

# ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE RÉFÉRENCE

## PROJET ÉNERGIE CACOUNA



SEPTEMBRE 2005

## TABLE DES MATIERES

<b><u>SECTION</u></b>	<b><u>PAGE</u></b>
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 CONTENU DE LA SECTION .....	1
1.2 OBJECTIF .....	2
1.3 ZONE D'ÉTUDE DE RÉFÉRENCE.....	2
2 MÉTHODOLOGIE .....	4
2.1 FORAGE ET ÉCHANTILLONNAGE DU ROC .....	4
2.2 INSTALLATION ET DÉVELOPPEMENT DES PUIITS D'OBSERVATION.....	4
2.3 ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES .....	6
2.4 PROGRAMME ANALYTIQUE ET CONTRÔLE DE QUALITÉ.....	6
2.5 ESSAI DE PERMÉABILITÉ .....	7
2.6 SUIVI PIÉZOMÉTRIQUE .....	8
2.7 RELEVÉ D'ARPENTAGE ET NIVELLEMENT .....	8
2.8 ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ .....	8
3 DESCRIPTION DU MILIEU .....	10
3.1 GÉOLOGIE.....	10
3.1.1 Géologie régionale.....	10
3.1.2 Stratigraphie.....	11
3.2 HYDROGÉOLOGIE.....	13
3.2.1 Hydrogéologie régionale .....	13
3.2.2 Hydrostratigraphie.....	13
3.2.3 Paramètres hydrauliques .....	14
3.2.4 Patron d'écoulement de l'eau souterraine .....	15
3.2.5 Classification des eaux souterraines .....	20
3.2.6 Qualité des eaux souterraines .....	20
3.3 ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE.....	29
3.3.1 Inventaire des utilisateurs d'eau souterraine .....	29
3.3.2 Vulnérabilité des eaux souterraines.....	33
3.3.3 Échanges hydriques entre les eaux de surface et les eaux souterraines .....	33
4 RÉSUMÉ.....	36
4.1 INTRODUCTION .....	36
4.2 GEOLOGIE.....	36
4.3 HYDROGÉOLOGIE.....	37
4.4 ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE.....	39
5 RÉFÉRENCES.....	42
6 UNITÉS, ACRONYMES, ET GLOSSAIRE.....	44
6.1 UNITÉS.....	44
6.2 ACRONYMES.....	44
6.3 GLOSSAIRE .....	46

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Système de cotation numérique DRASTIC .....	9
Tableau 2	Description des unités hydrostratigraphiques.....	14
Tableau 3	Résultats des essais de perméabilité .....	14
Tableau 4	Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine – Métaux et autres composés inorganiques.....	23
Tableau 5	Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine – Composés organiques .....	25
Tableau 6	Description stratigraphique des puits et forages répertoriés dans SIH et localisés à l'intérieur des limites du Village et de la Paroisse de Saint-Georges-de-Cacouna .....	32

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Zone d'étude des ressources aquatiques.....	3
Figure 2	Localisation des puits d'observation .....	5
Figure 3	Coupes géologiques A-A'' et B-B'.....	12
Figure 4	Suivi piézométrique (23 au 26 novembre 2004).....	16
Figure 5	Patron d'écoulement – marée basse .....	18
Figure 6	Patron d'écoulement – marée haute.....	19
Figure 7	Procédure de classification des eaux souterraines du Québec .....	21
Figure 8	Utilisateurs d'eau souterraine .....	30
Figure 9	Diagramme de Piper .....	35

## LISTE DES SOUS-ANNEXES

Sous-Annexe A	Journaux de sondage
Sous-Annexe B	Essais de perméabilité
Sous-Annexe C	Certificats d'analyses chimiques
Sous-Annexe D	Tableau de calcul de l'indice DRASTIC

# 1 INTRODUCTION

TransCanada PipeLines Limited, au nom d'une nouvelle entité qui sera constituée par TransCanada PipeLines Limited et Petro-Canada (Énergie Cacouna), propose d'aménager et de construire un terminal d'importation de gaz naturel liquéfié (GNL) dans la paroisse Saint-Georges-de-Cacouna, Québec, Canada, sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent. Le terminal sera exploité par TransCanada. Ce projet d'aménagement, soit le Projet Énergie Cacouna (le projet), comprendra des installations de déchargement des méthaniers, des réservoirs de stockage de GNL, de l'équipement de pompage et de regazéification, des bureaux, une usine de séparation de l'azote de l'air et des bâtiments d'entretien et de sécurité. Un quai destiné à l'accostage et au déchargement des méthaniers contenant le GNL s'avancera dans le fleuve Saint-Laurent sur une distance approximative de 350 m à partir du site du terminal.

L'objectif du projet consiste à décharger le GNL des méthaniers en provenance du fleuve Saint-Laurent dans les installations de stockage de Gros Cacouna, où le GNL sera ensuite regazéifié. Le gaz naturel sera ensuite acheminé vers les marchés de consommation par des gazoducs terrestres situés sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent. Au besoin, de l'azote sera ajouté au gaz pour maintenir le pouvoir calorifique du gaz naturel conformément aux spécifications du gazoduc.

Ce rapport fait partie d'une série de documents décrivant le milieu récepteur dans une zone d'étude centrée sur le site de Gros Cacouna. Ce rapport présente de l'information sur les conditions hydrogéologiques dans la région du projet.

## 1.1 CONTENU DE LA SECTION

Le reste de cette section décrit les objectifs et la portée des travaux inclus dans l'étude hydrogéologique de référence (section 1.2) et définit la zone d'étude retenue (section 1.3).

La section 2 présente une description des méthodes utilisées dans le cadre de l'étude hydrogéologique de référence incluant, une revue de littérature des études précédentes et données disponibles (surtout des agences gouvernementales) pour mettre en perspective les conditions antérieures et actuelles du site à l'étude; des travaux de terrain réalisés à l'automne 2004 et l'analyse des données obtenues des travaux de terrain.

Les résultats obtenus de l'étude hydrogéologique de référence sont résumés à la section 3:

- géologie locale et régionale, description des unités stratigraphiques;

- hydrogéologie régionale, hydrostratigraphie, paramètres hydrauliques, patron d'écoulement, classification et qualité des eaux souterraines; et
- inventaire des utilisateurs d'eau souterraine, évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines et de leur interaction avec les eaux de surface.

## 1.2 OBJECTIF

L'objectif de l'étude hydrogéologique de référence est de décrire et présenter une analyse du contexte géologique et hydrogéologique actuel à l'échelle régionale et au site du terminal. Les travaux réalisés dans le cadre de l'étude hydrogéologique de référence incluaient les activités suivantes:

- revue de littérature et compilation des données géologiques et hydrogéologiques existantes;
- forage et installation de puits d'observation au site du terminal;
- échantillonnage et analyse des eaux souterraines au site du terminal;
- relevé piézométrique et analyse des patrons d'écoulement à marée basse et à marée haute dans le secteur du site du terminal;
- inventaire des utilisateurs d'eau souterraine; et
- évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines et de l'interaction entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

## 1.3 ZONE D'ÉTUDE DE RÉFÉRENCE

La zone d'étude de référence retenue pour l'ensemble des ressources aquatiques incluant l'hydrogéologie est présentée à la figure 1. La portion du territoire englobée par cette zone correspond au bassin versant local. Elle inclut l'ensemble des infrastructures et activités du projet Énergie Cacouna ainsi que les zones où des impacts peuvent être appréhendés. La zone d'étude retenue permet de circonscrire l'ensemble des effets directs et indirects du projet sur les milieux biophysiques aquatiques.

Afin d'évaluer le contexte géologique et hydrogéologique local, les travaux de terrain réalisés dans le cadre de l'étude hydrogéologique ont été concentrés sur le site de l'usine du terminal, soit le site retenu par Énergie Cacouna pour l'implantation d'un terminal méthanier et des infrastructures connexes (figure 1). Le site de l'usine est ceinturé au nord et à l'ouest par le fleuve St-Laurent et le port de Transport Canada, au sud-est par le bassin ouest et à l'est par la crête rocheuse de Gros Cacouna. La partie centrale du site est actuellement utilisée pour l'entreposage et la distribution de poudre de ciment par Ciment Québec.

---

## **2 MÉTHODOLOGIE**

### **2.1 FORAGE ET ÉCHANTILLONNAGE DU ROC**

Golder a supervisé les travaux de forage qui se sont déroulés du 25 au octobre 28, 2004. Cinq forages, dont la profondeur varie de 7,6 à 9,1 m, ont été réalisés par la compagnie Forage Comeau Inc. L'emplacement des forages est présenté à la figure 2. Le remblai et le roc ont été carottés à l'aide d'un tube carottier de calibre HQ dont le diamètre extérieur est de 96 mm. L'eau utilisée pour les forages MW-04-1 et MW-04-5 provenait du puits d'approvisionnement en eau de Ciment Québec. L'eau utilisée pour les forages MW-04-2 et MW-04-3 a été pompée directement du fleuve et l'eau utilisée pour le forage MW-04-4 a été pompée du bassin ouest. Les échantillons prélevés ont été décrits visuellement. La description stratigraphique ainsi que les indices de qualité du roc tels que « Total Core Recovery » (TCR), « Solid Core Recovery » (SCR) et le « Rock Quality Designation » (RQD) apparaissent dans les journaux de sondages au sous-annexe A.

### **2.2 INSTALLATION ET DÉVELOPPEMENT DES PUITIS D'OBSERVATION**

Les cinq forages ont été aménagés en puits d'observation à l'aide de tubages et de crépines de chlorure de polyvynyle (CPV) de 50 mm de diamètre. La section crépinée de 6,1 m de longueur a été entourée de sable filtrant jusqu'à environ 0,30 m au-dessus de l'intervalle crépiné. La lanterne de sable est surmontée d'un bouchon de bentonite en pastilles. L'espace annulaire a ensuite été rempli d'un coulis de ciment jusqu'en surface. En surface, les puits sont protégés par l'installation d'un tubage hors-sol en résine d'acrylonitrile, de butadiène et de styrène (ABS) de 7,62 cm de diamètre et d'un couvercle étanche (well seal) cadennassé. L'aménagement des puits d'observation est décrit sur les journaux de sondages au sous-annexe A.

Les puits d'observation ont été développés afin de purger les volumes d'eau injectés en cours de forage, restaurer la conductivité hydraulique naturelle de la formation et enlever les sédiments étrangers afin d'obtenir des échantillons d'eau souterraine le moins turbide possible. Le développement a été réalisé par pompage au moyen d'une pompe à inertie de type Waterra. Un volume d'eau supérieur à celui absorbé par les unités stratigraphiques a été retiré des puits. L'eau de purge retirée fut rejetée à une distance suffisante du puits pompé afin d'éviter le retour de l'eau de purge vers le puits. Les procédures d'aménagement des puits d'observation et de développement ont été conformes à celles préconisées dans le *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 3 – Échantillonnage des eaux souterraines* (MENV, 1994).

