Évaluation environnementale du programme de forage d'exploration de la zone prometteuse de Old Harry

février 2013

préparé par:

Stantec Consulting Ltd.
607 Torbay Road
St. John's NL A1A 4Y6
tel: (709) 547-1458
fax: (709) 576-2126

Stantec

Stantec Consulting Ltd.
607 Torbay Road
St. John's, NL A1A 4Y6
Tel : (709) 576-1458
Fax : (709) 576-2126

Évaluation environnementale du programme de forage d'exploration de la zone prometteuse de Old Harry

Évaluation environnementale

Rapport préparé à l'intention de :

Corridor Resources Inc.
#301-5745 Spring Garden Road
Halifax, NS B3J 3T2

Dossier : 121510468.500

Février 2013

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Cette évaluation environnementale présente divers renseignements rattachés au programme de forage de prospection que propose Corridor Resources Inc. Le programme proposé serait mené en mer à l'ouest de Terre-Neuve dans le chenal Laurentien à l'intérieur de la zone du prospect de Old Harry conformément au permis de prospection (PP) 1105. Le prospect de Old Harry est situé dans la partie nord-est du golfe du Saint-Laurent (Golfe). Une partie de la zone du prospect se trouve dans une région sous la juridiction de l'Office Canada-Terre-Neuve et Labrador sur les hydrocarbures extracôtiers (OCTLHE). L'autre partie fait l'objet d'une entente qui vient récemment d'être conclue entre le Canada et le Québec. Le puits d'exploration proposé dans le cadre de cette évaluation est situé dans la région administrée par l'OCTLHE.

Cette évaluation environnementale comprend la description du programme proposé et traite des aspects physiques, biologiques et socioéconomiques du projet. L'analyse des impacts environnementaux a été réalisée en tenant compte de diverses composantes valorisées de l'écosystème (CVE). Ces CVE incluent :

- Les espèces en péril ;
- Écosystème marin ;
- Les poissons de mer, les mollusques et les crustacés et leurs habitats ;
- Les oiseaux marins ;
- Les mammifères marins et les tortues de mer ;
- Les zones sensibles ;
- L'industrie de la pêche commerciale et les autres utilisateurs de la mer.

Cette évaluation environnementale examine les impacts environnementaux que pourrait avoir le projet d'exploration proposé sur chacune des composantes précitées, incluant les impacts potentiels d'activités planifiées ou d'évènements non prévus (accidentels). Les impacts cumulatifs y sont également traités. Des mesures d'atténuation techniquement et économiquement viables ont été incorporées au programme lors de sa phase de conception et de planification. Des programmes de suivi ont aussi été pris en considération. Diverses recommandations et directives, comme les *Lignes directrices relatives au traitement des déchets dans la zone extracôtière* de l'Office national de l'énergie (2010), et dispositions de lois et règlements pertinents au projet ont été incorporées au programme de forage de prospection.

L'évaluation environnementale prévoit que le projet n'aura probablement aucun impact négatif majeur de quelconque nature sur l'environnement, comme des effets environnementaux cumulatifs.

Table des matières

SOMMAIRE EXÉCUTIF E.1

1.0 INTRODUCTION 1.1

1.1 Survol du projet 1.1

1.2 L'exploitant 1.2

1.3 Contexte réglementaire 1.4

1.4 Fondement du projet 1.5

1.5 Organisation du document 1.5

2.0 DESCRIPTION DU PROJET 2.1

2.1 Contexte du projet 2.1

2.2 Historique de la prospection des gisements d'hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent 2.1

2.3 Type de pétrole susceptible d'être découvert à Old Harry 2.3

2.3.1 Études géochimiques des roches mères à Old Harry 2.3

2.3.2 Modélisation des systèmes pétroliers 2.6

2.3.3 Identification de pétrole de remplacement 2.8

2.4 Emplacement et profondeur d'eau 2.8

2.5 Solutions de rechange au projet et dans le cadre du projet 2.8

2.6 Calendrier du projet 2.9

2.7 Personnel attitré au projet 2.9

2.8 Unités mobiles de forage en mer 2.9

2.9 Soutien logistique 2.11

2.9.1 Installations sur la base côtière 2.11

2.9.2 Navires de soutien 2.12

2.9.3 Soutien par hélicoptère 2.12

2.10 Activités liées au projet 2.13

2.10.1 Composantes du projet 2.13

2.10.2 Forage d'exploration 2.13

2.10.3 Profilage sismique vertical 2.14

2.10.4 Essais de puits 2.14

2.10.5 Abandon et suspension du puits 2.15

2.11 Traitement des déchets et émissions atmosphériques 2.16
2.11.1 Boues et déblais de forage 2.16
2.11.1.1 Boues de forage à base d'eau 2.18
2.11.1.2 Boues de forage à base de pétrole synthétique 2.19
2.11.2 Ciment 2.20
2.11.3 Eau produite 2.20
2.11.4 Eaux grises / noires 2.20
2.11.5 Rejets du compartiment machines 2.20
2.11.6 Eau de cale 2.20
2.11.7 Système d'égouttement du pont 2.21
2.11.8 Eau de ballast 2.21
2.11.9 Eau de refroidissement 2.21
2.11.10 Déchets solides 2.21
2.11.11 Fluide des blocs obturateurs de puits (BOP) 2.21
2.11.12 Dispositions diverses 2.22
2.11.13 Rejets atmosphériques 2.22
2.12 Éléments d'entrée et de sortie de la modélisation réalisée dans le cadre du projet 2.24
2.12.1 Déblais de forage 2.24
2.12.1.1 Données du modèle 2.24
2.12.1.2 Résultats du modèle 2.28
2.12.1.3 Résumé de modeler des résultats 2.34
2.12.2 Modélisation de la trajectoire et du devenir des hydrocarbures rejetés 2.35
2.12.2.1 Comportement des hydrocarbures rejetés 2.36
2.12.2.2 Données utilisées pour la modélisation des déversements 2.41
2.12.2.3 Résultats de modélisation des trajectoires et du devenir des rejets 2.48
2.12.2.4 Résultats de modélisation de la trajectoire du pétrole en surface 2.52
2.12.2.5 Résultats mensuels typiques de modélisation de la trajectoire du panache de pétrole dispersé 2.57

3.0 CONSULTATION AUPRÈS DES PARTIES PRENANTES 3.1
3.1 Exigences établies par la loi 3.1

3.2 Consultation auprès de municipalités locales 3.3
3.3 Pêches commerciales 3.3
3.3.1 One Ocean, FFAW et autres groupes de pêche à Terre-Neuve 3.3
3.3.2 Pêcheurs et représentants des pêcheries des Îles-de-la-Madeleine 3.4
3.4 Rencontres avec différents ministères et organismes gouvernementaux 3.4
3.5 Autres méthodes de consultation 3.5
3.5.1 Journées portes ouvertes 3.5
3.5.2 Lettres de mise à jour 3.5
3.5.3 Communication avec les médias 3.6
3.5.4 Site Web du projet 3.6
3.6 Préoccupations 3.6
3.7 Participation aux conférences 3.7

4.0 MILIEU PHYSIQUE 4.1
4.1 Géologie 4.1
4.1.1 La géologie des Maritimes et du bassin des Îles-de-la-Madeleine 4.1
4.1.2 Séismicité 4.4
4.1.3 Type de sédiments 4.5
4.1.4 Risques naturels ayant un impact sur le plancher océanique 4.6
4.1.4.1 Conditions du fond marin 4.8
4.2 Océanographie physique 4.24
4.2.1 Bathymétrie 4.24
4.2.2 Courants océaniques 4.24
4.2.3 Les marées 4.33
4.2.4 Vagues 4.33
4.2.5 Trajectoire des tempêtes dans le golfe du Saint-Laurent 4.36
4.2.6 Glace 4.41
4.2.7 Icebergs 4.48
4.3 Météorologie 4.50
4.3.1 Climat 4.50
4.3.2 Climat venteux 4.52
4.3.3 Visibilité et brouillard 4.57
4.4 Changement climatique 4.58

5.0 MILIEU BIOLOGIQUE 5.1
5.1 Survol de la région 5.1
5.2 Espèces en péril 5.2
5.2.1 Espèces de poissons de mer en péril 5.9
5.2.1.1 Loup de mer 5.9
5.2.1.2 Morue franche 5.15
5.2.1.3 Raie tachetée 5.19
5.2.1.4 Grenadier de roche 5.20
5.2.1.5 Requin-taupe commun 5.21
5.2.1.6 Requin blanc 5.22
5.2.1.7 Sébaste 5.22
5.2.1.8 Requin-taupe bleu 5.23
5.2.1.9 Plie canadienne 5.24
5.2.1.10 Bar rayé 5.26
5.2.1.11 Grenadier berglax 5.27
5.2.1.12 Aiguillat commun 5.27
5.2.1.13 Requin bleu 5.28
5.2.1.14 Requin-pèlerin 5.28
5.2.1.15 Anguille 5.29
5.2.1.16 Saumon atlantique 5.29
5.2.1.17 Thon rouge de l'Atlantique 5.30
5.2.1.18 Esturgeon noir 5.32
5.2.1.19 Brosme 5.32
5.2.2 Espèces d'oiseau en péril 5.33
5.2.2.1 Mouette blanche 5.33
5.2.2.2 Pluvier siffleur 5.34
5.2.2.3 Sterne de Dougall 5.36
5.2.2.4 Bécasseau maubèche 5.37
5.2.2.5 Grèbe esclavon 5.37
5.2.2.6 Râle jaune 5.38
5.2.2.7 Arlequin plongeur 5.39
5.2.2.8 Garrot d'Islande 5.40

5.2.3 Mammifères marins en péril 5.41
5.2.3.1 Rorqual bleu 5.41
5.2.3.2 Baleine noire de l'Atlantique Nord 5.42
5.2.3.3 Béluga 5.43
5.2.3.4 Baleine à bec commune 5.45
5.2.3.5 Rorqual commun 5.46
5.2.3.6 Marsouin commun 5.47
5.2.3.7 Épaulard 5.48
5.2.4 Tortues de mer 5.48
5.2.4.1 Tortue luth 5.48
5.2.4.2 Tortue caouanne 5.49
5.3 Écosystème marin 5.50
5.3.1 Habitats côtiers 5.51
5.3.1.1 Les communautés algales 5.51
5.3.1.2 Zostère marine 5.52
5.3.1.3 Communautés des marais salés 5.53
5.3.2 Habitats marins 5.54
5.3.3 Coraux et éponges en eau profonde 5.55
5.3.4 Plancton 5.60
5.3.4.1 Le phytoplancton et la production primaire 5.61
5.3.4.2 Zooplancton 5.63
5.3.4.3 Ichthyoplancton 5.66
5.4 Les poissons de mer et leurs habitats 5.67
5.4.1 Habitat du poisson 5.67
5.4.2 Mollusques et crustacés 5.73
5.4.2.1 Homard d'Amérique 5.73
5.4.2.2 Crabe des neiges 5.76
5.4.2.3 Crabe commun 5.77
5.4.2.4 Pétoncle géant de l'Atlantique 5.78
5.4.2.5 Buccin 5.79
5.4.2.6 Crevette nordique 5.80
5.4.3 Les poissons 5.81

5.4.3.1 Poissons pélagiques 5.83
5.4.3.2 Poissons démersaux 5.87
5.4.4 Périodes biologiquement fragiles 5.98
5.5 Oiseaux marins.....5.101
5.5.1 Répartition saisonnière des oiseaux marins et de la sauvagine côtière en mer dans le golfe du Saint-Laurent 5.105
5.5.1.1 Oiseaux marins 5.105
5.5.1.2 Sauvagine côtière.....5.123
5.5.1.3 Colonies d'oiseaux de mer 5.124
5.6 Mammifères marins et tortues de mer.....5.134
5.6.1 Mysticètes (baleine à fanons) 5.136
5.6.1.1 Baleine à bosse.....5.137
5.6.1.2 Petit rorqual.....5.138
5.6.1.3 Rorqual boréal.....5.138
5.6.2 Odontocètes (baleines à dents) 5.138
5.6.2.1 Dauphin à flancs blancs 5.139
5.6.2.2 Dauphin à nez blanc.....5.140
5.6.2.3 Globicéphale noir 5.140
5.6.2.4 Cachalot.....5.140
5.6.3 Pinnipèdes (phoques).....5.141
5.6.3.1 Phoque du Groenland 5.141
5.6.3.2 Phoque à capuchon 5.142
5.6.3.3 Phoque gris.....5.142
5.6.3.4 Phoque commun 5.142
5.6.4 Tortues de mer 5.143
5.7 Zones sensibles.....5.144
5.7.1 Zones sensibles écologiques et biologiques 5.144
5.7.2 Autres zones marines sensibles 5.147
5.7.3 Zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO).....5.147
5.8 La pêche commerciale et autres utilisations.....5.153
5.8.1 Pêches commerciales.....5.153

5.8.1.1 Les pêcheries dans les zones unitaires 4Ss, 4Tf, 4Rd, 4Vn et 3Pn de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest..5.153
5.8.1.2 Principales espèces commerciales de poissons et de mollusques et crustacés 5.165
5.8.1.3 Pêcheries historiques 5.165
5.8.1.4 Pêche sentinelle 5.166
5.8.1.5 Données des relevés effectués par des navires de recherche..5.173
5.8.1.6 Pêches autochtones 5.190
5.8.2 Autres utilisations.....5.192
5.8.2.1 Pêches récréatives 5.192
5.8.2.2 Aquaculture 5.194
5.8.2.3 La chasse au phoque 5.196
5.8.2.4 La chasse d'oiseau 5.197
5.8.2.5 Industrie pétrolière.....5.197
5.8.2.6 Les militaires emploient 5.198
5.8.2.7 Trafic maritime.....5.198
5.8.2.8 Tourisme et activités récréatives 5.200

6.0 MÉTHODES D'ÉVALUATION DES EFFETS ENVIRONNEMENTAUX 6.1
6.1 Vue d'ensemble 6.1
6.2 Portée des enjeux et sélection des composantes valorisées de l'écosystème 6.1
6.3 Organisation de l'évaluation des effets environnementaux 6.4
6.3.1 Limites 6.4
6.3.2 Conditions existantes..... 6.7
6.3.3 Interactions potentielles et connaissances existantes 6.7
6.3.4 Atténuation 6.7
6.3.5 Critères pertinents d'évaluation des effets environnementaux résiduels ... 6.8
6.3.6 Évaluation des effets environnementaux 6.8
6.3.7 Évènements accidentels 6.11
6.3.8 Évaluation des effets environnementaux cumulatifs.....6.11
6.3.9 Résumé de l'évaluation des effets environnementaux résiduels 6.12
6.3.10 Programme de suivi et de surveillance 6.13

7.0 ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX 7.1

7.1 Survol des interactions et impacts potentiels du projet 7.2

7.1.1 Présence de la plateforme de forage 7.2

7.1.2 Boues et déblais de forage 7.4

7.1.2.1 Boues de forage à base d'eau 7.8

7.1.2.2 Biodisponibilité et accessibilité 7.12

7.1.2.3 Toxicité des boues de forage à base d'eau 7.16

7.1.2.4 Études sur le terrain 7.18

7.1.2.5 Boues de forage à base de pétrole synthétique 7.19

7.1.3 Rejets courants 7.27

7.1.4 Navires de ravitaillement 7.28

7.1.5 Sources sonores sous-marines associées au forage d'exploration 7.29

7.1.5.1 Sons associés aux sondages sur le site du puits, au profilage sismique vertical (PSV) et au forage 7.29

7.1.5.2 Sons associés aux navires de soutien 7.33

7.1.5.3 Effets biologiques 7.34

7.1.6 Émissions atmosphériques 7.57

7.1.7 Abandon et suspension du puits 7.57

7.2 Espèces en péril 7.58

7.2.1 Critères d'évaluation des effets environnementaux résiduels 7.59

7.2.2 Évaluation des impacts 7.59

7.2.2.1 Présence de la plateforme de forage 7.59

7.2.2.2 Boues et déblais de forage 7.61

7.2.2.3 Rejets courants 7.62

7.2.2.4 Navires d'approvisionnement 7.63

7.2.2.5 Bruits générés par les forages et profils sismiques verticaux 7.65

7.2.2.6 Émissions atmosphériques 7.67

7.2.2.7 Abandon et suspension du puits 7.68

7.2.3 Mesures d'atténuation 7.68

7.2.4 Effets environnementaux résiduels 7.68

7.3 Écosystème marin 7.70

7.3.1 Critères d'évaluation des effets environnementaux résiduels 7.70

7.3.2 Évaluation des impacts 7.71
7.3.2.1 Présence d'une plateforme 7.71
7.3.2.2 Boues et déblais de forage 7.72
7.3.2.3 Rejets courants 7.72
7.3.2.4 Navires de soutien 7.73
7.3.2.5 Bruits générés par les forages et profils sismiques verticaux 7.73
7.3.2.6 Émissions atmosphériques 7.73
7.3.2.7 Abandon et suspension du puits 7.73
7.3.3 Mesures d'atténuation 7.73
7.3.4 Effets environnementaux résiduels 7.74
7.4 Poissons de mer, mollusques et crustacés et habitat marin 7.75
7.4.1 Critères d'évaluation des effets environnementaux résiduels 7.75
7.4.2 Évaluation des impacts 7.76
7.4.2.1 Présence d'une plateforme 7.76
7.4.2.2 Boues et déblais de forage 7.76
7.4.2.3 Rejets courants 7.79
7.4.2.4 Navires de soutien 7.79
7.4.2.5 Bruits générés par les forages et profils sismiques verticaux (PSV) 7.79
7.4.2.6 Émissions atmosphériques 7.80
7.4.2.7 Abandon et suspension du puits 7.80
7.4.3 Mesures d'atténuation 7.80
7.4.4 Effets environnementaux résiduels 7.81
7.5 Oiseaux marins 7.82
7.5.1 Critères d'évaluation des effets environnementaux résiduels 7.83
7.5.2 Évaluation des effets 7.84
7.5.2.1 Présence d'une plateforme 7.84
7.5.2.2 Boues et déblais de forage 7.84
7.5.2.3 Rejets courants 7.85
7.5.2.4 Navires de soutien 7.85
7.5.2.5 Bruits produits par les forages et profils sismiques verticaux 7.86
7.5.2.6 Émissions atmosphériques 7.86

7.5.2.7 Abandon et suspension du puits....7.87
7.5.3 Mesures d'atténuation....7.87
7.5.4 Effets environnementaux résiduels....7.87
7.6 Mammifères marins et tortues de mer....7.89
7.6.1 Critères d'évaluation des effets environnementaux résiduels....7.89
7.6.2 Évaluation des impacts....7.90
7.6.2.1 Présence d'une plateforme....7.90
7.6.2.2 Boues et déblais de forage....7.90
7.6.2.3 Rejets courants....7.90
7.6.2.4 Navires d'approvisionnement....7.91
7.6.2.5 Bruits générés par les forages et profils sismiques verticaux....7.92
7.6.2.6 Émissions atmosphériques....7.93
7.6.2.7 Abandon et suspension du puits....7.93
7.6.3 Mesures d'atténuation....7.93
7.6.4 Effets environnementaux résiduels....7.94
7.7 Zones sensibles....7.95
7.7.1 Critères d'évaluation des effets environnementaux résiduels....7.96
7.7.2 Évaluation des impacts....7.96
7.7.2.1 Présence d'une plateforme....7.96
7.7.2.2 Boues et déblais de forage....7.96
7.7.2.3 Rejets courants....7.97
7.7.2.4 Navires de soutien....7.97
7.7.2.5 Bruits générés par les forages et profils sismiques verticaux....7.97
7.7.2.6 Émissions atmosphériques....7.98
7.7.2.7 Abandon et suspension du puits....7.98
7.7.3 Mesures d'atténuation....7.98
7.7.4 Effet environnemental résiduel....7.99
7.8 Pêche commerciale et autres utilisateurs....7.100
7.8.1 Critères d'évaluation des impacts environnementaux résiduels....7.101
7.8.1.1 Pêches commerciales....7.101
7.8.1.2 Autres usagers....7.101
7.8.2 Évaluation des effets....7.102

7.8.2.1 Présence de la plateforme de forage 7.102
7.8.2.2 Boues et déblais de forage 7.103
7.8.2.3 Rejets courants 7.103
7.8.2.4 Navires de ravitaillement 7.103
7.8.2.5 Bruits produits par le forage et profils sismiques verticaux 7.104
7.8.2.6 Émissions atmosphériques 7.105
7.8.2.7 Abandon et suspension du puits 7.105
7.8.3 Mesures d'atténuation 7.106
7.8.3.1 Pêches commerciales 7.106
7.8.3.2 Autres utilisateurs 7.107
7.8.4 Impacts environnementaux résiduels 7.107

8.0 ÉVÈNEMENTS ACCIDENTELS 8.1
8.1 Planification des puits de secours 8.1
8.2 Capuchon de puits et système de confinement 8.2
8.3 Technologies d'intervention en cas de déversement 8.2
8.4 Probabilités de déversement 8.4
8.4.1 Dossier général de pollution par les hydrocarbures de l'industrie de l'exploitation pétrolière et gazière 8.4
8.4.2 Déversements larges historiques causés par des éruptions de puits de pétrole au large des côtes 8.5
8.4.3 Probabilités de déversements en fonction des statistiques historiques 8.6
8.4.4 Tendances des fréquences d'éruptions 8.7
8.4.5 Fréquences d'éruptions calculées pour le projet Old Harry 8.7
8.4.6 Éruptions causées par le forage d'exploration impliquant principalement du gaz 8.8
8.4.7 Fréquences d'éruptions calculées pour le projet Old Harry 8.9
8.4.8 Petits déversements sans éruptions 8.9
8.4.9 Fréquences calculées pour le projet Old Harry 8.11
8.4.9.1 Très petits déversements (moins de 1 baril) 8.11
8.4.9.2 Petits déversements (1 à 50 barils) 8.12
8.4.9.3 Déversements moyens (50 à 999 barils) 8.12
8.4.10 Sommaire des fréquences des déversements 8.12

8.4.11 Déversements de boues de forage à base de pétrole synthétique 8.13
8.5 Déversements près des côtes 8.13
8.6 Déversements de boues entières 8.16
8.7 Évaluation des effets environnementaux 8.17
8.7.1 Espèces en péril 8.18
8.7.1.1 Espèces de poissons de mer en péril 8.18
8.7.1.2 Espèces d'oiseaux marins en péril 8.19
8.7.1.3 Mammifères marins et tortues de mer en péril.....8.22
8.7.2 Écosystème marin 8.23
8.7.3 Poissons de mer, mollusques et crustacés, et habitat.....8.26
8.7.4 Oiseaux marins.....8.27
8.7.5 Mammifères marins et tortues de mer.....8.29
8.7.6 Zones sensibles.....8.29
8.7.7 Pêche commerciale et autres usagers 8.30
8.8 Résumé 8.31

9.0 ÉVALUATION DES EFFETS ENVIRONNEMENTAUX CUMULATIFS 9.1
9.1 Espèces en péril 9.1
9.2 Écosystème marin 9.2
9.3 Poissons de mer, mollusques et crustacés et habitat..... 9.3
9.4 Oiseaux marins..... 9.4
9.5 Mammifères marins et tortues de mer..... 9.4
9.6 Zones sensibles..... 9.5
9.7 Pêches commerciales et autres usagers 9.6
9.8 Résumé 9.6

10.0 RÉSUMÉ DES EFFETS ENVIRONNEMENTAUX RÉSIDUELS NÉGATIFS 10.1
11.0 PROGRAMME DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE.....11.1
12.0 EFFETS DE L'ENVIRONNEMENT SUR LE PROJET.....12.1
12.1 Effets potentiels de l'environnement physique sur le Projet 12.1
12.2 Effets potentiels de l'environnement biologique sur le Projet 12.3

13.0 GESTION ENVIRONNEMENTALE 13.1

14.0 RÉSUMÉ ET CONCLUSION 14.1

15.0 RÉFÉRENCES 15.1

15.1 Littérature citée 15.1

15.2 Communications personnelles 15.68

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Lignes directrices de projet de forage du prospect de Old Harry - Corridor Resources Inc.

ANNEXE B Tableau des demandes d'information des autorités réglementaires et des réponses

LISTES DES FIGURES

Figure 1.1 Emplacement du PP 1105 et des permis de recherche et d'exploration pétrolière et gazière du Québec PG963 et PG964 couvrant la zone d'exploration du prospect de Old Harry 1.1

Figure 1.2 Zone du projet Old Harry 1.3

Figure 2.1 Emplacement des programmes de reconnaissance séismique et des puits dans le golfe du Saint-Laurent 2.2

Figure 2.2 Semi-submersible ancré et navire de forage à positionnement dynamique 2.11

Figure 2.3 Composantes de la rame de forage illustrant la circulation des boues de forage 2.17

Figure 2.4 Sédimentation des déblais après le forage du trou-guide et du trou pour colonne de tubage, en hiver, vue de 1 km 2.29

Figure 2.5 Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue de 25 km, avec un encart offrant une échelle de 500 m centrée sur le puits 2.31

Figure 2.6 Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue du golf du Saint-Laurent, contours à 200 et à 400 m de profondeur 2.32

Figure 2.7 Concentration en baryte du panache à la fin de la mise en œuvre du modèle, vitesse de sédimentation élevée, scénario hivernal (gauche) et scénario estival (droite) 2.34

Figure 2.8 Diagramme d'équilibre du méthane 2.38

Figure 2.9 Représentation graphique d'une éruption sous-marine 2.38

Figure 2.10 Représentation graphique du comportement d'une éruption à la surface 2.41

Figure 2.11 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de février 2.53

Figure 2.12 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de mai 2.54

Figure 2.13 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois d'août 2.54

Figure 2.14 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de novembre 2.55

Figure 2.15 Superficie maximale balayée par des nappes de surface sur l'océan selon des simulations d'éruptions de surface menées sur 52 ans 2.56

Figure 2.16 Superficie maximale balayée par des nappes de surface sur l'océan selon des simulations d'éruption de surface menées sur 52 ans et en adoptant une approche de modélisation conservatrice 2.56

Figure 2.17 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de février 2.58

Figure 2.18 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de mai 2.59

Figure 2.19 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois d'août 2.59

Figure 2.20 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de novembre 2.60

Figure 2.21 Superficie maximale parcourue par du pétrole dispersé de >0,1 ppm sur l'océan selon des simulations d'éruptions de surface menées sur 52 ans 2.61

Figure 2.22 Superficie maximale parcourue par du pétrole dispersé de >0,1 ppm sur l'océan selon des simulations d'éruptions de surface menées sur 52 ans et en adoptant une approche conservatrice : déversements discontinus sur six heures 2.62

Figure 2.23 Étendue maximale des trajectoires anticipées des panaches de pétrole par rapport à la zone du permis de prospection 1105 ..... 2.62

Figure 4.1 Milieu régional du bassin des Maritimes et site du bassin des Îles-de-la-Madeleine 4.2

Figure 4.2 Milieu de la tectonique des plaques du bassin des Maritimes 4.3

Figure 4.3 Carte d'isopaches de la strate du Paléozoïque supérieur du bassin des Maritimes 4.4

Figure 4.4 Séismicité historique au Canada 4.5

Figure 4.5 Caractéristiques physiques présentes dans le golfe du Saint-Laurent 4.6

Figure 4.6 Principaux géorisques en mer 4.7

Figure 4.7 Mosaïque du sonar par balayage latéral représentant les dépressions coniques à Old Harry 4.11

Figure 4.8 Carte des risques et contraintes relevés dans la zone d'étude de Old Harry 4.14

Figure 4.9 Risques et contraintes relevés sur le site de forage proposé de Old Harry 4.15

Figure 4.10 Caractéristiques physiques présentes dans le golfe du Saint-Laurent 4.19

Figure 4.11 Épaisseur totale des sédiments dans les principaux océans 4.21

Figure 4.12 Glissements sous-marins dans l'ouest et l'est de l'Atlantique Nord et les mers adjacentes 4.22

Figure 4.13 Circulation représentative dans le golfe du Saint-Laurent en été 4.25

Figure 4.14 Courants de surface géostrophiques dans le golfe du Saint-Laurent en août 4.26

Figure 4.15 Profil de profondeur type de température et de salinité observé durant l'été dans le golfe du Saint-Laurent (d'après des données pour 2007-2008) 4.27

Figure 4.16 Courants moyens par rapport à la profondeur de 0 à 20 m pour chaque période de trois mois en 2010. ..... 4.29

Figure 4.17 Courants moyens par rapport à la profondeur de 20 à 100 m pour chaque période de trois mois en 2010 ..... 4.30

Figure 4.18 Courants moyens par rapport à la profondeur de 100 m jusqu'au fond pour chaque période de trois mois en 2010 ..... 4.31

Figure 4.19 Courants de surface dans le golfe du Saint-Laurent (29 septembre 2011 à 8 heures) 4.32

Figure 4.20 Lignes des marées diurnes (K1) et semi-diurnes (M2) calculées à l'aide d'un modèle complexe 4.33

Figure 4.21 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2008.....4.37
Figure 4.22 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2009.....4.37
Figure 4.23 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2010.....4.38
Figure 4.24 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2011.....4.38
Figure 4.25 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er décembre 1997 au 28 février 1998 .....4.39
Figure 4.26 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er mars 1998 au 31 mai 1998 .....4.39
Figure 4.27 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er juin 1998 au 31 août 1998 .....4.40
Figure 4.28 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er septembre 1998 au 30 novembre 1998 .....4.40
Figure 4.29 Analyse régionale des glaces dans le golfe du Saint-Laurent (31 janvier 2011) 4.41
Figure 4.30 Étendue maximale de la banquise en février (1981 à 2010).....4.43
Figure 4.31 Étendue maximale de la banquise en mars (1981 à 2010).....4.44
Figure 4.32 Étendue maximale de la banquise en avril (1981 à 2010) 4.44
Figure 4.33 Année de couverture maximale de glace 4.46
Figure 4.34 Année de couverture minimale de glace 4.46
Figure 4.35 Dates de congélation (1981 à 2001).....4.47
Figure 4.36 Rapport quotidien de l'analyse des glaces (Exemple) 4.48
Figure 4.37 Sources et trajectoires des icebergs dans les eaux de l'Est du Canada 4.49
Figure 4.38 Moyennes des températures de la surface de la mer (2010).....4.54
Figure 4.39 Rose des vents pour septembre, octobre et novembre 1954-2008 .....4.55
Figure 4.40 Rose des vents pour décembre, janvier et février 1954-2008.....4.56
Figure 4.41 Rose des vents pour mars, avril et mai 1954-2008.....4.56
Figure 4.42 Rose des vents pour juin, juillet et août 1954-2008 .....4.57
Figure 5.1 Processus physiques et secteurs de productivité élevée de l'environnement biologique dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent..... 5.2
Figure 5.2 Répartition spatiale des occurrences relatives au loup à tête large dans le Programme des pêches indicatrices de 1995 à 2008 à partir de stations aléatoires stratifiées 5.10
Figure 5.3 Répartition spatiale des occurrences relatives au loup à tête large dans le Programme des pêches indicatrices de 1995 à 2002 à partir de stations fixes 5.11

Figure 5.4 Répartition du loup tacheté dans le golfe du Saint-Laurent, 2004 à 2012..5.12

Figure 5.5 Répartition spatiale des occurrences relatives au loup tacheté dans le Programme des pêches indicatrices de 1995 à 2002 à partir de stations aléatoires stratifiées 5.12

Figure 5.6 Répartition de la morue franche juvénile, 2005 .....5.13

Figure 5.7 Répartition du loup atlantique dans le golfe du Saint-Laurent, 2004 à 2012.....5.14

Figure 5.8 Répartition spatiale des occurrences relatives au loup atlantique dans le Programme des pêches indicatrices de 1995 à 2002 à partir de stations aléatoires stratifiées 5.14

Figure 5.9 Répartition de la morue franche juvénile, 2005 .....5.18

Figure 5.10 Répartition de la morue franche dans le golfe du Saint-Laurent, 2004 à 2012.....5.18

Figure 5.11 Répartition de la raie tachetée dans le golfe du Saint-Laurent, 2004 à 2012.....5.20

Figure 5.12 Répartition du grenadier de roche selon les relevés d'automne des navires scientifiques du MPO-Terre-Neuve, 1995 à 2009 .....5.21

Figure 5.13 Répartition du sébaste atlantique dans le golfe du Saint-Laurent, 2004 à 2012.....5.23

Figure 5.14 Répartition de la plie canadienne juvénile, 2005.....5.25

Figure 5.15 Répartition de la plie canadienne dans le golfe du Saint-Laurent,2004 à 2012.....5.25

Figure 5.16 Répartition de l'aiguillat commun dans le golfe du Saint-Laurent,2004 à 2012.....5.28

Figure 5.17 Répartition des prises de thon rouge dans le golfe du Saint-Laurent et l'Atlantique Ouest.....5.32

Figure 5.18 Aire de distribution actuelle du béluga du Saint-Laurent (adaptée d'après Michaud, 1993).....5.44

Figure 5.19 Répartition des marais salés dans le golfe du Saint-Laurent en lien avec le PP 1105.....5.54

Figure 5.20 Emplacements des captures importantes de plumes de mer dans le golfe du Saint-Laurent par type de chalut 5.57

Figure 5.21 Emplacement des relevés de navires de recherche indiquant la répartition des coraux par type de chalut, dans le golfe du Saint-Laurent, 1990-2009. Les ensembles vides sont indiqués par une croix.....5.58

Figure 5.22 Répartition des éponges (présence et absence) selon les relevés des navires de recherche, de 1990 à 2009, par type de chalut.....5.59

Figure 5.23 Emplacements de captures accessoires importantes d'éponges selon les seuils calculés séparément pour chaque type d'engin. Les données recueillies avec le chalut Western IIA couvrent la période de 2003 à 2009. Les données recueillies avec le chalut Campelen couvrent la période de 2006 à 2009. .....5.60

Figure 5.24 Chlorophylle saisonnière et inter-annuelle en surface pour la région du détroit de Cabot dans le golfe du Saint-Laurent (selon des images satellites SeaWIFS, 1998 à 2008) 5.62

Figure 5.25 Biomasse moyenne de zooplancton (poids frais) et abondance dans la section du PMZA du détroit de Cabot en juin et novembre 2007 .....5.64

Figure 5.26 Emplacement de la vidéographie du plancher océanique et des stations d'échantillonnages benthiques dans le cadre du programme d'étude sur les géorisques (12 au 15 octobre 2010).....5.68

