

ÉTUDE DE RÉFÉRENCE SUR LES PROCESSUS CÔTIERS

LE PROJET ÉNERGIE CACOUNA



SEPTEMBRE 2005

TABLE DES MATIÈRES

<u>SECTION</u>	<u>PAGE</u>
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 SOMMAIRE DES SECTIONS	1
1.2 OBJECTIFS	2
1.3 ZONE D'ÉTUDE DE RÉFÉRENCE.....	2
2 MÉTHODOLOGIE	4
2.1 BATHYMÉTRIE	4
2.1.1 Sources de données	4
2.1.2 Méthodes d'analyse	4
2.2 NIVEAUX D'EAU	4
2.2.1 Sources de données	4
2.2.2 Méthodes d'analyse	4
2.3 CLIMATOLOGIE DES VAGUES	5
2.3.1 Sources de données	5
2.4 COURANTS ESTUARIENS	5
2.4.1 Sources de données	5
2.4.2 Méthodes d'analyse	6
2.5 RÉGIME DES GLACES	6
2.5.1 Sources de données	6
2.5.2 Méthodes d'analyse	6
2.6 GÉOMORPHOLOGIE DU LITTORAL.....	6
2.6.1 Sources de données	6
2.6.2 Méthodes d'analyse	7
3 DESCRIPTION DU MILIEU RÉCEPTEUR	8
3.1 BATHYMÉTRIE	8
3.2 NIVEAUX D'EAU	8
3.3 CLIMATOLOGIE DES VAGUES	11
3.4 COURANTS ESTUARIENS	16
3.4.1 Résultats de l'étude avec bouées dérivantes	21
3.4.2 Résultats de l'étude avec courantomètre	26
3.5 RÉGIME DES GLACES	26
3.6 GÉOMORPHOLOGIE DU LITTORAL.....	27
3.6.1 Caractérisation du littoral	27
3.6.2 Processus du littoral.....	30
3.7 SÉDIMENTS DU LIT DU FLEUVE AU POSTE DE MOUILLAGE	31
4 RÉSUMÉ.....	32
5 RÉFÉRENCES.....	33
6 UNITÉS DE MESURE, ACRONYMES ET GLOSSAIRE	34
6.1 UNITÉS DE MESURE ET ACRONYMES	34
6.2 GLOSSAIRE	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Hauteurs de marées et niveau d'eau moyen pour Gros Cacouna	8
Tableau 2	Différences annuelles maximales entre les niveaux d'eau mesurés et prévus pour la station du SHC n° 3125 à Gros Cacouna	10
Tableau 3	Fréquence et pourcentages des données horaires de niveaux d'eau, station du SHC n° 3125 à Gros Cacouna, 1983 à 1996.....	11
Tableau 4	Fetchs sur le site.....	11

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Zone d'étude des processus côtiers	3
Figure 2	Profil longitudinal de l'estuaire du Saint-Laurent	9
Figure 3	Rose des vents à Rivière-du-Loup	12
Figure 4	Emplacement des houlographes du SDMM	14
Figure 5	Hauteur significative des vagues mesurée à la station du SDMM n°241.....	15
Figure 6	Vitesse prévue du courant à 16 h 00, 12 janvier 2005	17
Figure 7	Vitesse prévue du courant à 22 h 00, 12 janvier 2005	18
Figure 8	Vitesse prévue du courant à 04 h 00, 13 janvier 2005	19
Figure 9	Vitesse prévue du courant à 10 h 00, 13 janvier 2005	20
Figure 10	Résultats de l'étude avec bouées dérivantes, conditions de vives-eaux, marée montante.....	22
Figure 11	Résultats de l'étude avec bouées dérivantes, conditions de vives-eaux, marée descendante	23
Figure 12	Résultats de l'étude avec bouées dérivantes, conditions de mortes-eaux, marée montante.....	24
Figure 13	Résultats de l'étude avec bouées dérivantes, conditions de mortes-eaux, marée descendante	25
Figure 14	Types de glaces hivernales – fleuve Saint-Laurent.....	28
Figure 15	Types de glaces hivernales – Gros Cacouna.....	29

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Photographies

Photo 1	Photo prise à partir du brise-lames, en direction du sud-ouest
Photo 2	Poche de gros graviers (de 25 à 75 mm) située à l'étiage sur le brise-lames
Photo 3	À partir du point de raccordement du brise-lames en direction du nord-est vers l'emplacement du terminal
Photo 4	Photo prise en direction du sud-ouest à partir de l'emplacement approximatif du terminal. À noter: les affleurements rocheux et le caractère pierreux du site
Photo 5	Plage au nord-est du terminal
Photo 6	Zone intertidale et plages de sable au nord-est du terminal (photo prise en direction du sud-ouest)

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 bathymétriques, météorologiques et océanographiques, sur la modélisation hydrodynamique et sur la cartographie du littoral dans la région du projet.

1.1 SOMMAIRE DES SECTIONS

Le reste de la section 1 souligne les objectifs de ce rapport (section 1.2) et décrit la zone d'étude (section 1.3).