## 2.3 ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES

Les cinq puits d'observation et le puits d'approvisionnement de Ciment Québec ont été échantillonnés le 28 octobre 2004. Avant le prélèvement des échantillons d'eau souterraine, chaque puits fut vidangé d'au moins trois fois son volume d'eau. Une pompe à inertie de type Waterra a été utilisée pour purger les puits d'observation. Pour le puits d'approvisionnement de Ciment Québec, la pompe du puits a été actionnée par l'ouverture d'un robinet à l'intérieur du bureau de Ciment Québec.

Les échantillons d'eau souterraine destinés à l'analyse des métaux ont été filtrés sur le site durant l'échantillonnage à l'exception de l'échantillon d'eau souterraine prélevé au puits d'approvisionnement de Ciment Québec qui a été filtré au laboratoire. Les échantillons ont été prélevés directement dans les bouteilles appropriées fournies par le laboratoire d'analyse et munies des agents de conservation adéquats.

Tous les échantillons d'eau ont été placés dans des glacières et conservés à une température d'environ 4°C jusqu'à leur livraison au laboratoire analytique. Les procédures de prélèvement et de préservation des échantillons d'eau ont été conformes aux méthodes spécifiées au *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 1 - Généralités* (MENV, 1999a) et au *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales – Cahier 3-Échantillonnage des eaux souterraines* (MENV, 1994).

## 2.4 PROGRAMME ANALYTIQUE ET CONTRÔLE DE QUALITÉ

Le programme analytique établi pour les échantillons d'eau souterraine visait à évaluer la qualité physico-chimique de l'aquifère. Les six échantillons ont été analysés pour les paramètres suivants:

- composés organiques volatils (COV);
- alcalinité totale;
- ions majeurs (sodium [Na], potassium [K], calcium [Ca], magnésium [Mg], chlorures [Cl], bicarbonates [HCO<sub>3</sub>], carbonates [CO<sub>3</sub>] et sulfates [SO<sub>4</sub>]);
- hydrocarbures pétroliers (C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>);
- pH et conductivité;

- métaux (aluminium [Al], argent [Ag], arsenic [As], baryum [Ba], cadmium [Cd], cobalt [Co], cuivre [Cu], plomb [Pb], molybdène [Mo], nickel [Ni], selenium [Se], zinc [Zn]); et
- hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Deux échantillons ont fait l'objet d'une analyse plus exhaustive. Le programme analytique pour ces deux échantillons incluait aussi les paramètres suivants:

- chlorobenzènes;
- cyanures libres (CN<sup>-</sup>);
- chrome hexavalent (Cr 6+);
- fluorures (F);
- mercure (Hg);
- nitrate (NO<sub>3</sub>) et/ou nitrite (NO<sub>2</sub>);
- composés acides (phénols);
- ortho phosphates (PO<sub>4</sub>);
- phosphore total (P); et
- sulfures (H<sub>2</sub>S).

Le laboratoire Maxxam Analytiques Inc. (Maxxam), accrédité par le MENV pour ces analyses, a effectué l'ensemble des analyses décrites ci-haut. En plus du duplicata de terrain prélevé par Golder, Maxxam a effectué son propre contrôle de qualité via des duplicata et blanc de laboratoire.

## 2.5 ESSAI DE PERMÉABILITÉ

Des essais de perméabilité à niveau ascendant ont été réalisés aux cinq puits d'observation pour évaluer les caractéristiques hydrauliques des unités hydrostratigraphiques. Pour chaque puits d'observation, le niveau statique a été abaissé par pompage à l'aide d'une pompe dédiée de type Waterra et la remontée du niveau d'eau a été mesurée à l'aide d'une sonde de pression combinée à un accumulateur de données (Levellogger). Les essais ont été interprétés selon la méthode de Bouwer & Rice (Bouwer, 1989).



## **2.6 SUIVI PIÉZOMÉTRIQUE**

Les niveaux piézométriques des cinq puits d'observation et du puits de Ciment Québec ont été relevés en continu du 23 au 26 novembre 2004 sur une période d'environ 60 heures. L'élévation des niveaux d'eau du bassin ouest et du fleuve St-Laurent a également été relevée pour cette même période aux limnimètres qui ont été installés directement dans les plans d'eau. Les niveaux d'eau ont été mesurés à l'aide d'une sonde de pression combinée à un accumulateur de données (Levelogger). Ce suivi piézométrique visait à définir les patrons d'écoulement de l'aquifère (direction d'écoulement et gradient hydraulique) en fonction des marées et de caractériser les échanges hydriques entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

## **2.7 RELEVÉ D'ARPENTAGE ET NIVELLEMENT**

Tous les puits d'observation et les limnimètres ont été localisés et raccordés au système de repère géodésique Universal Transverse Modifié (UTM) North American Datum (NAD 1983), utilisé pour le site du terminal. Les relevés d'arpentage et de nivellement ont été réalisés le octobre 29 et le novembre 26, 2004 à l'aide d'une station totale et d'un niveau standard opérés par le personnel de Golder.

## **2.8 ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ**

La vulnérabilité des eaux souterraines de l'aquifère a été évaluée par la méthode DRASTIC. La méthode DRASTIC est une méthode standardisée pour évaluer le degré de vulnérabilité d'un gîte aquifère face aux contaminants de surface. Cette méthode, préconisée par le MENV pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines, a été développée pour l'agence de protection environnementale des États-Unis (EPA) (Aller et al., 1987).

La méthode DRASTIC fait appel à un système de cotation numérique pour calculer un indice de vulnérabilité qui intègre 7 paramètres identifiés par les 7 lettres de l'acronyme DRASTIC. Une valeur numérique (poids paramétrique) comprise entre 1 et 5 est attribuée à chacun des paramètres pour refléter leur degré d'influence tel que présenté au tableau 1.

**Tableau 1**      **Système de cotation numérique DRASTIC**

Paramètres		Poids (général)
D	<i>Depth to water</i> ou profondeur de la nappe d'eau	5
R	<i>Recharge</i> ou infiltration efficace	4
A	<i>Aquifer media</i> ou milieu aquifère	3
S	<i>Soil media</i> ou type de sol	2
T	<i>Topography</i> ou pente du terrain	1
I	<i>Impact of vadose zone</i> ou incidence de la zone vadose	5
C	<i>Conductivity</i> ou conductivité hydraulique	3

Une cote variant de 1 à 10, définie en fonction de plages de valeurs, est également attribuée à chacun des paramètres en utilisant les tableaux de la méthode DRASTIC. La plus petite cote est représentative des conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination. L'indice de vulnérabilité DRASTIC (ID) est déterminé par la somme des produits des poids pondérés par la cote correspondante:

$$ID = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c$$

À titre d'exemple, pour le paramètre D (profondeur de la nappe d'eau),  $D_p$  et  $D_c$  correspondent respectivement au poids et à la cote paramétrique.

## **3 DESCRIPTION DU MILIEU**

### **3.1 GÉOLOGIE**

#### **3.1.1 Géologie régionale**

Le secteur à l'étude est situé dans la province géologique des Appalaches. La présence de formations sédimentaires détritiques datant du Cambrien-Ordovicien caractérise la géologie régionale du secteur. Ces formations sont constituées à 75% de mudstone et à 25% d'unités plus grossières tels des grès et des conglomérats. Les unités stratigraphiques sont orientées selon un axe sud-ouest – nord-est avec un pendage de 20° vers le sud-est (Vallières, 1984).

Les unités moins résistantes mécaniquement ayant été érodées lors de la dernière glaciation, le relief présente une succession de creux et de hauts topographiques parallèles au fleuve St-Laurent. Les dépressions sont généralement comblées par des dépôts sédimentaires d'âge Quaternaire d'origine diverse. Notamment, au contact du roc on retrouve un mince till basal, surmonté d'une unité d'argile marine parfois sableuse, celle-ci est coiffée d'une unité de sables de Hautes Terrasses sur une grande portion de la région. Les dépressions peu profondes sont localement recouvertes de tourbe. Au large de la rive du St-Laurent, des séquences importantes de silt d'origine fluvio-marine recouvrent les unités sédimentaires (Lee, H.A., 1962).

Le roc de Gros Cacouna appartient à l'unité des grès verts du Groupe de St-Roch. La Formation de la Montagne de St-Anselme, l'unité des grès verts et la Formation de l'Original forment le Groupe de St-Roch qui est d'âge Cambrien inférieur (540 à 570 millions d'années BC). L'épaisseur de l'unité des grès verts a été estimée à 1 300 m (Vallières, 1984). La bande de Gros Cacouna se présente en lits massifs qui atteignent jusqu'à 5 m d'épaisseur. Les lits sont généralement vert grisâtre ou gris verdâtre, occasionnellement gris et exceptionnellement rougeâtres. Des niveaux de conglomérat lithique de 1 à 2 m d'épaisseur ont été observés. Les fragments les plus communs sont composés de lave, de granite et de quartz polycristallin. Les feldspaths comptent aussi pour environ 40 % de la fraction principale de ces grès et le microcline et la perthite y sont fréquents. Le ciment de ces grès est siliceux avec un fort contenu en chlorite (Vallières, 1984).

### 3.1.2 Stratigraphie

La séquence stratigraphique rencontrée dans le secteur à l'étude est illustrée sur une première coupe géologique (A-A'') traversant le site du nord-ouest vers le sud-est et sur une seconde coupe géologique (B-B') traversant le site du sud-ouest vers le nord-est. Ces coupes ont été construites à partir des données géologiques obtenues lors du forage des cinq puits d'observation. Le rapport du forage BH-12 (inclus au sous-annexe A), réalisé dans le fleuve St-Laurent à environ 250 m du rivage, a été consulté pour compléter l'interprétation géologique. Les coupes géologiques A-A'' et B-B' sont localisées sur la figure 2 et présentées à la figure 3.

La stratigraphie du secteur est représentée par trois unités qui sont, du sommet vers la base:

1. Remblai (cailloux et blocs avec un peu de sable silteux);
2. Sédiments marins (silt argileux); et
3. Socle rocheux (grès).

Le site du terminal est relativement plat avec une élévation moyenne de l'ordre de 3,5 m. La topographie actuelle est le résultat des activités de dynamitage qui ont eu lieu sur ce site pendant la construction du port. Par conséquent, le roc est sub-affleurant et seule une mince couche de remblai constitué de cailloux et de blocs avec un peu de sable silteux recouvre le socle rocheux. Une mince couche de sol organique s'est développée en surface dans certains secteurs. L'épaisseur du remblai est comprise entre 0,4 et 2,2 m dans la partie centrale du site du terminal. Dans le secteur de l'ancienne usine de broyage de Ciment Québec, le premier mètre de remblai est constitué de matériau de remplissage comprenant localement du sable, du gravier, des fragments de béton et du bois. Aux extrémités nord-ouest (MW-04-2) et sud-est (MW-04-4) du terminal, dans les zones qui ont fait l'objet de remplissage lors de la construction du port, l'épaisseur du remblai atteint plus de 9 m.

Le rapport du forage BH-12, situé dans le fleuve St-Laurent au nord-ouest du site du terminal, indique la présence de 44,2 m de sédiments marins (sous-annexe A). Ceux-ci sont essentiellement constitués de silt argileux gris ou rougeâtre contenant occasionnellement un peu de sable et de gravier. Une faible épaisseur de sédiments marins a aussi été observée au MW-04-02 entre 6,5 et 7,5 m de profondeur.