Figure 5.27 Images photographiques subaquatiques du plancher océanique dans une profondeur d'eau d'approximativement 460 à 490 m dans la zone du prospect de Old Harry 5.69

Figure 5.28 Répartition du homard dans le golfe du Saint-Laurent et l'Atlantique Nord-Ouest 5.75

Figure 5.29 Répartition du crabe des neiges dans l'estuaire et dans le nord du golfe du Saint-Laurent.....5.77

Figure 5.30 Répartition du pétoncle géant dans le golfe du Saint-Laurent et l'Atlantique Nord-Ouest 5.79

Figure 5.31 Répartition de la crevette nordique dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent.....5.80

Figure 5.32 Répartition du hareng dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent 5.84

Figure 5.33 Répartition du maquereau bleu dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent 5.85

Figure 5.34 Répartition du capelan le long de la côte ouest de l'Atlantique.....5.86

Figure 5.35 Répartition du flétan dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent, en août.....5.87

Figure 5.36 Répartition du flétan dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent en janvier 5.88

Figure 5.37 Répartition de l'aiglefin dans l'ouest de l'Atlantique 5.89

Figure 5.38 Répartition du flétan noir dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent 5.90

Figure 5.39 Répartition de la Merluche à longues nageoires dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent 5.91

Figure 5.40 Répartition de la baudroie d'Amérique dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent 5.92

Figure 5.41 Répartition de la baudroie d'Amérique dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent 5.93

Figure 5.42 Répartition des jeunes merluches blanches, 2005 ....5.94

Figure 5.43 Répartition de la merluche blanche dans l'estuaire et dans le nord du golfe du Saint-Laurent 5.95

Figure 5.44 Répartition des jeunes plies grises, 2005 ....5.96

Figure 5.45 Répartition de la plie grise dans l'estuaire et dans le nord du golfe du Saint-Laurent....5.96

Figure 5.46 Répartition de jeunes limandes à queue jaune, 2005 ....5.97

Figure 5.47 Répartition de la limande à queue jaune dans le sud du golfe du Saint-Laurent 5.98

Figure 5.48 Activités de relevé saisonnières de l'ECSAS et du PIROP dans le golfe du Saint-Laurent 5.106

Figure 5.49 Répartition saisonnière de tous les oiseaux marins dans le golfe du Saint-Laurent....5.107

Figure 5.50 Abondance mensuelle d'oiseaux marins (mouettes tridactyles) dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105....5.110

Figure 5.51 Abondance mensuelle d'oiseaux marins (grands pingouins) dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105....5.111

Figure 5.52 Abondance mensuelle d'oiseaux marins (fulmars boréaux) dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105 ....5.112

Figure 5.53 Abondance mensuelle d'oiseaux marins (puffins majeurs) dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105....5.113

Figure 5.54 Abondance mensuelle d'oiseaux marins (mergules nains) dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105....5.114

Figure 5.55 Abondance mensuelle d'oiseaux marins (océanites tempêtes) dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105....5.115

Figure 5.56 Abondance mensuelle d'oiseaux marins (fous de Bassan) dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105....5.116

Figure 5.57 Abondance mensuelle de tous les oiseaux marins dans le golfe du Saint-Laurent et à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105 ....5.117

Figure 5.58 Densités (oiseaux/km2) à médiane pondérée (et étendue) par saison et par groupe d'oiseaux marins dans chacune des trois régions océaniques du Canada atlantique 5.118

Figure 5.59 Distribution saisonnière de Mouettes tridactyles dans le golfe du Saint-Laurent 5.119

Figure 5.60 Distribution saisonnière d'océanites dans le golfe du Saint-Laurent 5.120

Figure 5.61 Distribution saisonnière de phalaropes dans le golfe du Saint-Laurent....5.121

Figure 5.62 Distribution saisonnière de goélands dans le golfe du Saint-Laurent....5.122

Figure 5.63 Distribution saisonnière de sternes dans le golfe du Saint-Laurent 5.123

Figure 5.64 Emplacement des colonies d'oiseaux marins dans le voisinage du PP 1101, y compris les Îles-de-la-Madeleine, l'ouest de Terre-Neuve, le sud de Terre-Neuve, l'île du Cap-Breton et la partie sud de l'île d'Anticosti....5.127

Figure 5.65 Régions sensibles situées près du permis de prospection 1105....5.145

Figure 5.66 Zones unitaires de l'Organisation de la pêche dans l'Atlantique Nord-Ouest 5.154

Figure 5.67 Effort de pêche des principales espèces de poisson de fond, 2004 à 2010....5.161

Figure 5.68 Effort de pêche des espèces supplémentaires de poisson de fond, 2004 à 2010....5.162

Figure 5.69 Effort de pêche des espèces pélagiques, 2004 à 2010 ....5.163

Figure 5.70 Effort de pêche des mollusques et crustacés, 2004 à 2010....5.164

Figure 5.71 Répartition des relevés stratifiés aléatoires effectués en juillet 2010 ....5.166

Figure 5.72 Indices de la biomasse chalutable minimaux pour la morue (relevés de pêche sentinelle par engin mobile réalisés aux mois de juillet 1995 à 2010 dans la sous-division 3Pn et les divisions 4RS) 5.168

Figure 5.73 Températures au fond et taux de prise observés (kg/trait standard) pour la morue lors des relevés stratifiés aléatoires de juillet 2010 dans la sous-division 3Pn et les divisions 4RST....5.169

Figure 5.74 Indices de la biomasse chalutable minimaux pour le sébaste (relevés stratifiés aléatoires réalisés aux mois de juillet 1995 à 2010 dans les divisions 4RST) 5.169

Figure 5.75 Températures au fond et taux de prise observés (kg/trait standard) pour le sébaste lors des relevés stratifiés aléatoires de juillet 2010 dans la sous-division 3Pn et les divisions 4RST....5.170

Figure 5.76 Indices de la biomasse chalutable minimaux pour le flétan noir (relevés stratifiés aléatoires réalisés aux mois de juillet 1995 à 2010).....5.171

Figure 5.77 Températures au fond et taux de prise observés (kg/trait standard) pour le flétan noir lors des relevés stratifiés aléatoires de juillet 2010 dans la sous-division 3Pn et les divisions 4RST.....5.171

Figure 5.78 Indices de biomasse chalutable minimaux pour le flétan de l'Atlantique (relevés stratifiés aléatoires réalisés aux mois de juillet 1995 à 2010).....5.172

Figure 5.79 Températures au fond et taux de prise observés (kg/trait standard) pour le flétan de l'Atlantique lors des relevés stratifiés aléatoires de juillet 2010 dans la sous-division 3Pn et les divisions 4RST.....5.173

Figure 5.80 Nombre moyen de captures par trait pour les relevés des mois d'août du MPO et les relevés de pêche sentinelle par engin mobile des mois de juillet.....5.174

Figure 5.81 Emplacements des stations d'échantillonnage pour les relevés de 2009.....5.174

Figure 5.82 Emplacements des prises de loups atlantiques et tachetés réalisées lors des relevés de 2002 à 2009 .....5.175

Figure 5.83 Taux de prise de la morue (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.176

Figure 5.84 Taux de prise de la plie canadienne (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.177

Figure 5.85 Taux de prise du sébaste (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.178

Figure 5.86 Taux de prise du flétan noir (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.179

Figure 5.87 Taux de prise du flétan de l'Atlantique (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.180

Figure 5.88 Taux de prise du hareng (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.181

Figure 5.89 Taux de prise du capelan (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.182

Figure 5.90 Taux de prise de l'aiguillat noir (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.183

Figure 5.91 Taux de prise de la raie épineuse (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009.....5.184

Figure 5.92 Taux de prise de la merluche à longues nageoires (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009 .....5.185

Figure 5.93 Taux de prise de la merluche blanche (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009 ..... 5.186

Figure 5.94 Taux de prise de la plie grise (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009 ..... 5.187

Figure 5.95 Taux de prise de la crevette nordique (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009 ..... 5.188

Figure 5.96 Taux de prise du crabe des neiges (kg/trait) observés lors des relevés de 2002 à 2009 ..... 5.189

Figure 5.97 Emplacement des communautés autochtones dans la région du golfe du Saint-Laurent 5.191

Figure 5.98 Prises de saumon atlantique pour la ZPS 13 et la ZPS 14A de 1996 à 2007 ..... 5.194

Figure 5.99 Répartition des sites d'aquacultures dans le golfe du Saint-Laurent (2003) 5.195

Figure 5.100 Anciens sites contenant des munitions non explosées du MDN et des épaves de navires 5.198

Figure 5.101 Carte de la densité des transects de navires entrants en Atlantique : Cargaisons de pétroliers et de cargos entrants en 2000 ..... 5.199

Figure 6.1 Limites spatiales de l'évaluation environnementale 6.5

Figure 7.1 Circuit de forage d'une plateforme de forage en mer 7.5

Figure 7.2 Séparation des fluides et déblais de forage 7.7

Figure 7.3 Composition d'une boue à base d'eau typique et de ses additifs 7.9

Figure 7.4 Dispersion et devenir de la boue de forage à base d'eau après rejet 7.11

Figure 7.5 Analyse du spectre des fréquences des niveaux de pression acoustique à 175 m d'un appareil de forage semi-submersible 7.32

Figure 7.6 Propagation générale de la pression acoustique dans le milieu marin 7.33

Figure 7.7 Niveaux sonores sous-marins anticipés (1/3 octave) à 1 km pour a) Bateaux et b) Navires 7.34

Figure 7.8 Audiogrammes relatifs aux sons émis sous l'eau pour les mammifères marins 7.45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Puits en mer forés dans le golfe du Saint-Laurent 2.1

Tableau 2.2 Reconstitution des COT et indices d'hydrogène d'origine selon les faciès organiques, COT/IH et IP actuels 2.5

Tableau 2.3 Comparaison des caractéristiques géologiques des bassins des Maritimes et néo-écossais 2.8
Tableau 2.4 Exemple des grandeurs de puits et tubages 2.14
Tableau 2.5 Exemple des composantes de boues de forage et des rejets de forage 2.18
Tableau 2.6 Composition de la ParaDrill-IA 2.19
Tableau 2.7 Facteurs d'émissions gazeuses pour les sources de combustion interne des grands moteurs au diesel fixes 2.23
Tableau 2.8 Émissions quotidiennes de contaminant atmosphérique connexe pour le projet, appareil de forage consommant 100 barils de mazout par jour 2.23
Tableau 2.9 Courants de marée au site de forage tirés du modèle de Webtide 2.25
Tableau 2.10 Courants résiduels au site de forage tirés du modèle de WebDrogue 2.26
Tableau 2.11 Propriétés physiques de la colonne d'eau du site d'élimination 2.26
Tableau 2.12 Répartition des particules de déblais par taille 2.27
Tableau 2.13 Caractérisation de la taille des particules de déblais 2.27
Tableau 2.14 Propriétés des nappes de brut frais et d'hydrocarbures altérés de remplacement de Cohasset 2.42
Tableau 2.15 Paramètres des propriétés du pétrole utilisés dans la modélisation SLROSM 2.42
Tableau 2.16 Débits et volumes utilisés pour la modélisation des déversements 2.43
Tableau 2.17 Température de l'air et de l'eau (moyennes mensuelles et saisonnières) 2.44
Tableau 2.18 Vitesse du vent (moyennes saisonnières) 2.45
Tableau 2.19 Comparaison des équations du devenir et du comportement modélisés des hydrocarbures 2.45
Tableau 2.20 Expressions utilisées afin de relier l'altération et la température aux modifications de la propriété des hydrocarbures dans S.L. Ross Model 2.47
Tableau 2.21 Débits et volumes utilisés pour la modélisation des déversements 2.48
Tableau 2.22 Caractéristiques des déversements discontinus de diesel 2.49
Tableau 2.23 Caractéristiques des éruptions de pétrole brut de surface 2.50
Tableau 2.24 Caractéristiques des éruptions sous-marines 2.51
Tableau 2.25 Durée de vie des nappes et potentiel de contact avec les côtes selon une approche de modélisation conservatrice et raisonnable du pire des scénarios 2.57
Tableau 3.1 Commentaires soulevés durant le programme de consultation 3.6

Tableau 4.1 Déviations minimales, maximales, moyennes et standards de hauteurs des vagues importantes pour chacune des saisons au point de grille 13511 par saison....4.34

Tableau 4.2 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : septembre, octobre et novembre....4.34

Tableau 4.3 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : décembre, janvier et février....4.35

Tableau 4.4 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : mars, avril et mai....4.35

Tableau 4.5 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : juin, juillet et août....4.36

Tableau 4.6 Données sur les températures et les précipitations de 1971 à 2000, Port aux Basques, Terre-Neuve-et-Labrador....4.50

Tableau 4.7 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : septembre, octobre et novembre 1954-2008....4.53

Tableau 4.8 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : décembre, janvier et février 1954-2008....4.54

Tableau 4.9 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : mars, avril et mai 1954-2008....4.55

Tableau 4.10 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : juin, juillet et août 1954-2008....4.55

Tableau 4.11 Données sur la visibilité enregistrées à la station météorologique de Port aux Basques, de 1971 à 2000....4.57

Tableau 5.1 Espèces en péril dans le Golfe (annexe 1 de la LEP).... 5.3

Tableau 5.2 Espèces désignées « en péril » par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada pouvant se retrouver dans le Golfe.... 5.5

Tableau 5.3 Abondance moyenne du zooplancton dans la section du PMZA du détroit de Cabot, 2000 à 2007....5.64

Tableau 5.4 Ichthyoplancton commun dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent....5.66

Tableau 5.5 Analyse granulométrique des échantillons de sédiments provenant des stations d'échantillonnage....5.70

Tableau 5.6 Résumé des analyses chimiques des échantillons de sédiments provenant des stations d'échantillonnage....5.70

Tableau 5.7 Résumé des invertébrés benthiques prélevés aux emplacements des stations 5.72

Tableau 5.8 Sommaire des espèces non en péril qui peuvent se retrouver près du PP 1105 ....5.81

Tableau 5.9 Résumé des périodes de frai et d'éclosion des principales espèces faisant l'objet d'une pêche commerciale avec le potentiel de survenance dans la zone visée par le PP 1105 ....5.100

Tableau 5.10 Oiseaux marins susceptibles d'être présents à proximité de la zone visée par le permis de prospection 1105 et au large de la côte ouest de Terre-Neuve 5.103

Tableau 5.11 Nombre d'oiseaux marins dénombrés dans les colonies situées dans le voisinage du PP 1105, dont les îles de la Madeleine, l'ouest de Terre-Neuve, le sud de Terre-Neuve, l'île du Cap-Breton et la partie sud de l'île d'Anticosti 5.128

Tableau 5.12 Mammifères marins et tortues de mer se trouvant potentiellement dans le secteur du projet ou près de celui-ci 5.134

Tableau 5.13 Mammifères marins et tortues de mer observées à proximité du projet ...5.135

Tableau 5.14 Zones importantes pour la conservation des oiseaux – Oiseaux marins .5.148

Tableau 5.15 Valeur des débarquements de pêcheries pour la zone unitaire 4Ss de l'Organisation de la pêche de l'Atlantique Nord-Ouest, 2004 à 2010 ....5.155

Tableau 5.16 Valeur des débarquements de pêcheries pour la zone unitaire 4Tf de l'Organisation de la pêche de l'Atlantique Nord-Ouest, 2004 à 2010 ....5.156

Tableau 5.17 Valeur des débarquements de pêcheries pour la zone unitaire 4Rd de l'Organisation de la pêche de l'Atlantique Nord-Ouest, 2004 à 2010 ....5.157

Tableau 5.18 Valeur des débarquements de pêcheries pour la zone unitaire 4Vn de l'Organisation de la pêche de l'Atlantique Nord-Ouest, 2004 à 2010 ....5.158

Tableau 5.19 Valeur des débarquements de pêcheries pour la zone unitaire 3Pn de l'Organisation de la pêche de l'Atlantique Nord-Ouest, 2004 à 2010 ....5.159

Tableau 5.20 Prises de morue, de sébaste, de flétan noir et de flétan de l'Atlantique pour les relevés de juillet 1995 à juillet 2010 (3Pn, 4RST) 5.167

Tableau 5.21 Estimation des jours de pêche de tous les pêcheurs à la ligne (résidents et visiteurs) pour Saltwater, Estimation des dépenses par jour et des dépenses totales par année (2005) 5.192

Tableau 5.22 Données sur les prises dans les rivières à saumon pour les zones côtières de l'ouest de Terre-Neuve, 2007 ....5.193

Tableau 5.23 Sites actifs d'aquaculture de mollusques/crustacés et de poissons marins dans le golfe du Saint-Laurent 5.195

Tableau 5.24 Nombre de permis de chasse du phoque délivrés en 2007 pour la région du Golfe 5.196

Tableau 6.1 Limites du projet par composante valorisée de l'écosystème 6.6

Tableau 6.2 Résumé de l'évaluation des effets environnementaux potentiels : CVE 6.9

Tableau 6.3 Résumé des effets environnementaux résiduels : CVE 6.13

Tableau 7.1 Interactions entre les activités courantes du projet et les composantes valorisées de l'écosystème..... 7.1

Tableau 7.2 Catégories fonctionnelles des matériaux utilisés dans la boue à base d'eau, leurs fonctions et exemples de produits chimiques typiques dans chaque catégorie..... 7.8

Tableau 7.3 Concentrations létales moyennes en 96 heures obtenues lors d'essais de toxicité sur les mysidacés.....7.17

Tableau 7.4 Toxicité aiguë de la boue de forage à base de pétrole synthétique sur les mysidacés 7.23

Tableau 7.5 Sources des niveaux sonores en milieu sous-marin.....7.30

Tableau 7.6 Observations des étapes du cycle de vie d'espèces exposées à une activité séismique (distance rapprochée) 7.39

Tableau 7.7 Observations des macroinvertébrés exposés à une activité séismique (distance rapprochée) 7.41

Tableau 7.8 Résumé de l'évaluation des impacts environnementaux potentiels sur les espèces en péril.....7.69

Tableau 7.9 Résumé de l'évaluation des impacts environnementaux potentiels sur l'écosystème marin 7.74

Tableau 7.10 Résumé de l'évaluation des effets environnementaux potentiels sur les poissons marins, les mollusques et crustacés et l'habitat.....7.81

Tableau 7.11 Résumé de l'évaluation des impacts environnementaux potentiels sur les oiseaux marins.....7.88

Tableau 7.12 Résumé de l'évaluation des effets environnementaux potentiels sur les mammifères marins et les tortues de mer.....7.94

Tableau 7.13 Résumé de l'évaluation des impacts environnementaux potentiels sur les zones sensibles 7.99

Tableau 7.14 Résumé de l'évaluation des impacts environnementaux potentiels sur la pêche commerciale et les autres utilisateurs 7.107

Tableau 8.1 Meilleure estimation des décharges annuelles de pétrole par source [de 1990 à 1999] 8.4

Tableau 8.2 Définition des tailles de déversements d'hydrocarbures 8.5

Tableau 8.3 Grands déversements historiques causés par des éruptions de puits de pétrole au large des côtes 8.6

Tableau 8.4 Grandes éruptions liées au forage au large des côtes - Fréquence historique par décennie 8.7

Tableau 8.5 Éruptions et déversements des puits extracôtiers fédéraux des États-Unis, 1980 à 2010 ..... 8.8

Tableau 8.6 Puits d'exploration et de développement et éruptions dans l'est du Canada 8.9

Tableau 8.7 Fréquences des éruptions de forage d'exploration et de développement au cours des années 8.9

Tableau 8.8 Fréquence des déversements entre 1 et 49,9 barils et entre 50 et 999 barils (eaux de Terre-Neuve-et-Labrador, 1997 à 2010) 8.10

Tableau 8.9 Fréquence des déversements entre 1 et 49,9 barils et entre 50 et 999 barils (eaux de Terre-Neuve-et-Labrador, 2000 à 2010) 8.10

Tableau 8.10 Données sur les très petits déversements dans les eaux de Terre-Neuve, 1997 à 2010 ..... 8.11

Tableau 8.11 Quantité d'éruptions et d'autres déversements prévue pour le projet Old Harry (pour un puits) 8.13

Tableau 8.12 Déversements de boues de forage à base de pétrole synthétique, 1997 à 2010 ..... 8.13

Tableau 8.13 Résumé de l'évaluation des effets environnementaux potentiels – événements accidentels 8.31

Tableau 10.1 : Effets environnementaux négatifs résiduels 10.2

Acronymes et unités de mesure

Acronyme	Définition
2-D	Deux dimensions
3-D	Trois dimensions
PMZA	Programme de monitorage de la zone Atlantique
BOP	Obturateur anti-éruption
SPO	Sous le plancher océanique
CAPP	Association canadienne des producteurs pétroliers
LCEE	Loi canadienne sur l'évaluation environnementale
ACEE	Agence canadienne d'évaluation environnementale ;
OCTLHE	Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers
OCNEHE	Office Canada-Nouvelle-Écosse des hydrocarbures extracôtiers
Corridor	Corridor Resources Inc., le promoteur (l'exploitant)
COSEPAC	Comité sur la situation des espèces en péril au Canada
SCF	Service canadien de la faune
MPO	Pêches et Océans Canada
DP	Dynamiquement positionné
ZIEB	Zone d'importance écologique et biologique
ECSAS	Eastern Canadian Seabirds at Sea
PP	Permis de prospection
ZIP	Zone d'interdiction de pêche
FFAW	Fish, Food and Allied Workers
GDM	Golfe du Mexique (É.-U.)
HC	Hydrocarbure
IH	Indice d'hydrogène
SSE	Santé, sécurité et environnement
ZICO	Zone importante pour la conservation des oiseaux
ZEGO	Zone étendue de gestion des océans
MAMKA	Mi'kmaq Alsumk Mowimsikik Koqoey Association
MODU	Unité mobile de forage en mer
AMP	Aire marine protégée
OPANO	Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest
ONE	Office national de l'énergie
NMFS	National Marine Fisheries Service (É.-U.)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (É.-U.)
OBIS	Ocean Biogeographic Information System
OCS	Zone externe du plateau continental (É.-U.)
LDTDZE	Lignes directrices relatives au traitement des déchets dans la zone extracôtière
PIROP	Programme intégré de recherches sur les oiseaux pélagiques
NO	Navire océanographique
LEP	*Loi sur les espèces en péril*
BBPS	Boue de forage à base de pétrole synthétique
EES	Évaluation environnementale stratégique
ZPS	Zone de pêche du saumon
OGSL	Observatoire global du Saint-Laurent
TAC	Total autorisé des captures

COT	Carbone organique total
Le Golfe	Le golfe du Saint-Laurent
CVE	Composante valorisée de l'écosystème
PSV	Profilage sismique vertical
BBE	Boue de forage à base d'eau

Symbole	Unité de mesure
10^2	centaine
10^6	million
°C	degré Celsius
bopd	Nombre de barils de pétrole par jour
cm	centimètre
dB	décibel
g/kg	Gramme par kilogramme
ha	hectare
Hz	Hertz
po^3	Pouce cube
kg	kilogramme
kHz	kilohertz
km	kilomètre
km^2	kilomètre carré
km^3	Kilomètre cube
L	litre
m	mètre
m^2	mètre carré
m^3	mètre cube
m SPO	Mètres sous le plancher océanique
mg/kg	milligramme par kilogramme
mm	millimètre
MT	tonne métrique
lb/po^2	livres par pouce carré
t	tonne métrique

1.0 INTRODUCTION

Corridor Resources Inc. (Corridor) propose de forer un puits d'exploration dans la zone du prospect de Old Harry dans le golfe du Saint-Laurent (Golfe) (Figure 1.1). Le puits d'exploration sera situé dans la zone du permis de prospection (PP) 1105.

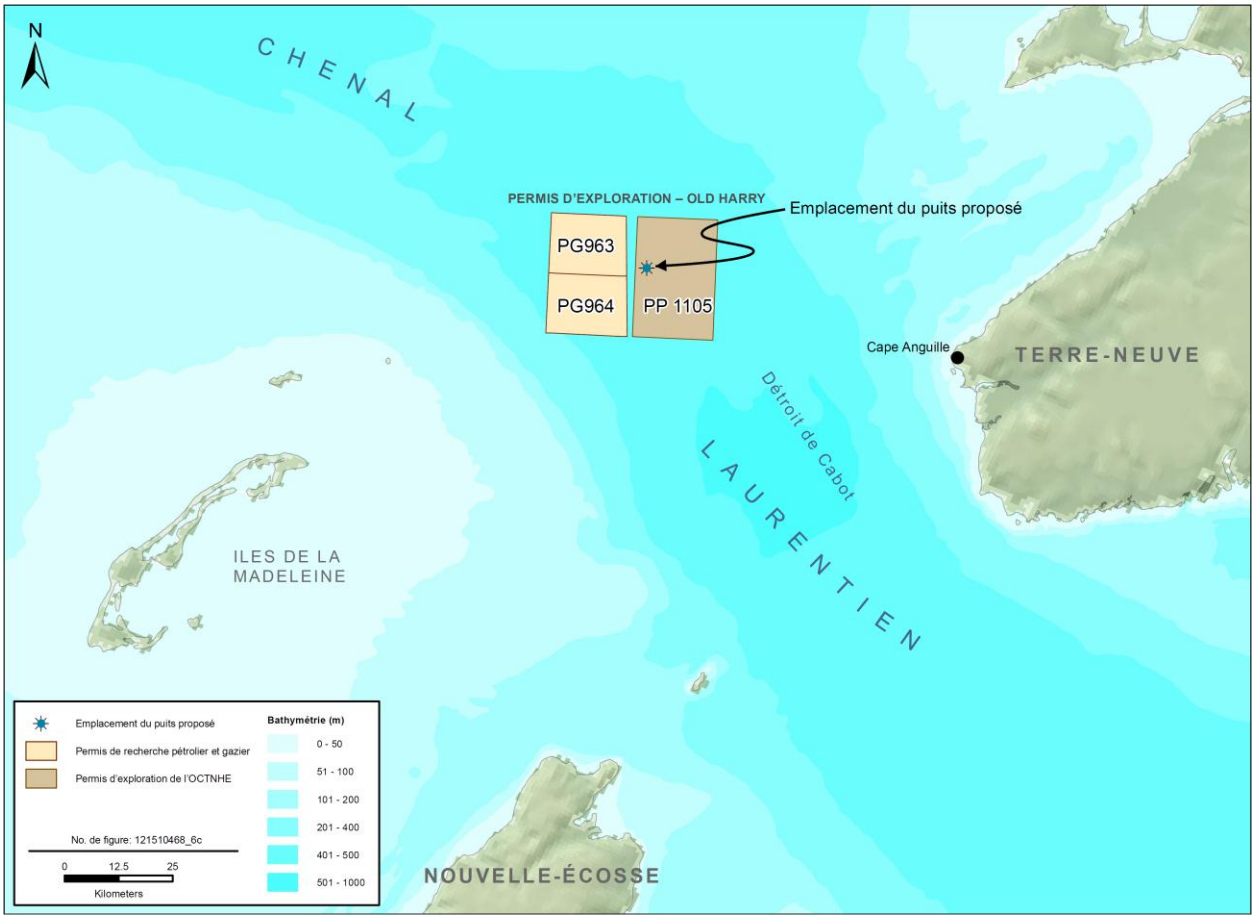


Figure 1.1 Emplacement du PP 1105 et des permis de recherche et d'exploration pétrolière et gazière du Québec PG963 et PG964 couvrant la zone d'exploration du prospect de Old Harry

L'objectif de ce forage de reconnaissance est d'aider Corridor à poursuivre son évaluation du potentiel d'hydrocarbures dans le prospect de Old Harry.

1.1 Survol du projet

Le nom officiel du projet est *Forage d'un puits d'exploration sur le gisement de Old Harry* – PP 1105. En ce qui concerne le PP 1105, la zone prometteuse est située dans la portion du chenal Laurentien du Golfe, à environ 80 km ONO du cap Anguille (Terre-Neuve-et-Labrador).

Corridor prévoit forer un puits d'exploration dans la zone du PP 1105 située à l'extrémité ouest de la zone visée par le permis, tel qu'illustré à la Figure 1.1. En fonction des résultats du sondage de recherche, une décision sera prise relativement aux essais de puits. Le forage et les essais s'effectueront en respectant toutes les lignes directrices et la réglementation de l'Office Canada-Terre-Neuve-et-Labrador des hydrocarbures extracôtiers (OCTLHE).

L'information obtenue à partir de ce puits aidera Corridor dans l'évaluation en cours du potentiel d'hydrocarbures dans le prospect de Old Harry. Cette zone n'ayant jamais été forée, il est donc nécessaire d'y creuser un puits d'exploration pour en déterminer le potentiel d'hydrocarbures. Si ce puits d'exploration produisait des résultats encourageants, un programme de suivi pourrait être élaboré et pourrait inclure d'autres programmes de reconnaissance sismique ou de puits subséquents dans le cadre du PP 1105 ou d'autres permis de recherche de gaz et de pétrole émis à Corridor pour la zone de Old Harry. De telles activités seraient toutefois régies par un processus réglementaire distinct. Cette évaluation environnementale traite de la possibilité de forer un puits d'exploration dans le cadre du PP 1105. On prévoit que le forage d'un tel puits prendrait entre 20 et 50 jours. Selon les exigences géologiques et opérationnelles, un programme d'essai pourrait prendre plusieurs autres semaines de travail sur place.

L'unité mobile de forage en mer (MODU) qui sera utilisée pour le puits d'exploration fait l'objet de discussions ; il pourrait s'agir d'un appareil de forage semi-submersible ou encore d'un navire de forage. La MODU sera appuyée par des navires de soutien et des hélicoptères en mer. Il est également possible que des activités de profilage sismique vertical (PSV) soient entreprises, parallèlement à d'autres activités de forage.

1.2 L'exploitant

Corridor, une société d'énergie de l'est du Canada, est engagée dans l'exploration, le développement, la production de pétrole et de nappe gazière côtière au Nouveau-Brunswick et au Québec, et au large des côtes dans le Golfe. La société a son siège social à Halifax, en Nouvelle-Écosse, et a un bureau de production pour ses opérations du McCully Field à Penobsquis, au Nouveau-Brunswick. Corridor produit du gaz naturel à McCully Field depuis 2003. En juin 2007, à la suite de la construction d'un réseau collecteur, d'une raffinerie de gaz et d'une conduite secondaire de pipeline, McCully Field fut relié à des marchés par le pipeline des Maritimes et du Nord-est. Corridor a mené de façon sécuritaire et avec succès des programmes de reconnaissance séismique sur la zone de Old Harry en 1998 et en 2002, un programme de reconnaissance sismique en mer sur la côte ouest du cap Breton en 2003 et une étude des géorisques dans le cadre du PP 1105 à l'automne 2010.

Les personnes-ressources de l'exploitant dans le cadre de ce projet sont :

Dena Murphy
Directrice de la qualité, de la santé,
de la sécurité et de l'environnement
Ligne directe : (902) 406-8011
Courriel : dmurphy@corridor.ca

Paul Durling
Géophysicien en chef
Ligne directe : (902) 406-8007
Courriel : pdurling@corridor.ca

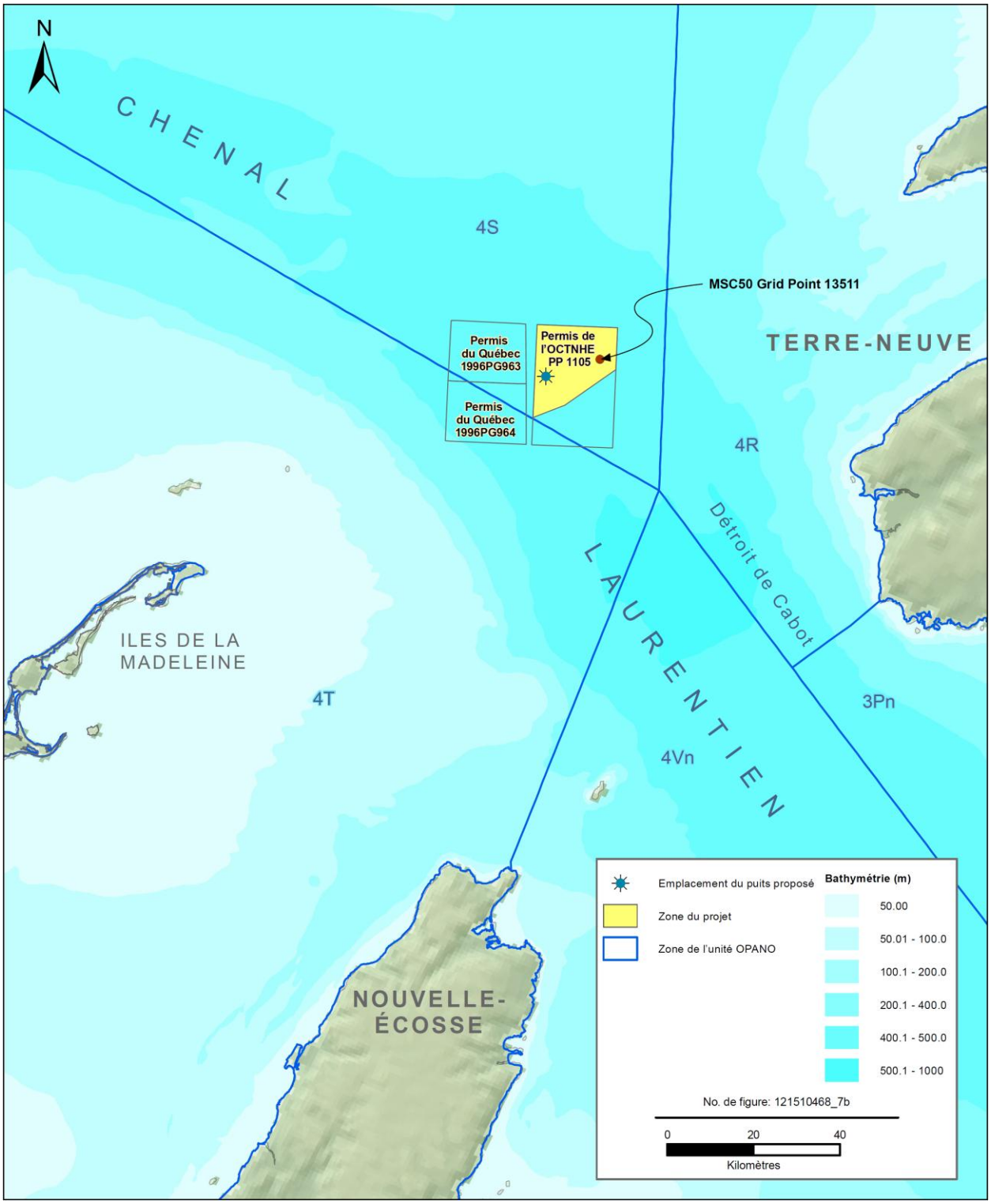


Figure 1.2 Zone du projet Old Harry

1.3 Contexte réglementaire

Le puits d'exploration sera situé dans la zone du PP 1105. Par conséquent, les activités qui y sont associées seront menées dans la juridiction de l'OCTLHE.

