élevée de la nappe d'eau souterraine dans le till qui se situe entre 0,235 et 1,740 m à la hauteur du site à l'étude peut constituer une contrainte à l'aménagement de certaines infrastructures du futur LET. Dans un tel cas, il faut abaisser par drainage, pompage ou autrement le niveau de la nappe superficielle pour permettre l'aménagement des infrastructures projetées. Sur la base des données interprétées et mesurées à l'emplacement des puits d'observation PO-1, PO-2, PO-3 et PO-5 implantés à la hauteur du futur LET, il s'avère que l'épaisseur du dépôt de till varie entre 3,04 et 7,62 m, ce qui permet de respecter l'article 23. En utilisant les valeurs de la conductivité hydraulique interprétées à partir des puits d'observation PO-1, PO-3 et PO-5 implantés à la hauteur du futur LET, la conductivité hydraulique moyenne est établie à $1,6 \times 10^{-5}$ cm/s ou $1,6 \times 10^{-7}$ m/s, ce qui permet de respecter les modalités de l'article 23 touchant l'abaissement possible de la nappe.

En incluant les données interprétées et mesurées à l'emplacement des puits d'observation PO-4 et PO-6 localisés respectivement aux extrémités nord-est et sud-est de l'aire projetée d'enfouissement des matières résiduelles, il s'avère que l'épaisseur du dépôt de till varie entre 2,49 et 7,62 m et que la conductivité hydraulique moyenne est établie à $8,5 \times 10^{-5}$ cm/s ou $8,5 \times 10^{-7}$ m/s. L'épaisseur effective du dépôt de till passe de 3,04 à 2,49 m de PO-5 vers PO-4, ce qui mène à une non conformité à l'article 23 pour la partie nord-est du site seulement. En ce qui a trait à la conductivité hydraulique moyenne de $8,5 \times 10^{-5}$ cm/s ou $8,5 \times 10^{-7}$ m/s, cette dernière se situe très près de la limite de $5,0 \times 10^{-5}$ cm/s ou $5,0 \times 10^{-7}$ m/s dictée à l'article 23. Dans ce contexte, il serait vraisemblablement possible d'obtenir une dérogation à l'article 23 pour abaisser le niveau de la nappe du till.

9 CONCLUSION ET COMMENTAIRES

9.1 Contextes géologique et hydrogéologique

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique et géotechnique portant sur l'implantation d'un lieu d'enfouissement technique (LET) à Saint-Alphonse en Gaspésie, neuf forages stratigraphiques aménagés en puits d'observation ont été réalisés sur une partie du lot 1018 du rang V du canton de Hamilton à Saint-Alphonse. Les forages ont permis de déterminer la stratigraphie des dépôts meubles et du socle rocheux ainsi que de recueillir des échantillons de sol et d'eau souterraine pour fins d'essais et d'analyses en laboratoire. Des essais de perméabilité *in situ* ont permis de définir les propriétés hydrauliques des dépôts meubles et du socle rocheux dans le but de vérifier la conformité des conditions hydrogéologiques du site aux dispositions prévues au *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (MDDEP, 2006b).

Les forages stratigraphiques ont intercepté deux unités hydrostratigraphiques distinctes. Un mince couvert de terre végétale contenant de la matière organique recouvre partiellement un dépôt naturel de till silto/argileux qui présente une couleur brune en surface et brun rougeâtre en profondeur. Localement, des horizons montrant une granulométrie plus grossière qui favorisent la circulation lente de l'eau souterraine ont été interceptés à différentes profondeurs. L'épaisseur totale du till varie entre 2,49 et 7,62 m sur l'ensemble de la zone d'étude. L'épaisseur des dépôts meubles varie en fonction du relief local et de la topographie du socle rocheux. Les dépôts meubles reposent sur des roches sédimentaires constituées d'une alternance de grès et de conglomérat. Le massif rocheux est traversé occasionnellement par des zones de fractures et d'altération qui favorisent l'emmagasinement et la circulation de l'eau souterraine. L'épaisseur du massif rocheux sédimentaire est inconnue en raison de la profondeur limitée des forages.