Le socle rocheux est intercepté sous le remblai à une profondeur comprise entre 0,4 et 2,1 m dans la région centrale du site. La surface du roc y est relativement horizontale mais s'incline fortement aux extrémités nord-ouest (MW-04-02) et sud-est (MW-04-04) du site. Les carottes de roc prélevées étaient composées grès vert contenant localement des grains grossiers de feldspath. Des zones de fracturation ont été observées et sont corroborées par les mesures de l'indice de qualité du roc (RQD). Les indices varient de 88% à 7%, ce qui correspond à une roche de qualité bonne à médiocre.

## **3.2 HYDROGÉOLOGIE**

### **3.2.1 Hydrogéologie régionale**

Le contexte hydrogéologique régional est décrit dans le rapport de McCormack (1978). Régionalement, les unités sédimentaires des Appalaches constituent une zone de recharge dont le fleuve St-Laurent est l'ultime exutoire. En amont, des conditions de nappe libre, qui deviennent captives vers le fleuve, caractérisent les aquifères rocheux profonds. En surface, l'écoulement de l'eau souterraine est fortement influencé par le relief local du roc. Les crêtes rocheuses dénudées agissent à titre de zone d'infiltration préférentielle et rechargent les aquifères et aquitards présents à la base des vallées.

La perméabilité des formations rocheuses est variable. La perméabilité des mudstone est faible avec des valeurs de conductivité hydraulique et de transmissivité de l'ordre de  $2,6 \times 10^{-6}$  m/s et  $2 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s respectivement et un débit théorique de captage ponctuel de 23 L/min. Ce débit peut être plus élevé (de l'ordre de 230 L/min) lorsque cette unité rocheuse alterne avec des lits de calcaires ou de grès. La transmissivité des formations rocheuses constituées de grès quartzo-feldspathique est de l'ordre de  $7 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s avec des valeurs de conductivité hydraulique de l'ordre de  $1,1 \times 10^{-5}$  m/s. Les dépôts granulaires de Hautes Terrasses constituent localement des aquifères de bonne qualité avec une transmissivité de l'ordre de  $5 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, une conductivité hydraulique de  $1,9 \times 10^{-3}$  m/s et un débit théorique de captage ponctuel de 2 000 L/min.

### **3.2.2 Hydrostratigraphie**

Le tableau 2 présente les trois unités hydrostratigraphiques présentes au site du terminal:

**Tableau 2 Description des unités hydrostratigraphiques**

No d'unité	Description	Type
1	remblai (cailloux et blocaux)	aquifère en nappe libre
2	sédiments marins (silt argileux)	aquitard
3	socle rocheux (grès)	aquifère en nappe libre

Les sédiments marins recouvre la formation rocheuse dans le fleuve mais sont pratiquement inexistantes sur le site du terminal. Le système hydrogéologique se compose donc de deux zones aquifères qui sont en lien hydraulique tel que présenté sur les coupes géologiques à la figure 3.

### 3.2.3 Paramètres hydrauliques

Le tableau 3 présente les résultats des essais de perméabilité qui ont été effectués dans certains puits d'observation. L'interprétation des essais de perméabilité in situ a été effectuée selon la méthode de Bouwer & Rice (Bouwer, 1989). Cette méthode a été développée pour des conditions de nappe libre. Elle permet aussi de tenir compte, dans le cas de lanterne de sable partiellement saturée, de l'effet de drainage se produisant dans le sable de la lanterne au cours de l'essai. Les données et graphiques d'interprétation des essais de perméabilité sont fournis à la sous-annexe B.

La conductivité hydraulique du roc (unité 3) a été mesurée aux puits d'observation MW-04-01, MW-04-03 et MW-04-05. Les résultats des essais indiquent que la conductivité est comprise entre  $1,4 \times 10^{-3}$  m/s et  $6,0 \times 10^{-3}$  m/s. La conductivité hydraulique du remblai (unité 1), mesurée au puits d'observation MW-04-04, est de l'ordre de  $2,7 \times 10^{-4}$  m/s.

**Tableau 3 Résultats des essais de perméabilité**

Puits d'observation	Unité hydrostratigraphique	Conductivité hydraulique (m/s)
MW-04-1	Socle rocheux (grès)	$6,0 \times 10^{-3}$
MW-04-3	Socle rocheux (grès)	$1,4 \times 10^{-3}$
MW-04-5	Socle rocheux (grès)	$1,8 \times 10^{-3}$
MW-04-4	Remblai (cailloux et blocaux, un peu de sable silteux)	$2,7 \times 10^{-4}$

### 3.2.4 Patron d'écoulement de l'eau souterraine

La figure 4 montre les niveaux d'eau mesurés en continu du 23 au 26 novembre 2004 dans les puits d'observation, les limnimètres et le puits de Ciment Québec sur une période de 60 heures. Une sonde de pression a été installée directement dans le Fleuve Saint-Laurent pour suivre le niveau d'eau et mesurer l'amplitude des marées dans le port. Les lignes présentées à la figure 4 montrent les fluctuations du niveau d'eau mesuré pendant le suivi. La ligne noire montre les fluctuations du niveau du Fleuve Saint-Laurent et la ligne bleu foncée représente le niveau d'eau du bassin ouest. Les autres lignes montrent les fluctuations du niveau d'eau mesuré dans les puits.

Le graphique de la figure 4 montre que les puits d'observation aménagés dans le remblai (MW-04-2 et MW-04-4) sont en lien hydraulique direct avec le fleuve. Les lignes roses et bleues oscillent au même rythme que le fleuve (ligne noire). Le niveau d'eau mesuré au MW-04-2 (ligne rose) oscille suivant la même amplitude que la marée mesurée directement dans le fleuve. Un comportement similaire est observé au puits d'observation MW-04-4 (ligne bleue) à marée haute, toutefois le débit d'écoulement souterrain local vers le fleuve contribue à maintenir un niveau d'eau supérieur au niveau moyen des mers même à marée basse. Ceci explique la partie aplaniée de la courbe observée à marée basse au puits MW-04-4.

L'effet de la marée, mais à plus faible amplitude, a également été noté à quelques uns des puits d'observation installés dans l'unité de roc. C'est le cas du puits d'observation MW-04-3 (ligne jaune) qui est localisé à environ 20 m de la berge. De faibles oscillations synchronisées avec le mouvement de la marée sont aussi observées au puits Ciment Québec (ligne rouge). Ce puits de 95 m de profondeur intercepte possiblement des zones très fracturées qui favorisent le lien hydraulique avec le fleuve St-Laurent. Tous les puits installés dans le roc ont rapidement été affectés par les fortes précipitations ayant débutées le 24 novembre en soirée. Effectivement, les niveaux d'eau des puits MW-04-1, MW-04-3, MW-04-5 et du puits de Ciment Québec ont augmenté immédiatement après les précipitations (figure 4). Le graphique montre que les niveaux d'eau de ces puits se sont élevés au dessus du niveau d'eau mesuré dans le bassin ouest.

Les conditions hydrogéologiques prévalant au site du terminal sont relativement indépendantes de l'hydrogéologie régionale de la région. Le caractère insulaire de Gros Cacouna, les conditions de nappe libre et la présence de marées modifient le patron d'écoulement du site qui est en constante variation. Des patrons d'écoulement à marée basse et à marée haute sont illustrés aux figures 5 et 6. Ces patrons d'écoulement représentent les conditions piézométriques instantanées observées le 24 novembre à 7 :06 (marée basse) et 13 :10 (marée haute) alors que l'amplitude de la marée était de 3,4 m.

À marée basse, l'écoulement de l'eau souterraine est radial et l'eau souterraine s'écoule vers le Fleuve Saint-Laurent, le port et le bassin ouest. Partout aux abords du site, la marée haute engendre un rehaussement de la piézométrie et un renversement des gradients hydrauliques vers le site du terminal. Cet effet est particulièrement notable dans le secteur compris entre MW-04-3 et les installations actuelles de Ciment Québec. La piézométrie dans la partie centrale du site est influencée par la crête rocheuse de Gros Cacouna et est très peu affectée par les marées.

Même si le débit d'écoulement de l'eau souterraine qui fait résurgence dans le Fleuve Saint-Laurent, le port et le bassin ouest varie considérablement suivant les marées, le débit moyen annuel transitant par l'aquifère est limité à la recharge annuelle de la nappe d'eau souterraine. En raison du caractère insulaire de Gros Cacouna, le bassin qui contribue à l'écoulement de l'eau souterraine au site du terminal est seulement de 300 000 m<sup>2</sup>. En considérant une infiltration annuelle de l'ordre de 100 à 150 mm (10 à 15 % des précipitations annuelles), le débit moyen annuel qui s'écoule vers le Fleuve Saint-Laurent, le port et le bassin ouest varie de 82 à 123 m<sup>3</sup>/j.

Basé sur les conditions hydrogéologiques rencontrées au site du terminal et le nombre de travailleurs, les besoins domestiques en eau peuvent possiblement être comblés par un puits localisé au centre du site (comme l'emplacement du puits de Ciment Québec). Une étude hydrogéologique incluant un essai de pompage sera toutefois nécessaire pour évaluer le débit d'exploitation durable i.e. la quantité d'eau souterraine qui peut être pompée annuellement sans diminuer les réserves d'eau souterraine et sans entraîner l'intrusion d'eau saline. L'eau souterraine devra être analysée pour s'assurer qu'elle rencontre les normes de potabilité du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (MENV, 2001). Pour un débit supérieur à 75 m<sup>3</sup>/j, l'ouvrage de captage devra être soumis à l'autorisation du ministre et une étude hydrogéologique sera requise pour rencontrer les exigences du *Règlement sur le captage des eaux souterraines* (MENV, 2002a).



### 3.2.5 Classification des eaux souterraines

La classification de l'eau souterraine a été réalisée selon la procédure décrite dans le *Guide de classification des eaux souterraines du Québec* (MENV, 1999b). La procédure de classification est présentée de façon schématique sous forme d'organigramme à la figure 7. Les caractéristiques de classification de l'aquifère du roc de Gros Cacouna sont énumérées ci-dessous:

- la formation hydrogéologique se caractérise par un aquifère libre formé de grès fracturé et perméable;
- l'aquifère du roc présent au site du terminal ne fait pas partie de l'aire d'alimentation d'un ouvrage de captage collectif présent ou projeté. Les puits municipaux sont localisés à plus de 1,8 km et exploitent des aquifères différents. Une description des prises d'eau municipales est présentée à la section 3.3.1.1; et
- l'aquifère du roc est la source courante de quelques propriétés privées localisées sur la rive nord-ouest de Gros Cacouna et constitue une source potentielle d'alimentation en eau.

Basé sur ces éléments, l'aquifère du roc présent au site du terminal est un aquifère de classe II, soit une formation hydrogéologique aquifère qui constitue une source courante ou potentielle d'alimentation en eau (qualité acceptable et quantité suffisante).