Ce projet nécessitera des autorisations en vertu du paragraphe 138(1)b) de la Loi de mise en œuvre de l'Accord atlantique Canada-Terre-Neuve et du paragraphe 134(1)a) de la Canada-Newfoundland and Labrador Atlantic Accord Implementation Newfoundland and Labrador Act, collectivement connues comme les lois de mise en oeuvre. Un examen environnemental préalable conforme à la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE) a été entrepris le 25 février 2011 en collaboration avec l'OCTLHE,autorité responsable et coordonnateur fédéral de l'évaluation environnementale Les autorités fédérales qui participeront à l'évaluation sont notamment Pêches et Océans Canada (MPO), Environnement Canada (EC) et le ministère de la Défense nationale (MDN), qui possèdent tous une connaissance approfondie du Golfe et qui ont fourni commentaires et recommandations dans le cadre de la préparation des lignes directrices (OCTLHE, 2011a) et de la réalisation de l'évaluation environnementale. Le 6 juillet 2012, la LCEE a été abrogée lorsque la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (2012) est entrée en vigueur. Toutefois, à titre de projet désigné en vertu de la LCEE 2012, l'évaluation environnementale du projet de Old Harry se poursuivra en vertu de la LCEE précédente, comme sil elle n'avait pas été abrogée.

Avant l'émission du PP 1105 à Corridor, l'OCTLHE a commandé une évaluation environnementale stratégique (EES) pour la zone extracôtière de l'ouest de Terre-Neuve (LGL 2005a), incluant une modification pour le prospect de Old Harry (LGL 2007), ce qui comprenait des consultations avec les agences fédérales et d'autres parties prenantes. Le 15 août 2011, le ministre fédéral de l'Environnement a exigé une mise à jour de l'EES de 2007 pour le secteur au large de l'ouest de Terre-Neuve. L'OCTLHE a mis sur pied un groupe de travail afin de superviser les processus de mise à jour de l'EES pour le secteur au large de l'ouest de Terre-Neuve, et ce processus est déjà bien engagé. la consultation publique a été entreprise au cours de l'été 2012 et un projet de rapport sur l'EES est attendu aux fins d'examen public Au début de 2013. Ce processus traitera des questions de politique frontalière associées à l'activité d'exploration dans le secteur au large de l'ouest de Terre-Neuve.

Les lois pertinentes aux aspects environnementaux de ce projet comprennent :

- Les lois de mise en oeuvre ;
- La *LCEE* ;
- La *Loi sur les océans* ;
- La *Loi sur les pêches* ;
- La *Loi sur la protection des eaux navigables* ;
- La *Loi sur la marine marchande du Canada* ;
- La *Loi sur les espèces en péril* (LEP) ;
- La *Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs* ;
- La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*.

Aucun financement fédéral n'est accordé pour ce projet. Le PP 1105 est administré par l'OCTLHE.

L'OCTLHE a émis la version finale des lignes directrices (avec consultations auprès d'autres organismes de réglementation et du public) le 17 août 2011 (Annexe A). Une évaluation environnementale préliminaire a été réalisée pour satisfaire aux exigences de la LCEE et celles relatives aux lignes directrices et soumise à l'OCTLHE le 20 décembre 2011. Les autorités fédérales ont transmis leurs commentaires au cours d'un examen réglementaire de l'évaluation environnementale. Ces commentaires ont été pris en compte dans la présente version mise à jour de l'évaluation environnementale. Un tableau dans lequel figurent les commentaires et les réponses est fourni à l'annexe B.

1.4 Fondement du projet

Les objectifs à long terme de l'exploitant sont les suivants :

- mettre sur pied un programme de forage d'exploration sécuritaire et responsable dans la zone du prospect de Old Harry tout en respectant, ou dépassant, toutes les exigences relatives à la diligence raisonnable ;
- entreprendre le forage du puits d'exploration au gisement de Old Harry conformément aux meilleures pratiques de l'industrie et en respectant toutes les exigences réglementaires ainsi que les conditions rattachées aux autorisations ;
- établir et maintenir des relations positives avec les autorités responsables de la réglementation, les autres parties prenantes, les fournisseurs et les entrepreneurs dans le cadre du projet ;
- explorer et découvrir de nouveaux champs de pétrole et de gaz dans l'est du Canada ;
- procurer des avantages à long terme et améliorer l'infrastructure en énergie pour Terre-Neuve-et-Labrador et la région de l'est du Canada ;
- exécuter un programme rentable en investissant progressivement des capitaux et en planifiant soigneusement tous les aspects du projet.

1.5 Organisation du document

L'évaluation environnementale est organisée comme suit :

- La Section 1 présente la nature du projet, son promoteur, le contexte réglementaire s'y rattachant et son fondement ;
- La Section 2 décrit les composantes du projet proposé ;
- La Section 3 présente le détail des consultations ayant été menées dans le cadre du projet proposé ;
- La Section 4 décrit les caractéristiques physiques du milieu environnant (géologie, météorologie, océanographie, glaces et icebergs) ;
- La Section 5 décrit les caractéristiques biologiques du milieu environnant (espèces en péril, faune et habitats halieutiques, oiseaux marins, mammifères marins, tortues de mer, zones spéciales, pêche commerciale et autres utilisateurs) ;
- La Section 6 présente le détail de la méthodologie préconisée pour réaliser l'évaluation des impacts environnementaux ;

- La Section 7 présente l'évaluation des impacts environnementaux ;
- La Section 8 présente l'évaluation des impacts environnementaux associés aux événements imprévus ;
- La Section 9 présente l'évaluation des impacts environnementaux cumulatifs ;
- La Section 10 présente le sommaire des effets résiduels négatifs pour l'environnement ;
- La Section 11 traite des mesures de surveillance et de suivi ;
- La Section 12 décrit les impacts potentiels du projet sur l'environnement ;
- La Section 13 décrit le processus de gestion environnementale du projet ;
- La Section 14 comprend le résumé de l'évaluation environnementale et sa conclusion ;
- La Section 15 comprend la liste des documents consultés dans la préparation de cette évaluation environnementale.

2.0 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Contexte du projet

Le prospect de Old Harry est un vaste pli anticlinal oblique situé dans le nord-est du Golfe dont la longueur et la largeur font respectivement environ 30 km et 12 km.

La partie sud du Golfe repose sur un vaste bassin sédimentaire qui atteint jusqu'à 12 km de profondeur et qui contient tous les éléments nécessaires pour y ériger un réseau pétrolier viable. Le bassin contient des roches-magasins de grès en abondance, du schiste argileux, du charbon et de nombreuses structures géologiques favorisant le piégeage d'hydrocarbures. Selon une évaluation récente des ressources pétrolières réalisée par la Commission Géologique du Canada (Lavoie et coll. 2009), il y aurait environ 39 billions de pieds cubes (Bpc) de gaz naturel et 1,5 billion de barils d'huile en place dans le bassin des Maritimes, qui couvre la portion sud du Golfe et ses régions limitrophes. Ces estimations des ressources pétrolières ont été faites, en partie, par le biais d'une analyse sur les puits forés en mer dans le Golfe.

2.2 Historique de la prospection des gisements d'hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent

Une longue histoire est rattachée à la prospection d'hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent, qui a débuté par le premier puits de reconnaissance en mer foré par la Island Development Company à la baie Hillsborough, à l'Île-du-Prince-Édouard, en 1944. Depuis le forage de ce puits, neuf autres puits en mer ont été forés et des milliers de kilomètres de données sismiques ont été acquis (Tableau 2.1). Les emplacements des puits forés auparavant ainsi que les programmes de reconnaissance sismique exécutés sont présentés à la Figure 2.1. Cette vaste base de données sismiques et les renseignements obtenus sur les puits existants permettent de mettre en relief le potentiel d'exploration dans cette zone.

Tableau 2.1 Puits en mer forés dans le golfe du Saint-Laurent

#	Puits	Année de forage	Profondeur totale (m)
1	Hillsborough N°1	1944	4,479
2	Détroit de Northumberland F-25	1970	3,001
3	Cable Head E-95	1983	3,235
4	Beaton Point F-70	1980	1,734
5	East Point E-49	1974	3,526
6	East Point E-47	1980	2,662
7	Saint-Paul P-91	1983	2,885
8	Cap Rouge F-52	1973	5,059
9	Bradelle L-49	1973	4,421
10	Baie St-Georges A-36	1996	3,240
Voir Figure 2.1.			

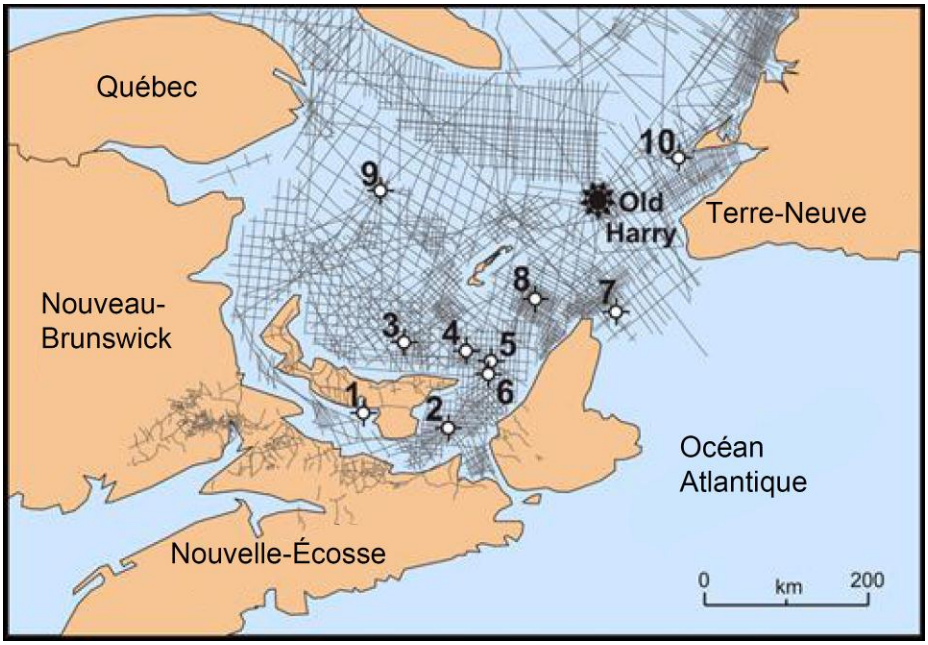


Figure 2.1 Emplacement des programmes de reconnaissance séismique et des puits dans le golfe du Saint-Laurent

La plupart des puits en mer ont été forés dans les années 1970 et au début des années 1980 (Tableau 2.1). À ce moment, les compagnies pétrolières cherchaient des gisements de pétrole, mais les résultats de forage dans le Golfe ont rapporté des indices de la présence de gaz naturel. Sur les puits en mer forés, cinq ne montraient aucune trace d'hydrocarbures, quatre montraient de légères traces de gaz naturel et un puits (pointe est E-49) a été signalé comme une importante découverte de gaz naturel. Un puits de délimitation réalisé par la suite à cet endroit (pointe est E-47) s'est révélé non prometteur ne contenant que de légères traces d'hydrocarbures. Le plus récent forage dans le Golfe a été effectué en 1996 au puits A-36 à la baie St-Georges. Ce puits était situé à environ 10 km au sud-ouest du cap George et à environ 120 km au nord-est du prospect de Old Harry. Ce puits s'est révélé non productif et a par la suite été abandonné.

La partie sud du golfe du Saint-Laurent est extrêmement vaste, s'étendant approximativement de 600 km dans une direction est-ouest et de 300 à 400 km du nord vers le sud. Cependant, seulement dix puits en mer ont été forés dans ce vaste secteur sous-exploré, où l'on retrouve plusieurs structures géologiques, dont le prospect de Old Harry, qui pourraient être riches en hydrocarbures. Les résultats des dix puits en mer indiquent la présence d'un système pétrolier viable dans le prospect de Old Harry. Corridor a précédemment complété un programme étendu de travaux dans le secteur de Old Harry afin de déterminer l'emplacement d'un futur puits d'exploration, incluant la collecte de données sismiques 2-D en 1998 et 2002, de même qu'un sondage des géorisques du site en octobre 2010. Cette structure de Old Harry possède de multiples cibles de forage, présente un fort potentiel d'hydrocarbures, et si les résultats du puits d'exploration sont prometteurs et mènent à des activités subséquentes, ce potentiel pourrait générer des retombées économiques considérables à Terre-Neuve-et-Labrador et dans toute la région de l'est du Canada.

2.3 Type de pétrole susceptible d'être découvert à Old Harry

Dix puits en mer ont été forés à ce jour dans le golfe du Saint-Laurent, une région qui englobe environ 140 000 kilomètres carrés. Des quantités de gaz naturel non commercial ont été rencontrées dans la moitié de ces puits et aucun puits ne contenait plus que des imprégnations de pétrole. Pour réaliser une modélisation de déversement d'hydrocarbures appropriée, il est nécessaire de recueillir un échantillon de pétrole pour en déterminer les principales propriétés (densité, viscosité, point d'écoulement, etc.). Comme aucun échantillon n'est disponible pour identifier les propriétés du pétrole de la structure de Old Harry, il est donc nécessaire de trouver un pétrole de remplacement approprié.

Ce problème d'identification d'un pétrole de remplacement approprié a été réglé en préconisant une approche scientifique séquentielle. Tout d'abord, Corridor a entrepris des études géochimiques pour identifier la nature et l'abondance relative des matières organiques préservées dans les roches mères (de schiste) dans les environs de Old Harry. Une modélisation des systèmes pétroliers a ensuite été réalisée pour simuler les phénomènes d'enfouissement, de maturation, de génération, de migration et de piégeage des hydrocarbures. Enfin, les caractéristiques géologiques de la région de Old Harry ont été comparées à d'autres zones présentant des caractéristiques géologiques similaires pour identifier un substitut convenable pour les hydrocarbures potentiellement piégés à Old Harry.

2.3.1 Études géochimiques des roches mères à Old Harry

Corridor a embauché un consultant en géochimie organique indépendant de renommée mondiale (Dr Prasanta Mukhopadhyay de Global Geoenergy Research), afin d'effectuer des études géochimiques des échantillons de roches provenant des roches mères dans le puits n° 1, le puits de l'Île Brion, qui est le puits situé le plus près du prospect de Old Harry, à environ 70 km à l'ouest. Les études géochimiques comprenaient la mesure du carbone organique total (COT), des indices d'hydrogène (HI) (à partir de la pyrolyse Rock-Eval) et de la maturité thermique (pouvoir réflecteur de la vitrinite et indices d'altération thermique). En outre, une évaluation des faciès organiques réalisée par balayage (examen manuel et classification de la matière organique à l'aide d'un microscope très puissant) a été effectuée pour déterminer le type de matière organique dans les roches mères. Les résultats des analyses géochimiques de 16 échantillons de roches provenant de l'île Brion et sont fournis dans le tableau 2.2.

Les deux premières colonnes du Tableau 2.2 indiquent la profondeur des échantillons de roche étudiés en pieds (colonne 1) ou en mètres (colonne 2). La colonne 3 présente les données de maturation thermique dont les valeurs varient de 0,6 à 1 % Ro, ce qui correspond à un stade de maturation thermique avancé. Ces sédiments se situent entre la principale phase huileuse actuelle (fenêtre à pétrole) et la première phase de génération de condensat (fenêtre à gaz, voir colonne 11). Les colonnes 4 et 5 montrent les principaux résultats géochimiques de carbone organique total (COT), l'indice d'hydrogène (IH) et l'indice de production. Le COT actuel (variant de 0,34 à 1,60, voir colonne 4) et les indices d'hydrogène relevés (variant de 7 à 123 mg HC/g de COT, voir colonne 4) confirmeraient normalement la présence de kérogène de Type III modérément riche en matières organiques, lequel serait susceptible de contenir et générer seulement du gaz naturel. Toutefois, une étude plus approfondie sur le type de faciès organique

déposé dans les roches révèle la présence de matières organiques plus susceptibles de contenir du pétrole.

La colonne 6 du Tableau 2.2 montre les résultats de l'évaluation des faciès organiques réalisée par balayage. La majorité des matières organiques proviennent d'une source terrestre (exinites et vitrinites). La vitrinite est essentiellement la partie ligneuse des plantes et est généralement de loin la matière organique la plus abondante dans les roches mères de provenance terrestre. La vitrinite est une matière organique susceptible de contenir des gaz de type III. Cependant, dans certains dépôts deltaïques comme ceux identifiés à Old Harry, on retrouve beaucoup moins de dépôts de vitrinite et les composants organiques (exinites) des lipides terrestres (susceptibles de contenir du pétrole et des gaz) peuvent être dominants. Ces lipides terrestres sont principalement constitués de suberinite (subérine végétale), résinite (résine de plantes) et cutinite (cuticules végétales) de Type II-III. Ces types de matières organiques génèrent habituellement des hydrocarbures liquides (alcanes normaux de C17 à C27) au cours des premiers stades de maturité thermique (fenêtre à pétrole) et, comme tous les composés organiques, produisent du gaz naturel au cours des stades plus avancés de maturité thermique (fenêtre à gaz).

On retrouve aussi une autre matière organique moins abondante dans les roches mères de l'île Brion, soit la liptinite amorphe de Type II (algues biodégradées). Ensemble, toutes les matières organiques relevées dans le puits de l'île Brion forment un condensat de Type II-III et une roche mère susceptible de contenir et de générer du pétrole et du gaz. Les hydrocarbures C30+ (principalement de la cire et des composants d'asphaltène) que l'on retrouve généralement dans les algues lacustres de type Botryococcus n'ont pas été détectés dans les diverses roches mères du puits de l'île Brion. Ces résultats laissent croire qu'il est fort peu probable que l'on retrouve du pétrole lourd riche en asphaltènes ou en cire à Old Harry en raison de la nature des faciès organiques (nature des lipides terrestres) des principales roches mères et de leur maturité thermique.

Étant donné que ces roches sont vieilles de plus de 250 millions d'années, il est raisonnable de s'attendre à ce qu'au moins certains hydrocarbures aient été générés au fil des temps géologiques. L'indice de production élevé confirme ceci. Les données géochimiques et faciès organiques ont été évalués pour déterminer l'état actuel des roches mères (voir la colonne 7). Les caractéristiques relatives à la fluorescence des roches mères du puits de l'île Brion indiquent que leurs réserves d'hydrocarbures liquides se sont épuisées. En général, jusqu'à 2200 m de profondeur, le potentiel de génération d'hydrocarbures des roches mères du puits de l'île Brion s'est grandement appauvri, alors qu'il est complètement épuisé à des profondeurs plus importantes. À l'origine, ces roches mères appauvries ou épuisées auraient eu un COT et des indices d'hydrogène plus élevés avant tout enfouissement et toute maturation thermique. Par conséquent, les indices d'hydrogène et le COT d'origine ont été recalculés en se fondant sur la maturité, le COT et les indices d'hydrogène et de production actuels et les faciès organiques évalués par balayage. Les valeurs recalculées sont présentées dans la colonne 8 du Tableau 2.2.

Tableau 2.2 Reconstitution des COT et indices d'hydrogène d'origine selon les faciès organiques, COT/IH et IP actuels

Prof. (pi)	Prof. (m)	% Ro (Moy.)	COT/IH Actuels	Ind. Prod.	Évaluation des faciès organiques par balayage (Pourcentages approximatifs; détermination qualitative)	État RM	COT/HI d'origine	Type Kérogène	Maturité	Zones HC
4080	1252	0.58	0.34/18	0.5	Mélanges de 50 % de spores, subérine, algues; 50% vitrinite+inertinite	Appauvr.	1.0/225	II-III	mature	Pétrole
4410	1353	0.64	0.36/33	0.33	Mélanges de 30 % de spores, subérine, algues; 70% vitrinite+inertinite	Appauvr.	0.8/150	II-III	mature	Pétrole
4990	1531	0.71	1.09/91	0.12	Mélanges de 40% subérine+spores; 65% vitrinite+inertinite	Appauvr.	2.0/200	II-III	mature	Pétrole
5060	1552	0.75	1.6/123	0.06	Mélanges de 50% cuticules + algues; 50% vitrinite+inertite	Appauvr.	2.5/250-300	II-III	mature	Pétrole
5500	1687	0.8	1.51/64	0.11	Mélanges de 60% MOA 2+spores+résine+algues; 40% vitrinite+inertinite	Appauvr.	3.0/250-300	II-III	mature	Pétrole
5690	1746	0.86	1.03/67	0.14	50% exinite; 10% algues; 10% MOA 2; 30% vitrinite +inertinite	Appauvr.	2.5/250	II-III	mature	Pétrole
5770	1770	0.86	0.73/45	0.15	20% exinite; 5% algues; 5% MOA 2; 70% vitrinite +inertinite	Appauvr.	2.0/150-200	II-III ou III	mature	Pétrole
5930	1819	0.84	1.54/68	0.1	70% exinite; 5% algues; 5% MOA 2; et 20% vitrinite+inertinite	Appauvr.	2.5/250-300	II-III	mature	Pétrole
6760	2074	0.92	0.95/73	0.12	60% exinite; 5% algues; 5% MOA 2; et 30% vitrinite+inertinite	Appauvr.	2.5/250	II-III	mature	Pétrole
7030	2156	0.93	1.16/42	0.08	40% exinite; 5% algues; 5% MOA 2; 40% vitrinite +inertinite; 10% bitume	Appauvr.	2/150-200	II-III	mature	Pétrole
7300	2240	0.9	0.58/19	0.21	30% exinite; 25% MOA 2; 20% vitrinite +inertinite; 10% bitume	Épuisée	2/200-250	II-III	mature	Pétrole
7410	2273	0.94	0.96/53	0.12	50% exinite; 10% algues+ MOA 2; 30% vitrinite +inertinite; 10% bitume	Épuisée	2/200	II-III	mature	Pétrole
8370	2568	0.94	0.60/13	0.27	30% exinite; 15% MOA 2; 1-5% algues; 44-40% vit+inert; 10% bitume	Épuisée	2/200-250	II-III	mature	Pétrole
8570	2629	1.02	0.55/22	0.37	30% exinite; 25% MOA 2; 5% algues; 30% vit+inert; 10% bitume	Épuisée	2.0/200-250	II-III	mature	condensat
8710	2672	1.05	0.59/19	0.31	20% exinite; 15% MOA 2; 45% vit+inert; et 20% bitume	Épuisée	2.5/250	II-III	mature	condensat
8890	2727	1.08	0.34/7	0.43	30% MOA 2; 10% algues; 10% exinite; 30% vit+inert; 20% bitume	Épuisée	3/250-300	II-III	mature	condensat

% Ro = moyenne du pouvoir réflecteur aléatoire de la vitrinite pour les grains de vitrinite autochtones (maturité principale)
COT: carbone organique total en % de poids; **IH** = indice d'hydrogène en mg HC/g de COT déterminé à partir de la pyrolyse Rock-Eval
Ind. Prod. = indice de production (ratio des courbes S1 et C2) déterminé à partir de la pyrolyse Rock-Eval
Exinite = composés organiques riches en exine incluant des spores (sporinite), de la cutine (cutinite) et de la subérine (subérinite) - divers lipides dérivés de plantes
MOA 2 = variété de matières organiques amorphes de type 2 susceptibles de générer du pétrole
Bitume = bitume solide - produits de transformation d'hydrocarbures secondaires dérivés de macéraux primaires (phytoclastes)
COT/IH d'origine = COT et IH d'origine calculés selon les COT, IH et indices de production (IP) actuels et la reconstitution des faciès organiques

2.3.2 Modélisation des systèmes pétroliers

Les faciès organiques et les données géochimiques ont été intégrés aux données de réflexion sismique 2-D afin de développer une série de modèles de systèmes pétroliers en deux dimensions de la structure de Old Harry. La modélisation des systèmes pétroliers a été achevée en utilisant le logiciel 2D PetroMod (version 11.04 ; correction 3) de IES GmbH (Aix-la-Chapelle, Allemagne – actuellement de Schlumberger Incorporated). Un élément clé de la modélisation des systèmes pétroliers consiste à déterminer de quelle façon la structure de Old Harry s'est développée au fil des temps géologiques. Elle tient compte aussi de renseignements comme la stratigraphie, l'historique de l'enfouissement, les flux de chaleur, les parcours de migration d'hydrocarbures et d'autres informations géologiques et géochimiques. La modélisation intègre les renseignements suivants :

- Lithologie pour chaque unité stratigraphique en se basant sur l'interprétation des données sismiques 2-D du puits de l'île Brion ;
- Chronologie de l'érosion, profondeurs des eaux fossiles et paléotempératures (au fil du temps) selon l'analyse biostratigraphique ;
- Flux de chaleur relativement aux structures du socle ;
- Réservoirs et enveloppes d'hydrocarbures par rapport à la structure ;
- Richesse biologique de divers intervalles de roches mères et potentiel en hydrocarbures (indices d'hydrogène en mg HC/g de COT) ;
- Tendances des flux paléothermiques, profondeurs des eaux fossiles et paléotempératures ;
- Cinétique des multicomposants de roches mères par défaut choisies ;
- Propriétés du pétrole et des gaz de chaque roche mère fondées sur l'analyse de leur composition à l'aide de la pyrochromatographie en phase gazeuse (Mukhopadhyay, 2006) et de la base de données du logiciel 2D PetroMod.

La stratigraphie, la chronologie des dépôts de sédiments, l'érosion, la migration du sel, les plissements et la formation de failles ont été déterminés en se basant sur l'interprétation des profils de réflexion sismique 2-D. Les données sismiques ont été mises en corrélation avec les données du puits de l'île Brion pour faciliter l'identification des roches mères, des réservoirs et des enveloppes de schiste. Les âges stratigraphiques des formations individuelles ont été déterminés à l'aide de la chaîne des temps géologiques établie par Ogg et coll. (2008) et Giles et Utting (2003).

La profondeur et la température des eaux fossiles pour chaque formation ont été incorporées dans les modèles. Les données relatives à la maturité thermique (pouvoir réflecteur de la vitrinite et indices d'altération thermique) indiquent que la majorité des roches mères du puits no 1 de l'Île Brion se situent entre 0,6 et 1 % Ro (colonne 3 du Tableau 2.2). L'étalonnage du modèle de flux de chaleur a été fait à l'aide des points de données mesurés pour le pouvoir réflecteur de la vitrinite et la tendance qu'ils révèlent dans le puits de l'île Brion. L'étalonnage du flux de chaleur a été plus tard corroboré par une mesure de température en fond de puits et par l'analyse par la méthode des traces de fission dans l'apatite de Grist et coll. (1995).

Comme décrit ci-dessus, les indices d'hydrogène et le COT d'origine ont été recalculés en se fondant sur la maturité, le COT et les indices d'hydrogène et de production actuels et les faciès organiques évalués par balayage. Une gamme de valeurs cinétiques a été choisie pour la modélisation en se basant sur le potentiel pétrolifère observé dans les évaluations par balayage des faciès organiques. La cinétique d'une roche mère décrit sa production d'hydrocarbures au cours de la maturation thermique (c'est-à-dire le moment où les hydrocarbures sont générés, le volume produit, et s'il y a production de gaz ou de pétrole). Trois différentes catégories de simulations de modélisation ont été réalisées pour tester l'étendue d'hydrocarbures qui pourraient être générés à Old Harry :

(a) cinétique par défaut (IES Gmbh) des roches mères (kérogène de Type II-III) de Monterrey et du bassin de Taranaki ;

(b) cinétique des roches mères (kérogène de type III) du Delta de la Mahakam et des roches mères (kérogène de Type II-III) du bassin de Taranaki ;

(c) cinétique par défaut (IES Gmbh) des roches mères (kérogène de Type II-III) de Monterrey et du bassin de Taranaki. Cependant, des COT et indices d'hydrogène plus élevés ont été utilisés pour les roches mères dans le bassin profond au sud de la structure de Old Harry.

Les résultats de modélisation indiquent qu'à la présente phase de maturation thermique des roches mères, les hydrocarbures se trouvant dans la structure de Old Harry, s'il y en a, devraient être du pétrole très léger de 45 à 56 degrés API avec une proportion gaz-pétrole modérée. En fait, aucune des simulations de modèle n'a indiqué que la gravité des hydrocarbures serait inférieure à 50 degrés API. Cependant, des huiles de densité API de 45 à 56 degrés ont été incluses afin de garantir une estimation prudente de l'étendue des hydrocarbures anticipés à Old Harry.

Divers paramètres d'entrée dans les modèles ont été modifiés pour chaque simulation afin d'évaluer les changements dans la composition et la saturation des hydrocarbures dans les réservoirs de Old Harry. La densité API des hydrocarbures modélisés dans toutes les simulations se situe systématiquement dans une gamme de valeurs restreinte, ce qui indique que les variations de COT et d'indices d'hydrogènes n'influent pas sur les résultats des modèles. Il est à noter que les augmentations de kérogène de Type III par rapport au kérogène de Type II dans les roches mères modélisées tendent à diminuer la quantité d'hydrocarbures liquides (pétrole) et à augmenter la quantité de gaz, tandis que la densité API des hydrocarbures liquides demeure à l'intérieur de la gamme modélisée.

Il est à noter que la modélisation ne peut confirmer si une structure renferme des hydrocarbures. Il se peut donc qu'une structure ne contienne que de l'eau et pas d'hydrocarbures. Ainsi, si des hydrocarbures migrent plus profondément dans le bassin où les composés organiques se trouvent dans la fenêtre à gaz, la structure pourrait être remplie de gaz naturel.

2.3.3 Identification de pétrole de remplacement

La modélisation des systèmes pétroliers a permis d'identifier la gamme potentielle d'hydrocarbures que peut renfermer Old Harry. L'étape suivante consistait à trouve un pétrole de remplacement approprié pour modéliser les déversements accidentels d'hydrocarbures. Corridor a pris en considération des paramètres géologiques, tels le milieu sédimentaire, le type de matière organique (kérogène) et les types d'hydrocarbures rencontrés dans plusieurs secteurs. Bien que seul du gaz naturel ait été détecté dans les puits en mer forés dans le golfe du Saint-Laurent, du pétrole de forte densité API a été détecté à Gaspé (47° API), à Port-au-Port, à Terre-Neuve-et-Labrador (51° API) et dans le plateau Scotian (47° à 52° API). Comme le démontre le Tableau 2.3, plusieurs caractéristiques géologiques du bassin des Maritimes (zone de Old Harry) s'apparentent aux conditions géologiques du bassin Scotian. Les roches-magasins clastiques des champs du plateau Scotian renferment typiquement des séquences de grès superposées de milieu fluvial ou marin peu profond qui s'apparentent aux roches-magasins de grès de milieu fluvial du prospect de Old Harry. Ce qui est intéressant, c'est que l'on connait le type de kérogène de ces deux bassins : Types II-III et III. De plus, les champs pétrolifères Cohasset/Panuke/Balmoral du plateau Scotian ont produit du pétrole léger (Kidston et coll., 2005). Par conséquent, l'équipe de géoscientifiques de Corridor a choisi le pétrole de Cohasset (bassin Scotian) comme pétrole de remplacement, lequel s'apparente à celui que l'on pourrait retrouver à Old Harry.

Tableau 2.3 Comparaison des caractéristiques géologiques des bassins des Maritimes et néo-écossais

Caractéristiques	Bassin des Maritimes (Old Harry)	Bassin néo-écossais
Cadre tectonique	Zone de rift	Milieu de distension
Milieu sédimentaire	Fluvial-deltaïque	Fluvial-deltaïque à marin peu profond
Type de kérogène	Types II-III et III	Types II, II-III et III
Types d'hydrocarbure	Gaz naturel et pétrole brut léger	Gaz naturel et pétrole brut léger

2.4 Emplacement et profondeur d'eau

La zone du projet proposé est située à environ 80 km ONO du cap Anguille, à Terre-Neuve-et-Labrador (Figure 1.1). La zone du projet est située à l'intérieur d'un élément physiographique qui se nomme chenal Laurentien. Les profondeurs d'eau dans la région sont d'environ 470 m.

2.5 Solutions de rechange au projet et dans le cadre du projet

La solution de rechange à ce Projet est de ne pas forer en vertu du PP 1105. Cependant, Corridor s'est vu accorder les droits d'explorer dans le cadre du PP 1105 par le biais d'un appel d'offres concurrentiel réglementé et cherche à respecter ses engagements dans le cadre de ce processus d'attribution de permis dans la fenêtre de temps encore ouverte.

Les autres solutions de rechange qui seront évaluées dans le cadre de ce projet comprennent l'utilisation d'un appareil de forage semi-submersible ou d'un navire de forage, les deux étant considérés comme des MODU. Dans un environnement difficile, les appareils de forage

autoélévateurs ne sont utilisés que jusqu'à des profondeurs d'eau d'environ 120 m dans les Maritimes et par conséquent, ils ne seront pas pris en considération dans le cadre de ce projet. Des renseignements supplémentaires au sujet des MODU sont fournis à la section 2.8.

Les autres solutions de rechange à envisager comprennent le programme de forage, la sélection et l'utilisation des boues de forage, l'emplacement de la base de ravitaillement, l'emplacement de la base de soutien par hélicoptère, la gestion des déchets et la synchronisation du programme. La sélection des solutions de rechange au programme sera guidée par une prise en compte des facteurs de sécurité, environnementaux, techniques, communautaires et économiques.