La section 2 présente une description des méthodes utilisées dans l'étude de référence sur les processus côtiers et répertorie les informations consultées pour décrire les données bathymétriques, météorologiques et océanographiques, la modélisation hydrodynamique et la cartographie du littoral.

Les résultats de l'étude de référence sont présentés à la section 3. On y retrouve notamment :

- la bathymétrie;
- les niveaux d'eau (marées et ondes de tempête);
- la climatologie des vagues;
- les courants estuariens; et
- la morphologie du littoral.

1.2 OBJECTIFS

L'objectif de ce rapport est de fournir des informations de référence sur les conditions côtières dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent à proximité du site du projet pour mener une étude d'impact environnemental.

1.3 ZONE D'ÉTUDE DE RÉFÉRENCE

Il est prévu que le projet se situe à Gros Cacouna au Québec, à un kilomètre en aval de l'entrée du port existant de Gros Cacouna. Le projet, tout comme le port de Gros Cacouna, est localisé sur la rive sud de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, immédiatement en amont du confluent du Saint-Laurent et de la rivière Saguenay. L'estuaire est large d'environ 21 km au site du projet et il se caractérise par la proximité de deux îles, l'île Verte en aval et l'île aux Lièvres au sud-ouest. L'île aux Lièvres sépare le fleuve Saint-Laurent en deux chenaux.

La zone d'étude de référence concernant les conditions côtières est intégrée à la zone d'étude concernant les ressources aquatiques globales (voir l'étude de référence sur les poissons des eaux intérieures et leur habitat, figure 2).

L'étude de référence sur les processus côtiers s'est concentrée sur le littoral de Gros Cacouna, de la pointe sud du brise-lames ouest jusqu'à l'extrémité nord de Gros Cacouna, soit une distance d'environ 1 500 m. Cette zone est présentée dans la figure 1.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 BATHYMÉTRIE

2.1.1 Sources de données

Les sources suivantes ont permis de trouver des données bathymétriques sur l'estuaire du Saint-Laurent à l'emplacement du projet :

- les cartes de l'Amirauté britannique n° 4782 et 4783 (reproductions modifiées de cartes marines du Service hydrographique du Canada n° 1235 et 1234 respectivement); et
- une analyse bathymétrique effectuée sur le site en septembre 2004 par Canadian Seabed Research.

2.1.2 Méthodes d'analyse

Des cartes de courbes de niveau ont été réalisées à partir des données bathymétriques obtenues sur le site du projet afin d'être utilisées pour la description du site. Une partie des données de l'analyse bathymétrique a été tracée sur la figure 1.

2.2 NIVEAUX D'EAU

2.2.1 Sources de données

Les sources de données suivantes ont permis de déterminer les écarts de niveaux d'eau sur le site du projet :

- Sandwell International Inc. (Sandwell), 2004, Gros Cacouna LNG Receiving Terminal – Metocean Summary, première ébauche; et
- marégraphe du Service hydrographique du Canada (SHC) situé à Cacouna.

2.2.2 Méthodes d'analyse

Les données de niveaux d'eau enregistrées par le marégraphe du SHC à Cacouna ont été comparées aux prévisions de marée. Les conditions météorologiques peuvent expliquer les différences d'heure et de hauteur entre la marée observée et les prévisions. Ces différences peuvent être provoquées par des changements

dans la pression atmosphérique, des vents prolongés et des variations de débit. Les différences annuelles maximales entre les données mesurées et les prévisions ont été résumées.

2.3 CLIMATOLOGIE DES VAGUES

2.3.1 Sources de données

Les sources de données suivantes ont permis d'établir les caractéristiques de la climatologie des vagues dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent sur le site du projet :

- ASL Environmental Sciences (ASL), 2004, Current and Wave Data October to November 2004, St. Lawrence River at Gros Cacouna, *Preliminary First Draft*;
- Sandwell International Inc. (Sandwell), 2004, Gros Cacouna LNG Receiving Terminal – Metocean Summary, *Preliminary Draft*;
- Koutitonsky, V. et R. Noël, 1976, Étude de Gros Cacouna comme superport port vrac solide au Québec (synthèse, navigabilité, environnement marin et aménagement portuaire); et
- données sur les vagues enregistrées par le Service des données sur le milieu marin (SDMM) dans l'estuaire du Saint-Laurent, à proximité du site.

2.4 COURANTS ESTUARIENS

2.4.1 Sources de données

Les sources de données suivantes ont permis d'établir les caractéristiques des courants dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent sur le site du projet :

- ASL Environmental Sciences (ASL), 2004, Current and Wave Data October to November 2004, St. Lawrence River at Gros Cacouna, première ébauche;
- Koutitonsky, V. et R. Noël, 1976, Étude de Gros Cacouna comme superport port vrac solide au Québec (synthèse, navigabilité, environnement marin et aménagement portuaire).
- Procean, 2004, rapport final sur l'étude réalisée au moyen de bouées dérivantes. Rapport préparé pour ASL Environmental Sciences Inc.

- Observatoire du Saint-Laurent (OSL), 2005, centre de prévisions relatives au milieu marin et aux glaces. Site Web : www.osl.gc.ca/ consulté en janvier 2005.