### 3.2.6 Qualité des eaux souterraines

#### 3.2.6.1 Critères applicables aux eaux souterraines

Tel que défini par le MENV dans sa *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* (1999c), la procédure d'intervention applicable à l'eau souterraine est guidée par la présence ou non de récepteurs potentiels dans le secteur. Les critères de qualité d'eau sont déterminés en fonction des récepteurs potentiels qui sont identifiés. Les récepteurs potentiels qui doivent être évalués selon la politique du MENV sont les puits d'approvisionnement en eau, les aquifères de classe I ou II, les cours d'eau, les égouts et les bâtiments.

**Puits d’approvisionnement en eau:** Le puits de Ciment Québec est le seul ouvrage de captage présent sur le site du terminal. Ce puits n’est pas utilisé comme source d’eau potable mais uniquement à des fins sanitaires. Les puits municipaux sont localisés à plus de 1,8 km du site du terminal et exploitent des aquifères différents. Le puits d’approvisionnement en eau de Ciment Québec constitue un récepteur potentiel.

**Aquifère de classe I ou II:** L’aquifère du roc, ciblé par cette étude, a été identifié comme un aquifère de classe II et constitue un récepteur potentiel (référer à la section précédente).

**Cours d’eau:** Selon la Politique du MENV, les cours d’eau situés dans un rayon de 1 km du site à l’étude sont considérés comme des récepteurs potentiels. À ce titre, le Fleuve Saint-Laurent ceinture le site du terminal sur trois cotés. Trois autres cours d’eau sont aussi présents à l’intérieur d’un rayon de 1 km. Il s’agit du bassin ouest, de l’étang et du bassin est. Selon les patrons d’écoulement observés, les eaux souterraines font résurgence dans le fleuve et localement dans le bassin ouest. Ces cours d’eau sont donc des récepteurs potentiels.

**Égouts:** Aucun égout pluvial ou sanitaire n’est présent sur le site du terminal.

**Bâtiment:** Les installations actuelles de Ciment Québec et les installations futures seront construites en surface et ne seront donc pas en contact avec l’aquifère.

Les récepteurs potentiels identifiés sont le puits d’approvisionnement de Ciment Québec, l’aquifère de classe II, le fleuve Saint-Laurent et le bassin ouest. Les résultats analytiques seront donc comparés aux critères de résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts et aux critères pour fin de consommation et recommandations du MENV (1999c, 2002b).

### 3.2.6.2 Qualité des eaux souterraines

Les résultats analytiques des échantillons d’eau souterraine prélevés aux puits d’observation et au puits de Ciment Québec sont présentés aux tableaux 4 et 5 et les certificats d’analyses sont consignés au sous-annexe C. Les résultats sont comparés aux critères pour fin de consommation et aux critères de résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts présentées dans la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* (MENV, 1999c) ainsi qu’aux recommandations présentées dans le *Guide de conception des installations de production d’eau potable* (MENV, 2002b).

**Tableau 4 Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine – Métaux et autres composés inorganiques**

Paramètres	Critères du MENV <sup>(a)</sup>		Identification des échantillons – Date / Concentration						
	Fin de consommation	Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts	MW-04-1	MW-04-2	MW-04-3	MW-04-4	MW-04-4: Duplicata	MW-04-5	Puits Ciment-Quebec
			28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004
<b>Métaux (mg/L)</b>									
Aluminium (Al)	-	0,75	0,08	0,04	<0,03	0,07	0,03	0,11	0,11
Argent (Ag)	0,1	0,00062	<0,0003	<0,0003	0,0007	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Arsenic (As)	0,025	0,34	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Baryum (Ba)	1	5,3	0,16	0,05	0,26	0,05	0,04	0,4	0,3
Cadmium (Cd)	0,005	0,0021	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Calcium (Ca)	-	-	44	250	290	180	180	80	40
Chrome hexavalent (Cr 6+)	-	0,016	<0,01	-	-	<0,01	-	-	-
Cobalt (Co)	-	0,5	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cuivre (Cu)	1	0,0073	0,005	0,007	0,011	0,005	0,004	<0,003	0,49
Magnésium (Mg)	-	-	7,3	830	590	680	460	35	9,3
Mercure (Hg)	0,001	0,00013	<0,0002	-	-	<0,0002	-	-	-
Molybdène (Mo)	0,07	2	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Nickel (Ni)	0,02	0,26	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,01	<0,01	<0,01
Plomb (Pb)	0,01	0,034	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,002	0,011
Potassium (K)	-	-	8,4	260	190	230	150	20	6,1
Sélénium (Se)	0,01	0,02	<0,001	-	-	<0,001	-	-	-
Sodium (Na)	200	-	37	6 400	5 100	6 000	4 100	300	61
Zinc (Zn)	5	0,067	<0,003	0,004	0,013	0,003	<0,003	0,003	0,061
<b>Autres composés inorganiques (mg/L)</b>									
Chlorures (Cl)	250	860	54	16 000	8 700	11 000	-	490	86
Cyanures libres (CN-)	-	0,022	<0,01	-	-	<0,01	-	-	-
Fluorure (F)	1,5	4	<0,2	-	-	0,7	-	-	-

**Tableau 4 Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine – Métaux et autres composés inorganiques (suite)**

Paramètres	Critères du MENV <sup>(a)</sup>		Identification des échantillons – Date / Concentration						
	Fin de consommation	Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts	MW-04-1	MW-04-2	MW-04-3	MW-04-4	MW-04-4: Duplicata	MW-04-5	Puits Ciment-Quebec
			28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004
Nitrates (N)	-	200	0,06	-	-	<0,5	-	-	-
Nitrites (N)	1	0,06	<0,01	-	-	<0,5	-	-	-
Nitrate (N) et Nitrite (N)	10	-	0,06	-	-	<0,01	-	-	-
Orthophosphate (P)	-	-	<0,1	-	-	<0,1	-	-	-
Phosphore total	-	3	<0,1	-	-	2,9	-	-	-
Sulfates (SO <sub>4</sub> ) <sup>(b)</sup>	500	-	12	2 000	1 100	1 300	-	46	6,7
Sulfures anion (S=)	0,05	0,2	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
Alcalinité (en CaCO <sub>3</sub> )	-	-	150	110	110	140	-	120	160
Carbonate (en CaCO <sub>3</sub> )	-	-	<1	<1	<1	<1	-	<1	2
Bicarbonate (en CaCO <sub>3</sub> )	-	-	150	110	110	140	-	120	160
<b>Propriétés physiques</b>									
pH <sup>(b)</sup>	6,5 – 8,5	-	7,3	7,6	7,2	7,4	-	8,2	7,7
Conductivité (mmhos/cm) <sup>(b)</sup>	1,5	-	0,5	37	24	28	-	1,8	0,59

Notes:

6400 Concentration supérieure à la valeur limite du critère *Fin de consommation* du MENV.

0.49 Concentration supérieure à la valeur limite du critère *Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts* du MENV.

- = non analysé / non spécifié.

<sup>(a)</sup> Critères de la « Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés ».

<sup>(b)</sup> Valeur recommandée dans le document du MENV (2002b) " *Guide conception des installations de production d'eau potable* ".

**Tableau 5 Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine – Composés organiques**

Paramètres	Critères du MENV <sup>(a)</sup>		Identification des échantillons – Date / Concentration						
	Fin de consommation	Réurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts	MW-04-1	MW-04-2	MW-04-3	MW-04-4	MW-04-4: Duplicata	MW-04-5	Puits Ciment-Quebec
			28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004
<b>Composés organiques volatils (µg/L)</b>									
Benzène	5	590	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chlorobenzène	30	130	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,2-Dichlorobenzène	3	70	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,3-Dichlorobenzène	-	15 000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,4-Dichlorobenzène	1	110	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Ethylbenzène	2,4	420	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Styrène	20	190	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Toluène	24	580	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Xylènes total	300	820	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
Chloroforme	200	1 800	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chlorure de vinyle	2	53 000	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,2-Dichloroéthane	5	9 900	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1-Dichloroéthylène	14	320	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,2-Dichloroéthylène (cis)	50	-	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,2-Dichloroéthylène (trans)	-	30 000	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Dichlorométhane	50	13 000	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9
1,2-Dichloropropane	5	2 600	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,3-Dichloropropane	-	5 900	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,3-Dichloropropène (cis+trans)	2	300	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,1,1,2-Tétrachloroéthane	-	470	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tétrachloroéthylène	30	540	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Tétrachlorure de Carbone	5	440	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,1,1-Trichloroéthane	200	2 000	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
1,1,2-Trichloroéthane	5	2 400	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	50	590	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pentachloroéthane	-	330	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4

**Tableau 5 Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine – Composés organiques (suite)**

Paramètres	Critères du MENV <sup>(a)</sup>		Identification des échantillons – Date / Concentration						
	Fin de consommation	Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts	MW-04-1	MW-04-2	MW-04-3	MW-04-4	MW-04-4: Duplicata	MW-04-5	Puits Ciment-Quebec
			28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004
Hexachloroéthane	-	89	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Chlorobenzènes (µg/L)</b>									
1,2-Dichlorobenzène <sup>(b)</sup>	3	70	<0,02	-	-	0,02	-	-	-
1,3-Dichlorobenzène <sup>(b)</sup>	-	15 000	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
1,4-Dichlorobenzène <sup>(b)</sup>	1	110	0,07	-	-	0,06	-	-	-
1,2,3-Trichlorobenzène	-	800	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
1,2,4-Trichlorobenzène	-	2 400	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
1,3,5-Trichlorobenzène	-	-	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
1,2,3,4-Tétrachlorobenzène	-	180	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
1,2,3,5-1,2,4,5-Tétrachlorobenzène	-	290	<0,03	-	-	<0,03	-	-	-
Pentachlorobenzène	-	25	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
Hexachlorobenzène	0,1	0,077	<0,02	-	-	<0,02	-	-	-
<b>Hydrocarbures pétroliers (C<sub>10</sub>-C<sub>50</sub>) (µg/L)</b>	-	3 500	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (µg/L)</b>									
Acénaphène	-	67	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05
Anthracène	-	11 000 000	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-	<0,03	<0,03
Benzo(a)anthracène	-	4,9	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	<0,02
Benzo(a)pyrène	0,01	4,9	<0,008	0,008	<0,008	<0,008	-	<0,008	<0,008
Benzo(b+j+k)fluoranthène	-	4,9	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	-	<0,04	<0,04
Chrysène	-	4,9	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-	<0,03	<0,03
Dibenz(a,h)anthracène	-	4,9	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	<0,02	<0,02
Fluoranthène	-	2,3	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01
Fluorène	-	1 400 000	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	0,11	0,02
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	-	4,9	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01
Naphtalène	-	340	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-	0,07	<0,03
Phénanthrène	-	30	0,02	0,01	0,04	0,06	-	0,13	<0,01

**Tableau 5 Résultats analytiques des échantillons d'eau souterraine – Composés organiques (suite)**

Paramètres	Critères du MENV <sup>(a)</sup>		Identification des échantillons – Date / Concentration						
	Fin de consommation	Réurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts	MW-04-1	MW-04-2	MW-04-3	MW-04-4	MW-04-4: Duplicata	MW-04-5	Puits Ciment-Quebec
			28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004	28/10/2004
Pyrène	-	1 100 000	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01
<b>Composés phénoliques (µg/L)</b>									
2,3,4,6-Tétrachlorophénol	1	7	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
2,3,5,6-Tétrachlorophénol	-	8,5	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
2,3-Dichlorophénol	-	100	<0,5	-	-	<0,5	-	-	-
2,4 + 2,5-Dichlorophénol	-	-	<0,6	-	-	<0,6	-	-	-
2,4,5-Trichlorophénol	-	46	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
2,4,6-Trichlorophénol	2	36	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
2,4-Diméthylphénol	-	110	<0,6	-	-	<0,6	-	-	-
2,4-Dinitrophénol	-	39	<10	-	-	<10	-	-	-
2,6-Dichlorophénol	-	100	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
2-Chlorophénol	-	100	<0,5	-	-	<0,5	-	-	-
2-Méthyl-4,6-dinitrophénol	-	6,6	<10	-	-	<10	-	-	-
3,4-Dichlorophénol	-	100	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
3,5-Dichlorophénol	-	100	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
3-Chlorophénol	-	100	<0,5	-	-	<0,5	-	-	-
4-Chlorophénol	-	100	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
4-Nitrophénol	-	570	<1	-	-	<1	-	-	-
o-Crésol	-	3 800	<1	-	-	<1	-	-	-
p-Crésol	-	620	<1	-	-	<1	-	-	-
Pentachlorophénol	30	8,7	<0,4	-	-	<0,4	-	-	-
Phénol	-	490	<0,6	-	-	<0,6	-	-	-

Notes:

- = non analysé / non spécifié.