2.6 Calendrier du projet

On prévoit qu'on mettra entre 20 et 50 jours pour le forage (comprenant la mobilisation et la démobilisation de l'appareil de forage et les éventuels retards causés par les intempéries), et que cette activité se tiendra quand il n'y aura pas de glace dans le Golfe (au plus tôt en mars et au plus tard en novembre). Si l'on procède à des essais, l'appareil de forage demeurera en place plusieurs semaines additionnelles. La portée temporelle de l'EE sera définie pour une année complète afin d'accorder une certaine flexibilité dans l'éventualité où il y aurait une année sans glace. Corridor a l'intention de forer un puits d'exploration entre 2014 et 2015, dont la synchronisation précise sera fonction de la disponibilité des appareils de forage et des approbations réglementaires. Bien que la description de projet indique un date de début de forage autour du milieu 2012, cette date n'est plus du tout envisageable en raison de plusieurs processus réglementaires très longs appliqués à cette partie d'évaluation environnementale, dont l'implantation et l'annualtion subséquente du processus de révision indépendante par l'OCTLHE.

Toutes les activités en vertu du PP 1105 seront menées conformément aux exigences strictes du secteur pétrolier et gazier en mer près des côtes de Terre-Neuve-et-Labrador.

2.7 Personnel attitré au projet

L'équipe de projet œuvrera dans un bureau situé à Terre-Neuve-et-Labrador. C'est à cet endroit que le projet sera géré et que toute décision s'y rattachant sera prise. Les activités de forage seront gérées par un directeur des opérations de forage qui sera basé dans ce bureau. Le directeur des opérations de forage aura l'autorité nécessaire pour gérer les aspects opérationnels du projet. Les opérations de forage quotidiennes seront dirigées par les superintendants de l'exploitant. En mer, l'équipe de gestion comprendra les superviseurs en chef des forages (un représentant de l'exploitant en mer), les directeurs d'installation et les capitaines des navires de ravitaillement.

2.8 Unités mobiles de forage en mer

Pour cette évaluation environnementale, il est nécessaire de décrire et d'envisager deux types de MODU parce que le choix de l'appareil de forage et de l'entrepreneur n'a toujours pas été fait. Même si les types d'appareils de forage diffèrent, les activités de forage, les essais, les

procédures d'abandon et de suspension des puits et la gestion des rejets et émissions sont similaires.

Il est possible de procéder au forage à partir d'une plateforme semi-submersible ancrée, un appareil de forage semi-submersible dynamiquement positionné (DP) ou un navire de forage DP. Le choix de l'appareil de forage se fera en fonction des caractéristiques du site du puits, de l'environnement physique, de la profondeur d'eau, de la profondeur de forage prévue, de diverses considérations logistiques (p. ex., la disponibilité des appareils de forage, les conditions du marché), de la mobilité nécessaire en fonction de l'état de la glace, de la température (Association canadienne des producteurs pétroliers – CAPP, 2001a), de la sécurité et d'autres critères de performance environnementale.

Un appareil de forage semi-submersible est une MODU où la plateforme de forage est assise sur des pontons d'acier lestés avec de l'eau afin que l'unité puisse flotter, le pont principal étant au-dessus de l'eau et le reste de la plateforme sous la surface de l'eau. Les plateformes semi-submersibles sont remorquées au site de forage et sont ancrées au fond marin (avec une série de 8 à 16 ancres [qui peuvent se rendre jusqu'à 1 ou 2 km de l'appareil de forage]) ou sont maintenues en station à l'aide d'un système à positionnement dynamique (propulseur commandé par ordinateur) dans les eaux plus profondes (300 à 3 000 m). La profondeur d'eau maximale est fonction de bon nombre de critères de conception, y compris la longueur du tube goulotte de l'appareil de forage et la principale tubulure de refoulement allant du bloc obturateur de puits (BOP) sur le fond marin à la MODU et à travers laquelle les boues de forage et les autres matières circulent.

Un navire de forage est une MODU sur lequel un navire maritime a été installé avec une plateforme de forage et l'équipement approprié. Le navire transite au site par ses propres moyens et il est habituellement gardé sur place par le biais d'un système à positionnement dynamique.

Ces MODU (appareil de forage semi-submersible et navire de forage [Figure 2.2]) sont des unités autonomes munies d'équipement de forage, de mâts de charge, d'un puits central, d'une aire de manœuvre d'hélicoptères, d'équipement de sauvetage, d'appareils à incendie et de postes d'équipage. Les opérations et les rejets sont similaires pour les deux unités de forage. Bien qu'il y ait des différences quant à la capacité des deux types d'appareil de forage, leurs installations de traitement, profondeurs de rejets des effluents, volumes et types de flux de déchets sont similaires.

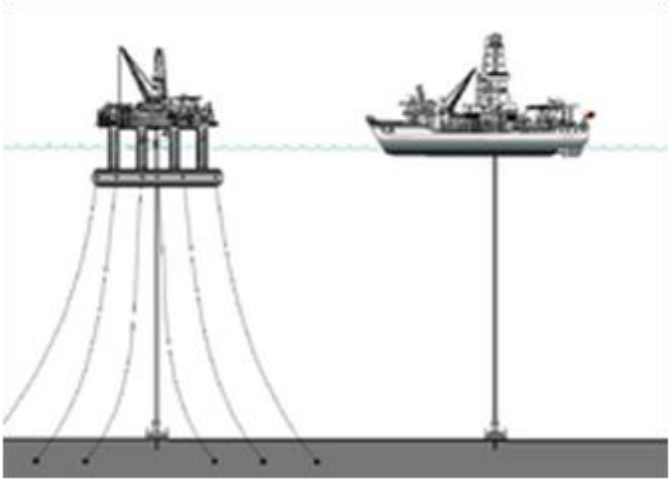


Figure 2.2 Semi-submersible ancré et navire de forage à positionnement dynamique

2.9 Soutien logistique

L'Île de Terre-Neuve constituera le point central des opérations et de soutien dans le cadre du projet. L'exploitant mobilisera un appareil de forage, des navires de ravitaillement, un hélicoptère et les biens et services connexes sur une base d'embauchage direct ou une base contractuelle. Pour appuyer ces ressources, l'exploitant fera l'acquisition d'une base de soutien naval, de services de logistique et de télécommunications, y compris, mais sans nécessairement s'y limiter, des navires de soutien, des services météorologiques et océanographiques et des services d'intervention en cas d'urgence de fournisseurs tiers. Tous ces biens et services seront acquis au moyen d'un appel d'offres concurrentiel officiel, dans la mesure du possible, et seront fournis sur une période de plusieurs mois. L'exploitant s'assurera que tous les entrepreneurs qui ont été retenus satisfont aux exigences rigoureuses en matière de compétences pour travailler dans le secteur pétrolier et gazier en mer à Terre-Neuve-et-Labrador.

2.9.1 Installations sur la base côtière

L'infrastructure et l'activité existantes dans les ports du Canada atlantique permettent à l'industrie pétrolière d'optimiser l'utilisation des navires de soutien et d'autres services de soutien logistique. Les installations en place peuvent desservir de multiples opérations compte tenu des infrastructures existantes (espaces à bureaux, supports pour grues de levage, stockage en vrac et stockage et livraison de produits consomptibles [mazout, eau]). D'autres ports qui ne sont pas utilisés actuellement par l'industrie, mais qui sont probablement plus près du site des opérations, feront l'objet d'enquêtes afin de déterminer s'ils sont en mesure d'offrir des services d'approvisionnement appropriés pour soutenir une base de ravitaillement en mer. Cependant, pour un seul puits d'exploration, la base côtière principale sera probablement à Saint-Jean. Il pourrait y avoir un trafic maritime minime à Port aux Basques ou à Stephenville. La base côtière principale de l'hélicoptère sera à Saint-Jean et il sera possible de faire le plein dans l'ouest de Terre-Neuve (par exemple, à Port aux Basques ou à Stephenville). Des installations d'entreposage seront fournies par des tiers, suivant les besoins, et serviront

principalement pour le stockage de matériel tubulaire et d'équipement de forage pouvant être entreposés à terre.

Les opérations et le service de coordination de tous les services de communications voix-données aéronautiques et maritimes seront fournis à partir d'une installation centrale (par un tiers – entrepreneur). Le principal lien de communications entre l'appareil de forage et le bureau des opérations du projet se fera à partir d'un service par satellite spécialisé. Des systèmes de communications de secours indépendants seront fournis par un système radio HF de grande qualité, disponible par le biais de la station radiophonique côtière.

2.9.2 Navires de soutien

Les navires de ravitaillement et de réserve battront pavillon canadien et leurs équipages seront composés de Canadiens. Ceux-ci seront gérés à partir des bureaux des entrepreneurs dans le Canada atlantique. Les lettres de conformité pour chacun des navires de ravitaillement et de réserve seront disponibles avant le début des travaux. La puissance et la capacité de ces navires seront comparables à ceux présentement en opération dans la zone des Grands Bancs de Terre-Neuve. Les navires de soutien (manipulateur d'ancres) auront une puissance variant de 12 000 à 15 000 HP. Ils permettront de stocker et de livrer les boues de forage, les tubages, l'eau, le ciment, le carburant diesel et d'autres marchandises en vrac. Les navires seront utilisés pour le réapprovisionnement et la réserve de sécurité. On prévoit que deux à trois voyages par navire de soutien seront nécessaires par semaine (par exemple, un navire de réserve et deux navires de ravitaillement). Tout navire de soutien en provenance de Saint-Jean, Terre-Neuve, utilisera le corridor de navigation à travers le chenal Laurentien.

2.9.3 Soutien par hélicoptère

Corridor a pris connaissance du rapport de la Commission d'enquête sur la sécurité des hélicoptères extracôtiers émis par l'honorable Robert Wells, c.r., de même que du rapport d'enquête aéronautique du Bureau de la sécurité des transports du Canada. Le soutien par hélicoptère pourrait être assuré dans le cadre du projet par des appareils de type Sikorsky S-92, Sikorsky S-61 ou Eurocopter AS332. Des arrangements seront aussi pris pour les services de vols auxiliaires, incluant l'équipement et le personnel d'intervention en cas d'urgence, les sites d'atterrissage de remplacement, une station météorologique, le carburant aviation, les vêtements pour le transport des passagers en hélicoptère, un terminal pour l'entretien des appareils, l'embarquement et le débarquement de passagers et un service de surveillance des vols. Les contrats pour le soutien par hélicoptère seront accordés à des compagnies ayant été accréditées pour le travail en mer. L'entrepreneur responsable de la prestation de services par hélicoptère fournira également tous les services de vols auxiliaires pour la recherche et le sauvetage, l'équipement et le personnel d'intervention en cas d'urgence, des sites d'atterrissage de remplacement complets avec station météorologique, le carburant aviation, les vêtements pour le transport des passagers en hélicoptère et un terminal pour l'entretien des appareils et l'embarquement et le débarquement de passagers situé dans le Canada atlantique. Plusieurs héliports existants feront l'objet d'une enquête, et les héliports privilégiés seront très probablement situés à Saint-Jean. Le ravitaillement se ferait peut-être sur des sites situés dans l'ouest de Terre-Neuve (par exemple, à Port aux Basques ou à Stephenville). Un soutien par

hélicoptère d'environ trois voyages par semaine sera requis pour transporter le personnel et l'équipement et les approvisionnements légers.

2.10 Activités liées au projet

Un contrat sera accordé à une MODU pour le forage d'un puits d'exploration dans la zone du PP 1105. La MODU sera ravitaillée et soutenue par des navires opérant à partir d'une base côtière où l'on pourra stocker les équipements requis pour le forage, y compris les boues de forage, les tubages, l'eau, le ciment, le carburant diesel et d'autres marchandises en vrac.

La conception du puits est en cours d'élaboration et certains renseignements préliminaires sur la conception sont fournis à la section 2.10.2. Les profondeurs de fixation des tubages et la taille du puits seront déterminées selon les critères de conception du puits et les exigences s'y rattachant.

Par suite de l'achèvement du puits d'exploration, l'abandon et la suspension du puits seront planifiés conformément aux dernières *Lignes directrices sur le forage et la production de pétrole* (OCTLHE et OCNEHE 2011) et au *Règlement sur le forage et la production relatifs aux hydrocarbures dans la zone extracôtière de Terre-Neuve* (DORS/2009-316) en vertu de la *Loi de mise en œuvre de l'Accord atlantique Canada-Terre-Neuve*.

2.10.1 Composantes du projet

Le projet comprendra les activités liées au programme de forage du puits d'exploration indiqué par le PP 1105. Ces activités comprennent la mobilisation d'une MODU, de même que le forage, l'évaluation et l'éventuel abandon ou suspension du puits. L'évaluation du puits pourrait se dérouler sur plusieurs étapes et pourrait comprendre une diagraphie par câble, un profil sismique vertical (PSV) et des essais ultérieurs.

2.10.2 Forage d'exploration

Les cibles des gisements potentiels de la structure de Old Harry sont situées entre 850 et 2000 m sous le plancher océanique. Le puits serait amorcé avec un trou d'interconnexion foré ou creusé par lançage jusqu'à ce qu'il atteigne une profondeur typique de l'ordre de 90 m sous le plancher océanique (SPO). Une fois le tube conducteur cimenté, un trou en surface serait probablement foré sans tube goulotte à une profondeur d'environ 300 à 600 m SPO et serait cimenté au plancher océanique. La structure de la tête de puits à haute pression serait installée sur cette rangée de tuyaux, facilitant ainsi l'installation des BOP sous-marins. Ces deux rangées de tuyaux en acier fourniraient le support de structure pour le reste du forage, de même que l'intégrité de pression requise pour atteindre les cibles désirées. Les boues de forage utilisées à partir de ce point seront maintenues en circuit fermé, toutes les boues retournées à l'unité de forage par le biais des BOP et du tube goulotte qui relie l'appareil de forage aux BOP.

Le puits intermédiaire serait alors percé pour atteindre les cibles juste au-dessus du réservoir supérieur et le tubage de puits serait alors installé. La section finale serait percée à la profondeur totale du puits et constituerait ainsi sa section principale. Une série d'évaluation serait ensuite réalisée afin de recueillir des données qui permettraient de confirmer la présence

d'une importante quantité d'hydrocarbures. Si les cibles des gisements présentent des traces d'hydrocarbures, une rangée de tubage de puits ou une colonne de tubage pour la production finale serait installée afin de permettre la réalisation d'essais subséquents ou la production à partir du puits de forage. Si le puits est jugé non satisfaisant, il sera probablement abandonné sans l'installation de la rangée finale de tubage / la colonne de tubage perdue et le trou non tubé abandonné en utilisant les bouchons de ciment appropriés conformément aux *Lignes directrices sur le forage et la production* (OCTLHE et OCNEHE 2011).

Le Tableau 2.4 illustre un exemple de grandeur de puits et de profil de tubage pour le puits de Old Harry. Cette conception sera finalisée au fur et à mesure que les travaux techniques du projet progresseront.

Tableau 2.4 Exemple des grandeurs de puits et tubages

Section du puits	Grandeur du puits (mm)	Taille du tubage (mm)	Profondeur de pose en puits (m SPO)	Type de boues de forage	Retour des boues de forage
Conducteur	914	762	90	Eau de mer	Plancher océanique
Surface	660	508	300 à 600	Eau de mer avec dragues flottantes	Plancher océanique
Intermédiaire	444 à 311	340 à 245	800 à 1 200	BBPS	Appareil de forage
Principale / Production	311 à 216	245 à 178 (colonne de tubage perdue)	2 000 à 2 200	BBPS	Appareil de forage

2.10.3 Profilage sismique vertical

Le profilage sismique vertical (PSV) peut être réalisé dans le cadre des activités d'exploration à l'aide d'un bulleur à air sur un navire de soutien. Le bulleur à air est similaire à celui utilisé dans le cadre de relevés sismiques 2-D ou 3-D, mais il est habituellement plus petit et déployé dans une petite zone pour une durée de temps limitée (plusieurs jours). Une demande pour mener des activités de PSV peut être incluse à une demande de forage de puits. Pour toutes les études géophysiques, l'exploitant respectera les lignes directrices du *Programme géophysique, géologique, environnemental et géotechnique* de l'OCTLHE (2012).

2.10.4 Essais de puits

Un programme d'acquisition des données relatives au puits sera soumis à l'OCTLHE suivant l'approbation du forage du puits au moins 21 jours avant la date prévue pour le battage au câble. Outre la déclaration d'une découverte importante, tout programme d'essai hydraulique du puits nécessitera sa propre approbation. L'exploitant inclura dans le programme d'acquisition des données ses intentions quant à la réalisation des essais. Cependant, la décision de procéder à des essais de puits, de l'abandonner ou de le suspendre ne sera prise qu'une fois le creusage du puits terminé à sa profondeur totale et l'évaluation géologique initiale complétée. La décision de faire des essais sur le puits est fonction de la qualité, de la quantité et du contenu des formations d'hydrocarbures présentes. Si des essais de puits sont requis,

l'exploitant pourrait suspendre le puits et retourner sur le site à une date ultérieure avec tout l'équipement nécessaire.

Durant les opérations typiques d'essai de puits, les outils d'essai et perforateurs de tubage sont insérés dans le trou tubé. D'autres outils sont installés sur les BOP sous-marins afin de s'assurer que le contrôle du puits est maintenu en tout temps. Une fois que le puits est foré, on laisse remonter les boues du réservoir dans la colonne d'essai du puits de forage (colonne de tubage ou tige de forage) jusqu'au pont ou jusqu'à l'appareil de forage. Sur le pont de l'appareil de forage, une installation temporaire d'essai hydraulique sera aménagée afin de traiter le débit des boues provenant du puits de forage de façon contrôlée. Il est possible que ces boues contiennent des hydrocarbures (pétrole et gaz) et/ou de l'eau de formation. Les hydrocarbures sont mesurés et séparés de l'eau produite à l'aide d'une trousse de contrôle. Les hydrocarbures et les petites quantités d'eau produites sont chauffés à l'aide de brûleurs à haute efficacité afin de brûler les hydrocarbures et minimiser les émissions. Si de l'eau de formation est produite, elle sera soit traitée avant son rejet dans l'océan ou transportée vers le rivage pour élimination, conformément aux *Lignes directrices relatives au traitement des déchets dans la zone extracôtière* (LDTDZE) (Office national de l'énergie, ONE et coll., 2010). Une fois les essais complétés, la colonne d'essai est ensuite retirée du puits. Selon les résultats d'essais obtenus, le puits peut être suspendu ou abandonné conformément au *Règlement sur le forage et la production relatifs aux hydrocarbures dans la zone extracôtière de Terre-Neuve* (DORS/2009-316). Tout puits suspendu sera laissé dans un état garantissant que les hydrocarbures ne pourront s'en échapper jusqu'à ce qu'il soit rouvert ultérieurement aux fins d'essais additionnels ou pour une production à long terme.

2.10.5 Abandon et suspension du puits

Selon l'information préliminaire obtenue au cours du forage, il est possible que le puits d'exploration soit suspendu pour être rouvert ultérieurement. Le puits de forage sera alors cimenté mécaniquement en dessous du plancher océanique à l'aide de bouchons de ciment conformément aux *Lignes directrices sur le forage et la production* (OCTLHE et OCNEHE 2011). Un bouchon approprié sera installé afin de protéger le raccord de la tête de puits pour une éventuelle réutilisation.

La tête d'un puits en mer abandonné peut être retirée ou dans certains cas, laissée en place suivant l'approbation des autorités compétentes. Si on la retire, la tête de puits et son équipement connexe doivent être coupés à au moins 1 m SPO. Cette opération est habituellement effectuée à l'aide des couteaux mécaniques de l'appareil de forage. Toutefois, il y a des cas qui nécessitent une coupe sous l'eau à l'aide de charges explosives creuses. On utilise cette option seulement dans les cas où le retrait mécanique a échoué. Tout exploitant doit obtenir l'autorisation de l'OCTLHE avant d'utiliser des charges explosives creuses. Si l'obtention d'une approbation permet de laisser une tête de puits en place, plusieurs facteurs doivent être pris en considération, comme l'occurrence et le type de pêche dans la zone, de même que la profondeur d'eau à l'endroit où se trouve la tête de puits.

2.11 Traitement des déchets et émissions atmosphériques

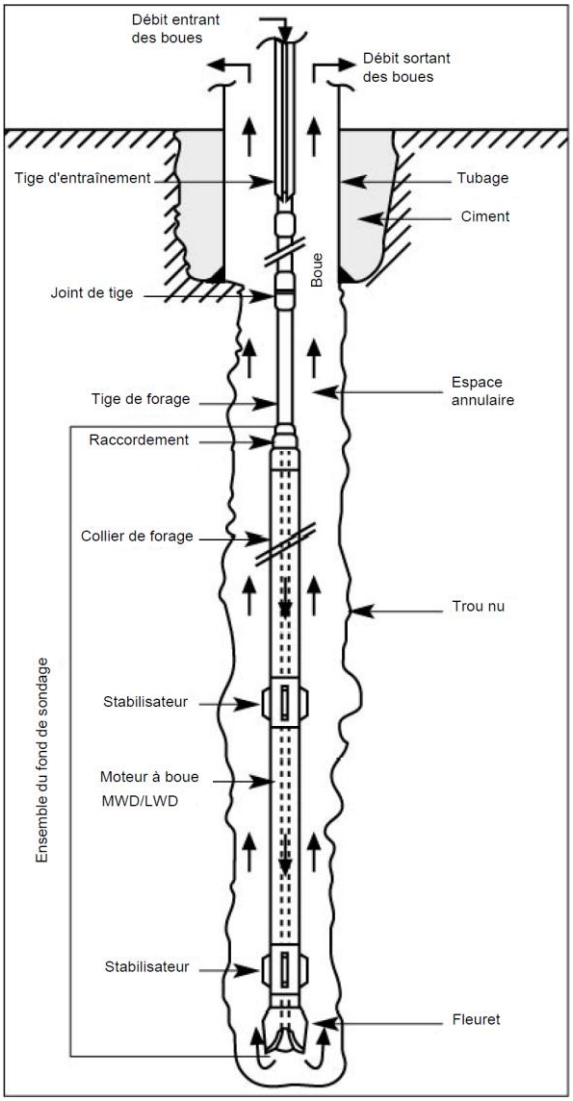
Tous les rejets provenant de l'appareil de forage seront gérés conformément aux LDTDZE. D'autres exigences peuvent être incluses aux autorisations individuelles de l'OCTLHE. Les sections suivantes présentent le détail des rejets liés aux opérations de forage d'exploration, comme les boues et les déblais de forage, l'eau produite, les eaux grises et noires, l'eau de ballast, l'eau de cale, le système d'évacuation du pont, les rejets du compartiment machines, le ciment, les liquides des BOP (éthane–1,2-diol / eau) et les rejets atmosphériques.

2.11.1 Boues et déblais de forage

Si cela est techniquement possible, le puits dans le cadre du PP 1105 sera foré à une profondeur nécessitant principalement l'utilisation de boue à base de pétrole synthétique (BBPS), mais la boue à base d'eau (BBE) sera utilisée pour les tubes conducteurs et les trous pour colonne de tubage. Par conséquent, l'évaluation environnementale réalisée dans le cadre du PP 1105 prend en considération l'utilisation des deux types de boue (BBE et BBPS).

Le forage se fait au moyen d'un fleuret rotatif fixé à l'extrémité d'une tige de forage creuse, appelée *rame de forage.* La rotation du fleuret détache de petits fragments (déblais) de la roche de formation et creuse le puits. Les boues de forage circulent dans la tige de forage et sortent par de petits jets ou trous dans le fleuret, emportant ainsi les déblais et lubrifiant le fleuret. La vélocité et la viscosité des boues évacuent les déblais de forage que produit le fleuret, les transportant ainsi à la surface via l'espace annulaire (l'espace entre la rame de forage et les parois du trou) (Figure 2.3 [CAPP 2001a ; Neff 2005]).

Comme le décrit la section 2.10.2, à des intervalles prédéterminés, la tige de forage en acier est cimentée dans le puits de forage (voir la Figure 2.3), fournissant ainsi un conduit qui retourne les boues et les déblais à l'appareil de forage aux fins de traitement. La boue de forage est enlevée des déblais dans une série d'étapes de séparation successives pour laquelle il est possible d'utiliser des agitateurs secoueurs, des hydrocyclones et/ou des décanteuses-centrifugeuses. Les déblais nettoyés sont alors rejetés par-dessus bord au moyen d'une chute à déblais. La boue de forage est récupérée, régénérée et réutilisée, autant que faire se peut. Cependant, il restera une quantité de boue sur les déblais de forage qui sera rejetée. Les déblais de forage rejetés doivent respecter les limites énoncées dans les LDTDZE sur l'élimination des déchets solides de forage (aucune limite pour les déblais de BBE, 6,9 g de boue ou moins /100 g de déblais pour les déblais de BBPS et les rejets déchargés par-dessus bord).



Source : CAPP 2001

Figure 2.3 Composantes de la rame de forage illustrant la circulation des boues de forage

Le volume total de déblais et de boues de forage rejetés sera fonction de la profondeur du puits et des conditions de forage qui prévalent. Le forage de tubes conducteurs et de trous pour colonne de tubage s'effectue habituellement avec de l'eau de mer et une petite quantité de BBE, la boue et les déblais étant rejetés dans le plancher océanique. Pour ce genre de puits, il est prévu que les sections intermédiaires et de production soient forées avec de la BBPS dans un circuit fermé, à l'aide d'un tube goulotte à partir du plancher océanique jusqu'à l'appareil de forage. La BBPS sera recyclée, réutilisée et amenée au rivage pour élimination écologique lorsqu'elle sera usée. Le puits d'exploration devrait être creusé verticalement.

Les boues de forage et les déblais qui respectent les limites de rejets appropriées sont dispersés dans la colonne d'eau et se sédimentent sur le plancher océanique, les déblais et particules plus lourds se déposant près du trou de sonde et les particules fines se dispersant

graduellement en s'éloignant de l'appareil de forage. La dispersion des déblais est irrégulière, et grandement tributaire de la profondeur d'eau et de la direction du courant, de même que de l'intensité des rejets. Les effets environnementaux potentiels associés aux boues de forage et aux déblais ont fait l'objet de plusieurs études (Husky 2000, 2001 ; CAPP 2001a ; Hurley et Ellis 2004) et toutes confirment que le forage exploratoire n'a pas d'effet mesurable sur l'environnement marin (consulter la section 7.1.2 pour obtenir de plus amples renseignements sur les effets environnementaux associés aux boues de forage et aux déblais). Le Tableau 2.5 présente des exemples des composantes de boues de forage et des rejets de forage d'un puits d'exploration.

Tableau 2.5 Exemple des composantes de boues de forage et des rejets de forage

	Unité	Conducteur	Colonnes de forage		
			Surface	Intermédiaire	Principale
Section du puits	mm	914	660	445	311
Système BF		Eau de mer/gel	Eau de mer/gel	BBE	BBE
Profondeur (Voir note)	mètres brt	±90	±320	±850	±2 100
Utilisation du volume	m^3	340	530	765	±600
Lixiviation	%	50%	30%	20%	10%
Produits					
Baryte	MT	150	100	20	20
Bentonite	MT	50	100	-	-
Caustique	kg	250	350	450	350
Agent de perte de fluide	kg	-	-	3 200	1 700
Chlorure de potassium	kg	-	-	87 500	67 500
Inhibiteur de glycol	L	-	-	23 000	18 700
Cendre de soude	kg	250	375	500	375
Additif d'indice de viscosité	kg	-	1 135	3 400	2 835
Biocide	L	-	-	800	800
Agent mouillant	kg	-	-	1 530	1 200
Émulsifiant	L	-	-	15 300	12 000
Chaux	kg	-	-	13 800	10 800
Chlorure de calcium	kg	-	-	41 300	32 400
Huile de base	m^3	-	-	581	456
Déblais de forage	kg	240 000	300 000	257 000	282 000
Volume de déblais	m^3	90	110	95	105

Notes :
1. Information présentée à titre d'exemple de conception potentielle du puits de forage. Conception finale à venir à l'étape de la conception détaillée.
2. Les sections de puits de 914 mm (36 pouces) et 660 mm (26 pouces) seront forées sans tube goulotte. Les rejets seront relâchés près du plancher océanique.
3. La BBE est utilisée pour compléter un puits.
4. La profondeur moyenne de la zone du projet est estimée à 470 m.
5. Les profondeurs sont mesurées sous le plancher océanique puisque la MODU sera définie ultérieurement.

2.11.1.1 Boues de forage à base d'eau

Les BBE sont créées à partir d'eau fraîche ou d'eau hypersaline (eau salée). La phase liquide continue et la phase solide sont généralement composées de baryte, de bentonite ou d'autres argiles, de silicates, de lignite, d'hydroxyde de sodium, de carbonate/bicarbonate, de sodium, de sels minéraux, de surfactants, d'inhibiteurs de corrosion, de lubrifiants et d'autres additifs si des problèmes particuliers surviennent lors du forage (Thomas et coll.,1984 ; GESAMP 1993). Les composants des boues de forage sont filtrés conformément aux *Lignes directrices sur la*

sélection des produits chimiques pour les activités de forage et de production sur les terres domaniales extracôtières (ONE et coll., 2009). La composition d'un exemple de formulation typique de boue est présentée au Tableau 2.5.

2.11.1.2 Boues de forage à base de pétrole synthétique

Les BBPS font référence à une émulsion inverse dont la phase continue est composée d'un ou de deux liquides produits par la réaction d'une charge particulière d'alimentation purifiée plutôt que par des procédés de séparation physique tels que le fractionnement, la distillation et les réactions chimiques mineures. Les fluides à base synthétique (FBS) utilisés dans la préparation des BBPS sont des hydro-insolubles et, par conséquent, les BBPS ne se dispersent pas dans l'eau de la même manière que les BBE (Hurley et Ellis 2004). Le rejet des BBE entières n'est pas permis. Les déblais de BBPS peuvent être rejetés à condition qu'ils n'excèdent pas la moyenne pondérée en fonction du temps de 6,9 g/100 g de pétrole (voir la section 2.4 des LDTDZE). La composition d'un exemple de formulation typique de BBPS est présentée au Tableau 2.5.

Les BBPS couramment utilisées dans la zone des Grands Bancs contiennent de la PureDrill IA-35 comme fluide de base, avec des produits alourdissants, des émulseurs et d'autres additifs. La BBPS PureDrill IA-35 qui est utilisée dans la zone des Grands Bancs est classifiée comme un alcane synthétique d'une grande pureté composé d'isoalcanes et de cycloalcanes (Williams et coll., 2002). La PureDrill IA-35 a fait l'objet d'une évaluation pour laquelle on a utilisé les *Lignes directrices sur la sélection des produits chimiques pour les activités de forage et de production sur les terres domaniales extracôtières* (ONE et coll., 2009). Le fluide a été filtré à partir d'une perspective relative à la santé de l'homme et de l'environnement (Williams et coll., 2002). L'huile de base PureDrill IA-35 est une composante d'un circuit complet de boues appelé ParaDrill qui a été classifié dans le Groupe E par le système de classification du *Offshore Chemical Notification System* (OCNS) utilisé au R.-U. La classification dans le Groupe E est la meilleure cote que l'on puisse obtenir en vertu du système du OCNS et elle est attribuée aux produits chimiques qui ont une toxicité relativement faible ou qui ne sont pas bioaccumulables ou facilement biodégradables. Les composants de la ParaDrill-IA sont présentés au Tableau 2.6 ; une boue similaire sera employée pour le projet.

Tableau 2.6 Composition de la ParaDrill-IA

Composante	But
PureDrill IA-35	Fluide de base
NOVAMULL	Émulsifiant primaire
NOVAMOD L	Modificateur de rhéologie
NOVATHIN L	Fluidifiant
MI-157	Mouillant
HRP	Modificateur de rhéologie
TRUVIS	Viscosité
VERSATROL	Contrôle de la filtration
ECOTROL	Contrôle de la filtration (solution de rechange)
Chaux	Alcalinité

Tableau 2.6 Composition de la ParaDrill-IA

Composante	But
Chlorure de calcium	Salinité
Eau	Phase dispersée
Baryte	Densité
Source : Williams et coll., 2002, dans LGL Limited 2005a.	

2.11.2 Ciment

La partie supérieure d'un puits peut être forée dans les sédiments sans tubage à l'aide d'un procédé auquel on fait référence comme le « battage au câble ». La rame de forage est retirée et une tige de forage (tubage) est insérée et cimentée en place. Pour éviter d'endommager l'équipement souterrain, l'excédent de ciment provenant du tubage conducteur n'est pas réacheminé vers l'appareil de forage, mais il est plutôt rejeté sur le plancher océanique. La quantité actuelle ne peut être estimée que par levé par véhicule téléguidé (VTG) après le rejet. D'autres retours de ciment à partir de la surface, les tubages intermédiaires et de production peuvent être rejetés conformément aux LDTDZE. Les composants du ciment devront également être conformes aux *Lignes directrices sur la sélection des produits chimiques pour les activités de forage et de production sur les terres domaniales extracôtières* (ONE et coll., 2009).

2.11.3 Eau produite

Si l'on découvre des hydrocarbures et que l'on procède à des essais de débits, il est possible que de petites quantités d'eau produite soient rejetées lors du brûlage du gaz à la torche. Si la capacité de brûlage est dépassée, de petites quantités d'eau produite traitée iront versla côte pour leur élimination.

2.11.4 Eaux grises / noires

Habituellement, les unités de forage peuvent accueillir jusqu'à 150 membres du personnel, selon l'appareil de forage. Chaque appareil de forage rejettera environ 50 m^3 d'eaux grises par jour. Les eaux noires ou eaux usées macéreront jusqu'à l'obtention de particules de taille de 6 mm ou moins et rejetées conformément aux LDTDZE. Les quantités d'eaux noires peuvent aller jusqu'à 25 m^3 par jour par appareil de forage.

2.11.5 Rejets du compartiment machines

L'eau de cale (par exemple, là où les machines déversent le pétrole vers le système de collecte) sera recueillie et envoyée vers le rivage pour élimination.

2.11.6 Eau de cale

L'eau de cale sera traitée conformément aux normes des LDTDZE afin que la concentration en pétrole résiduaire dans l'eau de cale n'excède pas 15 mg/L.

2.11.7 Système d'égouttement du pont

Tout système d'égouttement du pont, tel que le niveau du plancher de la table de rotation et le compartiment machines fera l'objet d'un traitement conformément aux LDTDZE afin que la concentration en pétrole résiduaire n'excède pas 15 mg/L.

2.11.8 Eau de ballast

L'eau utilisée pour stabiliser les navires de soutien et les appareils de forage est stockée dans des réservoirs spéciaux et par conséquent, elle ne contient normalement aucun pétrole. Si l'on soupçonne qu'il y a du pétrole dans l'eau de ballast, elle fera l'objet de tests et, si nécessaire, sera traitée conformément aux LDTDZE afin que la concentration en pétrole résiduaire dans l'eau de cale n'excède pas 15 mg/L.