2.4.2 Méthodes d'analyse

Les conditions des courants estuariens sur le site du projet ont été établies à partir d'informations déjà publiées et d'études effectuées sur le site dans le cadre de l'évaluation de l'impact et du travail de conception.

2.5 RÉGIME DES GLACES

2.5.1 Sources de données

Les sources de données suivantes ont permis d'établir le régime des glaces dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent sur le site du projet :

- Sandwell International Inc. (Sandwell), 2004, Cacouna Energy, Gros Cacouna LNG Receiving Terminal Metocean Summary, première ébauche; et
- Observatoire du Saint-Laurent (OSL), 2005, centre de prévisions relatives au milieu marin et aux glaces. Site Internet : www.osl.gc.ca/ consulté en janvier 2005.

2.5.2 Méthodes d'analyse

Le régime des glaces a été établi à partir de documents existants et d'observations sur le site du projet ou à proximité.

2.6 GÉOMORPHOLOGIE DU LITTORAL

2.6.1 Sources de données

Les sources de données suivantes ont permis d'établir les caractéristiques de la géomorphologie du littoral sur le site du projet :

- des photos aériennes historiques; et
- une reconnaissance régionale entreprise les 25 et 26 novembre 2004.

2.6.2 Méthodes d'analyse

Les caractéristiques de la géomorphologie du littoral ont été établies par la consultation de photos aériennes historiques et par une reconnaissance du littoral effectuée à marée basse.

3 DESCRIPTION DU MILIEU RÉCEPTEUR

3.1 BATHYMÉTRIE

Comme le montre la figure 1, la hauteur d'eau augmente rapidement à partir de la rive jusqu'à atteindre environ 15 m (zéro hydrographique) à l'emplacement du projet, à 350 m au large de Gros Cacouna. La profondeur de l'estuaire du Saint-Laurent continue à augmenter jusqu'à un maximum de 80 m à proximité de son milieu (Chenal du Nord), puis s'accroît en direction du golfe du Saint-Laurent.

La figure 2 présente un profil longitudinal de l'estuaire du Saint-Laurent. Le terminal de GNL prévu se situe à environ 16 km en amont de Tadoussac.

3.2 NIVEAUX D'EAU

Le site du projet proposé est exposé à des marées semi-diurnes, ce qui signifie que deux marées hautes et deux marées basses sont observées chaque jour. Le tableau 1 présente les hauteurs de marées de référence pour Gros Cacouna.

Tableau 1 Hauteurs de marées et niveau d'eau moyen pour Gros Cacouna

Hauteur de marée de référence	Élévation (m, zéro hydrographique)
pleine mer supérieure, grande marée (m)	5,5
pleine mer supérieure, marée moyenne (m)	4,5
basse mer inférieure, marée moyenne (m)	0,8
basse mer inférieure, grande marée (m)	0,2
pleine mer supérieure (m)	5,9
basse mer inférieure (m)	-0,8
niveau d'eau moyen (m)	2,6

L'amplitude de la marée moyenne à Gros Cacouna est de 3,7 m; celle de la grande marée est de 5,3 m. Cependant, le passage d'orages peut provoquer une augmentation du niveau d'eau par rapport aux prévisions. Les phénomènes ci-après peuvent provoquer une augmentation du niveau d'eau :

- ondes de tempête attribuables à une variation de la pression barométrique au-dessus de l'eau lorsqu'une tempête suit la trajectoire d'un plan d'eau;
- dénivellation due au vent, la force d'entraînement des vents au-dessus d'un plan d'eau ayant pour résultat la montée du niveau d'eau sur la rive. Généralement, la dénivellation due au vent est plus forte dans les bassins fermés; et
- surélévation de la surface libre due au mouvement de l'eau en direction de la terre sur la ligne de déferlement.

Le site du projet proposé est exposé, mais la découpe du littoral est relativement abrupte, de sorte que les effets de la surélévation due aux vagues ou au vent devraient être peu ressentis. Il est probable que toute variation entre les niveaux d'eau mesurés et prévus à Gros Cacouna soit le résultat d'ondes de tempête.

Le tableau 2 ci-après indique les différences annuelles maximales entre les niveaux d'eau mesurés et prévus pour la station du SHC n° 3125 (Cacouna), après compilation des données.

Tableau 2 Différences annuelles maximales entre les niveaux d'eau mesurés et prévus pour la station du SHC n° 3125 à Gros Cacouna

Année	Différence (m)
1983	1,32
1984	1,347
1985	0,619
1986	0,851
1987	0,775
1988	1,296
1989	1,093
1990	0,793
1991	0,936
1992	1,01
1993	0,83
1994	0,947
1995	1,51
1996	0,853

La fréquence et les pourcentages des niveaux d'eau mesurés pour les années 1983 à 1996 à Gros Cacouna sont indiqués dans le tableau 3.