<sup>(a)</sup> Critères de la "Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés" MENV (1999c).

<sup>(b)</sup> Analysé par un second laboratoire.

Les valeurs de conductivité électrique et les concentrations en sodium, en chlorures et en sulfates mesurées aux puits MW-04-3, MW-04-4, MW-04-2 et MW-04-5 (à l'exception des sulfates pour ce puits) dépassent les critères et recommandations du MENV. Les résultats obtenus indiquent que l'eau souterraine aux puits d'observation MW-04-3, MW-04-4 et MW-04-2 est saumâtre avec des concentrations élevées en sodium et en chlorures, ce qui s'exprime aussi par une conductivité électrique élevée (24, 28 et 37 milli mhos/cm, respectivement). À titre de comparaison, la conductivité électrique de l'eau du fleuve échantillonnée au large du brise-lame ouest est de 37 mmhos/cm. Les puits d'observation MW-04-2 et MW-04-4 sont aménagés dans le matériel de remblai et sont à une distance approximative de 50 m du fleuve Saint-Laurent. Le puits d'observation MW-04-3 est aménagé dans l'aquifère du roc à environ 20 m de la berge. Tel que discuté à la section 3.2.4, les niveaux d'eau de ces puits sont affectés par les marées semi-diurnes.

L'eau souterraine prélevée au puits MW-04-1 et au puits de Ciment Québec est douce. Les conductivités électriques mesurées sont respectivement de 0,5 et 0,59 mmhos/cm. La conductivité électrique et les concentrations en sodium et en chlorures mesurées au puits d'observation MW-04-5 sont typiques d'un mélange d'eau douce et d'eau saumâtre.

Les concentrations mesurées en argent et en cuivre dans l'eau souterraine prélevée aux puits d'observation MW-04-3 et la concentration mesurée en cuivre dans l'eau souterraine prélevée au puits de Ciment Québec excèdent légèrement le critère de résurgence dans les eaux de surface du MENV. Une concentration en plomb égale au critère de fin de consommation a été mesurée au puits de Ciment Québec. La tuyauterie et les conduites du puits de Ciment Québec pourraient être la source des concentrations en cuivre et en plomb mesurée à ce puits. Ce puits n'est pas utilisé comme source d'eau potable par Ciment Québec.

Plusieurs composés organiques ont été analysés aux puits d'observation et au puits de Ciment Québec. Tous les résultats sont inférieurs aux critères du MENV.



### **3.3 ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE**

#### **3.3.1 Inventaire des utilisateurs d'eau souterraine**

##### **3.3.1.1 Prises d'eau municipales**

Un réseau d'aqueduc commun dessert la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna et le Village Saint-Georges de Cacouna. Le réseau d'aqueduc est alimenté par deux puits : le puits Moreau et le puits Pelletier. L'eau pompée est acheminée dans un réservoir qui est localisé sur la colline au sud-est de la Route 132 (figure 8).

Selon les données obtenues de l'étude de faisabilité (Roche, 2004), le puits Moreau a une capacité de 326 m<sup>3</sup>/j (60 gallons U.S. par minute [guspm]). La qualité de l'eau souterraine puisée à ce puits rencontre les recommandations et normes de potabilité à l'exception du manganèse, de la turbidité et des solides totaux qui dépassent les recommandations du MENV (2002b). Ce puits est localisé sur le territoire de la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna sur la Route Moreau à plus de 4 km du site du terminal.

Le puits Pelletier fournit actuellement un débit de 163 m<sup>3</sup>/j (30 guspm) mais a une capacité de 377 m<sup>3</sup>/j (70 guspm). L'eau souterraine puisée au puits Pelletier rencontre les recommandations et normes de potabilité pour tous les paramètres à l'exception du fer et de la dureté qui dépasse les recommandations du MENV (2002b). Ce puits est localisé sur le territoire du Village Saint-Georges-de-Cacouna sur la rue Pelletier à environ 1,8 km du site du terminal. Les deux puits exploitent un aquifère différent de l'aquifère de Gros Cacouna.

Un programme de recherche en eau souterraine a été réalisé pour identifier d'autres sources en eau souterraine pouvant être utilisée pour approvisionner en eau potable le réseau d'aqueduc du Village et de la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna. Deux nouveaux puits ont été forés et évalués pour leur capacité et la qualité de l'eau souterraine extraite. Les résultats sont résumés dans l'étude de faisabilité qui a été préparée pour évaluer différents scénarios d'approvisionnement en eau potable pour le Village et la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna (Roche, 2004). La capacité actuelle des deux puits en opération est de 703 m<sup>3</sup>/j et la consommation moyenne actuelle est estimée à 450 m<sup>3</sup>/j pour une population de 1 325. Pour une population de 1 646, l'étude de faisabilité évalue que la consommation journalière moyenne sera de 563 m<sup>3</sup>/j. Pour fournir ce débit, Roche (2004) estime que la capacité totale des ouvrages de captage devrait être de 1 080 m<sup>3</sup>/j.

Les trois scénarios qui ont été proposés dans l'étude de faisabilité et sont présentement évalués par les représentants municipaux sont les suivants :

- Scénario 1: Alimentation en eau souterraine par pompage des deux puits existants Moreau et Pelletier et du nouveau puits Guérette avec système de traitement individuel à chacun des puits;
- Scénario 2: Alimentation en eau souterraine par pompage du puits existant Moreau et du nouveau puits FE 1/02 avec système de traitement combiné pour les deux puits; et
- Scénario 3: Aménagement d'une conduite d'alimentation et raccordement au réseau d'aqueduc de Rivière-du-Loup.

### 3.3.1.2 Prises d'eau individuelles

Les maisons qui ne sont pas raccordées au réseau d'aqueduc municipal s'alimentent à partir de prises d'eau individuelles. Ces maisons sont surtout localisées le long de la route 132 et sur la Route de l'Île, sur la rive nord-ouest de Gros Cacouna. Ciment Québec s'alimente à partir d'un puits d'approvisionnement de 95 m de profondeur localisé près de leurs installations. L'eau du puits de Ciment Québec est destinée à un usage sanitaire et n'est pas consommée.

Le Système Information Hydrogéologique (SIH) a été consulté pour répertorier les forages et puits présents sur le territoire du Village et de la Paroisse de Saint-Georges-de-Cacouna (MENV 2004, site internet). Les puits ou forages répertoriés sont localisés à la figure 8 et leur description stratigraphique est présentée au tableau 6. Selon les informations obtenues du SIH, seul un forage a été répertorié à l'intérieur d'un rayon de 1 km du site du terminal (forage no 4, figure 8). Une visite de terrain a permis de confirmer qu'aucun puits n'était présent à cet emplacement. Le puits de Ciment Québec est donc la seule prise d'eau souterraine présente à l'intérieur d'un rayon de 1 km du site du terminal.

Les autres prises d'eau individuelles les plus près (environ 1,1 km) sont celles qui alimentent les chalets localisés sur la rive nord-ouest de Gros Cacouna. Ces puits ne sont pas répertoriés au SIH mais quelques puits profonds ont été identifiés dans ce secteur lors des travaux de terrain réalisés en novembre 2004. L'emplacement et le nombre exact des puits résidentiels dans ce secteur n'ont pas été confirmés par la présente étude. Ces puits ne sont pas localisés en aval de l'écoulement d'eau souterraine en provenance du site de l'usine. Par conséquent, ils ne constituent pas des récepteurs potentiels à toute activité provenant du site de l'usine.

**Tableau 6 Description stratigraphique des puits et forages répertoriés dans SIH et localisés à l'intérieur des limites du Village et de la Paroisse de Saint-Georges-de-Cacouna**