2.11.9 Eau de refroidissement

L'alimentation en électricité sur la plupart des appareils de forage modernes est assurée par de gros moteurs ou des génératrices alimentés au mazout. Ces moteurs sont refroidis à l'aide d'eau circulant par pompage à travers une série d'échangeurs de chaleur. L'eau est alors rejetée par-dessus bord conformément aux LDTDZE. Le reste de l'équipement est refroidi en circuit fermé, dans lequel on peut utiliser du chlore comme désinfectant. L'eau provenant de systèmes fermés sera testée avant d'être rejetée conformément aux LDTDZE. Toute proposition en vue d'un contrôle biologique auxiliaire sera soumise à l'OCTLHE aux fins d'examen. L'EPP décrira le système biocide proposé et sa gestion. Si une forme de biocide (chlore ou autre) est utilisée, elle sera filtrée par le système de gestion des produits chimiques de l'exploitant.

2.11.10 Déchets solides

Tous les déchets et ordures ménagères, y compris les déchets organiques provenant des cuisines, seront conteneurisés et transportés sur la côte afin d'être éliminés dans des sites d'enfouissement approuvés. Les déchets combustibles tels que les chiffons contenant du pétrole et les contenants de peinture seront placés dans des conteneurs pour matières dangereuses et acheminés jusqu'au littoral. L'appareil de forage sera doté d'un programme de recyclage.

Tous les déchets dangereux seront correctement conteneurisés, scellés et étiquetés et l'élimination de ceux-ci sur la côte dans une installation approuvée sera sous la responsabilité d'un préposé certifié à la manutention des déchets. Toutes les installations de gestion des déchets de tiers seront évaluées par l'exploitant afin de s'assurer qu'elles satisfont aux normes de gestion des déchets.

2.11.11 Fluide des blocs obturateurs de puits (BOP)

Pour tous les BOP sous-marins, le fluide utilisé pour les essais (éthane-1,2-diol / eau) est libéré par intervalles. Les produits chimiques potentiellement rejetés en mer seront filtrés conformément aux *Lignes directrices sur la sélection des produits chimiques pour les activités*

de forage et de production sur les terres domaniales extracôtières (ONE et coll., 2009). L'excédent de produits chimiques ou les produits chimiques dans les conteneurs endommagés ne seront pas rejetés dans la mer, mais ils seront plutôt retournés sur la côte à bord d'un navire de soutien. Tous les excédents d'acides ou les acides usés seront neutralisés et rejetés conformément aux normes de l'OCTLHE.

2.11.12 Dispositions diverses

L'EPP de l'exploitant décrira tous les rejets proposés. Les produits chimiques qui seront rejetés dans l'environnement seront filtrés par le système de gestion des produits chimiques de l'exploitant. Aucune substance ne sera rejetée sans avis préalable et approbation du OCTLHE.

2.11.13 Rejets atmosphériques

Les installations d'exploration demeurent généralement en place pour une courte durée (p. ex., entre 20 et 50 jours pour le puits de Old-Harry). Les principales sources de rejets atmosphériques associés aux activités de forage d'exploration de routine comprennent le brûlage de carburant diesel pour la génération d'électricité sur l'appareil de forage et le brûlage à la torche lorsque l'on procède à des essais de puits. Les émissions fugitives sont considérées comme une source négligeable.

Les émissions typiques produites durant un programme de forage d'exploration de 20 à 50 jours satisferaient les critères de qualité de l'air stipulés pour une durée à court terme et pour des emplacements à proximité ou éloignés. Il est peu probable qu'il y ait dépassements des objectifs nationaux en matière de qualité de l'air ambiant.

Les émissions atmosphériques seront déclarées en vertu des lignes directrices et des normes de l'Inventaire national des rejets de polluants. Le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, le sulfure d'hydrogène, les matières particulaires (PM), PM2.5, PM10 et les composés organiques volatils sont des contaminants atmosphériques connexes, dont les émissions doivent être déclarées auprès d'Environnement Canada en vertu de l'Inventaire national des rejets polluants (INRP) au 1er juin de chaque année. Cette déclaration est requise pour les activités de production et le forage de développement, mais les opérations de forage d'exploration sont exemptées de la déclaration à l'INRP.

Les contaminants atmosphériques connexes principaux sont le dioxyde de carbone (CO_2), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NOx) et les matières particulaires. Il est estimé qu'un appareil de forage consomme environ 110 barils de combustible de soute par jour (chaque baril est sensé contenir environ 42 gallons US (159) de mazout). Les assomptions additionnelles concernant les estimations d'émissions incluent : le combustible de soute utilisé comporte une teneur en soufre de 5 000 ppm (ou 0,5 pourcent (typique pour le combustible de soute)) ; et 1 gallon de diesel produit environ 139 000 Btu d'énergie.

L'inventaire des facteurs d'émission AP-42 de l'EPA des É.-U. a été utilisé, procurant des facteurs d'émissions représentatifs pour les contaminants atmosphériques rejetés dans

l'atmosphère par type de source. En général, ces facteurs d'émissions sont réputés être représentatifs des moyennes à long terme pour toutes les installations de la catégorie de source. Pour cette estimation, AP-42, Cinquième édition, Volume 1, Chapitre 3.4 : Grands moteurs au diesel fixes (Large Stationary Diesel) et Tous les moteurs mixtes fixes (All Stationary Dual-fuel Engines) fut utilisé, puisque l'utilisation domestique principale des grands moteurs diesels fixes (plus de 600 chevaux) concerne l'exploration et la production pétrolière et gazière. Tel que stipulé dans cette étude, les pertes par évaporation sont nominales dans les moteurs au diesel en raison de la faible volatilité du mazout diesel ; par conséquent, seules les émissions de contaminant rejetées à travers l'échappement ont été considérées.

Les facteurs d'émissions tel que prescrit par l'AP-42 pour les sources de combustion interne des grands moteurs à diesel fixes sont indiqués au Tableau 2.7.

Tableau 2.7 Facteurs d'émissions gazeuses pour les sources de combustion interne des grands moteurs au diesel fixes

Contaminant atmosphérique	Facteur d'émission (entrée de mazout) (lb/MMBtu)
NO_x	3,2
CO	0,85
SO_x[A]	$1{,}01S_1$
CO_2	165
PM	0,1

[A] En assumant que tout le soufre contenu dans le mazout est converti en SO_2. S_1 = % de soufre dans le mazout. Ainsi, pour cette émission, un contenu en soufre de 0,5%, résulte en un facteur d'émission de 0,505.

Les émissions quotidiennes de contaminants atmosphériques dans le cas de l'hypothèse de 110 barils de mazout par jour ont été évaluées et illustrées au Tableau 2.8. Lorsqu'une analyse formelle n'a pas été effectuée sur les émissions atmosphériques d'un semi-submersible, les émissions résultantes seraient un peu plus élevées en raison de la consommation un peu plus élevée de mazout pour des activités tels le maintien en position. Ces émissions sont comparables aux émissions provenant d'un simple gros navire porte-conteneurs du type qui transite régulièrement dans le secteur. Il y aura peu d'effets sur la santé et la sécurité des travailleurs oeuvrant sur la plateforme de forage.

Tableau 2.8 Émissions quotidiennes de contaminant atmosphérique connexe pour le projet, appareil de forage consommant 100 barils de mazout par jour

Contaminant atmosphérique	Carburant diesel (# bbl/jour)	# gallons US/jour	Énergie produite par jour (MMBtu)	Facteurs d'émission (entrée de mazout) (lb/MMBtu)	Émissions de contaminant atmosphérique (lbs/jour)	Émissions de contaminant atmosphérique (tonnes/jour)
NO_x	110	4 620	642	3,2	2 055	0,93
CO	110	4 620	642	0,85	546	0,25
SO_x*	110	4 620	642	0,505	324	0,15
CO_2	110	4 620	642	165	105 960	48

Tableau 2.8 Émissions quotidiennes de contaminant atmosphérique connexe pour le projet, appareil de forage consommant 100 barils de mazout par jour

Contaminant atmosphérique	Carburant diesel (# bbl/jour)	# gallons US/jour	Énergie produite par jour (MMBtu)	Facteurs d'émission (entrée de mazout) (lb/MMBtu)	Émissions de contaminant atmosphérique (lbs/jour)	Émissions de contaminant atmosphérique (tonnes/jour)
PM	110	4 620	642	0,1	64	0,03
MMBtu = 1 000 000 Btu.						

Il y a amplement de capacité assimilative pour les émissions résultant de ces activités en raison des forts vents moyens sur le site. Étant donné que la plateforme de forage sera située à plus de 50 km de la plus proche communauté côtière, le Projet n'aura aucun impact sur ces communautés. L'appareil de forage correspondrait à moins de 0,2 pour cent des émissions de gaz à effet de serre pour Terre-Neuve-et-Labrador (basé sur les données des émissions de gaz à effet de serre de 2003).

2.12 Éléments d'entrée et de sortie de la modélisation réalisée dans le cadre du projet

Corridor a réalisé une modélisation dans le cadre du projet afin de déterminer l'étendue aréale des éléments suivants :

- Dispersion des déblais de forage ;
- Trajectoires et devenir des hydrocarbures rejetés.

2.12.1 Déblais de forage

Afin d'estimer la sédimentation des déblais de forage, et avant tout, l'épaisseur de ces derniers et leur distance par rapport au site de forage, un modèle numérique tenant compte à la fois de la stratégie proposée pour le forage des sections du puits et des données relatives aux rejets de déblais au fil du temps a été utilisé. La trajectoire subséquente des déblais rejetés (l'advection des particules résultant du courant océanique ambiant) jusqu'à leur sédimentation finale sur le plancher océanique a été prédite au moyen d'un modèle informatique de sédimentation en trois dimensions.

La modélisation de la dispersion des déblais permet uniquement de prédire leur sédimentation initiale sur le plancher océanique, mais pas leur altération, leur érosion ou leur devenir sur une longue période.

2.12.1.1 Données du modèle

Les données du modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique (modèle BBLT) ont été tirées de deux bases de données sur les courants accessibles au public : les champs de vitesse fondés sur les modèles de WebTide (MPO, 2011a) et WebDrogue (MPO, 2011b)

Courants de marée

À l'origine, WebTide est une interface utilisateur conçue pour établir des prévisions des marées (élévation et vitesses) en un endroit particulier (choisi par l'utilisateur). Cet outil s'appuie sur les résultats des études de modélisation effectuées au fil des ans par les scientifiques et le personnel du ministère des Pêches et Océans (MPO). Le modèle d'éléments finis utilisé dans le cadre de cette étude est celui de l'Atlantique du Nord-Ouest décrit par Dupond et coll., en 2002.

Les données sur les marées (élévation et courants) tirées de Tidecor, le programme principal de WebTide, ont été interpolées dans une grille normale afin d'obtenir une série chronologique des champs spatiaux de vitesse des marées.

Afin d'obtenir un cycle représentatif, les données des simulations correspondant à un cycle lunaire complet (30 jours) ont été extraites, puis enregistrées toutes les heures dans une grille couvrant approximativement les coordonnées suivantes : 46,05 à 50,05 de latitude nord et 62,39 à 58,39 de longitude ouest (deux degrés autour du site de forage proposé).

Les vitesses et les directions des courants de marée pour toutes les phases du cycle de marée sont résumées au Tableau 2.9. Les courants circulent dans une direction donnée par rapport au nord géographique.

Tableau 2.9 Courants de marée au site de forage tirés du modèle de Webtide

	Flot en mortes-eaux	Jusant en mortes-eaux	Flot en eaux vives	Jusant en eaux vives	Étale
Courant de marée	0,07 m/s (direction) 320° N	0,08 m/s (direction) 140° N	0,21 m/s (direction) 320° N	0,17 m/s (direction) 140° N	0 m/s
Notes : Les magnitudes sont arrondies à 1 cm/s et la direction est arrondie secteur de 10 degrés le plus proche.					

Champs de courants moyens saisonniers tirés de webdrogue

WebDrogue est une autre interface utilisateur développée par le MPO. Elle offre des résultats de modélisation numérique relatifs à la circulation générale dans la région est du Canada au nord-ouest de l'océan Atlantique. Le domaine utilisé pour cette étude, qui couvre le golf du Saint-Laurent, a été élaboré aux fins du modèle opérationnel du MPO en vue de prédire les courants, la température, la salinité et les champs de glace sur la côte est du Canada (MPO, 2011c).

Les données des champs relatifs aux courants saisonniers à la surface et au fond ont été extraites du maillage du domaine du modèle pour l'hiver, le printemps, l'été et l'automne, puis interpolées sur la même grille que les courants de marée (section 3.1). Dans WebDrogue, la couche du fond marin est définie comme étant « la moyenne sur les 10 mètres au dessus du fond » (MPO, 2011c), et est, par conséquent, représentative de la couche limite benthique. Les courants moyens saisonniers sont résumés au Tableau 2.10

Tableau 2.10 Courants résiduels au site de forage tirés du modèle de WebDrogue

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Surface	0,04 m/s (direction) 130° N	0,04 m/s (direction) 110° N	0,06 m/s (direction) 150° N	0,08 m/s (direction) 160° N
Fond	0,025 m/s (direction) 310° N	0,05 m/s (direction) 300° N	0,05 m/s (direction) 310° N	0,03 m/s (direction) 330° N
Notes : Les magnitudes sont arrondies à 0,01 m/s et la direction est arrondie au secteur de 10 degrés le plus proche				

Stratification

La stratification verticale de la colonne d'eau a été établie à partir des données climatologiques mensuelles de températures et de salinité du MPO pour la région du golf du Saint-Laurent (MPO 2011d) dans la zone prometteuse de Old Harry. La stratification de la densité qui résulte de la stratification des températures et de la salinité est résumée pour chaque saison au Tableau 2.11.

Tableau 2.11 Propriétés physiques de la colonne d'eau du site d'élimination

Profondeur (M)	Densité (kg/m^3)			
	Hiver	Printemps	Été	Automne
0	1025,7	1025,5	1023,6	1024,3
200	1027,9	1028,0	1028,0	1027,8
400	1029,4	1029,4	1029,4	1029,4

Caractérisation des particules de déblais

Le forage du puits (PP 1105) n'offre aucun renseignement sur les différentes tailles des particules de déblais qui permettrait de quantifier la composition des matières minérales en fonction de la profondeur où elles se trouvent.

Globalement, on estime que les déblais et les sédiments du puits se composent à 38 % de grès, à 49 % de schiste et à 13 % de siltite. En tenant compte de nos connaissances limitées et de la taille des déblais que pourrait rejeter le forage, on a supposé que la plupart (environ 75 %) des déblais seront volumineux, soit de 1 à 3 cm, qu'environ 20 feront entre 0,5 et 1 cm, et que ceux qui restent seront inférieurs à 0,5 cm. En ce qui concerne les deux sections supérieures du puits dont les déblais sont rejetés sur le plancher océanique, cette répartition a été appliquée au volume total des déblais in situ, soit 196 m^3. La BBPS sera utilisée pour le forage des deux sections inférieures et le rejet des déblais par l'appareil de forage ; on a adopté une répartition similaire, légèrement améliorée, pour un volume total in situ de 211 m^3. Afin de tenir compte des particules très fines que pourrait générer le forage de ces deux sections du puits, on a ajouté une petite quantité (5 %) des grosses particules aux particules fines (Tableau 2.12). Les déblais de forage rejetés doivent respecter les limites énoncées dans les LDTDZE sur l'élimination des déchets solides de forage (aucune limite pour les déblais de BBE, 6,9 g de boue ou moins /100 g de déblais pour les déblais de BBPS et les rejets déchargés par-dessus bord).

Tableau 2.12 Répartition des particules de déblais par taille

Section du puits	Pourcentage massique mesuré des particules			
	Déblais grossiers	Cailloux	Sable grossier	Particules fines
Scénario 1 : Trou-guide et trou pour colonne de tubage	75	20	5	0
Scénario 2 : Sections principale et intermédiaire	70	20	5	5

On suppose que les déblais se seront subdivisés en tombant dans l'eau. On a considéré, dans ce modèle, que les particules volumineuses, les cailloux et les particules de sable resteraient subdivisés pendant leur sédimentation sur le plancher océanique. On a également supposé que toutes les particules fines se subdiviseraient en flocs d'environ 0,1 mm et se sédimenteraient à une vitesse constante.

Les vitesses de sédimentation des particules, notées w, ont été estimées à partir du diamètre de ces dernières et à l'aide des relations établies par Sleath (1984) :

$$w = 4.2\sqrt{D}, D > 0.0001m \quad (4)$$

$$w = 12x10^4 D^2, D \leq 0.0001m \quad (5)$$

où *w* exprime la vitesse de sédimentation en m/s et *D* le diamètre en mm.

Les résultats obtenus pour les quatre types de particules sont présentés au Tableau 2.13.

Tableau 2.13 Caractérisation de la taille des particules de déblais

	Type de déblais			
	Déblais grossiers	Cailloux	Sable grossier	Particules fines
Diamètre des particules (mm)	20	7	1	0,1
Vitesse de sédimentation des particules (m/s)	0,594	0,351	0,133	0,0012

Courants océaniques

Les données relatives aux champs de courants saisonniers des fonds marins de WebDrogue ont été combinées à celles relatives aux champs de courants des marées afin d'être utilisées dans le modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique. Trente jours d'observation des courants de marée ont été synthétisés pour chaque saison. Ainsi, la vitesse du courant résiduel a été ajoutée aux courants de marée afin d'établir des séries chronologiques distinctes, composites et à jour reflétant les conditions hivernales, printanières, estivales et automnales. Dans les modèles des champs rapprochés, on a supposé que les courants sont semblables à ceux du petit domaine du modèle. Dans le modèle de dispersion des particules en suspension dans la couche limite benthique, on a supposé, pour les champs intermédiaires et lointains, que les courants varient dans le temps et l'espace et tiennent compte des courants régionaux selon les saisons.

Dispersion à long terme des boues de forage rejetées

Étant donné que la baryte (un agent alourdissant) et la bentonite (un minéral argileux) sont les principaux composants des BBE, et que ce sont également des matières préoccupantes pour l'environnement marin (Cranford et Gordon, 1992, Cranford, 1995 et Cranford et coll., 1999), ce sont les deux seuls composants dont on a tenu compte dans cette étude. La baryte et la bentonite ont une densité et une vitesse de sédimentation très différentes.

Les fichiers qui décrivent le rejet des boues ont été créés à l'aide des données et des hypothèses suivantes :

- On a supposé que le programme de forage décrit à la section 2.0 s'est déroulé sans interruption entre le forage et la cimentation des sections du puits. Cela constitue l'un des pires scénarios en matière de rejet de matières dans l'environnement. L'ensemble des rejets a été regroupé et modélisé afin qu'ils s'étalent sur une période de 15 jours alors qu'en réalité, les activités de forage dureront entre 20 et 50 jours.
- On a supposé que les boues étaient rejetées de façon continue et que des matières entraient dans le système toutes les heures.
- Afin d'établir l'intervalle des vitesses de sédimentation, on a retenu deux vitesses aux fins de simulations : 0,1 cm/s et 1 cm/s.

2.12.1.2 Résultats du modèle

Rejet de déblais sur le plancher océanique

On suppose que la profondeur y est uniforme (470 m). Le volume total des déblais de forage rejetés s'élève à 196 m^3. La figure 2.4 illustre la prédiction de la sédimentation des déblais en hiver une fois le trou-guide et les sections supérieures achevées. Des épaisseurs de 1 mm, 1 et 2 cm, 10 et 20 cm, et de 1 et 2 m y sont présentées. On constate très peu de différence entre le printemps, l'été et l'automne, le site de rejet se trouvant à environ 10 m au dessus du plancher océanique.

Les résultats des modèles indiquent que les déblais formeront un dépôt sur environ 30 m à partir du site de forage. L'épaisseur du dépôt sera plus importante aux abords du site de forage et pourrait atteindre environ 4,7 m. Du centre du puits à environ 20 m de celui-ci, on prévoit qu'elle sera d'environ 220 mm en moyenne, et de 1 mm entre 20 et 50 m.

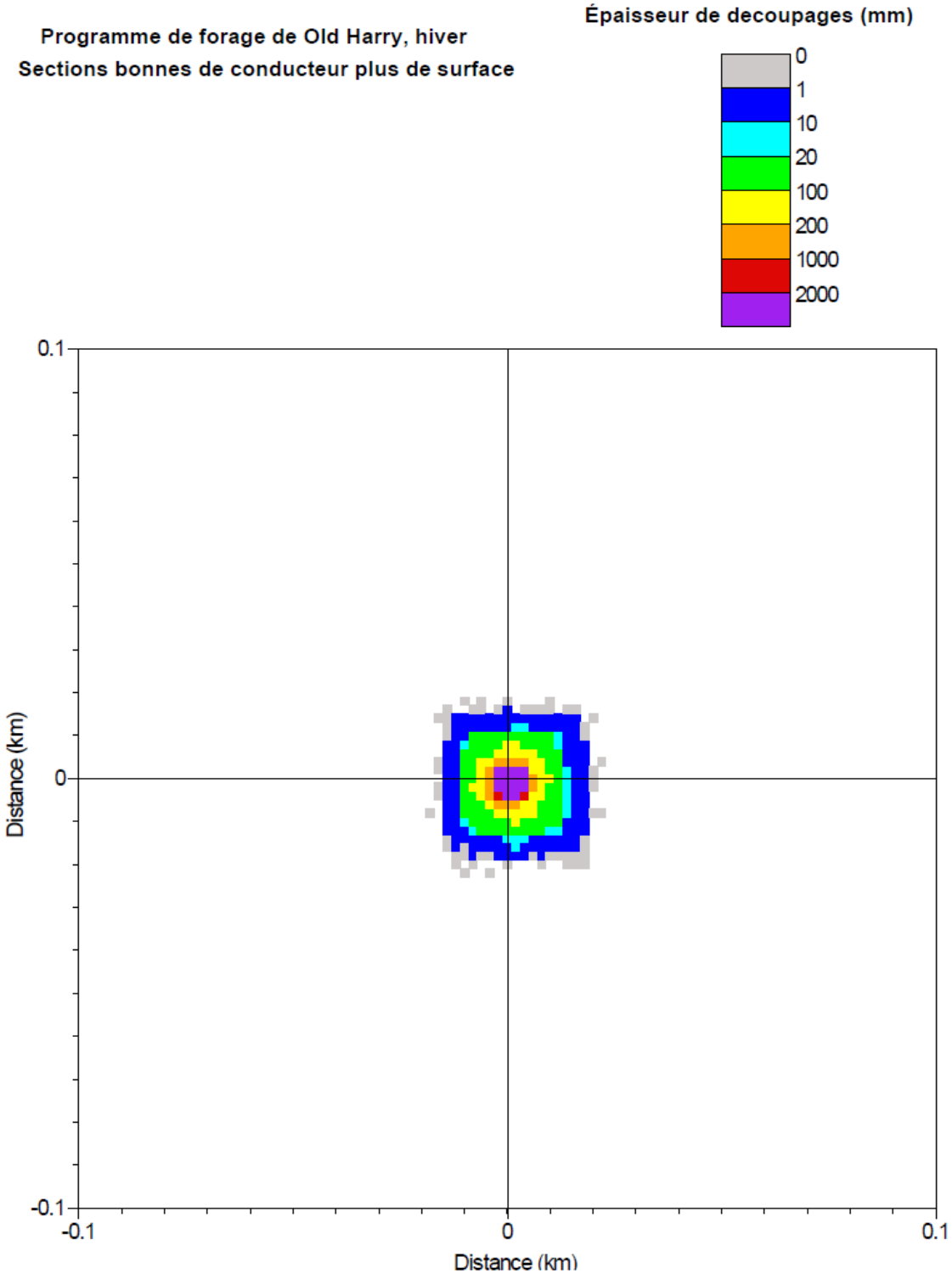


Figure 2.4 Sédimentation des déblais après le forage du trou-guide et du trou pour colonne de tubage, en hiver, vue de 1 km

Rejet des déblais de forgae à la surface

On suppose que la profondeur est uniforme (470 m) pour l'ensemble du modèle. Le volume total des déblais de forage de BBE ou de BBPS rejetés s'élève à 211 m^3. En raison de la chute plus rapide des particules de déblais plus volumineuses et plus lourdes, l'épaisseur du dépôt de déblais est plus importante à proximité du centre du puits et peut atteindre 15 mm. Du centre du puits à environ 100 m de celui-ci, elle pourrait atteindre environ 6 mm, mais sera de 2 mm en moyenne. Entre 100 et 200 m, l'épaisseur du dépôt pourrait atteindre 6 mm, mais oscillera en moyenne entre 0,5 et 1 mm. La Figure 2.5 illustre les modèles de sédimentation des déblais sur un maillage de 25 km x 25 km. L'encart offre une vue plus précise (échelle de 500 m) afin d'observer la sédimentation plus rapide des particules plus volumineuses. La Figure 2.6 présente une observation de la sédimentation dans région du golf du Saint-Laurent. La concentration en huile des déblais est équivaut environ à une ou deux fois l'épaisseur de l'huile en microns (p. ex., si l'épaisseur est égale à 1 000 microns [1 mm], la concentration en huile sera d'environ 1 000 à 2 000 mg/kg). On prévoit qu'à 50 m du point de rejet, la concentration en huile des déblais, calculée pour l'une des cellules du maillage du modèle située aux abords immédiats du puits, sera d'environ trois quarts inférieure à ce qu'elle était au moment du rejet, soit 17 000 mg/kg. Entre 50 et 100 m du site de forage, la concentration en huile chute à 2 400 mg/kg, soit une réduction supplémentaire d'un facteur de sept. Au-delà de 200 m, la concentration en huile des déblais est inférieure ou égale à 44 mg/kg. On prévoit une concentration inférieure ou égale à 3 mg/kg au-delà de 500 m.

Sur le plancher océanique

Les boues en suspension se dilueront tout en remontant sous forme d'un panache turbulent. On considère que des activités de forage engendrent plusieurs nuages de matières d'un volume total de 1 210 m^3. Étant donné que les nuages sont éloignés du puits par les courants ambiants, chacun d'eux se diluera sous l'effet combiné de son impulsion, des courants ambiants plus lents rencontrés, de la turbulence océanique et de la dispersion par cisaillement.

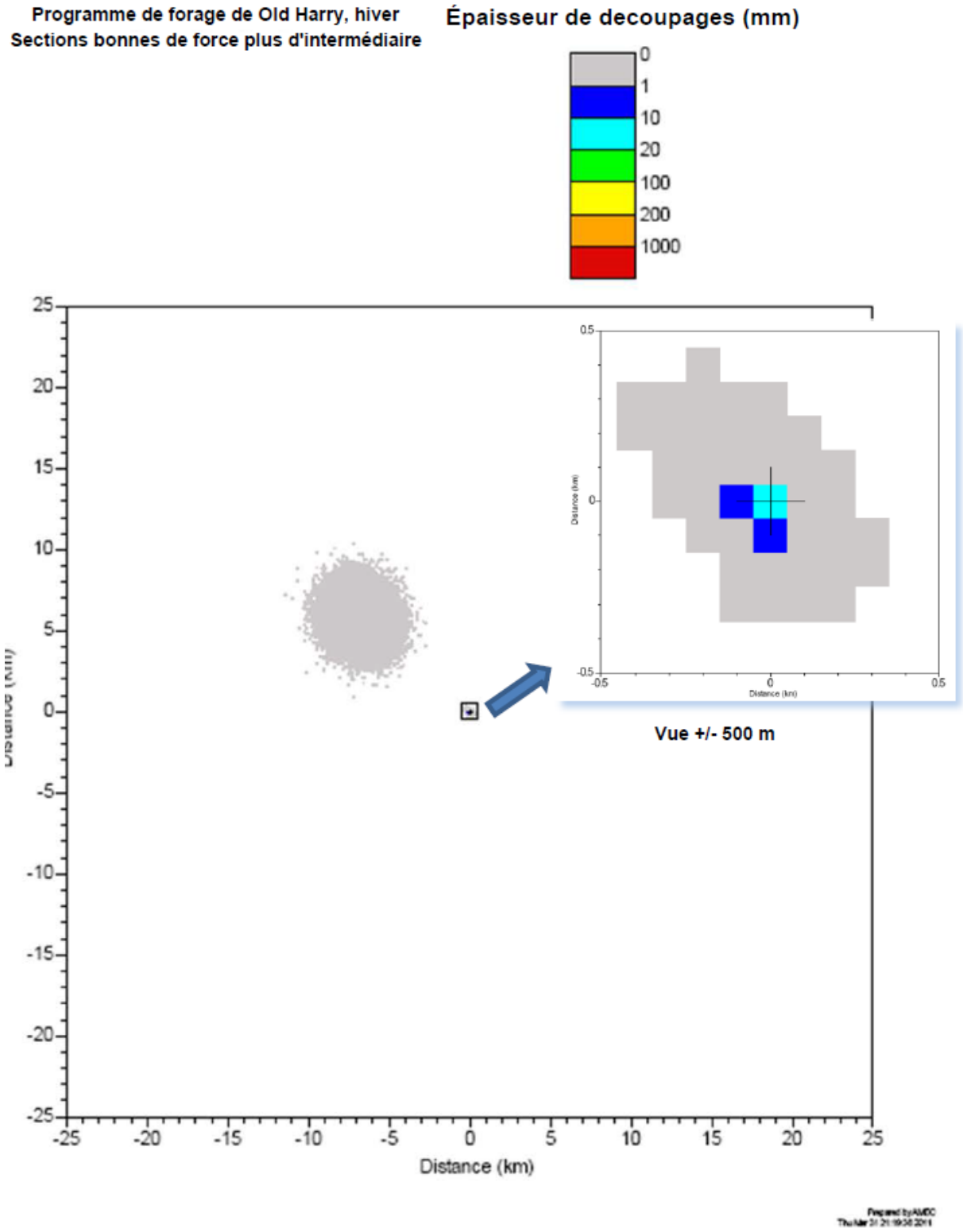


Figure 2.5 Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue de 25 km, avec un encart offrant une échelle de 500 m centrée sur le puits

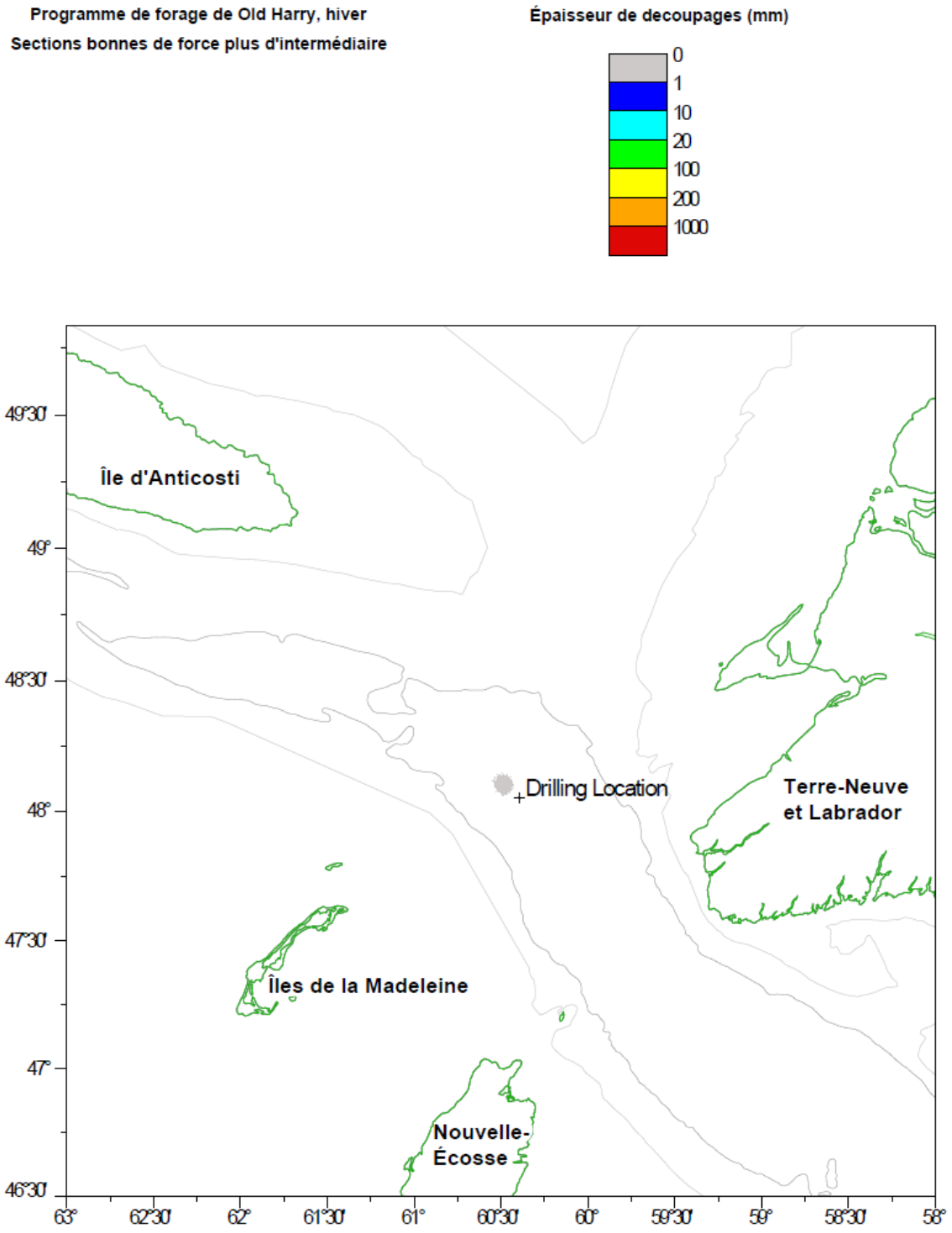
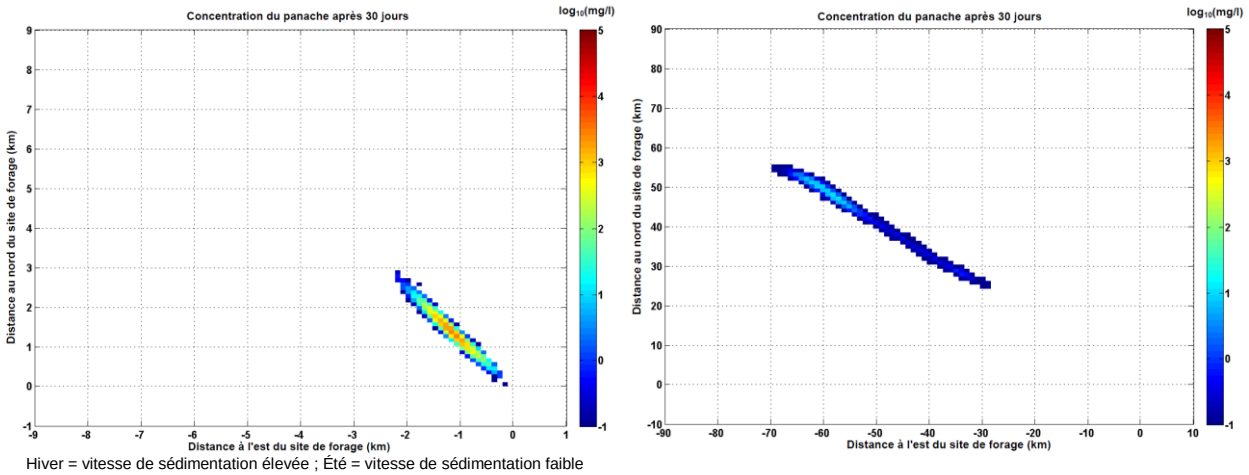


Figure 2.6 Sédimentation des déblais à la suite du forage des sections principale et intermédiaire, en hiver, vue du golf du Saint-Laurent, contours à 200 et à 400 m de profondeur

Il est difficile de quantifier exactement la trajectoire de dispersion d'un nuage, mais il est possible d'en décrire le processus en termes généraux en se fondant sur les processus physiques connus et le courant ambiant. Aux fins de cette évaluation, on suppose que les BBE sont expulsées du puits à des vitesses de l'ordre de 1 m/s, alors que les courants océaniques ambiants varient entre 3 et 26 cm/s. Ainsi, la dilution initiale calculée à supposant que le nuage conserve une impulsion comprise entre 4 :1 et 33 :1, selon la phase de la marée. Sa densité étant supérieure à celle de l'eau de mer ambiante, une fois dilué le nuage aura tendance à tomber sur la couche limite benthique. Dans les grands fonds marins, cette couche présente habituellement une épaisseur d'environ 1 m (Wimbush et Munk, 1970). En raison du cisaillement et de la turbulence causés par les courants présents dans la couche limite, le nuage aura tendance à rester en suspension au-dessus du plancher océanique. En supposant que le panache initial ait la forme d'une boite de pilules, un volume de 15 m^3 au moment du rejet (volume typique de balayage), et une dilution initiale de 4 :1, le nuage aura un diamètre d'environ 9 m à ce moment. En raison de l'advection, son diamètre continuera à croître alors que les concentrations de boues diminueront à cause de la dispersion et du brassage. En s'appuyant sur une diffusivité horizontale typique à petite échelle de 0,01 m^2/s (Okubo, 1971), il devra être soumis à une dilution supplémentaire d'un facteur de deux pendant environ deux heures. À ce moment le nuage aura été déplacé par les courants ambiants sur une distance comprise entre 200 et 1 700 m. D'autres facteurs non pris en compte ici, tels que les effets de la rugosité du plancher océanique et la topographie, augmenteront probablement la dispersion. Bien qu'elle soit nécessaire, mais pas rigoureuse, la description ci-dessus offre une idée raisonnable du processus par lequel le fond marin rejette les boues lors du lançage et du forage des sections supérieures du puits, ce qui provoque, dans un premier temps, de petits nuages de fines particules dans la couche limite benthique. Ces nuages continueront à se diluer sous l'effet de la turbulence, puis seront dispersés au nord-ouest du site de forage en raison de l'advection occasionnée par le courant ambiant.