La première unité hydrostratigraphique composée de till silto/argileux est considérée comme un aquitard, c'est-à-dire une formation géologique totalement ou partiellement saturée d'où il n'est pas possible d'extraire d'eau par pompage de façon économique, mais qui est assez perméable pour laisser percoler des quantités d'eau appréciables sur une grande échelle. La nappe qui circule au sein de cette unité peut être qualifiée de semi-libre, c'est-à-dire une nappe qui peut être alimentée en partie par la formation rocheuse sous-jacente et où la pression de l'eau est égale à la pression atmosphérique aux endroits de plus grande perméabilité. Le niveau statique de la nappe d'eau

souterraine dans les dépôts a été observé à des profondeurs variant entre 0,235 et 1,740 m par rapport à la surface du terrain naturel. Le mouvement de l'eau est favorisé dans les horizons plus perméables contenant des proportions plus importantes de gravier. Cette nappe fait naturellement résurgence dans le cours d'eau identifié sur le site à l'étude pour l'alimenter principalement durant les périodes de crue saisonnière.

La conductivité hydraulique du dépôt de till varie de $4,2 \times 10^{-8}$ à $2,0 \times 10^{-6}$ m/s pour une moyenne arithmétique de $8,6 \times 10^{-7}$ m/s. Sous des conditions statiques, l'eau souterraine circule lentement vers le sud-est sous un gradient hydraulique horizontal moyen de 1,8 % et une vitesse horizontale moyenne de 1,9 m/an à la hauteur du site à l'étude. Le régime d'écoulement de la nappe change en bordure du cours d'eau qui agit localement comme une zone d'appel de l'eau souterraine. La direction d'écoulement peut varier du sud vers le nord-est, le gradient hydraulique horizontal peut être d'au moins 5,7 % et la vitesse horizontale peut atteindre de 6,2 m/an au sein de la zone d'appel du cours d'eau. Sur la base des résultats des essais de perméabilité, il s'avère que le till n'est pas réputé perméable et qu'un très faible volume d'eau souterraine de l'ordre de 0,26 m³/h pourrait être soutiré par pompage de cette formation. Ce débit pourrait difficilement satisfaire des besoins domestiques.

La deuxième unité hydrostratigraphique correspond au massif rocheux constitué de roches sédimentaires. Le massif rocheux est considéré comme un aquifère aux endroits où la circulation de l'eau souterraine est possible par advection dans les fractures et les zones d'altération. À d'autres endroits, le roc est plutôt associé à un aquitard en l'absence de discontinuités structurales et de zones altérées. Le socle rocheux présente une pente générale vers le sud-est. Une nappe captive à semi-captive circule au sein des fractures subhorizontales du massif rocheux dont la partie supérieure peut être en lien hydraulique avec la portion inférieure du dépôt de till par endroits. Le gradient hydraulique vertical ascendant de 9,0 % évalué dans le secteur du puits d'observation PO-2 démontre qu'il est possible pour la nappe du roc d'alimenter celle du till par endroits. L'existence d'un gradient hydraulique vertical ascendant entre les deux nappes ne favorise donc pas la migration des contaminants moins denses que l'eau du till vers le roc. Au site du puits d'observation PO-2, le niveau de la nappe d'eau souterraine dans le socle rocheux se situe à 1,465 m de profondeur par rapport à la surface du terrain naturel et la conductivité hydraulique du roc est de l'ordre de $4,8 \times 10^{-7}$ m/s. Sur la base des résultats des essais de perméabilité, il s'avère que le roc n'est pas

réputé perméable et qu'un faible volume d'eau souterraine de l'ordre de 0,94 m³/h pourrait être soutiré par pompage de cette formation. Ce débit pourrait satisfaire des besoins domestiques à partir d'un ouvrage profond.

9.2 Qualité des eaux souterraines et de surface avant l'aménagement du LET

De façon générale, la nappe d'eau souterraine qui circule dans les dépôts meubles montre une bonne qualité bactériologique et physicochimique pour les paramètres indicateurs analysés. À l'égard des dispositions de l'article 57 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (MDDEP, 2006b), les résultats d'analyses indiquent que seul le paramètre manganèse dissous excède la norme prescrite à l'emplacement des puits d'observation PO-3, PO-4, PO-6 et PO-8. Le manganèse qui n'est pas considéré comme un élément toxique se trouve souvent en concentrations relativement élevées dans certaines eaux souterraines au Québec. Il est donc convenu de considérer les teneurs en manganèse comme naturelles dans l'eau souterraine qui migre dans le till.