Tableau 3 Fréquence et pourcentages des données horaires de niveaux d'eau, station du SHC n° 3125 à Gros Cacouna, 1983 à 1996

Niveaux d'eau (m), zéro hydrographique	Nombre d'observations	Pourcentage du total (%)
-0,50 à 0	6	0,0057
0 à 0,50	234	0,22
0,50 à 1	2 190	2,1
1 à 1,50	6 951	6,6
1,50 à 2	13 176	12,5
2 à 2,50	15 720	15
2,50 à 3	13 270	12,6
3 à 3,50	12 970	12,4
3,50 à 4	14 040	13,4
4 à 4,50	13 340	12,7
4,50 à 5	8 556	8,2
5 à 5,50	3 600	3,4
5,50 à 6	906	0,86
6 à 6,50	44	0,042

3.3 CLIMATOLOGIE DES VAGUES

Le site du projet proposé est exposé au fetch du sud-ouest au nord-nord-est. Un certain nombre d'études historiques sur les vagues dans l'estuaire du Saint-Laurent ont été menées et des enregistreurs de vagues ont été déployés par le SDMM (Sandwell, 2004). De plus, une étude a été entreprise pour le projet Énergie Cacouna afin d'établir plus précisément les conditions des vagues sur le site (ASL, 2004).

Le fetch arrivant directement sur le site est décrit dans le tableau 4. La figure 3 comporte une rose des vents illustrant la climatologie des vents à Rivière-du-Loup. Les vents du sud, du sud-ouest et du nord sont prédominants.

Tableau 4 Fetchs sur le site

Direction	Longueur du fetch (km)
S-O	172
O/S-O	14
O	21
O/N-O	22
N-O	22
N/N-O	26
N	32
N/N-E	47

Le fetch du sud-ouest a la plus longue portée directe sur le site. Les fetchs adjacents sont brisés par la présence de hauts-fonds, par exemple les battures de l'Île Blanche à l'ouest, et les bancs de l'Île Rouge au nord. L'activité des vents et des tempêtes dans l'estuaire maritime (de Tadoussac à Pointe-des-Monts) et le golfe du Saint-Laurent peut également entraîner la propagation de vagues en provenance du nord-est, principalement sous forme de houle. Cependant, l'île Verte protège le site des vagues du nord-est, dont l'effet est atténué par la pointe sud de l'île. Ainsi, ces vagues n'arrivent sur le site que de façon indirecte.

Les données sur les vagues ont été recueillies en octobre et novembre 2004 à l'aide d'un profileur de courant à effet Doppler (ADCP - *Acoustic Doppler Current Profiler*) (ASL, 2004). Au cours de la période de mesure de 40 jours, la hauteur significative des vagues (qui correspond à quatre fois la racine carrée de la zone soumise à la courbe autospectrale de vitesse) a dépassé 0,8 m à trois reprises. La plus haute vague, observée le 6 novembre, mesurait 0,98 m. Presque toutes les vagues enregistrées lors du déploiement avaient une période de pointe inférieure ou égale à 10 secondes. Les vagues venaient principalement du nord-nord-est et du nord-ouest.

Koutitonsky et Noël (1976) ont fait un rapport sur le déploiement d'un houlographe au cours de la période d'avril à novembre 1974 (période d'eaux libres). Dans moins de 2 % des cas, les vagues atteignaient une hauteur maximale supérieure ou égale à 2,4 m.

Le SDMM a établi des houlographes dans l'estuaire au cours des années 1980. La figure 4 montre l'emplacement de ces bouées. Les mesures types sont présentées dans la figure 5. Ces données indiquent que la hauteur significative des vagues, qui atteint un maximum d'environ 6 m dans le golfe, ne dépasse pas 3 ou 4 m en aval de Tadoussac et se limite à environ 1,5 m à proximité de la zone d'étude.

Le site est exposé à des vagues générées localement par le vent (mer) ainsi qu'à la houle qui se propage à partir du nord-est puis est réfractée par l'île Verte.

3.4 COURANTS ESTUARIENS

Les courants estuariens dans le Saint-Laurent sont principalement dus aux variations de la marée et de l'écoulement du fleuve. Sur le site du projet, ce sont les marées qui influencent le plus les courants car ceux-ci peuvent être observés à la fois vers l'amont et vers l'aval pendant le cycle des marées.

Un certain nombre d'études historiques ont été menées dans cette partie du fleuve Saint-Laurent. Ces informations sont résumées dans Sandwell (2004). Des données relatives aux courants ont été consignées dans différentes études régionales, par exemple celle de Koutitonsky et Noël (1976). Ils font aussi l'objet de prévisions horaires en temps réel pour les activités liées au fleuve. Ces prévisions sont effectuées par l'Institut Maurice-Lamontagne, qui fait partie de l'OSL, à l'aide d'un modèle hydrodynamique en trois dimensions mis en oeuvre entre Québec et le golfe du Saint-Laurent. Les figures 6 à 9 présentent des échantillons de débit pour les 12 et 13 janvier 2005.

Deux études ont également été menées pour déterminer les conditions de courant spécifiques sur le site du terminal de GNL, l'une au moyen de bouées dérivantes et l'autre à l'aide d'un courantomètre. Les sections ci-après offrent plus de détails sur ces deux études.