Dispersion à long terme

Dans le scénario où l'on a tenu compte d'une vitesse élevée de sédimentation, la taille finale du panache est d'environ 2 à 3 km de long et de moins de 1 km de large. De plus, en raison de cette vitesse de sédimentation élevée et de faibles courants de l'ordre de quelques cm/s, toutes les matières demeurent concentrées dans le premier mètre de la colonne d'eau (Figure 2.7). Les concentrations varient entre 250 mg/l et 1 g/l. La concentration maximale est au centre du panache, deux ou trois ordres de grandeur supérieure aux marges. Globalement, la série chronologique relative aux concentrations moyennes de matières dans le panache indique que la concentration se stabilise à environ 250 mg/l après environ 20 à 25 jours sur les 30 jours que compte la modélisation.



Hiver = vitesse de sédimentation élevée ; Été = vitesse de sédimentation faible

Figure 2.7 Concentration en baryte du panache à la fin de la mise en œuvre du modèle, vitesse de sédimentation élevée, scénario hivernal (gauche) et scénario estival (droite)

2.12.1.3 Résumé de modeler des résultats

Les renseignements contenus dans cette section proviennent de la compagnie AMEC (2011), et ils doivent être révisés pour plus de détails concernant le modèle de dépôt des déblais de forage. Les activités de forage pourraient générer :

- 196 m^3 de déblais sur le plancher océanique ;
- 211 m^3 de déblais à la surface ;
- 1210 m^3 de BBE de diverses densités et compositions sur le plancher océanique.

Le rejet de déblais de BBE sur le plancher océanique devrait former un dépôt s'étendant jusqu'à 30 m du site de forage, les déblais les plus gros étant concentrés à proximité du puits. La grosseur moyenne des déblais sera d'environ 22 cm à environ 20 m du site de forage ; la grosseur maximale sera d'environ 4,7 m. À 20-50 m du site de forage, la grosseur des déblais devrait être inférieure à 1 mm.

En ce qui a trait au rejet de déblais de BBPS à la surface, les plus gros morceaux devraient rapidement retomber dans l'eau à proximité du forage pour y former un dépôt en raison de leur densité (grosseur minimale de 15 mm). À environ 100 m du forage, la grosseur moyenne des déblais devrait être d'environ 2 mm, sans excéder 6 mm. À 100-200 m du forage, la grosseur moyenne des déblais devrait être d'environ 0,5 à 1 mm, sans excéder 6 mm.

En ce qui concerne les déblais rejetés par l'appareil de forage qui contiennent des BBPS (qui respectent la limite de 6,9 pour cent de pétrole), leur concentration de pétrole synthétique (PS) devrait, à l'intérieur des premiers 50 m de leur point de rejet, correspondre à environ 25 % de la concentration initiale de PS avant traitement, ou 17 000 mg/kg. À 50-100 m, cette même concentration chutera d'un facteur 7, soit à environ 2 400 mg/kg. À plus de 200 m, elle sera de 44 mg/kg ou moins. À plus de 500 m, elle sera de 3 mg/kg ou moins.

La simulation du devenir à long terme des boues rejetées au cours de l'ensemble du programme de forage a été réalisée en préconisant une approche réaliste selon laquelle les activités de forage entre chaque phase seraient ininterrompues, auquel cas les boues seraient rejetées sur une période de 15 jours.

Les résultats de cette simulation démontrent que la dispersion des boues par les courants moyens et les marées produit un panache allongé dont la longueur varie d'environ 2 à 40 km selon la vitesse de sédimentation, et dont la largeur varie de moins d'un kilomètre à quelques kilomètres. Cette variabilité correspond à une dispersion typique des boues de forage et est cohérente avec les résultats d'autres études similaires.

La concentration de matières dans les panaches, dont la moyenne est établie à 1 m du fond, varie selon leur dimension et leur étendue. Elle est d'environ 1 g/l initialement dans le cas du scénario à haute vitesse de sédimentation à quelques kilomètres du site de forage et chute à environ 1 mg/l dans le cas du scénario à faible vitesse de sédimentation à quelques dizaines de kilomètres du site de forage. On a constaté que cette concentration varie considérablement (un ordre de grandeur ou plus) à l'intérieur des panaches en raison du cycle de suspension/dépôt induit par les variations de courant et les marées.

Dans le cas du scénario à haute vitesse de sédimentation, les particules semblent demeurées très près du plancher océanique (moins de 1 m). Si toutes les particules se déposaient sur le plancher océanique, elles formeraient un mince placage de sédiments d'une superficie de 1 km^2 et d'une épaisseur de 64 µm.

Dans le cas du scénario à faible vitesse de sédimentation, les particules semblent parcourir de grandes distances, soit environ 80 km sur une période simulée de 30 jours (Figure 2.7). Si l'on prend un panache long de 40 km et un courant résiduel de 2,5 cm/s, un point fixe à l'intérieur de la trajectoire du panache subirait une exposition continue maximale aux matières en suspension de l'ordre d'environ 20 jours.

Si au cours du programme de forage, des interruptions allant de quelques heures à quelques jours devaient survenir, les panaches seraient plus allongés et plus irréguliers et leurs concentrations seraient plus variées dans l'espace-temps. Cependant, les concentrations moyennes et les temps d'exposition ne diffèreraient pas beaucoup des résultats de simulation de rejet constant précités.

Dans l'ensemble, les résultats de simulation de la dispersion des boues présentés dans cette étude sont considérés comme étant cohérents avec les résultats obtenus dans le cadre d'études similaires (Thomson et coll., 2000 ; Hannah et coll., 2003 ; Tedford et coll., 2003).

2.12.2 Modélisation de la trajectoire et du devenir des hydrocarbures rejetés

Les renseignements de cette section proviennent de l'étude de SL Ross (2011a, mise à jour en 2012) et devraient être réexaminés pour obtenir plus de détails sur la modélisation de la trajectoire et du devenir des substances rejetées. De plus, une description détaillée du modèle de déversement sous-marin de pétrole élaboré par SL Ross (SLROSM) est disponible à

l'adresse suivante : www.slross.com/publications/SLR/ Description_of_SLROSM.pdf. L'équipe de géoscientifiques de Corridor a choisi le pétrole de Cohasset (condensé) comme pétrole de remplacement pour le projet de Old Harry (voir la section 2.3). Le pétrole de Cohasset présente une forte densité API (47°) et est produit dans les champs pétrolifères de Cohasset/Panuke/Balmoral sur le plateau Néo-écossais (Kidston et coll., 2005). Les gisements de ces champs renferment des séquences de grès superposées de milieu fluvial ou marin peu profond qui s'apparentent aux roches-magasins de grès de milieu fluvial du prospect de Old Harry. Une description détaillée du processus ayant mené au choix du pétrole de Cohasset comme pétrole de remplacement dans le cadre du projet de Old Harry est fournie à l'Annexe A de SL Ross (2011a, mis à jour en 2012).

2.12.2.1 Comportement des hydrocarbures rejetés

Les sections suivantes décrivent le comportement général du pétrole à travers les principaux types de scénarios de déversement susceptibles de survenir pendant des activités de forage : petits déversements de mazout, éruptions sous-marines de pétrole brut, éruptions de pétrole brut à la surface.

Petits déversements ponctuels provenant de l'installation de forage

De petits déversements discontinus de diesel provenant de la rupture de conduits au cours du transfert de carburant sur les navires ou lors de forages peuvent survenir dans le cadre des activités minières. Ces déversements sont considérés comme des événements instantanés et sont modélisés en tenant compte de l'étalement, l'évaporation, la dispersion, l'émulsification et la dérive à la surface d'une seule étendue ou nappe de pétrole.

Éruptions sous-marines

Les éruptions impliquent généralement du pétrole ou du gaz, où la proportion gaz-pétrole est fonction des caractéristiques des fluides et du gisement producteur. Le gaz naturel qui est un fluide compressible sous pression et sous les conditions que l'on retrouve dans des gisements constitue l'élément moteur d'une éruption non contrôlée. À mesure que les produits du puits montent vers la surface, le gaz se dilate pour finalement s'échapper par la tête de puits à de très hautes vitesses. À ce point, le pétrole ne représente qu'une infime partie du débit d'écoulement volumétrique total.

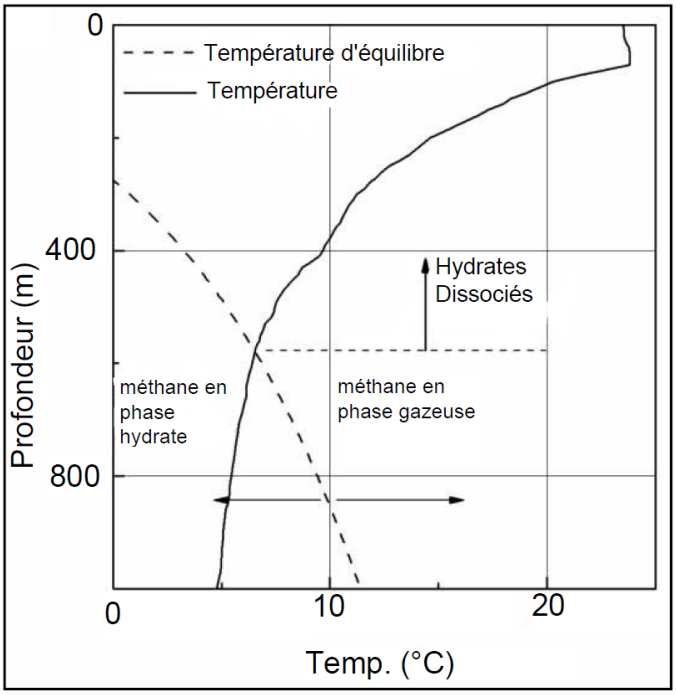
Le comportement des particules dans le cas d'une éruption sous-marine varie considérablement selon la profondeur d'eau et la température au point de rejet. En raison de ces comportements très différents, on parle souvent d'éruptions en eaux peu profondes ou d'éruption en eaux profondes. Voici une description du comportement du gaz naturel et du pétrole dans ces deux situations.

Dans les cas d'éruptions en eaux profondes, le gaz naturel qui sort du point de rejet se mélange rapidement à de l'eau et forme des substances semblables à de la glace appelée hydrates. Ces substances se forment sous l'effet d'une pression d'eau élevée et de températures froides, et épuisent le volume de gaz qui augmente dans le panache de bulles de gaz. Le volume de gaz

naturel peut aussi diminuer en se dissolvant dans l'eau. Avec cette perte de gaz naturel occasionnée par l'un ou l'autre de ces processus, la force de flottabilité du panache gazeux peut s'atténuer complètement, faisant ainsi remonter lentement à la surface des gouttelettes de pétrole sous l'effet de la pesanteur (comme ce fut le cas lors de la récente éruption au puits de *Deepwater Horizon* ou de Macondo dans le Golfe du Mexique). Les courants contraires peuvent influer sur le mouvement des gouttelettes de pétrole durant leur remontée à la surface. Dans ce cas, les gouttelettes de pétrole se sépareront selon leur spectre. Les gouttes de pétrole volumineuses feront surface d'abord à proximité du point de rejet et les plus petites seront éloignées de celui-ci par le courant avant d'atteindre la surface. Les processus de diffusion océanique provoqueront une séparation subséquente des gouttelettes de pétrole en raison de leurs divers temps de séjour dans la colonne d'eau.

Au-delà de 700 à 800 m, dans des eaux profondes à 5 °C, il est probable que le gaz naturel se transforme en hydrates solides alors que cela l'est beaucoup moins à la même température dans des eaux moins profondes (moins de 500 m). La Figure 2.8, le diagramme d'équilibre du méthane, offre une orientation sur la formation des hydrates en fonction de la profondeur de l'eau (pression) et de la température. On utilise le diagramme d'équilibre parce qu'il est de loin le plus représentatif (> 90 %) pour les gaz naturels. La formation d'hydrates dépend par ailleurs de la composition réelle du gaz naturel et des impuretés présentes dans celui-ci et dans l'eau. Il est, par conséquent, difficile de prévoir avec certitude la formation des hydrates entre 400 et 800 m de profondeur. Cette dernière étant inférieure à 500 m sur le site de forage proposé et la température étant supérieure ou égale à 5 °C, on a supposé qu'une éruption sous-marine aurait les mêmes caractéristiques qu'une éruption survenant en eaux peu profondes et qu'on ne constaterait aucune transformation de gaz en hydrates. Le comportement d'un gaz et d'une éruption de pétrole en eaux peu profondes est abordé ci-dessous.

En cas d'éruption en eaux peu profondes, la majeure partie du gaz ne se transforme pas en hydrates. Un panache de bulles de gaz se forme, entraîne une remontée rapide du pétrole, du gaz et de l'eau entraînée vers la surface. Le pétrole et le gaz rejetés lors d'une éruption en eaux peu profondes traversent trois zones d'intérêt au cours de leur remontée vers la surface de la mer (vue latérale de la Figure 2.9). La vitesse élevée à la sortie de la tête du puits crée la zone du jet dominée par l'impulsion du gaz. Cette zone très turbulente défragmente le pétrole en des gouttelettes dont le diamètre peut varier de 0,5 à 2 mm (Dickins et Buist 1981). Parce que ce panache entraine aussi de l'eau dans le panache de cette zone, survient alors une perte soudaine de vitesse (quantité de mouvement) à quelques mètres du point de rejet. La vitesse initiale de l'éruption n'a plus d'impact à ce moment sur la force de flottabilité, laquelle dicte le devenir et la trajectoire dominante du panache qui remonte à la surface. Dans cette zone, le gaz continue de se dilater en raison d'une réduction de la pression hydrostatique. À mesure que les gouttelettes de gaz remonte à la surface, il entraine avec lui le pétrole et l'eau se trouvant dans les environs.



tiré de Yapa et coll., 2010

Figure 2.8 Diagramme d'équilibre du méthane

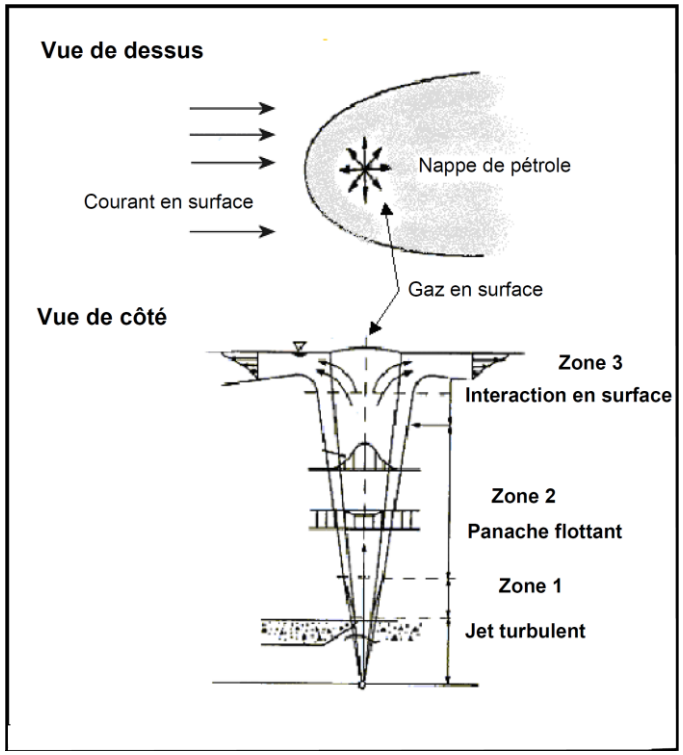


Figure 2.9 Représentation graphique d'une éruption sous-marine

Bien que la vitesse finale d'une bulle de gaz dans une eau stagnante ne soit que d'environ 0,25 m/sec, les vitesses au centre d'un panache causé par une éruption peuvent atteindre 5 à 10 m/sec en raison de l'effet d'aspiration créé par le gaz qui monte vers la surface alors qu'il est entouré de liquide. En d'autres termes, l'eau qui entoure le gaz qui remonte à la surface est entraînée et prend de la vitesse au cours de sa remontée. Sa vitesse croît proportionnellement au volume de gaz qui monte à la surface à une vitesse relative de 0,25 m/sec. Lorsque le panache atteint sa taille maximale, une quantité d'eau considérable contenant des gouttelettes de pétrole est aspirée vers la surface. Le comportement du pétrole provenant d'un panache causé par une éruption en eau peu profonde est considérablement différent de ce qui se produit lors d'une éruption en eau profonde, comme lors du déversement du puits Macondo de BP, en 2010 dans le Golfe du Mexique. Le panache puissant généré par les bulles de gaz qui remontent et s'étendent, lors d'une éruption en eau peu profonde, entraîne le pétrole rapidement à la surface, et peu de pétrole est déversé dans les eaux environnantes. Cette vitesse de remontée entraîne également une déviation minimale du panache (habituellement quelques centaines de mètres tout au plus), tandis que le gaz, le pétrole et l'eau entraînée fait son chemin vers la surface. Ce comportement est plus semblable à l'éruption d'Ixtoc (Ross, 1979).

Lorsque le flux d'eau créé par les bulles de gaz entre en contact avec la surface, il est freiné par celle-ci et forme une couche horizontale qui s'écarte du centre du panache. Le courant océanique dominant à la surface freine ce flux radial causé par l'éruption, puis le fait dériver dans le sens du courant, ce qui crée une influence en surface comme l'illustre la Figure 2.9 (vue de dessus). Cette turbulence transporte le pétrole et le répand au point où le débit provoqué par l'éruption n'a plus d'effet sur le mouvement de l'eau à la surface (largeurs de nappe de 1 et 1,5 dans le sens du courant). À ce point, le pétrole se déplace avec le courant dominant et se répand comme toute nappe d'hydrocarbures le ferait. Le gaz sort du centre du panache créé par l'éruption et provoque une perturbation à la surface identifiée par les flèches de la Figure 2.9 (vue de dessus). À la surface, à cause du flux d'eau créé par le panache de bulles de gaz, le pétrole se répand d'abord beaucoup plus rapidement qu'un déversement ponctuel habituel. Cela provoque une première nappe de pétrole plus grande en superficie, mais plus fine que ne l'aurait été une nappe résultant d'un déversement ponctuel de pétrole normale.

Si une éruption se produit sous une banquise, le pétrole formera une couche fine sous la glace, puis remontera à la surface entre les morceaux de glace. L'épaisseur et la taille de nappe seront alors semblables à ce qu'elles auraient été en eau libre. Le pétrole présent sous la glace se déplacera avec celle-ci et restera relativement frais jusqu'à ce qu'il remonte à la surface après la fonte de la glace. Il convient de souligner que Corridor prévoit forer uniquement en l'absence de glace.

Les équations relatives au mouvement et aux paramètres connexes élaborées par Fannelop et Sjoen (1980) ont été utilisées pour modéliser le comportement des rejets sous-marins de gaz et de pétrole. Ces équations et leur solution numérique constituent la base du modèle de déversement sous-marin de pétrole élaboré par SL Ross (SLROSM) utilisé dans le présent rapport pour estimer les caractéristiques des nappes de pétrole causées par des éruptions en eaux peu profondes.

Éruptions à la surface

Le pétrole rejeté lors d'une éruption de surface sur une plateforme de forage en mer ne se comportera pas de la même façon que dans le cas d'une éruption sous-marine. Le gaz et le pétrole s'échapperont du point de rejet à une haute vitesse et se fragmenteront pour former un jet de gouttelettes fines. La hauteur à laquelle se propage le jet au-dessus du point de rejet varie selon la vitesse du gaz et la vitesse des vents. C'est à ce moment que le processus de dispersion dans l'atmosphère et la vitesse de dépôt des particules provenant du nuage de gaz naturel qui remonte déterminent le devenir du pétrole. L'éruption du puits Uniacke survenue au large de la côte Est du Canada est un exemple d'une éruption de pétrole à la surface.

La Figure 2.10 présente un modèle gaussien simple qui illustre ce comportement, et qui peut être utilisé pour prédire les concentrations de pétrole et de gaz à partir du point de rejet. La dispersion atmosphérique est contrôlée en partie par la turbulence atmosphérique, laquelle est influencée par le rayonnement solaire, la vitesse des vents et les températures. Par temps clair et ensoleillé, avec de faibles vents, le rayonnement solaire créera des conditions extrêmement turbulentes.

Un mauvais temps, quels que soient les vents, provoquera une stabilité atmosphérique. De faibles vents auront tendance à accroître le brassage alors que des vents élevés tendent à le réduire tant verticalement et que latéralement. La forme du profil de concentration du nuage dépendra de la stabilité atmosphérique. Une forte turbulence contribuera à répondre le nuage verticalement et latéralement, ce qui ne sera pas le cas dans des conditions très stables.

La représentation atmosphérique du panache (Figure 2.10) peut également être utilisée pour illustrer le comportement des gouttelettes de pétrole en tenant compte des deux modifications suivantes. L'axe central du panache est incliné afin de tenir compte de la vitesse de chute des gouttelettes de pétrole. Celles-ci retomberont sous la forme d'une pluie, les gouttelettes les plus volumineuses retombant plus près du point de rejet. Au fur et à mesure de leur retombée, elles seront également répandues par la turbulence atmosphérique. Une partie de ce pétrole s'évapore et le reste finit par se déposer sur l'eau et est transporté dans le sens du courant. À mesure que l'eau passe sous les retombées de pétrole, elle se mélange à celui-ci, qui s'accumulera sur la largeur de la zone de retombée. Les changements de direction du vent et de l'eau auront des répercussions sur la répartition finale du pétrole à la surface de l'eau dans la zone de retombée. Si le jet de gaz et de pétrole est obstrué par la tour de l'appareil de forage ou par tout autre obstacle, une partie des gouttelettes d'eau pourrait s'agglomérer sur ces obstacles et être déviée vers le plancher de l'appareil de forage avant de remonter à la surface de l'eau. Cette quantité de pétrole aura alors un comportement plus proche d'un rejet continu de pétrole survenant à la surface.

Si une éruption survient dans un milieu où l'on retrouve des glaces, un pourcentage des particules de pétrole retombera à la surface de celles-ci. La quantité de particules qui retomberont sur la glace et dans l'eau dépend de la concentration de la glace. Une partie des particules de pétrole s'évaporera sur la surface de la glace selon la quantité de neige qui s'y trouve et le reste sera rejeté à la surface de l'eau une fois la glace fondue.

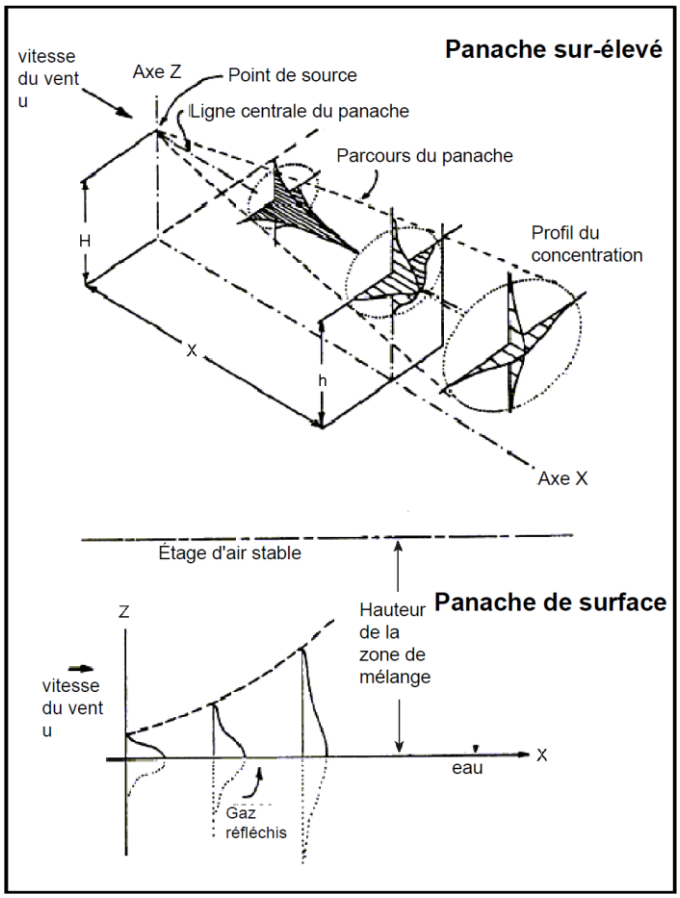


Figure 2.10 Représentation graphique du comportement d'une éruption à la surface

2.12.2.2 Données utilisées pour la modélisation des déversements

Les données utilisées relativement aux propriétés des hydrocarbures, à la vitesse d'écoulement et aux volumes déversés, aux températures de l'air et de l'eau, aux vents et aux courants marins dans les modèles de comportement et de trajectoire du déversement pour ce projet sont décrites dans les sections qui suivent.

Propriétés des hydrocarbures

Plusieurs des caractéristiques géologiques que l'on retrouve dans le bassin des Maritimes (zone prometteuse de Old Harry) se comparent favorablement aux conditions géologiques que l'on retrouve dans le bassin néo-écossais (voir Tableau A1 à l'Annexe A). Les roches-magasins clastiques des gisements du plateau néo-écossais renferment des séquences de grès superposées de milieu fluvial ou marin peu profond qui s'apparentent aux roches-magasins de grès de milieu fluvial de la zone prometteuse de Old Harry. Il est particulièrement intéressant de noter que le kérogène contenu dans les deux bassins est de types II-III et III. De plus, les champs de Cohasset/Panuke/Balmoral sur le plateau néo-écossais ont produit des hydrocarbures légers. Par conséquent, les géoscientifiques de Corridor ont choisi le pétrole de Cohasset du bassin néo-écossais comme pétrole de remplacement pour le projet de Old Harry.

Consulter l'Annexe A pour obtenir une description détaillée du motif du choix du pétrole de Cohasset comme pétrole de remplacement pour le projet de Old Harry. Le Tableau 2.14 présente le résumé des données relatives aux propriétés des nappes d'hydrocarbures altérés et de brut frais de Cohasset.

Les données sur les propriétés du carburant diesel sont tirées de la base de données en ligne d'Environnement Canada sur les propriétés des hydrocarbures (http ://www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/oilproperties/Default.aspx) afin de les utiliser pour la modélisation d'un déversement de carburant diesel.

Tableau 2.14 Propriétés des nappes de brut frais et d'hydrocarbures altérés de remplacement de Cohasset

Brut de Cohasset	Densité API 47,5 °			
Propriété du pétrole	**Température °C**	**Hydrocarbures altérés**		
		Évaporation 0 %	**Évaporation 11 %**	**Évaporation 26 %**
Densité (g/cm^3)	0	0,800	0,815	0.847
	15	0,790	0,805	0.837
Viscosité dynamique (mPa.s)	0	3	4	7
	15	2	3	5
Viscosité cinématique (mm^2/s)	0	4	5	8
	15	3	4	6
Tension interfaciale (dyne/cm)	Pétrole/air	27,6	30,2	31.4
	Pétrole/eau de mer	17,2	16,7	17.5
Point d'écoulement (°C)		-30	-18	-12
Point d'éclair (°C)		32	40	82
Formation d'émulsions et tendance				
Tendance		Improbable	Improbable	Improbable
Stabilité		Instable	Instable	Instable
Teneur en eau		0 %	0 %	0 %
Source des données : http ://www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/OilProperties/oil_C_e.html				

Le Tableau 2.15 présente les paramètres de modélisation des propriétés des hydrocarbures qui ont servi pour le modèle de SL Ross (SLROSM). Ces paramètres ont été obtenus à partir des données relatives aux propriétés des nappes de brut frais et d'hydrocarbures altérés présentées au Tableau 2.14.

Tableau 2.15 Paramètres des propriétés du pétrole utilisés dans la modélisation SLROSM

Propriété du pétrole	Brut de remplacement	Carburant diesel
Densité initiale (kg/m^3)	790,00	827,0
Température à densité standard (°K)	288,00	288,0
Densité Constante 1	174,30	200,0
Densité Constante 2	0,731	0,733

Tableau 2.15 Paramètres des propriétés du pétrole utilisés dans la modélisation SLROSM

Propriété du pétrole	Brut de remplacement	Carburant diesel
Viscosité initiale (cP)	2,607	5,0
Température à viscosité standard (°K)	288,00	313,0
Viscosité Constante 1	3,350	8,755
Viscosité Constante 2	974,00	1607,0
Tension interfaciale pétrole/eau (dynes/cm)	15,0	37,0
Tension interfaciale de l'eau Constante	-0,765	0,0
Tension interfaciale pétrole/air (dynes/cm)	25,6	22
Tension interfaciale de l'air Constante	0,2280	0,0
Point d'écoulement initial (°C)	244,916	243,0
Point d'écoulement Constante	0,1524	0,139
Distillation ASTM Constante A (slope)	244,9163	285,0
Distillation ASTM Constante B (intercept)	443,00	473,0
Durée d'émulsification	999999999,	999999999,
Fv Thêta A	6,3	6,3
Fv Thêta B	10,3	10,3

Volume et débit des rejets

Dans le cas du combustible de soute, des déversements discontinus soudains de 1,59 et 15,9 m^3 (soit 10 et 100 barils de pétrole) ont été modélisés. Ces volumes correspondent aux déversements types de moyenne ou grande ampleur pouvant survenir dans le cadre d'activités de forage en mer. Certains chiffres peuvent aider à les mettre en perspective : au cours des 14 années d'activités menées dans le cadre du projet Hibernia, le plus important déversement de pétrole survenu lors du transfert de carburant sur un navire fut d'environ 0,2 m^3 d'hydrocarbures, et les déversements causés par l'ensemble des opérations furent au maximum de quelque 2 m^3 (CNLOPB, 2011).

La modélisation des rejets continus de gaz et de brut occasionnés par l'éruption d'un puits a été réalisée à l'aide des débits indiqués au Tableau 2.16. Ils ont été déterminés par les ingénieurs de Corridor à partir des meilleures données disponibles sur les réservoirs. Les scénarios modélisés d'éruption ont été exécutés pendant un mois (30 jours).