Dans le cas du massif rocheux, les concentrations élevées des chlorures totaux et du sodium dissous mesurées au site du puits d'observation PO-2 sont apparentées à une eau souterraine montrant des caractéristiques légèrement saumâtres. La valeur basique du pH qui excède la norme maximale permise est directement associée à la condition de l'eau souterraine. À noter qu'il n'est pas exceptionnel de mesurer naturellement de telles valeurs de chlorures, de sodium et de pH dans des eaux souterraines qui migrent lentement au sein de massifs rocheux de nature sédimentaire. Les caractéristiques légèrement saumâtres de l'eau constituent donc un facteur limitatif à l'implantation d'un puits de captage d'eau souterraine destinée à la consommation humaine dans le secteur à l'étude.

Concernant la qualité de l'eau de surface prélevée dans le cours d'eau situé au sud de l'aire d'implantation du futur LET, les résultats d'analyses montrent que les concentrations obtenues ne dépassent pas les normes de l'article 53 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles* (MDDEP, 2006b).

9.3 Contexte géotechnique

De façon générale, les conditions géotechniques du site ne présentent pas d'obstacles majeurs à l'implantation d'un LET. Les dépôts de till en profondeur possèdent une capacité portante suffisante pour le LET projeté. Il sera néanmoins nécessaire de retirer, voire même remplacer, jusqu'à une profondeur moyenne de 600 mm, la couche végétale supérieure, les souches et systèmes racinaires ainsi que les couches supérieures de sol dont la capacité portante est trop faible.

Le niveau élevé de l'eau souterraine sera problématique par endroits pour la conception du système imperméabilisant, qui devra se trouver au-dessus de la nappe souterraine et qui devra résister aux risques de soulèvement par pression hydrostatique. Un système de drainage efficace permettra à la fois d'intercepter les eaux provenant de l'extérieur du site et d'abaisser le niveau de l'eau sous le site afin de garantir l'intégrité des cellules du LET et des ouvrages de captage des lixiviats.

À l'exception des couches supérieures, la sensibilité au remaniement du till présent sous le site prévu pour l'aménagement du LET ne sera pas problématique. Des tassements à court terme sont à anticiper lors de l'abaissement de la nappe phréatique et lors de la construction du LET. Des tassements à long terme seront engendrés lors de l'exploitation du LET, en particulier tôt après l'application d'une surcharge. On s'attend à ce que ces tassements atteignent des valeurs de l'ordre de 40 à 90 mm. Le remplissage des cellules en couches successives devrait réduire les risques de tassements différentiels. De plus, la stabilité du fond des cellules n'est pas jugée problématique vu que le remplissage des matières résiduelles, tel que proposé, se fera très lentement et de façon uniforme dans chaque cellule.

9.4 Conformité du site à l'étude

En ce qui concerne la conformité du site à l'étude aux différentes dispositions réglementaires décrites dans le *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (MDDEP, 2006b), il s'avère que les conditions hydrogéologiques ne respectent pas les articles 20, 21 et 22. À cet égard, un système d'imperméabilisation à double niveau de protection doit être aménagé dans le fond et sur les parois du futur LET en tenant compte des conditions locales.

La hauteur relativement élevée de la nappe d'eau souterraine dans le till qui se situe entre 0,235 et 1,740 m à la hauteur du site à l'étude peut constituer une contrainte à l'aménagement de certaines infrastructures du futur LET. Dans un tel cas, il faut abaisser par drainage, pompage ou autrement le niveau de la nappe superficielle pour permettre l'aménagement des infrastructures projetées. Sur la base des données interprétées et mesurées à l'emplacement des puits d'observation PO-1, PO-2, PO-3 et PO-5 implantés à la hauteur du futur LET, il s'avère que l'épaisseur du dépôt de till varie entre 3,04 et 7,62 m, ce qui permet de respecter l'article 23. Toutefois, certaines mesures devront être prises dans le secteur nord-est du futur LET en raison de l'épaisseur limitée du till qui passe de 3,04 à 2,49 m de PO-5 vers PO-4. En utilisant les valeurs de la conductivité hydraulique interprétées à partir des puits d'observation PO-1, PO-3 et PO-5 implantés à la hauteur du futur LET, la conductivité hydraulique moyenne est établie à $1,6 \times 10^{-5}$ cm/s ou $1,6 \times 10^{-7}$ m/s, ce qui permet de respecter les modalités de l'article 23 touchant l'abaissement possible de la nappe. Si les valeurs de la conductivité hydraulique évaluées à l'emplacement des puits d'observation PO-4 et PO-6 sont considérées dans le calcul de la conductivité hydraulique moyenne, il faudrait alors obtenir une dérogation à l'article 23, puisque la valeur moyenne de $8,5 \times 10^{-5}$ cm/s ou $8,5 \times 10^{-7}$ m/s se situe très près de la limite fixée à $5,0 \times 10^{-5}$ cm/s ou $5,0 \times 10^{-7}$ m/s.