#	COORD x (m)	COORD y (m)	N_STAT (m)	N_DYN (m)	DEBIT (L/min)	DIAM (cm)	PROF (m)	DATE POMPAGE	METHODE FORAGE	LONGUEUR CUVELAGE (m)	EPAIS (m)	MAT	EPAIS (m)	MAT	EPAIS (m)	MAT	EPAIS (m)	MAT	EPAIS (m)	MAT	EPAIS (m)	MAT
1	379132	5309570	-15.24	-45.72	45.5	15.2	52.7	10/09/1973	Rotation.	3	1.2	TERRE	51.5	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
2	379232	5309570	-7.32	-15.24	7.3	15.2	19.8	29/02/1972	Rotation.	2.1	2.1	TERRE	17.7	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
3	379238	5309270	-6.1	-24.38	9.5	15.2	29.9	28/08/1973	Rotation.	0.9	9.1	TERRE	20.7	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
4	379297	5311370	-4.57	-91.5	4.5	15.2	91.5	28/07/1992	Rotation.	6.7	0.9	REMB	90.5	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
5	379330	5309670	-6.1	-42.67	7.7	15.2	48.8	18/05/1974	Rotation.	2.4	1.2	TERRE	47.5	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
6	379423	5310080	-6.1	-54.9	3	15.2	62.5	04/04/1999	Rotation.	4.6	1.5	DEPÔT	61	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
7	379434	5309480	-21.34	-73.15	null	15.2	76.2	01/09/1971	Rotation.	3	15.2	TERRE	15.2	ARGILE	45.7	ROC	-	-	-	-	-	-
8	379436	5309380	-21.34	-73.15	7.3	15.2	76.2	01/09/1971	Câble	30.5	15.2	GRAV	15.2	ARGILE	45.7	ROC	-	-	-	-	-	-
9	379539	5309230	null	null	22.7	15.2	51.2	21/10/1966	Diamant.	1.5	0.3	TERRE	50.9	CALC	-	-	-	-	-	-	-	-
10	379590	5309310	-12.19	-76.2	7.3	15.2	90.8	09/09/1974	Rotation.	3	1.8	SABLE	89	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
11	379677	5309830	-1.22	-27.43	7.7	15.2	29.6	12/09/1972	Câble	4.6	3	TERRE	1.5	ROC	25	ROC	-	-	-	-	-	-
12	380113	5310590	-15.24	-48.77	26.4	15.2	54.3	23/10/1971	Câble	7.3	6.7	SABLE	47.5	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
13	380505	5311000	-7.62	-48.77	19.1	15.2	53.3	17/05/1972	Câble	16.2	15.2	ARGILE	0.9	ROC	37.2	ROC	-	-	-	-	-	-
14	380803	5311100	-0.61	null	4.5	43.8	5.5	01/04/1971	Câble	5.5	5.5	SABLE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	380950	5311310	null	null	null	0	23.5	null	Rotation.	0	0.3	TERRE	0.6	SABL/GRA	8.2	ARGL/BLO	14.3	SABL/SIL AVEC GRAV/BLO	-	-	-	-
16	381144	5311610	-15.24	-69.19	4.1	15.2	75.3	19/07/1972	Câble	3	1.5	TERRE	1.5	ROC	72.2	ROC	-	-	-	-	-	-
17	381189	5309260	null	null	null	0	14.9	null	Rotation.	0	0.3	TERRE	12.8	ARGL/BLO	1.8	SHLE	-	-	-	-	-	-
18	381195	5311560	-4.57	-85.34	113.6	15.2	90.5	23/09/1972	Rotation.	50.6	30.5	ARGL/BLO	19.5	SABL/FIN	40.5	ROC	-	-	-	-	-	-
19	381289	5311840	-1.4	-67.06	49.1	15.2	70.7	24/09/1971	Câble	53.9	45.7	ARGILE	8.2	SABLE	16.8	ROC	-	-	-	-	-	-
20	381390	5311820	-4.57	-18.29	60.5	15.2	35.7	14/08/1971	Rotation.	35.7	35.1	ARGILE	0.6	SABLE	-	-	-	-	-	-	-	-
21	381407	5311970	-4.57	-18.29	30.9	15.2	35.7	14/08/1971	Câble	35.7	35.1	ARGILE	0.6	SABLE	-	-	-	-	-	-	-	-
22	381554	5311120	null	null	null	0	23.5	null	Rotation.	0	0.3	TERRE	1.2	SABL/GRA	1.8	ARGL/BLO	1.2	SABL/GRA	5.5	ARGL/SIL AVEC_ARGL	13.4	ARGL/SAB AVEC GRAV/BLO
23	381686	5312020	-3.66	-85.34	18.6	15.2	90.5	06/06/1973	Rotation.	47.9	47.9	SABL/ARG	42.7	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
24	381686	5312020	-3.05	-48.77	11.4	15.2	52.4	11/06/1973	Rotation.	11.2	4.6	ARGILE	6.7	SABLE	41.1	ROC	-	-	-	-	-	-
25	381859	5313430	null	null	null	0	69.2	null	Rotation.	0	24.4	ARGILE	9.1	ARGL/GRA	13.7	ARGILE	18.3	ARGL/SIL	1.5	GRAV/ARG	2.1	ROC
26	382029	5312380	0	-30.48	75.5	15.2	75.6	29/11/1972	Rotation.	44.2	30.5	ARGILE	12.2	SABL/FIN	32.9	ROC	-	-	-	-	-	-
27	382188	5314530	-12.8	-59.71	26.4	15.2	59.7	17/08/1973	Rotation.	2.1	2.1	TERRE	57.6	ROC	-	-	-	-	-	-	-	-
28	382223	5312730	null	null	null	0	51.8	null	Rotation.	0	15.2	ARGL/GRA	9.1	ARGILE	25.6	ARGL/GRA	1.8	ROC	-	-	-	-
29	382225	5312580	0	-1.22	454.6	15.2	68	07/12/1972	Rotation.	4.6	33.5	ARGL/BLO	9.1	SABL/FIN	1.5	SABL/GRA	23.8	ROC	-	-	-	-
30	382374	5312680	-0.61	null	363.7	15.2	68.9	08/07/1972	Câble	52.7	30.5	ARGILE	21.3	SABLE	0.9	ROC	16.2	ROC	-	-	-	-
31	382475	5312640	null	null	null	0	51.5	null	Rotation.	0	0.3	TERRE	1.2	SABL/GRA	50	ARGL/BLO	-	-	-	-	-	-
32	382669	5312940	0	0	37.7	15.2	55.8	19/08/1971	Câble	55.8	38.1	ARGILE	15.2	SABLE	2.4	SABL/GRA	-	-	-	-	-	-
33	382729	5312390	null	null	null	0	17.4	null	Rotation.	0	0.3	TERRE	1.8	SABL/GRA	7.6	SABL/GRA AVEC BLOC	7.6	SABL/GRA AVEC_ARGL	-	-	-	-
34	382734	5312140	null	null	null	0	26.2	null	Rotation.	0	0.3	TERRE	11.9	ARGILE	8.8	SABL/GRA AVEC BLOC	5.2	ARGL/BLO	-	-	-	-

Source: MENV 2004, [www.menv.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm). Recherche effectuée en octobre 2004.

Abréviations et acronymes décrits à la section 6.2.

### **3.3.2 Vulnérabilité des eaux souterraines**

Les eaux souterraines sont considérées vulnérables lorsqu'un contaminant donné peut pénétrer et être transporté au sein de leur régime d'écoulement. La vulnérabilité des eaux souterraines de l'aquifère a été évaluée par la méthode DRASTIC. La méthode DRASTIC est une méthode standardisée pour évaluer le degré de vulnérabilité d'un gîte aquifère face aux contaminants de surface. L'indice de vulnérabilité DRASTIC calculé pour l'aquifère du roc présent au site du terminal est de 189 (82 %), ce qui correspond à un degré de vulnérabilité très élevé. Le tableau de calcul de l'indice DRASTIC est présenté au sous-annexe D.

### **3.3.3 Échanges hydriques entre les eaux de surface et les eaux souterraines**

L'hydraulique du secteur de Gros Cacouna incluant le site du terminal est complexe. Il s'agit d'un système estuarien sujet à l'effet des marées qui a été modifié par l'homme. La construction du Port qui a débuté en 1965 a engendré la construction de routes d'accès, d'installations portuaires et de bassins d'eau.

Le suivi piézométrique réalisé en continu du 23 au 26 novembre 2004 sur une période d'environ 60 heures a permis d'établir les liens hydrauliques existant entre les eaux de surface et les eaux souterraines. Le lien hydraulique entre les eaux de surface et les eaux souterraines est influencé par les marées. À marée basse, l'écoulement souterrain sur le site du terminal est radial et les eaux souterraines font résurgence dans le fleuve Saint-Laurent. À marée haute, l'écoulement est renversé et se fait vers le site (figures 5 et 6).

L'échange hydrique entre les eaux souterraines et le bassin ouest est aussi variable. La surface libre du bassin ouest influence l'écoulement local et la direction d'écoulement de l'eau souterraine dans le secteur compris entre le bassin ouest et le site du terminal varie en fonction de la piézométrie locale et la marée. Au début du suivi piézométrique, le niveau piézométrique de la partie centrale du site du terminal était en équilibre avec le niveau d'eau de bassin ouest. Les précipitations qui ont débuté le 24 novembre en soirée ont eu une influence directe sur la piézométrie du secteur et le niveau d'eau mesuré au limnimètre du bassin ouest.

La qualité physico-chimique des eaux souterraines et des eaux de surface est un reflet des échanges hydriques qui prévalent. La chimie des eaux souterraines est dominée par la présence de certains ions, appelés ions majeurs, plus abondants que d'autres dans les systèmes hydrogéologiques. Les ions majeurs sont: le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium pour les cations ainsi que les

bicarbonates, les carbonates, les chlorures et les sulfates pour les anions. La caractérisation des ions majeurs (mesure des concentrations, expression en milliéquivalents (még), balance ionique, représentation graphique) conduit à la détermination du faciès hydrochimique qui sont des catégories regroupant les eaux dont la composition des cations et anions est analogue.

Le diagramme de Piper permet de représenter graphiquement le faciès hydrochimique. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celles des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Dans ce losange, le pôle haut correspond à 100 % de sulfates et chlorures et 100 % de calcium et magnésium, le pôle bas représentant 100 % de carbonate et bicarbonate et 100% de sodium et potassium. Ainsi, dans ce diagramme, une eau bicarbonatée calcique serait située au pôle gauche du losange alors qu'une eau chlorurée sodique serait située au pôle droit. La superposition de plusieurs analyses sur un même diagramme permet de comparer leur faciès hydrochimique.

Le diagramme de Piper est ici utilisé pour comparer graphiquement la composition chimique des eaux souterraines et des eaux de surface et identifier les zones de mélange. La figure 9 présente le diagramme de Piper élaboré à partir des résultats analytiques obtenus pour les cinq puits d'observation, le puits de Ciment Québec, le Fleuve St-Laurent et le bassin ouest. Les résultats obtenus font apparaître deux faciès géochimiques distincts. L'eau prélevée aux puits MW-04-02, MW-04-03, MW-04-04, MW-04-05, au bassin ouest et au fleuve présente un caractère chloruré-sodique typique d'une eau océanique tandis que l'eau prélevée au MW-04-01 et au puits de Ciment Québec présente un faciès mixte légèrement bicarbonaté-calcique. Le fort contenu en chlorure de cette eau peut résulter d'un mélange avec les eaux du fleuve riches en ions chlorures ou refléter la teneur naturelle en chlorite des grès verts de Gros Cacouna.

## **4 RÉSUMÉ**

### **4.1 INTRODUCTION**

L'étude hydrogéologique de référence visait à décrire et présenter une analyse du contexte géologique et hydrogéologique actuel à l'échelle régionale et locale. Afin d'évaluer le contexte géologique et hydrogéologique local, les travaux de terrain ont été concentrés sur le site de l'usine du terminal.

Les travaux réalisés dans le cadre de l'étude hydrogéologique de référence incluaient les éléments suivants:

- revue de littérature et compilation des données géologiques et hydrogéologiques existantes;
- forage et installation de puits d'observation au site de l'usine;
- échantillonnage et analyse des eaux souterraines au site de l'usine;
- relevé piézométrique et analyse des patrons d'écoulement à marée basse et à marée haute;
- inventaire des utilisateurs d'eau souterraine; et
- évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines et de l'interaction entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

### **4.2 GEOLOGIE**

Le secteur à l'étude est situé dans la province géologique des Appalaches. Gros Cacouna est constitué de l'unité des grès verts datant du Cambrien inférieur appartenant au Groupe de St-Roch (Vallières, 1984). La bande de Gros Cacouna se présente en lits massifs de grès généralement vert grisâtre ou gris verdâtre qui atteignent jusqu'à 5 m d'épaisseur avec des niveaux de conglomérat lithique de 1 à 2 m d'épaisseur.