Tableau 2.16 Débits et volumes utilisés pour la modélisation des déversements

Type de déversement	Source	Débit	Gas-to-pétroleFlow Ratio m^3/m^3
Éruption de pétrole brut	Sous-marine (470 m de profondeur)	(817,6 m^3/jour) (5,143 BPPJ)	89
	Installation de forage de surface	(2102,7 m^3/jour) (13,226 BPPJ)	89
Déversements discontinus de diesel	Activités de forage	1,6 m^3 (100 bbl)	s.o.
	Transfert sur navire	0,16 m^3 (10 bbl)	s.o.
BPPJ = barils de pétrole par jour			

Courants

Pour modéliser la trajectoire des nappes, on a fait appel aux champs de courants de surface étudiés par la Division des sciences océaniques de Pêches et Océans Canada – Région des Maritimes au moyen des méthodes décrites par Tang et coll. (2008). Les moyennes saisonnières de la vitesse des courants de surface ont également été fournies par Pêches et Océans Canada et proviennent du travail de modélisation qui a généré l'*Atlas of Ocean Currents in Eastern Canadian Waters* (Wu, 2011). Comme l'a indiqué Wu (2011), le modèle tient compte de la tension du vent, de la chaleur et des flux d'humidité calculés à partir des paramètres de l'atmosphère de North American Regional Reanalysis (NARR). Les variables atmosphériques comprennent les vents de surface, la température de l'air, la couverture nuageuse, le point de rosée, la pression de l'air et les précipitations. Ces données ont été cartographiées afin d'être utilisées dans le cadre du modèle SLROSM (SL Ross Oil Spill Model). Les courants de marée n'ont pas été utilisés pour l'évaluation, car leur mouvement d'oscillation entraîne un faible mouvement net à long terme du pétrole à la surface. Les courants de fond ont été combinés aux données sur le vent (voir ci-dessous) afin de déterminer les caractéristiques des nappes et leur mouvement subséquent.

Température de l'air et de l'eau

Le Tableau 2.17 contient les moyennes mensuelles des températures de l'air et de l'eau qui ont servi à modéliser en détail l'évolution et la trajectoire des rejets. On y trouve aussi les températures de l'air et de l'eau sur lesquelles repose la modélisation de l'évolution des nappes selon la saison. Ces données découlent de l'évaluation environnementale stratégique relative à la zone extracôtière de l'ouest de Terre-Neuve et du Labrador (LGL, 2007).

Tableau 2.17 Température de l'air et de l'eau (moyennes mensuelles et saisonnières)

	Températures moyennes (°C)											
Mois	**Jan**	**Févr**	**Mars**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Août**	**Sept**	**Oct**	**Nov**	**Déc**
Air	-4,5	-6,5	-3,0	1,0	6.0	10.0	14.5	16.0	13.0	7.5	4.0	-2.5
Eau	0,5	-1,0	-1,0	0,0	1.5	5.0	10.5	15.2	15.5	12.0	7.0	3.5
Saison	Hiver			Printemps			Été			Automne		
Air	-4,7			5,7			14,5			3,0		
Eau	-0,5			2,2			13,7			7,5		
(source : Selon la Figure 2.17, LGL 2007)												

Vents

L'ensemble de données sur les vents MSC50 (Swail et coll., 2006) a servi à modéliser en détail la trajectoire des rejets. L'ensemble de données MSC50 est un ensemble de données à long terme comprenant une bonne résolution spatiale pour toute la région de l'Atlantique. Ces données ont été recueillies par la Division de la recherche climatique d'Environnement Canada et le Programme fédéral de recherche et de développement énergétiques. Dans le document de recherche décrivant l'ensemble des données, les auteurs affirment que « les données sur le vent et les vagues sont considérées comme étant d'une qualité suffisamment élevée pour être

utilisées dans l'analyse des statistiques portant sur une longue période de retour, ainsi que pour d'autres applications industrielles ». Cet ensemble de données est le meilleur disponible pour la modélisation de la trajectoire et du comportement des rejets en mer, car il fournit les valeurs de vitesse du vent à variations spatiales en mer et les variations historiques du vent, plutôt que des données ponctuelles météorologiques terrestres. Cet ensemble, qui porte aussi sur les vagues, couvre la période 1954-2005. Des mesures de la vitesse et de la direction du vent effectuées à six heures d'intervalle en ont été extraites pour des points de grille espacés de 0,5 degré dans la zone considérée. La modélisation du comportement des rejets en fonction de la saison a fait appel aux valeurs moyennes de la vitesse du vent contenues au Tableau 2.18, et issues de l'évaluation environnementale stratégique relative à la zone extracôtière de l'ouest de Terre-Neuve-et-Labrador (LGL, 2007).

Tableau 2.18 Vitesse du vent (moyennes saisonnières)

Vitesses moyennes du vent par saison (m/s)			
Hiver	**Printemps**	**Été**	**Automne**
7,96	5,72	5,72	8,59
source : Selon le Tableau 2.3, LGL 2007			

Les tableaux 2.19 and 2.20 suivants procurent des détails supplémentaires concernant les algorithmes employés dans le modèle de déversement SLROSM utilisé lors des simulations. Les paramètres de modélisation présentés au Tableau 2.15 ont été utilisés lors des relations de changement des propriétés des hydrocarbures indiquées les tableaux 2.19 and 2.20.

Tableau 2.19 Comparaison des équations du devenir et du comportement modélisés des hydrocarbures

Déversement discontinu	Éruption en surface	Éruption sous-marine
CARACTÉRISTIQUES DE LA NAPPE INITIALE		
a) Épaisseur initiale de la nappe épaisse = 2 cm	a) Le volume indique le diamètre des gouttelettes de pétrole calculé à l'aide des équations d'atomisation de Deyson et Karian (1978), tels que décrit dans S.L. Ross et Energetex (1985)	a) Le volume indique le diamètre des gouttelettes de pétrole produites à la tête du puits, calculé à l'aide des équations d'atomisation de Deyson et Karian (1978), tel que décrit dans S.L. Ross et Energetex (1985)
b) Épaisseur initiale de la surface de la nappe = volume de déversement/2 cm	b) la dispersion atmosphérique et la sédimentation des gouttelettes estimées en utilisant les équations de Turner (1970)	La largeur et l'épaisseur initiales de la nappe en aval de l'éruption sont calculées en utilisant les équations du panache de l'éruption sous-marine de Fannelop et Sjoen (1980), telles que décrites dans S.L. Ross (1982), à l'aide des taux de débit du gaz et du pétrole, la profondeur du puits et le courant de surface
c) Surface initiale de la nappe mince = 8 x l'épaisseur	c) la quantité d'évaporation des gouttelettes de pétrole dans l'air diffusées à l'aide d'une équation d'exposition d'évaporation modifiée présentée dans S.L. Ross et DMER (1988)	c) Si le point d'écoulement du brut frais excède la température de la mer, la nappe est constituée de discrètes gouttelettes

Tableau 2.19 Comparaison des équations du devenir et du comportement modélisés des hydrocarbures

Déversement discontinu	Éruption en surface	Éruption sous-marine
d) Volume mince initial = surface mince x 1 µm	d) Les propriétés initiales d'hydrocarbures sont calculées en se basant sur l'évaporation initiale et la température désirée de l'eau	d) l'évaporation initiale, l'émulsification et la dispersion naturelle sont rétrocalculées à partir du point de rejet jusqu'au moment requis pour atteindre la largeur initiale basée sur une épaisseur moyenne géométrique entre les deux emplacements
e) Propriétés des hydrocarbures corrigées à la température désirée de l'eau	e) Si le point d'écoulement des hydrocarbures excède la température de l'eau, le pétrole ne forme pas une nappe sur la surface de la mer, mais forme plutôt une série de gouttelettes discrètes	e) L'épaisseur initiale de la petite nappe est corrigée afin de tenir compte de l'évaporation initiale, de l'émulsification et de la dispersion naturelle
	f) La largeur et l'épaisseur initiales de la nappe sont calculées à l'aide du courant de surface, b) et c) ci-dessus ; une petite nappe (d'une longueur de 100 s x le courant de surface) est subséquemment modélisée	d) Les propriétés initiales d'hydrocarbures sont calculées en se basant sur l'évaporation initiale, l'émulsification et la température désirée de l'eau
ÉTALEMENT		
Nappe épaisse Équations modifiées de Mackay et coll. (1980), basées sur la formule de gravité-visqueuse de Fay incluant la viscosité et l'émulsion ; si le point d'écoulement des hydrocarbures excède la température de l'eau, l'étalement de la nappe épaisse cesse : $\Delta A_{thick} = 2.2(1025 - \rho_o) \times 9.82 / (\rho_o \mu_o/10^3)^{1/2})^{2/3} (X_{thick})^{4/3} (A_{thick})^{1/3} \Delta t - (1 \times 10^{-6} \Delta_{thin}/X_{thick})$	Nappe épaisse L'équation de Fay modifiée sur la tension-visqueuse en surface du « point source » (pour les étalements latéraux seulement) ; inclut la viscosité et l'émulsion ; si le coefficient d'étalement tombe sous 0, l'étalement de la nappe épaisse cesse : $\Delta W_{thick} = ¾ (\Theta)^{1/2}/(\Lambda_o \mu_o/10^3 t)^{½} \Delta t$	Nappe épaisse Identique à l'éruption en surface discutée précédemment
Nappe mince Équations modifiées de Mackay et coll. (1980), basées sur l'équation de la tension-visqueuse en surface de Fay ; inclut la viscosité des hydrocarbures ; si le coefficient d'étalement tombe sous 0, l'étalement mince prend fin ; la nappe mince est « avalée » par la nappe épaisse : $\Delta A_{thin} = 4.55 (\Theta/(\rho_o \mu_o/10^3)^{1/2})^{1/3} \exp(-0.003/X_{thick}) \Delta t$	Nappe mince Tout comme pour la nappe épaisse, mais en utilisant les propriétés d'hydrocarbures altérés plutôt que les propriétés d'émulsion	Nappe mince Identique à l'éruption en surface discutée précédemment
ÉVAPORATION		
Utilise l'exposition d'évaporation modifiée (Stiver et Mackay 1983) selon S.L. Ross et DMER 1988 ; inclut la résistance de transfert de masse interne si le point d'écoulement des hydrocarbures excède la température ambiante par 15 °C		
Nappe épaisse $\Delta F_v = (\Delta t/X_{thick}(HC/10^{-6} X_{thick} + (1/k))(\exp((6.3 - (10.3(T_0 + T_G F_v)/T_k)$		

Tableau 2.19 Comparaison des équations du devenir et du comportement modélisés des hydrocarbures

Déversement discontinu	Éruption en surface	Éruption sous-marine
Dans laquelle : k= 0.0015 U0.78 (d'après Mackay et coll. 1980) C= 1 pour la nappe C= 6 pour les gouttelettes de pétrole gélifié H= 0 si le point d'écoulement des hydrocarbures est de moins de 15 °C au dessus de la température de l'eau H= exp (6,3-10,3 (T_0 + $T_G F_v$)/T_k) si le point d'écoulement des hydrocarbures excède la température de l'eau de 15 °C ou plus.		
Nappe mince Identique à la nappe épaisse, avec C=1 et H=0 en tout temps. La fraction initiale évaporée de la nappe est de 30 % ; la fraction maximale évaporée de la nappe mince est de 75 %.		
DISPERSION NATURELLE		
Nappe épaisse $\Delta F_{NDTHICK}$= 2,78 x 10^{-6} $(U/8)^2$ $\Delta t/(\theta_{o/w}\mu_0(1025 - \Lambda_0))X_{THICK}$ Si le point d'écoulement des hydrocarbures excède la température de l'eau par 15 °C ou plus, ou si le pétrole est présent sous forme de gouttelettes, alors $\Delta F_{NDTHICK}$=0		
Nappe mince Tel que ci-dessus, sauf qu'en utilisant la viscosité, la densité et l'épaisseur de la nappe mince ; aucune coupure du point d'écoulement		
ÉMULSIFICATION		
Nappe épaisse ΔF_w = 2 x $10^{-6}(U+1)^2$ $(1-1.33F_w)\Delta t$ D'après Mackay & Zagorski 1982. Le pétrole ne commence pas à s'émulsionner avant d'atteindre un degré spécifique d'exposition évaporative déterminée basée sur l'analyse des hydrocarbures (Bobra 1989), si le pétrole est sous la forme de gouttelettes, il n'y aura pas d'émulsification.		
Nappe mince Aucune émulsification en cas de nappe mince.		

Tableau 2.20 Expressions utilisées afin de relier l'altération et la température aux modifications de la propriété des hydrocarbures dans S.L. Ross Model

Propriété	Unités	Expression
Densité	kg/m^3	Λ_o[1-C1 (T-T_o] (1+C2F)
Densité d'émulsion	kg/m^3	Λ_o (1-F_w) + 1025 F_w
Viscosité	mPas (cp)	μ[exp (C3{1/T – 1T_o}) x exp (C4F)]
Viscosité d'émulsion	mPas (cp)	μ[exp (2.5F_w/{1-0.65F_w})]
Solubilité aqueuse	g/m^3	S.exp (C5F)
Point d'écoulement	°K	PP. (1+C6F)
Point d'éclair	°C	FIP. (1+C7F)
Point de combustion	°C	FiP. (1+C8F)
Tension interfaciale pétrole/eau	mN/m (dyne/cm)	θ_{ow} (1+ C69F)
Tension interfaciale pétrole/air	mN/m (dyne/cm)	θ_{oa} (1+ C10F)

2.12.2.3 Résultats de modélisation des trajectoires et du devenir des rejets

Trois types de déversement ont été modélisés : les déversements discontinus de carburant diesel, les éruptions dans les fonds marins et les éruptions de la plateforme à la surface de l'eau. Le comportement du pétrole dans ces trois types de déversements, tenant compte de la moyenne des courants d'eau saisonniers et du vent, est résumé ci-dessous. Le temps de survie du pétrole à la surface et la distance approximative de déplacement à partir de la source après un déversement, ainsi que la taille et l'étendue des nuages de pétrole dispersés, sont fournis. Cela donne une idée du comportement général probable du pétrole, aux fins d'utilisation dans le cadre d'une étude d'impact de déversement et de la planification des mesures d'intervention en cas de déversement.

Des déversements discontinus soudains de 1,59 m^3 et 15,9 m^3 (10 et 100 barils) ont été modélisés pour le combustible de soute. Ces deux volumes de déversement ont été choisis parce qu'ils représentent bien des déversements discontinus de moyenne et grande étendue pouvant survenir dans le cadre d'activités de forage. Afin de mettre ces volumes en perspective, au cours des 14 années d'activités menées dans le cadre du projet Hibernia, le plus important déversement de pétrole ayant survenu lors du transfert de carburant sur un navire fut d'environ 0,2 m^3 d'hydrocarbures (environ 1,3 baril) et les déversements totaux pour toutes les opérations furent d'environ 2 m^3 (12,5 barils) (OCTLHE, 2011b).

La modélisation des rejets continus de gaz et de pétrole occasionné par une éruption incontrôlée a été réalisée à l'aide des données présentées au Tableau 2.21. Les débits des éruptions indiqués au Tableau 2.21 furent déterminés par les ingénieurs de Corridor en se basant sur les meilleurs renseignements disponibles.

Tableau 2.21 Débits et volumes utilisés pour la modélisation des déversements

Type de déversement	Source	Débit	Proportion gaz-pétrole (m^3/m^3)
Éruption de pétrole brut	Sous-marine (profondeur de 470 m)	817,6 m^3/jour (5 143 bopd)	89
	Installation de forage de surface	2 102,7 m^3/jour (13 226 bopd)	89
Déversements discontinus de diesel	Opérations sur plateforme de forage	15,9 m^3 (100 barils)	s.o.
	Transfert sur navire	1,59 m^3 (10 barils)	s.o.

Modélisation du devenir des déversements discontinus de diesel

Le Tableau 2.22 présente les résultats de la modélisation du devenir des déversements discontinus au cours des quatre saisons (réalisée à l'aide des données représentant la moyenne des températures de l'air et de l'eau et de la vitesse des vents de l'étude de SL Ross [2011a, mise à jour en 2012]). Les variations décrites ci-dessous sont dues aux différences de température et aux variations de la vitesse des vents entre les diverses saisons. Comme les conditions du milieu ne changent presque pas entre ces deux saisons, les résultats pour l'automne et l'hiver sont pratiquement similaires. Il en va de même pour le printemps et l'été.

Tableau 2.22 Caractéristiques des déversements discontinus de diesel

Volume du dév. m^3 (bbl)	Saison	Largeur de nappe init. (M)	Temps de survie (h)	Largeur de nappe max. (M)	Évap. Tot. %	Dist. perte de nappe (km)	Conc. Dist. Max (ppm)	Temps conc. Max (h)	Temps à 0,1 ppm (h)	Largeur du panache à 0,1 ppm (M)	Distance à 0,1 ppm (km)
1.59 (10)	Hiver	10	20	55	27	20	0,42	2	7	490	7,0
1.59 (10)	Printemps	10	36	58	36	26	0,20	1	4	275	2,8
1.59 (10)	Été	10	32	56	40	17	0,21	1	4	275	2,3
1.59 (10)	Automne	10	17	52	30	18	0,47	1	7	490	7,5
15.9 (100)	Hiver	32	30	133	27	31	0,92	3	24	2 020	24
15.9 (100)	Printemps	32	49	139	35	35	0,43	3	14	1 140	10
15.9 (100)	Été	32	43	134	38	24	0,43	3	13	1 060	7
15.9 (100)	Automne	32	25	127	29	26	1,02	3	25	2 140	26

La largeur initiale des petits déversements de pétrole (1,59 m^3) est de 10 m. Elle atteint 53 à 58 m au fil de l'évolution des déversements. Les nappes de surface qu'occasionnent ces petits déversements survivent entre 17 et 36 heures. Les concentrations en diesel des déversements qui surviennent au printemps et à l'été diminuent de 36 et 40 % respectivement en raison d'une évaporation, alors qu'à l'hiver et à l'automne, ces pertes sont respectivement de 27 et 30 %. Le pétrole restant se disperse dans la couche supérieure des eaux où il s'y diffuse latéralement et en profondeur. Les nappes de surface parcourent entre 17 et 26 km à partir du point de rejet avant de se dissiper dans l'eau (c.-à-d. le point où les parties épaissesd de la nappe atteignent 10 µm ou 0.01 mm).

Le pétrole qui se disperse dans la colonne d'eau sous la nappe atteint des concentrations maximales de 0,2 à 0,47 ppm une heure ou deux après son rejet. On croit que le pétrole se mélange dans les 30 premiers mètres de la couche supérieure des eaux, car c'est la profondeur de mélange minimale rapportée dans les documents d'étude relatifs à la région (Drinkwater et Gilbert, 2004). Le panache sous-marin de pétrole se diffuse aussi latéralement en s'éloignant du point de rejet et en étant entrainé par les courants dominants. Le pétrole qui se disperse dans la colonne d'eau a été traqué jusqu'à ce que sa concentration chute à 0,1 ppm d'hydrocarbures pétroliers totaux. Il s'agit de la concentration d'exposition sous laquelle aucun effet négatif n'est anticipé sur le milieu et les ressources aquatiques (Trudel et coll., 1989 ; French-MacCay 2004). En ce qui concerne les petits déversements de diesel, les concentrations d'huile dans la colonne d'eau chutent à 0,1 ppm en 4 ou 7 heures. Le temps que la concentration des gouttelettes de pétrole dispersées chute à 0,1 ppm, la nappe de pétrole atteint 275 à 490 m de diamètre et 30 m de profondeur et se retrouve entre 2,3 et 7,5 km du point de rejet.

La largeur initiale des gros déversements de pétrole (15,9 m^3) est de 32 m. Elle atteint 127 à 139 m au fil de l'évolution des déversements. Les nappes de surface qu'occasionnent ces gros déversements survivent entre 25 et 49 heures. Les concentrations en diesel des déversements qui surviennent au printemps et à l'été diminuent de 35 et 38 % respectivement en raison d'une évaporation, alors qu'à l'hiver et à l'automne, ces pertes sont respectivement de 27 et 29 %. Le pétrole restant se disperse dans la couche supérieure des eaux. Les nappes de surface parcourent entre 24 et 35 km à partir du point de rejet avant de se dissiper dans l'eau.

Les concentrations maximales de pétrole pour ces gros déversements atteignent 0,43 à 1,02 ppm en 3 heures après leur rejet. Les concentrations de pétrole dans la colonne d'eau chutent à 0,1 ppm en 13 ou 25 heures. Le temps que la concentration des gouttelettes de pétrole dispersées chute à 0,1 ppm, la nappe de pétrole atteint 1 060 à 2 140 m de diamètre et 30 m de profondeur et se retrouve entre 7 et 26 km du point de rejet.

Modélisation de la trajectoire et du devenir des éruptions de surface

Dans ce scénario, une éruption survient à la surface de l'appareil de forage entrainant un rejet de 2102,7 m^3 de pétrole brut par jour selon une proportion gaz-pétrole (PGP) de 89 m^3/m^3. L'appareil de forage n'est pas gravement endommagé et demeure dans sa position tout au long de l'éruption. Le gaz s'échappe au niveau du plancher de manœuvre (21 m au-dessus de la surface de l'eau) à une vitesse élevée et pulvérise ce faisant de fines gouttelettes de pétrole. Ces gouttelettes sont projetées vers le haut par le jet du gaz, entrent en contact avec le mât de charge et s'agglomèrent pour atteindre une taille d'environ 0,5 mm. Cette taille moyenne a été choisie pour la modélisation des éruptions de surface en se basant sur les ajustements du modèle réalisés à l'aide des données relatives à l'éruption du puits Uniacke G-72 de Shell survenu en Nouvelle-Écosse en 1984. Ces gouttelettes retombent sur la surface de l'eau en aval de l'appareil de forage (sous le vent). La plupart des gouttelettes retombent à la surface de l'eau dans les quelques premiers mètres de l'appareil de forage pour former une bande étroite où elles se réunissent subséquemment pour former une nappe épaisse. Les propriétés de la nappe et du pétrole changeront au fil du temps selon la saison (température, vitesse des vents, etc.). Les valeurs du tableau ci-dessous reflètent ces variations au fil des saisons. Les résultats de la modélisation du devenir de ce type de rejet sont présentés au Tableau 2.23.

Tableau 2.23 Caractéristiques des éruptions de pétrole brut de surface

Débit du rejet m3/jour (bopd)	Saison	Largeur de nappe init. (M)	Épaisseur de nappe init. (mm)	Évap. tot. dans l'air %	Temps de survie (h)	Total Évap. tot. %	Conc. Disp. Max. (ppm)	Temps à 0,1 ppm (h)	Largeur du panache à 0,1 ppm (km)	Dist. de la source à 0,1 ppm (km)
Site de forage situé à 48.051471 N ; -60.394274 O (rejet à 21 m au-dessus de la surface de l'eau)										
2,103 (13,226)	Hiver	70	1,0	30	1,6	35	6,0	15	1,2	3,4
2,103 (13,226)	Printemps	54	1,6	39	2,6	44	3,4	15	1,2	3,7
2,103 (13,226)	Été	54	1,6	46	2,4	50	3,8	15	1,2	3,8
2,103 (13,226)	Automne	75	0,8	36	1,1	41	6,8	14	1,1	3,8

En prenant en considération les débits de rejet anticipés, la hauteur typique d'un appareil de forage, le diamètre des conduits qui seront installés et les conditions du milieu dans la zone du prospect de Old Harry, le modèle a estimé que la nappe au point de rejet était d'une largeur de 54 à 75 m et d'une épaisseur de 0,8 à 1,6 mm. Le pétrole brut qui constitue la nappe perd entre 30 et 46 % de son volume en raison de l'évaporation des gouttelettes dans l'air. Les gouttelettes de pétrole brut s'unissent pour former une nappe épaisse à la surface de l'eau et commencent alors à se disperser et continuent de s'évaporer. Ce type de nappe peut survivre quelques heures (1,1 à 2,6 heures) en s'éloignant du point de rejet sous l'influence des vents et des courants dominants. Les concentrations maximales de pétrole brut sont de 3,4 et 6,8 ppm et le panache atteint une concentration de 0,1 ppm en 14 ou 15 heures. Le panache dispersé fait 1,1 à 1,2 km de largeur à ce moment et se retrouve à 3,4 ou 3,8 km du point de rejet.

Modélisation de la trajectoire et du devenir des éruptions sous-marines

Le débit du rejet de pétrole brut modélisé est de 817,6 m^3/jour, selon une proportion gaz-pétrole (GOR) de 89 m^3/m^3 (Tableau 2.25). Dans le cas de ce type d'éruption, les fluides jaillissent du fond marin et le régime turbulent brise le pétrole en de fines gouttelettes. Ces gouttelettes sont rapidement attirées vers la surface par le panache gazeux. Comme la profondeur de l'eau sur le site de Old Harry est de moins de 500 m, il est improbable que d'importantes quantités de gaz forment des hydrates, et un panache de bulles se formera, tel qu'il est indiqué dans la description des éruptions sous-marines en eau peu profonde.

Tableau 2.24 Caractéristiques des éruptions sous-marines

Débit du rejet m^3/jour (bopd)	Saison	Largeur de nappe init. (M)	Épaisseur de nappe init. (mm)	Temps de survie (min)	Total Évap. tot. %	Conc. Disp. Max. (ppm)	Temps à 0,1 ppm (h)	Largeur du panache à 0,1 ppm (km)	Dist. de la source à 0,1 ppm (km)
Site de forage situé à 48.051471 N ; -60.394274 O (470 m sous la surface de l'eau)									
817 (5,143)	Hiver	1 647	0,028	1	16	0,8	30	4,5	5,1
817 (5,143)	Printemps	2 165	0,028	2	25	0,7	35	5,7	6,6
817 (5,143)	Été	2 537	0,028	2	29	0,7	38	6,4	8,1
817 (5,143)	Automne	1 478	0,028	1	19	0,7	27	4,0	6,3

À la surface, les gouttelettes de pétrole brut se répandent pour former une nappe épaisse, car la température du milieu se retrouve toutes les saisons bien au-dessus du point d'écoulement du brut frais. L'eau entrainée forme une nappe initiale qui s'étend en s'éloignant du point de rejet. À proximité du point de rejet, le gaz sortant génère une zone localisée de turbulence. Les caractéristiques de la nappe initiale de pétrole et le devenir ultime du pétrole à la surface sont présentés au Tableau 2.24.

En général, les nappes initiales de pétrole générées par des éruptions sous-marines sont vastes, minces et non persistantes en raison de la nature volatile et à faible viscosité du pétrole et de l'écoulement latéral que génère le flux d'eau ramené à la surface par le panache gazeux.

La largeur initiale des nappes varie entre 1478 et 2537 m, en fonction des courants de surface induits par le vent et résiduels combinés pour chaque saison. Ces largeurs sont estimées au point où l'eau de surface créée par le panache gazeux n'influence plus le comportement du pétrole à la surface. L'épaisseur de la nappe initiale n'est que de 0,028 mm, ou 28 microns. En raison de la minceur de la nappe initiale, le modèle prédit que le pétrole à la surface s'évapore et se dissipe complètement dans la colonne d'eau en quelques minutes. Des traces de pétrole peuvent persister à la surface un peu plus longtemps, mais il est peu probable que des nappes importantes survivent sur de longues périodes si l'on tient compte des conditions qui prévalent normalement dans la région.

Entre 16 et 29 % du pétrole s'évapore selon la saison, et le reste se disperse dans l'eau. Les nappes de surface ne persistent pas sur de longues périodes, mais un panache de pétrole dispersé est généré sous l'eau, lequel s'éloigne du point de rejet sous l'influence des courants dominants. Le panache prend de l'expansion et sa concentration en pétrole diminue à mesure qu'il s'éloigne du site de forage. Les concentrations maximales de pétrole dispersé à proximité du site de forage se situent entre 0,7 et 0,8 ppm.

La largeur du panache de pétrole est de 4 à 6,4 km lorsque sa concentration atteint 0,1 ppm. À cette concentration, le panache se retrouve à environ 5,1 ou 8,1 km du point de rejet.

2.12.2.4 Résultats de modélisation de la trajectoire du pétrole en surface

Les courants et le vent déplacent le pétrole rejeté jusqu'à ce qu'il se disperse dans l'eau, s'évapore ou atteigne les côtes. Comme il en a été question dans les sections précédentes, les rejets de pétrole brut similaire à celui de Cohasset ne sont pas persistants et la durée de survie des nappes de surface n'est que de quelques heures, même si les vents qui prévalent sont relativement calmes.

Des trajectoires ont été modélisées pour les quatre saisons afin de démontrer la superficie que pourraient occuper les nappes dans le cas de rejets d'un mois. Les données moyennes actuelles sur l'eau de surface utilisées dans les trajectoires fournissent la tendance saisonnière du mouvement de l'eau de surface dans la région (y compris les effets de la tension du vent). Les courants de marée n'ont pas été pris en compte dans l'évaluation, car leur mouvement oscillatoire entraîne un faible mouvement net à long terme du pétrole à la surface. Lorsque le courant moyen saisonnier des eaux de surface est combiné aux données sur le vent MSC50 portant sur une période de 52 ans, la variation des trajectoires possibles à partir de l'emplacement de forage est bien représentée aux fins de l'étude d'impact, surtout pour un déversement de pétrole brut non persistant. Le mouvement des nappes de surface induit par le vent est souvent plus prononcé que l'effet moyen du courant de l'eau de surface.

La quantité de pétrole qui serait rejetée pendant six heures lors d'une éruption de surface continue a été introduite à la surface au site d'exploration en tant que déversement discontinu se répétant toutes les six heures sur une période d'un mois. Cela ne représente pas un scénario qui se produirait véritablement lors d'une éruption continue, du point de vue des premières estimations de l'épaisseur du pétrole et du taux d'évaporation et de dispersion du pétrole, mais plutôt un scénario procurant une évaluation raisonnablement prudente du

comportement d'un déversement. Un déversement continu de pétrole, soit à partir de la surface ou du fond marin, générerait des nappes initiales plus minces que celles qui ont été modélisées, dans le cadre de la présente évaluation, en se fondant sur un déversement discontinu se répétant toutes les six heures.

Chacune des quantités rejetées durant ces périodes de six heures a été traquée jusqu'à ce que le pétrole à la surface soit complètement évaporé ou dispersé. Tous les processus majeurs de déversement de pétrole sont pris en compte dans la modélisation (évaporation, émulsification et dispersion). L'historique complet du mouvement de ces rejets se répétant toutes les six heures (générés au début des mois de février, de mai, d'août et de novembre respectivement, et traqués jusqu'à ce que tout le pétrole à la surface se soit complètement dispersé) est illustré aux Figures 2.11 à 2.14. Ces mois ont été choisis parce qu'ils correspondent au milieu de chacune des saisons. Ces graphiques ne représentent pas la zone océanique où le pétrole brut se trouve à un moment donné, mais illustrent simplement la superficie totale que les nappes ont parcourue au cours de ces rejets d'un mois.