Étude avec bouées dérivantes

Une étude utilisant des bouées dérivantes (Procean, 2004) a été réalisée à l'automne 2004 pour évaluer et caractériser les courants superficiels sur le site du projet dans différentes conditions de marée. Six mises à l'eau de bouées dérivantes ont été effectuées entre le 29 septembre et le 21 octobre, trois en conditions de marée de vives-eaux et trois en conditions de mortes-eaux afin de mesurer la direction et la vitesse du courant. Les bouées dérivantes étaient constituées de flotteurs avec des drogues situées à 6 m sous la surface. À chaque fois, six bouées dérivantes ont été mises à l'eau. Elles ont été larguées à 2 000 m du site du projet, en aval (pendant la marée montante) et en amont (pendant la marée descendante). Lors de chaque mise à l'eau, les bouées ont été déployées à 500 m d'intervalle, perpendiculairement à la rive. Tout au long de la procédure, leurs positions ont été suivies à l'aide d'un GPS (système mondial de localisation).

Étude avec courantomètre

Un courantomètre a été déployé (ASL, 2004) à l'automne 2004 dans le cadre de la première phase d'un travail d'une année visant à étudier et à évaluer les courants sur le site du projet. Les mesures des courants ont été effectuées à l'aide d'un ADCP fixé sur le lit du fleuve dans 18 m d'eau. Les courants ont été analysés près de la surface (à 4 m de profondeur), à mi-profondeur (à 8 m de profondeur) et près du fond (à 12 m de profondeur).

Les résultats de ces deux études sont présentés ci-après.

3.4.1 Résultats de l'étude avec bouées dérivantes

Conditions de vives-eaux, marée montante : Le courant a une direction sud-ouest, avec des composantes s'orientant vers la terre à proximité de la rive. Les vitesses moyennes varient de 45 cm/s (0,9 noeud/heure) à environ 78 cm/s (1,5 noeud/heure) de la rive vers le large, avec des vitesses maximales pouvant atteindre 97 cm/s (1,9 noeud/heure). La figure 10 illustre une mise à l'eau à marée montante en conditions de vives-eaux.

Conditions de vives-eaux, marée descendante : Le courant a une direction nord-est prédominante, mais en passant le site, sa direction dévie sur le nord-nord-est lorsque la marée descendante passe l'île Verte. Cet effet est plus prononcé à proximité de la rive. Les vitesses moyennes et maximales sont plus élevées qu'à marée montante, la vitesse moyenne s'échelonnant de 106 à 127 cm/s (2,06 à 2,47 noeuds/heure). Par ailleurs, sur l'ensemble du déploiement, les vitesses moyennes étaient plus variables lors des mises à l'eau à marée montante. Des vitesses maximales atteignant 206 cm/s (4 noeuds/heure) ont été observées. La figure 11 illustre une mise à l'eau à marée descendante en conditions de vives-eaux.

Conditions de mortes-eaux, marée montante : À marée montante, le courant a une direction sud-ouest prédominante. Les vitesses moyennes du courant varient de 26 à 54 cm/s (0,5 à 1,05 noeud/heure), avec des vitesses de pointe atteignant 67 cm/s (1,3 noeud/heure) (voir la figure 12).

Conditions de mortes-eaux, marée descendante : Le courant a une vitesse nord-est prédominante, avec des vitesses moyennes du courant variant de 22 à 47 cm/s (0,43 à 0,91 noeud/heure) et des vitesses de pointe atteignant 125 cm/s (2,4 noeuds/heure) (voir la figure 13).

3.4.2 Résultats de l'étude avec courantomètre

Les courants ont été mesurés à intervalles d'un mètre de profondeur pendant la période de déploiement. Les données ont été traitées par la suite pour analyse et la mise en carte. Des vitesses maximales du courant atteignant 130 cm/s (2,53 noeuds/heure) ont été mesurées à proximité de la surface, avec un écoulement vers l'aval observé à la surface et un écoulement vers l'amont en profondeur. La moyenne vectorielle du courant est d'environ 14 cm/s (0,27 noeud/heure) vers l'aval près de la surface et de 2 cm/s (0,039 noeud/heure) vers l'amont près du fond. Les courants sont dominés par la composante de marée M2, avec par conséquent des conditions semi-diurnes très marquées.

Les courants estuariens sur le site proposé pour le terminal de GNL sont plus forts lors des marées descendantes de vives-eaux et de mortes-eaux pendant lesquelles ils peuvent atteindre 200 et 125 cm/s (3,89 et 2,43 noeuds/heure) respectivement.

3.5 RÉGIME DES GLACES

Le cours du fleuve Saint-Laurent, du Saguenay à Québec, est émaillé d'îles et de hauts-fonds. La glace commence habituellement à se former dans cette portion du fleuve vers la mi-décembre, mais n'atteint pas l'est du Saguenay avant la fin du mois (Sandwell, 2004).

La glace fixe se développe plus rapidement en eau peu profonde. Lorsque le redoux se produit au moment des marées de vives-eaux, de grandes plaques de glaces peuvent se détacher et former ce qui est appelé localement des glaces de batture. Ces glaces flottantes peuvent entraver la navigation.