Le site de l'usine est relativement plat résultant des activités de dynamitage qui ont eu lieu sur ce site pendant la construction du port existant. Par conséquent, le roc est sub-affleurant et seule une mince couche de remblai (0,4 à 2.2 m) constitué de cailloux et de blocs avec un peu de sable silteux recouvre le socle rocheux. Aux extrémités nord-ouest et sud-est du site de l'usine, dans les zones qui ont fait l'objet de remplissage lors de la construction du port, l'épaisseur du remblai atteint plus de 9 m.

Des zones de fracturation ont été observées au niveau du roc lors des forages. Ces observations sont corroborées par les mesures de l'indice de qualité du roc (RQD) qui indiquent une roche de qualité bonne à médiocre.

### 4.3 HYDROGÉOLOGIE

Régionalement, les unités sédimentaires des Appalaches constituent une zone de recharge dont le fleuve St-Laurent est l'ultime exutoire. L'écoulement de l'eau souterraine des aquifères peu profonds est fortement influencé par le relief local du roc. Les crêtes rocheuses dénudées agissent à titre de zone d'infiltration préférentielle et rechargent les aquifères et aquitards présents à la base des vallées. La perméabilité des formations rocheuses est variable. La perméabilité des mudstone est faible avec des valeurs de conductivité hydraulique et de transmissivité de l'ordre de  $2,6 \times 10^{-6}$  m/s et  $2 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s respectivement et un débit théorique de captage ponctuel de 23 L/min. Ce débit peut être plus élevé (de l'ordre de 230 L/min) lorsque cette unité rocheuse alterne avec des lits de calcaires ou de grès. La transmissivité des formations rocheuses constituées de grès quartzo-feldspathique est de l'ordre de  $7 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s avec des valeurs de conductivité hydraulique de l'ordre de  $1,1 \times 10^{-5}$  m/s. Les dépôts granulaires de Hautes Terrasses constituent localement des aquifères de bonne qualité avec une transmissivité de l'ordre de  $5 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s, une conductivité hydraulique de  $1,9 \times 10^{-3}$  m/s et un débit théorique de captage ponctuel de 2 000 L/min.

Les conditions hydrogéologiques prévalant au site du terminal sont relativement indépendantes de l'hydrogéologie régionale de la région. Le caractère insulaire de Gros Cacouna, les conditions de nappe libre et la présence de marées modifient le patron d'écoulement du site qui est en constante variation. Le système hydrogéologique se compose donc de deux zones aquifères qui sont en lien hydraulique soit le remblai composé de cailloux et blocs avec un peu de sable silteux et la formation rocheuse constituée de grès. Basé sur les résultats des essais de perméabilité, la conductivité hydraulique du remblai est de l'ordre de  $2,7 \times 10^{-4}$  m/s et celle de l'aquifère du roc est comprise entre  $1,4 \times 10^{-3}$  m/s et  $6,0 \times 10^{-3}$  m/s.

Les niveaux d'eau mesurés aux puits d'observation aménagés dans le remblai ou dans le roc à proximité du fleuve sont influencés par les marées. À marée basse, l'écoulement de l'eau souterraine est radial et l'eau souterraine s'écoule vers le Fleuve Saint-Laurent, le port et le bassin ouest. Partout aux abords du site, la marée haute engendre un rehaussement de la piézométrie et un renversement des gradients hydrauliques vers le site du terminal. Cet effet est particulièrement notable dans le secteur compris entre MW-04-3 et les installations actuelles de Ciment Québec. La piézométrie dans la partie centrale du site est principalement

influencée par la crête rocheuse de Gros Cacouna et est très peu affectée par les marées.

Même si le débit d'écoulement de l'eau souterraine qui fait résurgence dans le Fleuve Saint-Laurent, le port et le bassin ouest varie considérablement suivant les marées, le débit moyen annuel transitant par l'aquifère est limité à la recharge annuelle de la nappe d'eau souterraine. En raison du caractère insulaire de Gros Cacouna, le bassin qui contribue à l'écoulement de l'eau souterraine au site du terminal est seulement de 300 000 m<sup>2</sup>. En considérant une infiltration annuelle de l'ordre de 100 à 150 mm (10 à 15 % des précipitations annuelles), le débit moyen annuel qui s'écoule vers le Fleuve Saint-Laurent, le port et le bassin ouest varie de 82 à 123 m<sup>3</sup>/j.

Basé sur les conditions hydrogéologiques rencontrées au site du terminal et le nombre de travailleurs, les besoins domestiques en eau peuvent possiblement être comblées par un puits localisé au centre du site (comme l'emplacement du puits de Ciment Québec). Une étude hydrogéologique incluant un essai de pompage sera toutefois nécessaire pour évaluer le débit d'exploitation durable i.e. la quantité d'eau souterraine qui peut être pompée annuellement sans diminuer les réserves d'eau souterraine et sans entraîner l'intrusion d'eau saline. L'eau souterraine devra être analysée pour s'assurer qu'elle rencontre les normes de potabilité du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (MENV 2001). Pour un débit supérieur à 75 m<sup>3</sup>/j, l'ouvrage de captage devra être soumis à l'autorisation du ministre et une étude hydrogéologique sera requise pour rencontrer les exigences du *Règlement sur le captage des eaux souterraines* (MENV 2002a).

L'aquifère du roc présent au site du terminal est un aquifère de classe II, soit une formation hydrogéologique aquifère qui constitue une source courante ou potentielle d'alimentation en eau (qualité acceptable et quantité suffisante). Les récepteurs potentiels identifiés pour évaluer la qualité des eaux souterraines au site du terminal sont le puits d'approvisionnement de Ciment Québec, l'aquifère de classe II, le fleuve Saint-Laurent et le bassin ouest. Les résultats analytiques sont donc comparés aux critères pour fin de consommation et de résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts du MENV (1999c) et aux recommandations du MENV (2002b).

Les valeurs de conductivité électrique et les concentrations en sodium, en chlorures et en sulfates mesurées aux puits MW-04-3, MW-04-4, MW-04-2 et MW-04-5 (à l'exception des sulfates pour ce puits) dépassent les critères et recommandations du MENV. Les résultats analytiques obtenus indiquent que l'eau souterraine aux puits d'observation aménagés dans le remblai en bordure du site (MW-04-2 et MW-04-4) ou dans le roc à proximité de la berge (MW-04-3) est saumâtre. L'eau souterraine prélevée dans la partie centrale est douce



(MW-04-1 et puits de Ciment Québec) et l'eau souterraine prélevé du puits MW-04-5 est typique d'un mélange d'eau douce et saumâtre.

Les concentrations mesurées en argent et en cuivre dans l'eau souterraine prélevée aux puits d'observation MW-04-3 et la concentration mesurée en cuivre dans l'eau souterraine prélevée au puits de Ciment Québec excèdent légèrement le critère de résurgence dans les eaux de surface du MENV. Une concentration en plomb égale au critère de fin de consommation a été mesurée au puits de Ciment Québec. La tuyauterie et les conduites du puits de Ciment Québec pourraient être la source des concentrations en cuivre et en plomb mesurée à ce puits. Ce puits n'est pas utilisé comme source d'eau potable par Ciment Québec.

Plusieurs composés organiques ont été analysés aux puits d'observation et au puits de Ciment Québec. Tous les résultats sont inférieurs aux critères du MENV.

#### **4.4 ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE**

Un réseau d'aqueduc commun dessert la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna et le Village Saint-Georges de Cacouna. Le réseau d'aqueduc est alimenté par deux puits. Le puits Moreau a une capacité de 326 m<sup>3</sup>/j (60 guspm). La qualité de l'eau souterraine puisée à ce puits rencontre les recommandations et normes de potabilité à l'exception du manganèse, la dureté et les solides totaux qui excèdent les recommandations du MENV (2002b). Ce puits est localisé sur le territoire de la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna sur la Route Moreau à plus de 4 km du site du terminal. Le puits Pelletier fournit actuellement un débit de 163 m<sup>3</sup>/j (30 guspm) mais a une capacité de 377 m<sup>3</sup>/d (70 guspm). L'eau souterraine puisée au puits Pelletier rencontre les recommandations et normes de potabilité à l'exception du fer et de la dureté qui dépasse les recommandations du MENV (2002b). Ce puits est localisé sur le territoire du Village Saint-Georges-de-Cacouna sur la rue Pelletier à environ 1,8 km du site du terminal. Les deux puits exploitent un aquifère différent de l'aquifère de Gros Cacouna.

Un programme de recherche en eau souterraine a été réalisé pour identifier d'autres sources en eau souterraine pouvant être utilisée pour approvisionner en eau potable le réseau d'aqueduc du Village et de la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna. Deux nouveaux puits ont été forés et évalués pour leur capacité et la qualité de l'eau souterraine extraite. Les résultats sont résumés dans l'étude de faisabilité qui a été préparée pour évaluer différents scénarios d'approvisionnement en eau potable pour le Village et la Paroisse Saint-Georges-de-Cacouna (Roche, 2004). La capacité actuelle des deux puits en opération est

de 703 m<sup>3</sup>/j et la consommation moyenne actuelle est estimée à 450 m<sup>3</sup>/j pour une population de 1 325. Pour une population de 1 646, l'étude de faisabilité évalue que la consommation journalière moyenne sera de 563 m<sup>3</sup>/j. Pour fournir ce débit, Roche (2004) estime que la capacité totale des ouvrages de captage devrait être de 1 080 m<sup>3</sup>/j.

Les trois scénarios qui ont été proposés dans l'étude de faisabilité et présentés aux représentants municipaux sont les suivants:

- Scénario 1: Alimentation en eau souterraine par pompage des deux puits existants Moreau et Pelletier et du nouveau puits Guérette avec système de traitement individuel à chacun des puits;
- Scénario 2: Alimentation en eau souterraine par pompage du puits existant Moreau et du nouveau puits FE 1/02 avec système de traitement unique pour les deux puits; et
- Scénario 3: Aménagement d'une conduite d'alimentation et raccordement au réseau d'aqueduc de Rivière-du-Loup.

Les maisons qui ne sont pas raccordées au réseau d'aqueduc municipal s'alimentent à partir de prises d'eau individuelles. Ces maisons sont surtout localisées le long de la route 132 et sur la Route de l'Île, du côté nord-ouest de Gros Cacouna. Ciment Québec s'alimente à partir d'un puits d'approvisionnement de 95 m de profondeur localisé près de leurs installations. L'eau du puits de Ciment Québec est destinée à un usage sanitaire et n'est pas consommée. Le puits de Ciment Québec est la seule prise d'eau souterraine présente à l'intérieur d'un rayon de 1 km du site du terminal. Les autres prises d'eau individuelles les plus près (environ 1,1 km) sont celles qui alimentent les chalets localisés sur la rive nord-ouest de Gros Cacouna. Ces puits ne sont pas localisés en aval hydraulique du site du terminal. Par conséquent, ils ne constituent pas des récepteurs potentiels à toute activité provenant du site du terminal.

La vulnérabilité des eaux souterraines de l'aquifère a été évaluée par la méthode DRASTIC. La méthode DRASTIC est une méthode standardisée pour évaluer le degré de vulnérabilité d'un gîte aquifère face aux contaminants de surface. L'indice de vulnérabilité DRASTIC calculé pour l'aquifère du roc présent au site de l'usine est de 189 (82 %), ce qui correspond à un degré de vulnérabilité très élevé.