Il n'existe aucun puits d'alimentation en eau potable dans un rayon de un kilomètre des limites du site à l'étude. Celui-ci n'est pas localisé dans une zone d'inondation d'un cours d'eau de récurrence de 100 ans ou dans un secteur à risque de mouvement de terrain.

Les nappes d'eau souterraine qui circulent dans le till et le roc de nature sédimentaire réputés peu perméables ne possèdent pas un potentiel hydrique assez important pour être sollicitées à un débit permanent de 25,0 m³/h à partir d'un puits de captage.

10 RECOMMANDATIONS

À la suite des travaux effectués dans le cadre de la présente étude hydrogéologique et géotechnique et des résultats obtenus, PESCA Environnement et Hydrogéo-Sol proposent les recommandations suivantes en ce qui a trait à l'aménagement et à l'exploitation du futur LET :

- 1- Compte tenu des conditions hydrogéologiques qui prévalent sur le site à l'étude et tel qu'indiqué à l'avis de projet déposé au MDDEP, il s'avère qu'un système d'imperméabilisation à double niveau de protection conforme à l'article 22 du *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR)* (MDDEP, 2006b) devra être aménagé à la hauteur de l'aire d'implantation proposée du futur LET;
- 2- La base du niveau inférieur du système de protection devra être située à une distance minimale de 1,50 m au-dessus du roc. La base du système d'imperméabilisation à double niveau de protection doit également être située au-dessus du niveau des eaux souterraines. Toutefois, il est possible sur une grande superficie du site à l'étude d'abaisser le niveau de la nappe souterraine dans le till pour permettre l'aménagement des cellules en profondeur, en laissant au moins 3,0 m de dépôts sous la base du système;
- 3- Le LET devra être aménagé de manière à respecter l'article 23 du *REIMR* dans les secteurs où l'épaisseur du till est insuffisante, notamment dans les parties nord-est et sud-est du site à l'étude où le roc est situé à moins de 3,0 m de profondeur;
- 4- L'exploitant devra préserver l'intégrité physique de tous les puits d'observation qui sont aménagés sur l'ensemble du site, à l'exception de ceux en conflit avec l'aménagement des cellules d'enfouissement qui devront être obturés et scellés. Advenant un bris accidentel, il faudra remplacer le ou les puits d'observation endommagés dans les meilleurs délais;
- 5- Il est recommandé de mettre en place en aval hydraulique des infrastructures et des cellules d'enfouissement un puits d'observation à double niveau, dont un aménagé dans le till et l'autre à la hauteur du roc, de manière à vérifier l'évolution de la qualité des eaux souterraines après la mise en service du LET.
- 6- L'exploitant devra respecter les dispositions réglementaires à l'égard du suivi de la qualité des eaux souterraines et de surface.

11 LIMITATIONS DE L'ÉTUDE

Sous réserve de conditions particulières expressément décrites ailleurs dans ce rapport, les travaux qui ont été réalisés sont soumis aux limites et conditions qui suivent.

Les firmes PESCA Environnement et Hydrogéol-Sol ont préparé ce rapport afin de répondre aux besoins exclusifs indiqués par les représentants de la Municipalité de Saint-Alphonse.

LIMITE DANS L'ESPACE ET DANS LE TEMPS

Toute description, évaluation ou estimation exprimée dans le rapport concernant tant la nature, la composition que la qualité du sol n'est absolument valable qu'au droit des sondages exécutés, ainsi qu'aux profondeurs où des échantillons ont été prélevés et analysés. De même, toute description, évaluation ou estimation exprimée dans le rapport tient compte des conditions physiques ainsi que des normes ou critères environnementaux prévalant à l'époque de l'étude.

Ainsi, d'une part, les conditions d'eau souterraine décrites dans ce rapport se rapportent uniquement à celles observées aux endroits et aux dates indiqués dans ce rapport. Il est important de noter que le niveau de l'eau souterraine peut être influencé par plusieurs facteurs dont, entre autres, les précipitations, la fonte des neiges et les modifications apportées au milieu physique et qu'ainsi, il peut varier avec les saisons et les années. Ces fluctuations de la nappe d'eau, les activités menées sur les terrains voisins et les conditions réelles qui prévalent entre les stations d'échantillonnage constituent autant de facteurs susceptibles d'influencer l'état du site.