En général, le régime des glaces offre des conditions plus aisées et moins encombrées avec des marées descendantes et/ou des vents de sud-ouest car les glaces flottantes sont évacuées plus facilement vers la mer (Sandwell, 2004). Les marées montantes et les vents de nord-est peuvent freiner leur déplacement et entraîner un régime des glaces plus concentré.

La couche de glace devient assez importante en janvier; elle se maintient en février puis commence à diminuer en mars. Les types de glaces hivernales rencontrés à proximité du site du projet sont la nouvelle glace, la glace grise et la glace blanchâtre. La probabilité de formation de glaces à proximité du site du projet se situe entre 76 et 99 % annuellement.

Les figures 14 et 15 présentent les types de glaces hivernales (au 26 février) à proximité de Gros Cacouna. Les hachures indiquent une probabilité de formation de glaces de 76 à 99 %; les lignes obliques indiquent une probabilité de 51 à 75 %. L'écoulement du Saguenay a une influence évidente sur la prédominance de la nouvelle glace sur la rive nord du Saint-Laurent.

Des mesures de l'épaisseur des glaces ont été effectuées de 1988 à 2002. Pendant cette période, une station d'étude des glaces a été établie (Q35) près de Gros Cacouna à l'emplacement approximatif 47,97 N, 69,5 O, à environ 1 km de la rive. Les épaisseurs de glaces mesurées variaient de 25 à 75 cm, selon l'année et la période de l'année (figure 15).

3.6 GÉOMORPHOLOGIE DU LITTORAL

La zone d'étude pour la reconnaissance du site et la cartographie du littoral s'étend de la pointe sud-ouest du brise-lames ouest à la pointe nord-ouest de Gros Cacouna, le long de la rive (voir la figure 1). La présente section traite des caractéristiques du littoral existant en relation avec les forces actuelles dont l'action façonne les rives.

3.6.1 Caractérisation du littoral

Une reconnaissance des rives a été effectuée pour établir les caractéristiques des sédiments du littoral de façon à prévoir les effets potentiels de la construction du projet. Des portions du littoral ont été traversées à pied à marée basse le matin des 24, 25 et 26 novembre 2004. La totalité du littoral nord-ouest de Gros Cacouna a été parcourue, du brise-lames ouest jusqu'à l'extrémité nord de Gros Cacouna.

Trois types de littoral distincts ont été observés :

- Des rochers de taille importante (diamètre nominal de 2 à 3 m) forment une couche protectrice extérieure le long du brise-lames ouest. Ces rochers se prolongent sous la surface de l'eau à marée basse. Une poche de gros graviers (diamètre nominal de 25 à 75 mm) a été observée à l'étiage, immédiatement à l'ouest du point de raccordement (c'est-à-dire de l'extrémité est) du brise-lames, à l'endroit où il est relié à Gros Cacouna. Cette poche se prolonge sur environ 10 m. En partant du principe que le brise-lames a été construit selon une conception standard, on suppose que l'enrochement se prolonge sous le niveau de basse mer sur une certaine distance, avant d'être remplacé par une couche de pierres de plus petite taille à l'extérieur du brise-lames (voir la pièce jointe A, les photographies 1 et 2) (l'emplacement des photographies est indiqué dans la figure 1).

- À partir du point de raccordement du brise-lames ouest, le littoral est de nature distinctivement rocheuse, avec des affleurements rocheux et de gros galets de 300 à 400 mm recouvrant des sédiments de plage granulaires (gravier de 25 à 75 mm). Les nombreux affleurements rocheux rendent difficile l'accès à la plage et rétrécissent le littoral à marée basse. Ce caractère rocheux se poursuit vers le nord-est sur environ 800 m. Le projet se situera sur cette partie du littoral (voir la pièce jointe A, les photographies 3 et 4).
- Une fois passée la partie rocheuse du littoral, la plage s'élargit et descend en pente douce. Les affleurements rocheux font généralement office de zone tampon en direction de la terre par rapport à la ligne de haute mer. Cependant, à l'étiage, ces affleurements servent également de protection contre les vagues. Le littoral devient moins caillouteux et comporte plusieurs plages de sable de dimensions réduites entre des affleurements rocheux bas dans la zone intertidale supérieure. Cette partie caractérisée par des plages se prolonge vers le nord-est jusqu'à l'extrémité de l'île, sur une distance d'environ 1 700 m (voir la pièce jointe A, les photographies 5 et 6). Dans la zone intertidale supérieure, la pente de la plage est de 10 %. Elle s'adoucit ensuite pour passer à 2 puis 1 % jusqu'aux affleurements rocheux à l'étiage. Les sédiments de plage varient également : ils sont constitués de sable à gros grains dans la zone intertidale supérieure, de silts fins dans la zone intertidale moyenne et de galets en direction de la terre après les affleurements rocheux.

3.6.2 Processus du littoral

La formation du littoral a commencé à la dernière période de glaciation, il y a environ 10 000 ans. Les principales forces qui façonnent le littoral sont l'action des vagues, les courants estuariens et l'action des glaces, en conjonction avec l'amplitude des marées. De plus, il est probable que l'assise rocheuse s'effrite en raison de l'action du gel et du dégel dans les fissures.