L'hydraulique du secteur de Gros Cacouna incluant le site du terminal est complexe. Il s'agit d'un système estuarien sujet à l'effet des marées qui a été modifié par l'homme. La construction du Port qui a débuté en 1965 a engendré

la construction de routes d'accès, d'installations portuaires et de bassins d'eau. Le lien hydraulique entre les eaux de surface et les eaux souterraines est influencé par les marées. À marée basse, l'écoulement souterrain sur le site du terminal est radial et les eaux souterraines font résurgence dans le fleuve Saint-Laurent. À marée haute, l'écoulement est renversé et se fait vers le site du terminal.

L'échange hydrique entre les eaux souterraines et le bassin ouest est aussi variable. La surface libre du bassin ouest affecte aussi le patron d'écoulement local qui varie en fonction des conditions de marée et du niveau piézométrique sectoriel.

La qualité physico-chimique des eaux souterraines et des eaux de surface est un reflet des échanges hydriques qui prévalent. Le diagramme de Piper a été utilisé pour comparer graphiquement la composition chimique des eaux souterraines et des eaux de surface et identifier les zones de mélange. Les résultats obtenus font apparaître deux faciès hydrochimiques. L'eau prélevée aux puits MW-04-02, MW-04-03, MW-04-04, MW-04-05, au bassin ouest et au fleuve présente un caractère chloruré-sodique typique d'une eau océanique tandis que l'eau prélevée au MW-04-01 et au puits de Ciment Québec présente un faciès mixte légèrement bicarbonaté-calcique. Le fort contenu en chlorure de cette eau peut résulter d'un mélange avec les eaux du fleuve riches en ions chlorures ou refléter la teneur naturelle en chlorite des grès verts de Gros Cacouna.

## 5 RÉFÉRENCES

- Aller L., T. Bennett, J. Lehr, R. Petty et G. Hackett 1987. *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. Avril 1987. National Water Well Association. 455 pages.
- Bouwer, H. 1989. *The Bouwer and Rice Slug Test – An Update*. Ground Water, Vol. 27, No 3, Mai-Juin 1989.
- Lee, H.A., 1962. *Géologie de la région de Rivière-du-Loup/Trois-Pistoles (dépôts meubles)*. Commission géologique de Canada. Étude no 61-32, 2 p., 1 carte.
- McCormack, R., 1978. *Hydrogéologie de Rivière-du-Loup – Trois-Pistoles*. Service des eaux souterraines. Ministère des Richesses naturelles du Québec.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MENV). 1994. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales - Cahier 3: Échantillonnage des eaux souterraines*. Direction des laboratoires, 100 pages.
- Ministère de l'Environnement du Québec (MENV). 2004. *Système d'information hydrogéologique(SIH)*. Disponible au site internet: [www.menv.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/souterraines/sih/index.htm). Recherche effectuée en octobre 2004
- Ministère de l'environnement du Québec (MENV). 2002a. *Règlement sur le captage des eaux souterraines*, c. Q-2, r.1.3. Décret. 696-2002 modifié par le décret 1330.
- Ministère de l'environnement du Québec (MENV). 2002b. *Guide conception des installations de production d'eau potable*. Disponible sur le site internet: [www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/index.htm](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/index.htm). Mise à jour en janvier 2004.
- Ministère de l'environnement du Québec (MENV). 2001. *Règlement sur la qualité de l'eau potable*. [Q-2, r 18.1.1] Décret 647-2001 modifié par le décret 586-2004.

- Ministère de l'Environnement du Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale, 1999a. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales - Cahier 1 : Généralités*, 2<sup>e</sup> édition, 54 pages + annexes.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, février 1999b. *Guide de classification des eaux souterraines du Québec*. Direction Générale de l'environnement, 12 pages + figure.
- Ministère de l'Environnement du Québec, 1999c. *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Direction des politiques du secteur industriel, Service des lieux contaminés, 124 pages. ([www.menv.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique](http://www.menv.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique)).
- Roche Ltée, Groupe-Conseil, 2004. *Étude de faisabilité – Alimentation des scénarios d'alimentation en eau potable pour les Municipalités de Cacouna Village et Cacouna Paroisse*. N/Réf. :25060-301. Juillet 2004.
- Vallières, A., 1984. *Stratigraphie et structure de l'orogène taconique de la région de Rivière-du-Loup, Québec*. Thèse présentée à l'école des gradués de l'Université Laval. Mai 1984.

---

## 6 UNITÉS, ACRONYMES, ET GLOSSAIRE

### 6.1 UNITÉS

%	pourcentage
cm	centimètre
et al.	groupe d'auteurs
guspm	gallon U.S. par minute
i.e.	c'est à dire
L/min	litre par minute
m	mètre
m/s	mètre par seconde
m <sup>2</sup>	mètre carré
m <sup>2</sup> /s	mètre carré par seconde
m <sup>3</sup> /j	mètre cube par jour
meq.	milli équivalents
mg\L	milligramme par litre
mm	millimètre
mmhos/cm	milli mhos par centimètre
µg/L	microgramme par litre
µS/cm	microsiemens par centimetre

### 6.2 ACRONYMES

ABS	Résine d'acrylonitrile, de butadiène et de styrène
ARGL	Argile
BLO	Blocaux
CÂBLE	Foreuse à câble
COOR	Coordonnée
COV	Composés organiques volatils
CPV	Chlorure de polyvynile
DIAM	Diamètre
EPAIS	Épaisseur
GNL	Gaz naturel liquéfié

<b>GRA</b>	Gravier
<b>ID</b>	Indice de vulnérabilité DRASTIC
<b>HAP</b>	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
<b>MAT</b>	Matériel
<b>MENV</b>	Ministère de l'environnement du Québec
<b>NAD</b>	North American Datum
<b>N_DYN</b>	Niveau dynamique
<b>N_STAT</b>	Niveau statique
<b>PROF</b>	Profondeur
<b>REMB</b>	Remblai
<b>RQD</b>	Rock Quality Designation
<b>SABL</b>	Sable
<b>SCR</b>	Solid Core Recovery
<b>SHLE</b>	Shale
<b>SIH</b>	Système Information Hydrogéologique
<b>TCR</b>	Total Core Recovery
<b>U.S. EPA</b>	United States Agence de protection environnementale
<b>UTM</b>	Universal Transverse Modifié

---

## 6.3 GLOSSAIRE

ABS	Matériau thermoplastique très résistant à base de terpolymère et/ou d'un mélange de polymères et de copolymères produits avec l'acrylonitrile, le butadiène et le styrène, utilisé pour la fabrication de pompes et de composants de pompes.
batture	Portion du rivage que le jusant laisse à découvert
bentonite	Argile colloïdale du type Montmorillonite dont les particules constitutives sont suffisamment fines pour n'apparaître qu'au microscope électronique; leur dimension est en effet de l'ordre du dixième de micron.
conductivité hydraulique	Paramètre quantifiant l'intensité d'un écoulement dans un milieu poreux sous l'influence d'un gradient hydraulique.
conglomérat lithique	Roche formée de débris de roches grossiers et faiblement cimentés par un matériau liant plus fin.
crépine	Tubage perforé qui, dans un puits d'observation ou en production, laisse passer l'eau et retient le sable ou d'autres particules solides.
développement de puits	Action d'augmenter artificiellement la perméabilité du milieu aquifère à proximité de la paroi du puits, par divers procédés appropriés (pistonage, pompage saccadé, acidification) en vue de réduire les pertes de charge et d'améliorer l'efficacité de l'ouvrage, en général avant la mise en exploitation d'un puits ou pour remettre à son état initial le milieu poreux ou fracturé entourant un puits d'observation.
détritique	S'applique à une roche constituée surtout de fragments de roches, de minéraux ou de fossiles
feldspath	Les feldspaths sont des minéraux essentiels de la plupart des roches magmatiques et de certaines roches métamorphiques. Ils se présentent en plaquettes ou en



---

	prismes, parfois de plusieurs centimètres, transparents ou blanchâtres parfois colorés en rose ou en vert.
grès	Roche sédimentaire détritique terrigène composée à 85 % au moins de grains de quartz plus ou moins arrondis, de 1/16'' (62,5 µm) à 2 mm (classe des arénites).
jusant	Marée descendante, comprise entre la pleine mer et la basse mer suivante.
lanterne	Matériau granulaire placé entre la formation aquifère et la crépine d'un puits maintenant les particules fines du sol naturel.
limnimètre	Appareil de mesure d'un niveau de liquide.
microcline	Feldspath riche en potassium.
mudstone	Roche argileuse meuble et peu stratifiée, provenant de la consolidation d'argiles par compaction.
nappe captive	Nappe souterraine limitée au-dessus par une formation imperméable. Une nappe captive est soumise en tout point à une pression supérieure à la pression atmosphérique et sa surface piézométrique est plus haute que le toit de l'aquifère, qui se trouve alors entièrement en zone saturée.
nappe libre	Nappe souterraine dont la surface supérieure est soumise directement à la pression atmosphérique, par opposition à une nappe captive dont la surface supérieure est recouverte par une formation semi-perméable ou imperméable.
niveau piézométrique	Pression en un point exprimée par la hauteur de la colonne d'eau au-dessus du point considéré.
niveau statique	Niveau de la surface libre de l'eau dans un puits lorsqu'on n'effectue pas de pompage.

pendage Angle de la ligne de plus grande pente d'un élément planaire par rapport au plan horizontal. Utilisé pour décrire la structure des formations géologiques.

perthite Feldspath riche sodium et en potassium.

quartz polycristallin Masse de quartz formée de plusieurs cristaux

RQD Le RQD (Rock Quality Designation) est l'indice d'extraction modifié pour lequel seulement les portions de carotte intacte excédant une longueur prédéterminée (10 cm) mesurées le long de l'axe de la carotte sont pris en considération.

$$\text{RQD (\%)} = \frac{\text{somme des longueurs de carotte de plus de 10 cm}}{\text{longueur forée}}$$

SCR L'indice SCR (Solid Core Recovery) est la longueur cumulative de carottes solides ayant une section cylindrique (diamètre complet), sans tenir compte de la longueur unitaire de chaque fraction, exprimée comme fraction de la longueur forée.

$$\text{SCR (\%)} = \frac{\text{somme des longueurs de carotte à section cylindrique}}{\text{longueur forée}}$$

suivi piézométrique Opération consistant à relever à différentes périodes les niveaux piézométriques d'un aquifère.

TCR L'indice TCR (Total Core Recovery) est la longueur cumulative totale de toutes les carottes extraites divisée par la longueur forée.

$$\text{TCR (\%)} = \frac{\text{somme des longueurs}}{\text{longueur forée}}$$

till basal Dépôt glaciaire dense laissé directement par la glace, et consistant en argile, sable, gravier et blocs rocheux mélangés dans n'importe quelle proportion.

---

transmissivité	Produit de la conductivité hydraulique d'un aquifère par son épaisseur saturée.
zone vadose	Zone comprise entre la surface et le dessus de la nappe libre incluant toutes les zones où l'eau est retenue par capillarité (zone racinaire, zone intermédiaire et frange capillaire).