D'autre part, tout changement de nature législative ou réglementaire survenant après la production de l'étude hydrogéologique et géotechnique est susceptible de modifier les conclusions quant à l'appréciation de la qualité des eaux souterraines, de la conformité aux normes, politiques, directives ou critères pertinents. Toutefois, à moins d'avis contraire, l'interprétation des données, les commentaires et les recommandations contenus dans ce rapport sont fondés, au meilleur de notre connaissance, sur les politiques, les critères et les règlements environnementaux en vigueur au moment de la réalisation du mandat, jusqu'à leurs limites applicables, compte tenu de la nature spécifique du mandat. Ainsi, si ces politiques, critères et règlements sont différents de ceux présumés ou s'ils sont changés après la remise du rapport, PESCA Environnement et Hydrogéol-Sol devront être consultées pour réviser les recommandations à la lumière de ces changements.

Lorsque aucune politique, critère ou réglementation n'est disponible pour permettre l'interprétation des données, les commentaires et recommandations exprimés par les firmes PESCA Environnement et Hydrogéol-Sol sont basés sur la meilleure connaissance possible des règles acceptées dans la pratique professionnelle s'appliquant au mandat concerné.

CHOIX DES PARAMÈTRES, NOMBRE DE SONDAGES ET D'ÉCHANTILLONS

Le choix des paramètres d'analyse, du nombre de sondages ainsi que du nombre d'échantillons prélevés et analysés pour les besoins de la présente étude hydrogéologique sont fonction à la fois de l'état du terrain et des normes, politiques, directives ou critères applicables. L'évaluation repose, quant à elle, sur l'information environnementale connue du site.

Le fait qu'une substance n'ait pas été analysée n'exclut pas qu'elle soit présente sur le site à une concentration supérieure à la teneur de fond, à la limite de détection ou au seuil fixé par un règlement, une politique ou une directive.

12 RÉFÉRENCES

- André Simard et associés. 2006. Aménagement du lieu d'enfouissement technique de Saint-Alphonse. Avis de projet. Préparé pour la Municipalité de Saint-Alphonse. No de projet 06-2369, 16 août 2006.
- Bourque, P.-A. 1985. Synthèse stratigraphique et paléogéographique du bassin silurien de Gaspésie-Matapédia-Témiscouata. Ministère de l'énergie et des ressources Québec. MB 86-01. 41 p.
- Canadian Geotechnical Society (CGS). 1992. Canadian Foundation Engineering Manual. 3rd Edition. 512 p.
- Hvorslev M.J. (1951). Time lag and soil permeability in groundwater observations. Waterways experiment station, U.S. Army Corps. Eng., 36, Vicksburg, Mississippi, USA. 84 p.
- Lasalle, P. 1983. Géologie des sédiments meubles de la région de New Richmond–New Carlisle, Compilée par le ministère des Mines, de l'Énergie et des Ressources, Ottawa, modifiée par le ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Service de la Géologie. 1 :50 000 carte DP 83-29 Feuillelet ouest 3/3
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 1981. Règlement sur les eaux embouteillées. Q-2, r.5
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 1994. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 3 : Eaux souterraines. Centre d'expertise en analyse environnementale. 2^e édition. 116 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 1999. Guide de classification des eaux souterraines. 12 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2003. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 2 : Rejets liquides. Centre d'expertise en analyse environnementale. 2^e édition. 30 p.

- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2006a. Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet de lieu d'enfouissement technique. 49 p. www.mddep.gouv.qc.ca/evaluations/documents/LES.pdf
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2006b. Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles (REIMR). Q-2, r.6.02. www.mddep.gouv.qc.ca/publications/lois_reglem.htm
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2006c. Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées Q-2, r.8. www.canlii.org/qc/legis/regl/p-29r.1.1/20060310/tout.html
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). 2007. Système d'information hydrogéologique. www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm
- PESCA Environnement. 2004. Identification de sites potentiels pour l'implantation d'un lieu d'enfouissement technique. Étude préliminaire. Rapport présenté aux MRC de Bonaventure et d'Avignon. 30 p. et 3 annexes
- PESCA Environnement. 2006. Plan de gestion des matières résiduelles. Rapport final présenté aux MRC de Bonaventure et d'Avignon. 129 p. et 8 annexes
- PESCA Environnement/André Simard et associés. 2005. Étude d'avant-projet – Aménagement d'un lieu d'enfouissement technique. Rapport final présenté aux MRC de Bonaventure et d'Avignon. 12 p. et 1 annexe
- Rowe, R. K. 2001. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook. Kluwer Academic Publishers, 1 088 p.

FIGURES