Les courants de marée, qui peuvent atteindre 200 cm/s (3,89 noeuds/heure) et l'action des vagues empêchent la sédimentation de l'argile et du silt dans le voisinage du site du projet. Les affleurements rocheux, les dépôts de roches et de galets et la nature abrupte du littoral à proximité de la jetée sur chevalets indiquent qu'il est peu probable que des sédiments se déposent à un endroit précis, ou que le littoral s'érode davantage. Le site n'offre aucun signe visible de dérive littorale, en l'absence de toute barre ou de tout dépôt de sédiments à grain fin.

Sur la zone intertidale en pente douce au nord-est, il est probable que les sables subissent des modifications dans la zone intertidale supérieure sous l'action

combinée de la pleine mer et de tempêtes. Cependant, la présence de silts dans la zone intertidale entre les affleurements rocheux observés à l'étiage et les sables dans la zone intertidale supérieure confirment que l'environnement est relativement protégé de l'action des vagues. En effet, les vagues incidentes sont généralement brisées ou déviées par les affleurements rocheux. Seules les vagues les moins hautes atteindront le littoral et pourront brasser les sables. Cependant, ces vagues ne seront pas suffisamment grandes pour avoir une incidence sur les silts de la zone intertidale moyenne.

La présence de falaises effondrées a été observée entre les affleurements rocheux. Des plages de dimensions réduites se sont formées entre les affleurements rocheux au nord-est du site du projet. Elles résultent très probablement de longues périodes d'action des vagues pendant des tempêtes.

Le brise-lames comporte des roches de grande taille qui résistent bien à l'érosion. La grande taille des roches est probablement destinée à résister à l'érosion par éclatement dû au gel plutôt qu'à l'action des vagues.

3.7 SÉDIMENTS DU LIT DU FLEUVE AU POSTE DE MOUILLAGE

Les caractéristiques du fond marin à proximité du poste de mouillage prévu ont été établies à l'aide de forages et d'échantillons de sédiments superficiels. Les résultats de l'étude des sédiments superficiels indiquent que leur répartition granulométrique moyenne est de : 13 % d'argile, 38 % de silt, 48 % de sable et 2 % gravier. Ces pourcentages varient en fonction de l'emplacement de prélèvement de l'échantillon.

L'étude d'un sous-ensemble d'échantillons (voir l'étude de référence sur la qualité des eaux de surface et des sédiments, figure 3, échantillons C9, D4) indique que la taille moyenne des grains (D_{50}) est de 0,07 mm, et que les diamètres des grains correspondant au 60 % passant (D_{60}) sont de 0,083 et 0,089 mm respectivement. Ces échantillons ont été sélectionnés au hasard près du poste de mouillage. Les sédiments superficiels sont classés comme silts et sables fins, parce qu'en moyenne plus de 80 % de l'échantillon correspond aux dimensions de ces catégories. Ces sédiments ont été observés dans des hauteurs d'eau de 15 m (zéro hydrographique).

4 RÉSUMÉ

Le site du projet est exposé au fetch du nord, de l'ouest et du sud-ouest. Le fetch du sud-ouest a la plus longue portée directe sur le site. Les vagues provenant du nord-est (le golfe du Saint-Laurent) sont réfractées par l'île Verte et n'atteignent donc pas le site directement. La hauteur significative des vagues à proximité du site atteint un maximum d'environ 1,5 m.

Le site est exposé à des marées semi-diurnes, avec deux marées hautes et deux marées basses chaque jour. Les courants les plus rapides sont observés durant les marées d'eaux-vives lorsque le flux est descendant, avec des vitesses atteignant 200 cm/s (3,89 noeuds/heure).

Le cours du fleuve Saint-Laurent, du Saguenay à Québec, est émaillé d'îles et de hauts-fonds. La glace commence habituellement à se former dans cette portion du fleuve vers la mi-décembre, mais n'atteint pas l'est du Saguenay avant la fin du mois (Sandwell, 2004).

La couche de glace devient assez importante en janvier; elle se maintient en février puis commence à diminuer en mars. Les types de glaces hivernales rencontrés à proximité du site du projet sont la nouvelle glace, la glace grise et la glace blanchâtre. La probabilité de formation de glaces à proximité du site se situe entre 76 et 99 % annuellement.

Au site du terminal, le littoral consiste en un amas abrupt de blocs rocheux, sans signes de dérive littorale. Au nord-est du site, le littoral se transforme en une vaste région intertidale protégée par des affleurements rocheux, avec une pente de fond allant de 1 pour 50 à 1 pour 100, et des matériaux de fond allant du sable dans la zone intertidale supérieure aux galets dans la zone intertidale inférieure, en passant par le silt dans la zone intertidale moyenne.

Les sédiments du lit du fleuve au poste de mouillage sont classés comme silts et sables fins, parce qu'en moyenne plus de 80 % de l'échantillon correspond aux dimensions de ces catégories.

5 RÉFÉRENCES

- ASL Environmental Sciences (ASL). 2004. Current and Wave Data October to November 2004, St. Lawrence River at Gros Cacouna. Preliminary First Draft.
- Koutitonsky, V. and R. Noël. 1976. Étude de Gros Cacouna Comme Superport Port Vrac Solide au Québec (Synthèse, navigabilité, environnement marin et aménagement portuaire).
- Observatoire du Saint-Laurent (OSL). 2005. Ocean and Ice Forecast Centre. Site Web : www.osl.gc.ca/en/. Consulté en janvier 2005.
- Procean. 2004. Final Report Drifter Tracking Study. Report préparé pour ASL Environmental Sciences Inc.
- Sandwell International Inc. (Sandwell). 2004. Cacouna Energy. Gros Cacouna LNG Receiving Terminal Metocean Summary. Preliminary Draft.

6 UNITÉS DE MESURE, ACRONYMES ET GLOSSAIRE

6.1 UNITÉS DE MESURE ET ACRONYMES

ADCP	Profileur de courant à effet Doppler
SHC	Service hydrographique du Canada
cm/s	centimètres par seconde
ÉIE	Étude d'impact sur l'environnement
km	kilomètre
GNL	gaz naturel liquéfié
m	mètre
SDMM	Service des données sur le milieu marin
mm	millimètre
OSL	Observatoire du Saint-Laurent
s	secondes

6.2 GLOSSAIRE

dénivellation due au vent	Montée de niveau de l'eau sur le rivage résultant de la force d'entraînement des vents au-dessus d'un plan d'eau. Généralement, la dénivellation due au vent est plus forte dans les bassins fermés.
déprofondissement des vagues	Changements dans la taille, la forme et la vitesse de déferlement des vagues résultant d'interactions avec le fond de l'eau.
diffraction des vagues	Transmission latérale d'énergie le long de la crête d'une vague.
effritement	Écaillage ou fragmentation d'une surface, causé par la dilatation ou la contraction thermique.
flux	marée montante
glace blanchâtre	Glace jeune (de moins d'un an) et de 15 à 30 cm d'épaisseur. Sous la pression, tend davantage à faire des crêtes qu'à s'entasser.
glaces de batture	Grandes plaques de glace épaisse, inégale et décolorée qui se forme du côté amont des hauts-fonds et des îlots dans les rivières quand un temps froid précède ou accompagne des marées de mortes-eaux. Composée de glaces de différentes épaisseurs qui se forment sous la pression du reflux, la masse entière gèle et prend de l'ampleur à chaque marée successive. Lorsque les marées de mortes-eaux et les marées de vives-eaux deviennent de plus en plus espacées, de grandes sections de débris de glace se détachent et s'en vont au fil du courant.
glace grise	Glace jeune (de moins d'un an) et de 10 à 15 cm d'épaisseur. Moins souple que le nilas, elle se brise sous l'effet de la houle. S'entasse généralement sous pression.
hauteur des vagues	Généralement considérée comme la différence de hauteur entre la crête d'une vague et de creux précédent.

houle	Vagues traversant la zone d'observation après avoir été produites par des vents dans d'autres zones. Ces vagues peuvent se déplacer sur des milliers de kilomètres depuis leur point d'origine avant de s'affaiblir. Il peut se produire une houle même lorsque les vents sont calmes et en l'absence de vagues « de mer ».
jusant	Marée descendante, comprise entre la pleine mer et la basse mer suivante.
longueur des vagues	Distance horizontale moyenne entre deux crêtes (ou deux creux) successifs.
marée de mortes-eaux	Marée caractérisée par une faible amplitude entre la marée haute et la marée basse. Elle se produit pendant les premier et troisième quartiers, quand l'effet de la Lune sur les marées est perpendiculaire à celui du Soleil.
marée de vives-eaux	Régime de marée caractérisé par un grand écart entre la marée haute et la marée basse. Survient à la nouvelle lune et à la pleine lune, quand l'effet de la Lune sur les marées est aligné avec celui du Soleil.
marée semi-diurne	Régime de marées caractérisé par deux marées hautes et deux marées basses par jour.
mille marin	Unité de longueur utilisée pour exprimer les distances sur l'eau. Le mille marin international équivaut à 6 076,1 pieds ou 1 852 mètres. Sa valeur est définie par la longueur d'une minute d'arc mesurée le long de l'équateur (ou 1/60 d'un degré d'un grand cercle) sur un sphéroïde représentant la Terre. C'est l'unité de longueur utilisée pour définir le noeud (vitesse d'un mille marin à l'heure) employé en navigation maritime et aérienne.
nouvelle glace	Terme général désignant la glace de formation récente.
onde de tempête	Surélévation locale du niveau d'eau attribuable à une variation de la pression barométrique au-dessus de l'eau lorsqu'une tempête suit la trajectoire d'un plan d'eau.
période des vagues	Intervalle de temps moyen entre les passages de crêtes (ou creux) successifs de vagues.
réfraction de la houle	Déformation des crêtes résultant de la réduction différentielle dans la vitesse des vagues (C) étant donné que différentes portions de la vague atteignent l'eau peu profonde à des moments différents.
surélévation de la surface libre	Mouvement de l'eau sur le rivage du côté de la terre de la ligne de déferlement.
vagues de mer	Vagues générées par le vent soufflant actuellement et dans un passé récent dans la zone d'observation.