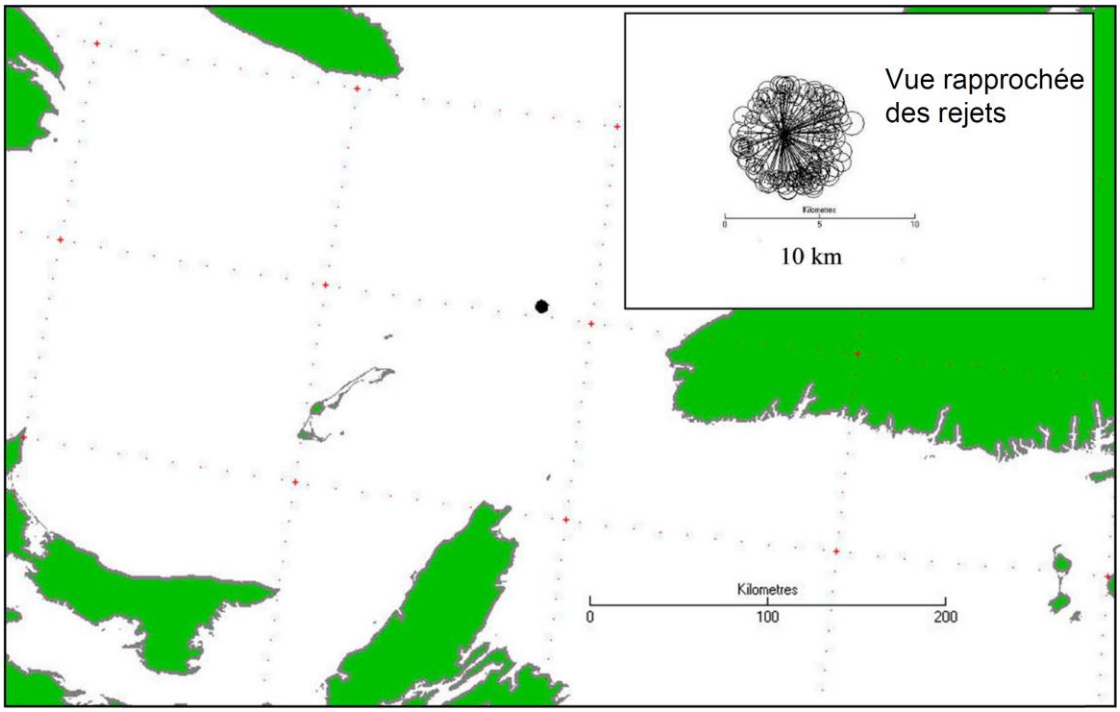


Figure 2.11 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de février

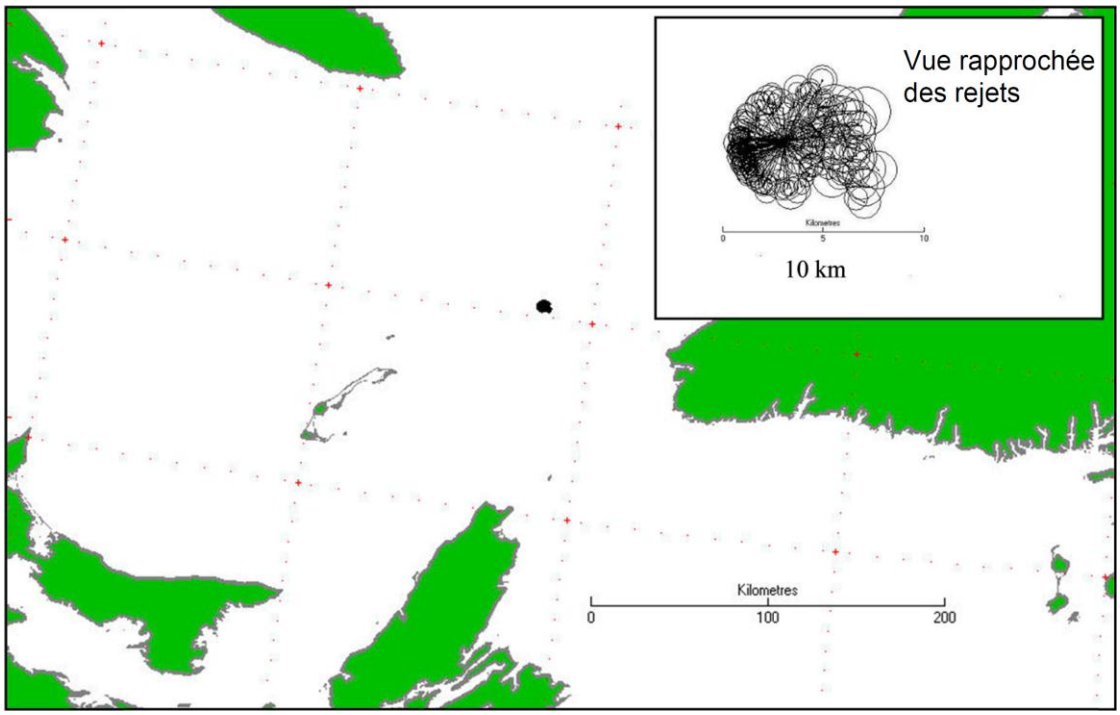


Figure 2.12 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de mai

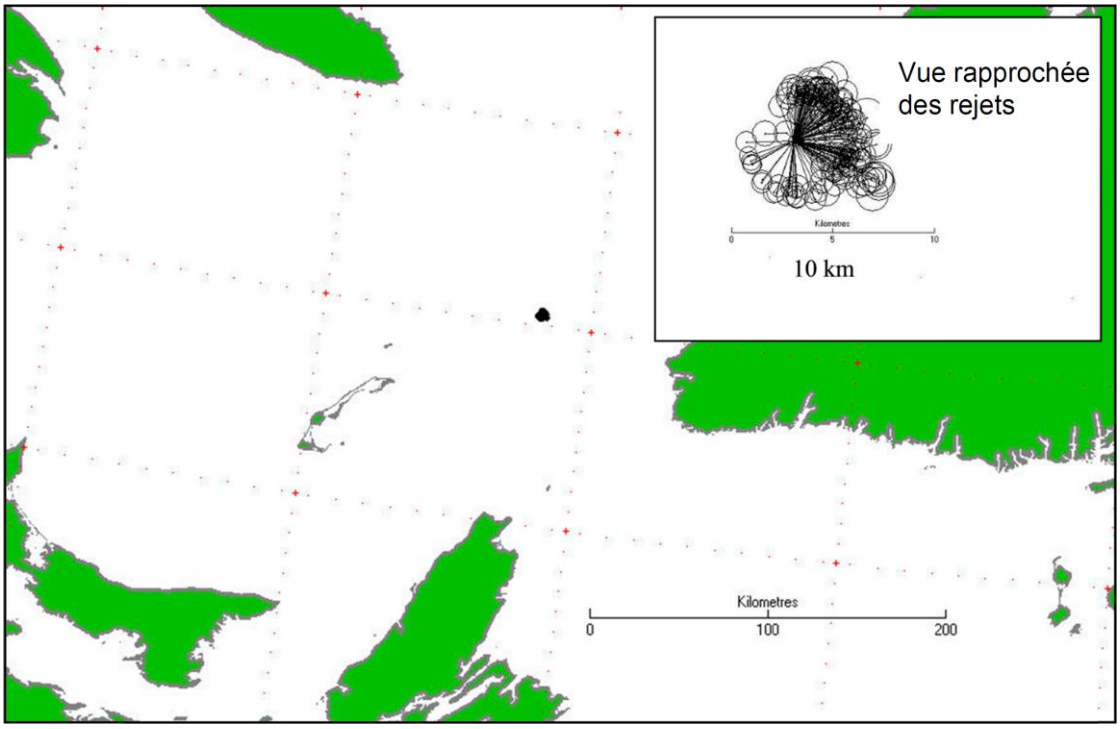


Figure 2.13 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois d'août

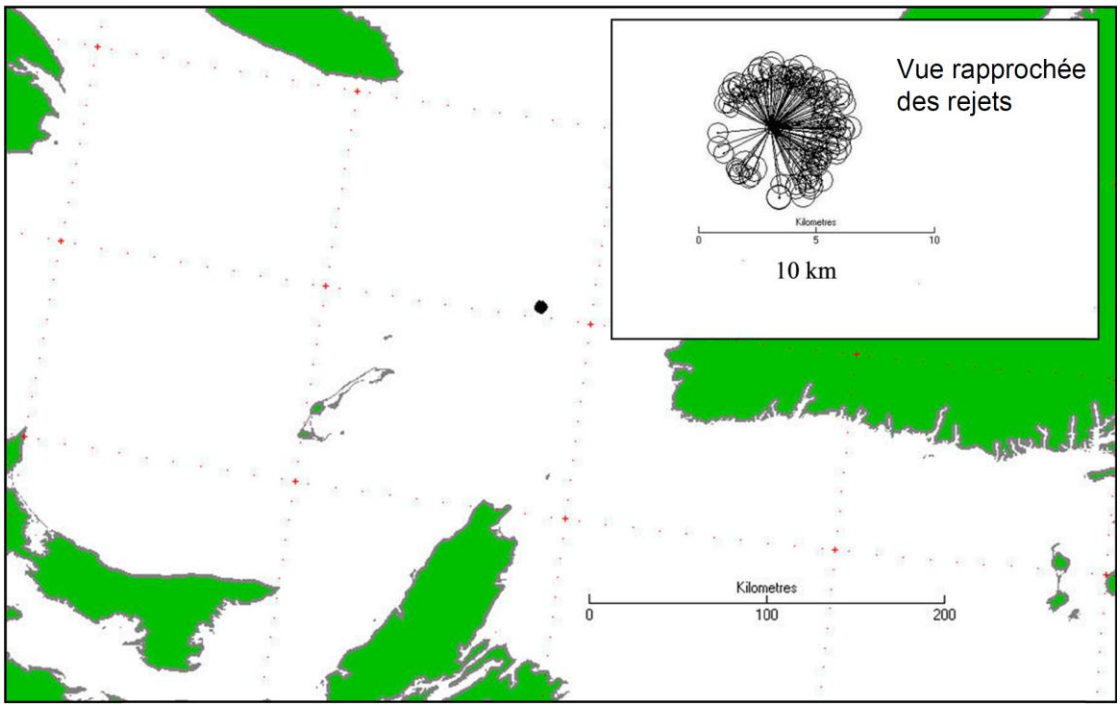


Figure 2.14 Enveloppe de la trajectoire du pétrole en surface dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de novembre

Les cercles apparaissant dans les figures représentent les positions de 112 (28 jours x 4 nappes quotidiennes) à 124 (31 jours x 4 nappes quotidiennes) nappes de pétrole brut rapportées toutes les heures et demie. Comme le démontrent les dessins au trait que l'on aperçoit en gros plan dans les diverses figures, la superficie totale que parcourent les nappes dans l'océan au cours des rejets d'un mois est relativement petite. Le rayon de la superficie totale que parcourt le pétrole à la surface est d'environ 3 km à partir du point de rejet, et ce pour toutes les saisons. Cette superficie est petite, car le pétrole brut léger s'évapore et se disperse rapidement sous les conditions normales du milieu de la région. Chaque rejet de six heures de pétrole est soumis à différentes directions et vitesses de vent, ce qui signifie que chaque nappe suit un parcours unique.

L'étude de SL Ross (2011a, mise à jour en 2012) comprenait aussi une évaluation de l'historique des trajectoires des nappes de surface de pétrole générées par des éruptions de surface (incluant une évaluation parallèle préconisant une approche plus conservatrice d'éruption en surface et de déversements discontinus de nappes accumulées de six heures, dans le cadre d'une modélisation raisonnablement prudente de leur devenir). Les trajectoires complètes (de la source jusqu'à la dispersion ou évaporation complète des nappes) de 75 920 nappes (c.-à-d. l'étendue de nappe maximale modélisée) sont présentées aux Fgiures 2.15 et 2.16.

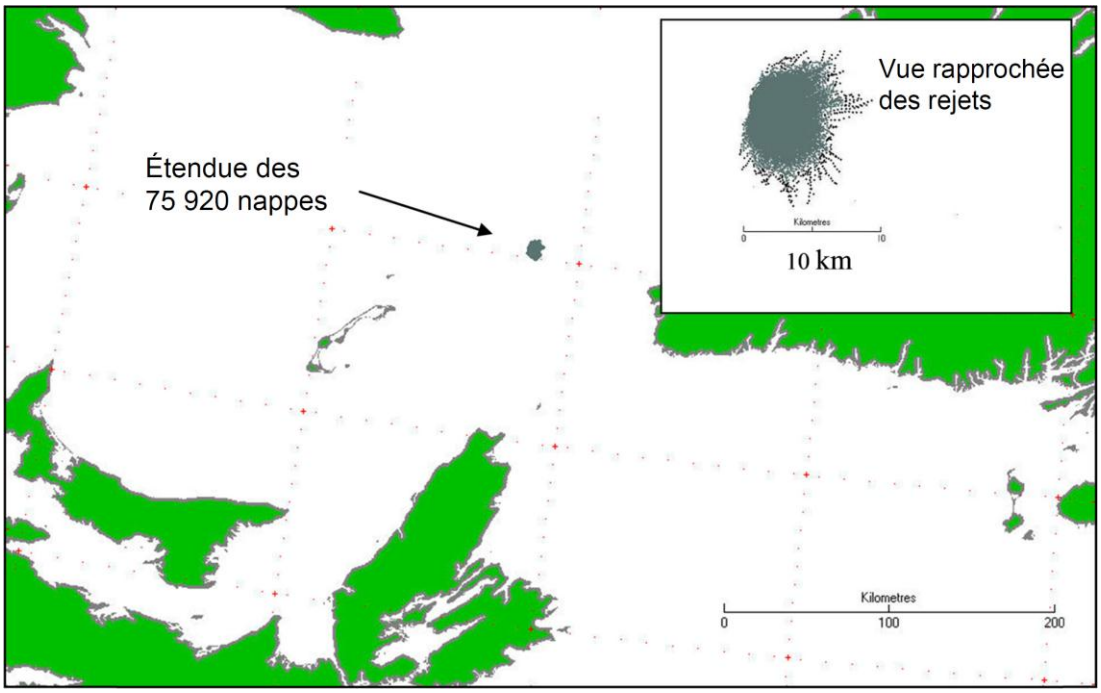


Figure 2.15 Superficie maximale balayée par des nappes de surface sur l'océan selon des simulations d'éruptions de surface menées sur 52 ans

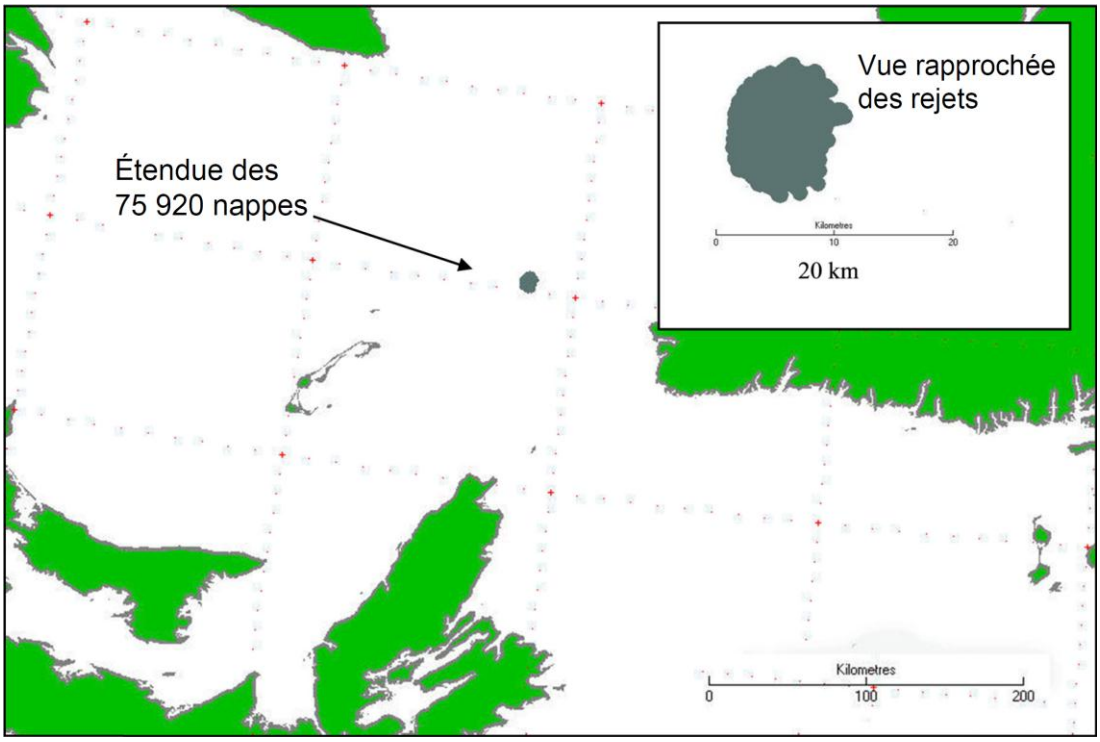


Figure 2.16 Superficie maximale balayée par des nappes de surface sur l'océan selon des simulations d'éruption de surface menées sur 52 ans et en adoptant une approche de modélisation conservatrice

Même en utilisant une approche de modélisation extrêmement conservatrice, aucune des nappes de pétrole n'a atteint les côtes, 53 % d'entre elles ont survécu 5 heures ou moins et 16 % ont survécu plus de 10 heures (Tableau 2.25). Comme ce fut le cas pour l'approche de modélisation conservatrice, aucune des nappes de pétrole brut n'a atteint les côtes, 51 % d'entre elles ont survécu 5 heures ou moins et 19,3 % ont survécu plus de 10 heures (Tableau 2.25).

Tableau 2.25 Durée de vie des nappes et potentiel de contact avec les côtes selon une approche de modélisation conservatrice et raisonnable du pire des scénarios

Mois	Nombre de nappes suivies	% de nappes ayant atteint les côtes		Durée de vie minimum des nappes (h)		Durée de vie maximum des nappes (h)	
		Conservatrice	Pire scénario	Conservatrice	Pire scénario	Conservatrice	Pire scénario
Janvier	6 448	0,0	0,0	0,11	0,5	16,6	18,4
Février	5 824	0,0	0,0	0,13	0,6	25,0	25,6
Mars	6 448	0,0	0,0	0,14	0,7	27,8	29,5
Avril	6 240	0,0	0,0	0,15	0,7	35,7	34,7
Mai	6 448	0,0	0,0	0,17	0,8	56,1	51,4
Juin	6 240	0,0	0,0	0,22	0,9	39,0	38,3
Juillet	6 448	0,0	0,0	0,21	0,8	37,3	36,7
Août	6 448	0,0	0,0	0,15	0,7	38,0	34,7
Septembre	6 240	0,0	0,0	0,12	0,6	34,4	31,5
Octobre	6 448	0,0	0,0	0,10	0,5	22,8	24,3
Novembre	6 240	0,0	0,0	0,11	0,6	24,7	24,9
Décembre	6 448	0,0	0,0	0,09	0,5	14,6	15,3

2.12.2.5 Résultats mensuels typiques de modélisation de la trajectoire du panache de pétrole dispersé

Cette section porte sur le mouvement et l'étendue du pétrole dispersé dans la colonne d'eau sous les nappes de surface. Cette section a trait également aux panaches de pétrole générés au cours des simulations décrites à la section 2.12.3.2. Des exemples de trajectoires de panaches de pétrole générés par le site d'exploration proposé ont été modélisées pour les quatre saisons afin de démontrer les zones sous-marines que pourraient occuper les nappes dans le cas de rejets d'un mois. Lors de ces simulations, la quantité de pétrole qui serait rejetée pendant six heures lors d'une éruption de surface continue a été introduite à la surface au site d'exploration en tant que déversement discontinu se répétant toutes les six heures sur une période d'un mois. Tel que discuté précédemment, cela ne représente pas un scénario qui se produirait véritablement lors d'une situation d'éruption continue (du point de vue de l'épaisseur initiale de la nappe), mais plutôt un scénario procurant une évaluation raisonnablement prudente du comportement d'un pétrole dispersé.

Le pétrole dispersé devrait se mélanger dans les premiers 30 mètres de la couche supérieure des eaux, sous la nappe, pour ensuite se diffuser latéralement (diffusion océanique). L'historique complet du mouvement des panaches de pétrole générés par les rejets se répétant

tous les six heures pour les mois de février, de mai, d'août et de novembre respectivement est illustré aux Figures 2.17 à 2.20. Comme le démontrent les dessins au trait que l'on aperçoit en gros plan dans les diverses figures, le volume total de l'océan balayé par les panaches de pétrole au cours des rejets d'un mois est relativement petit. Les dimensions des zones balayées illustrées aux Figures 2.17 à 2.20 varient de 18 à 22 km quant à la largeur des panaches et de 25 à 40 km quant à leur longueur. Le point de rejet est situé à l'extrémité étroite du tracé et la direction générale des panaches reflète la direction des courants de surface saisonniers dans la région du site de forage. Encore fois, ces graphiques de ne représentent pas l'étendure du panache de pétrole dans l'eau en un point précis dans le temps.

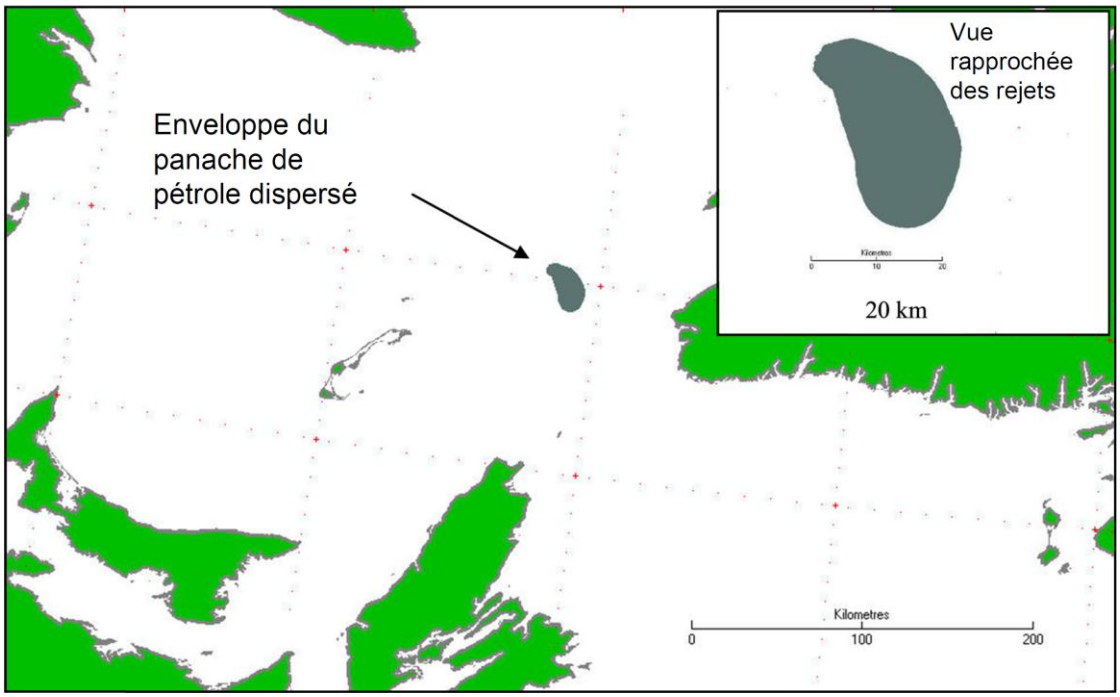


Figure 2.17 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de février

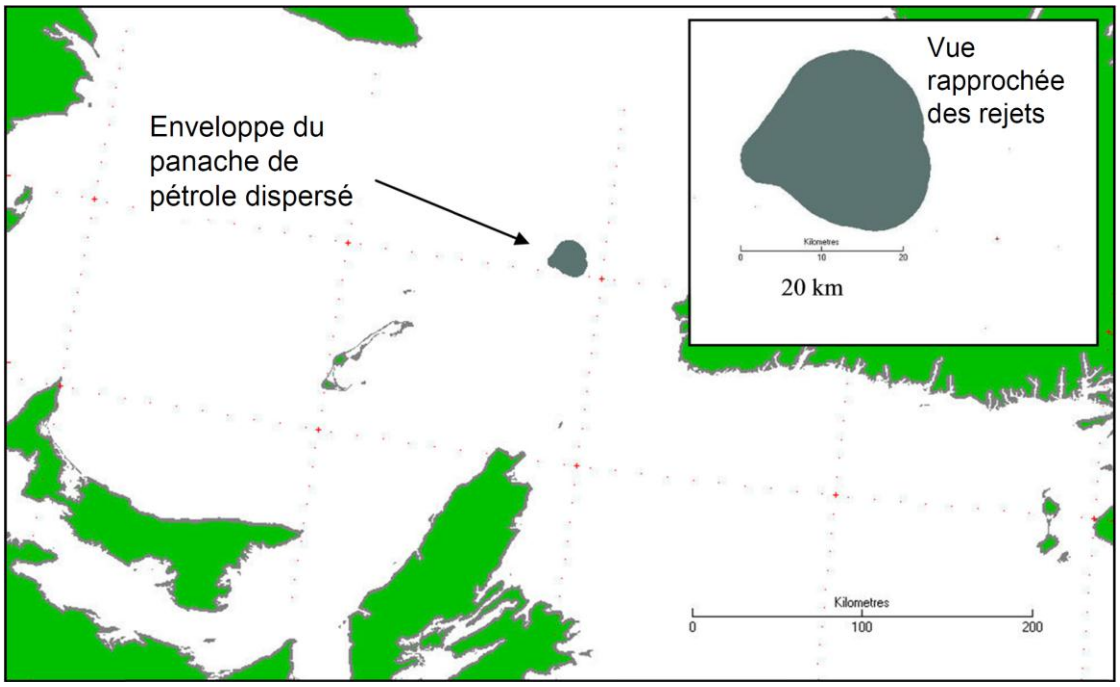


Figure 2.18 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de mai

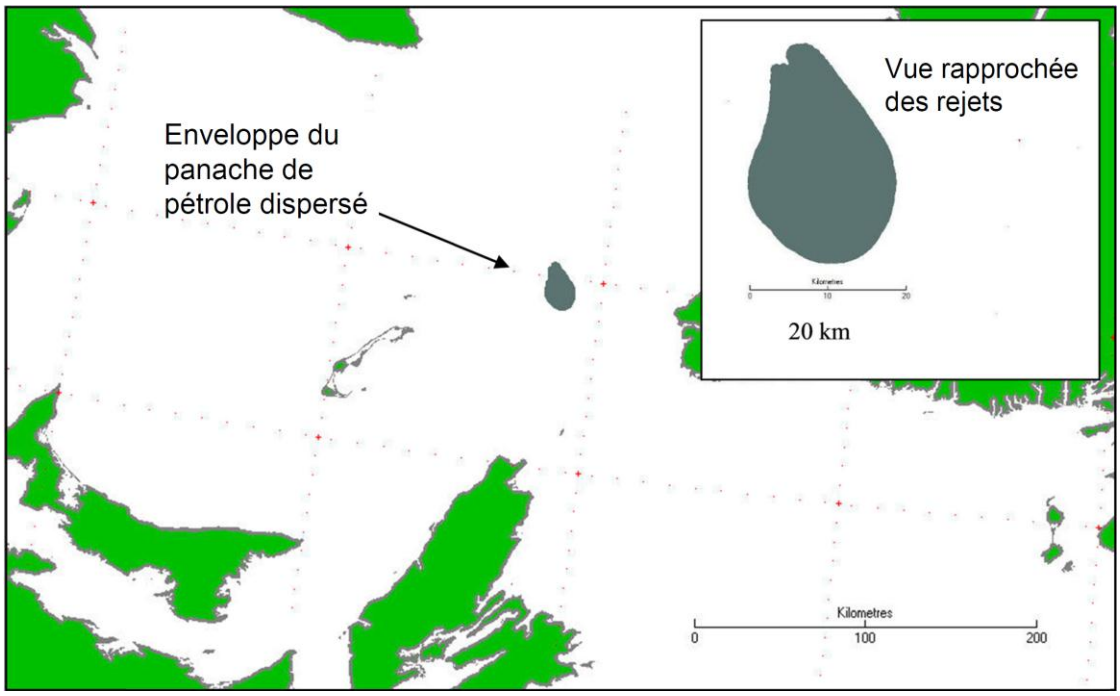


Figure 2.19 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois d'août

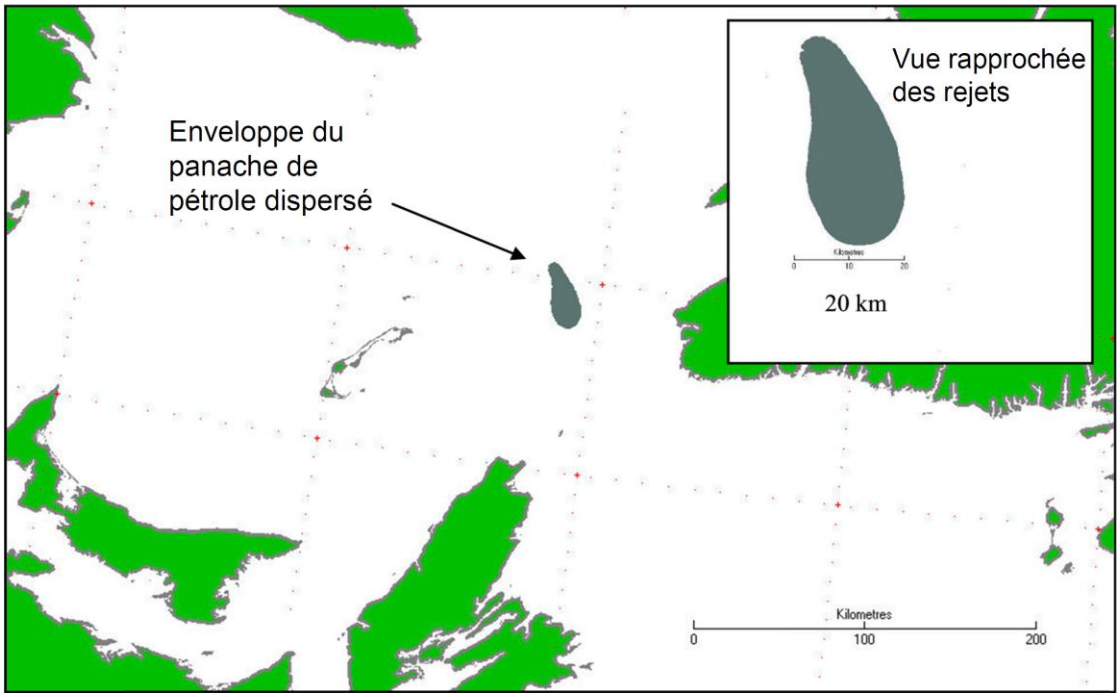


Figure 2.20 Enveloppe de la trajectoire des panaches de pétrole dispersé (modélisation raisonnablement prudente) dans le cas d'un rejet discontinu d'une accumulation de 6 heures suite à une éruption pour le mois de novembre

L'étude de SL Ross (2011a, mise à jour en 2012) comprenait aussi une évaluation de l'historique des trajectoires des panaches de pétrole générées par des éruptions de surface. Les mêmes deux simulations rapportées pour les trajectoires de nappes en surface, les éruptions en surface et les rejets discontinus de six heures lors des scénarios raisonnablement prudents sont également fournies pour les panaches de pétrole dispersé. Les trajectoires complètes (de la source jusqu'à la dispersion ou évaporation complète des nappes) de 75 290 nappes (c.-à-d. l'étendue de nappe maximale modélisée) sont présentées aux Figures 2.21 et 2.22.

La meilleure estimation de la région maximum possible pouvant être balayée par le panache de pétrole dispersé, de 0,1 ppm, est présentée à la Figure 2.21 et est basée sur la modélisation détaillée d'une éruption continue en surface, tel que décrite à la section 2.12.2.3. Les zones ne représentent pas l'extension du panache de pétrole dispersé à partir d'un seul événement d'éruption ; la zone représentée à la Figure 2.21 démontre plutôt l'étendue maximum des panaches de pétrole dispersé comportant des concentrations plus grandes que 0,1 ppm pour la totalité des 75 290 simulations complétées en utilisant les données éoliennes depuis 52 ans. Prendre note que l'empreinte de surface de la Figure 2.22 est plus grande que l'estimation d'éruption continue en surface présentée à la Figure 2.17 en raison du plus grand volume de pétrole considéré dans chacun des rejets de six heures et du délai plus long qui est nécessaire pour que le pétrole dispersé se diffuse à une concentration de 0,1 ppm.

La trajectoire modélisée optimale a été superposée à la zone du projet (rectangle rouge)et à la zone d'étude (ligne pointillée) pour déterminer quelle pourrait être l'étendue maximale d'un rejet dans celles-ci (Figure 2.23). Comme le démontre la Figure 2.23, l'étendue maximale d'un rejet ne s'étend à peine qu'au-delà de la zone du PP 1105 et est peu répandue dans la zone d'étude.

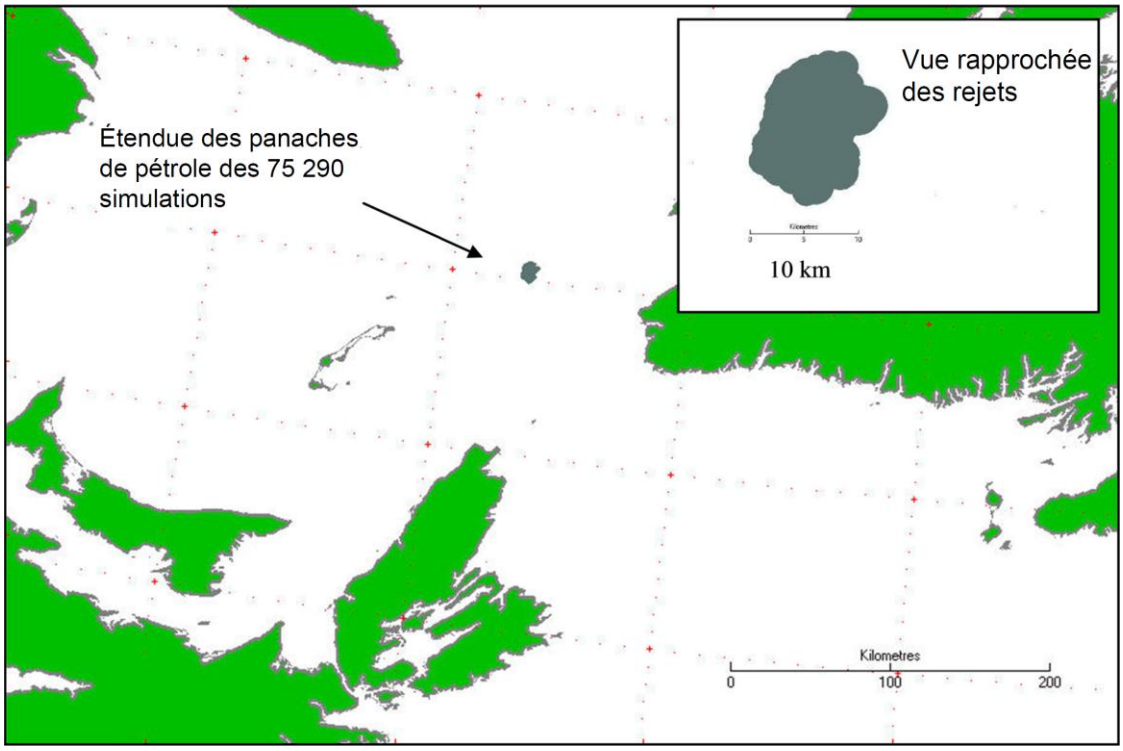


Figure 2.21 Superficie maximale parcourue par du pétrole dispersé de >0,1 ppm sur l'océan selon des simulations d'éruptions de surface menées sur 52 ans

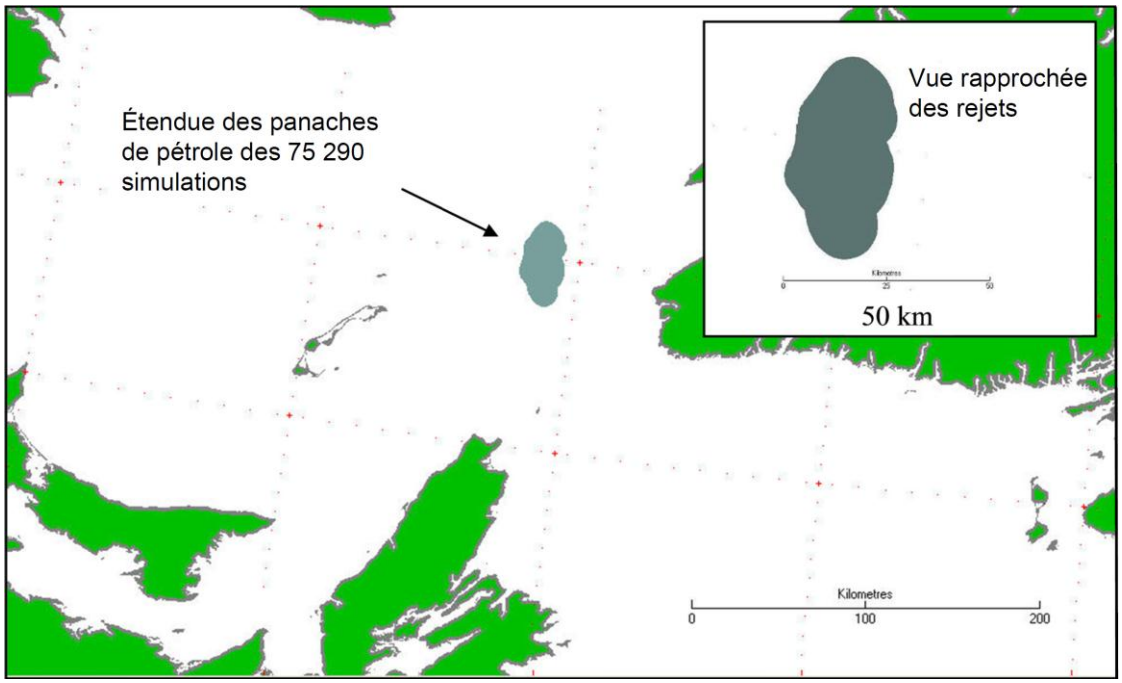


Figure 2.22 Superficie maximale parcourue par du pétrole dispersé de >0,1 ppm sur l'océan selon des simulations d'éruptions de surface menées sur 52 ans et en adoptant une approche conservatrice : déversements discontinus sur six heures

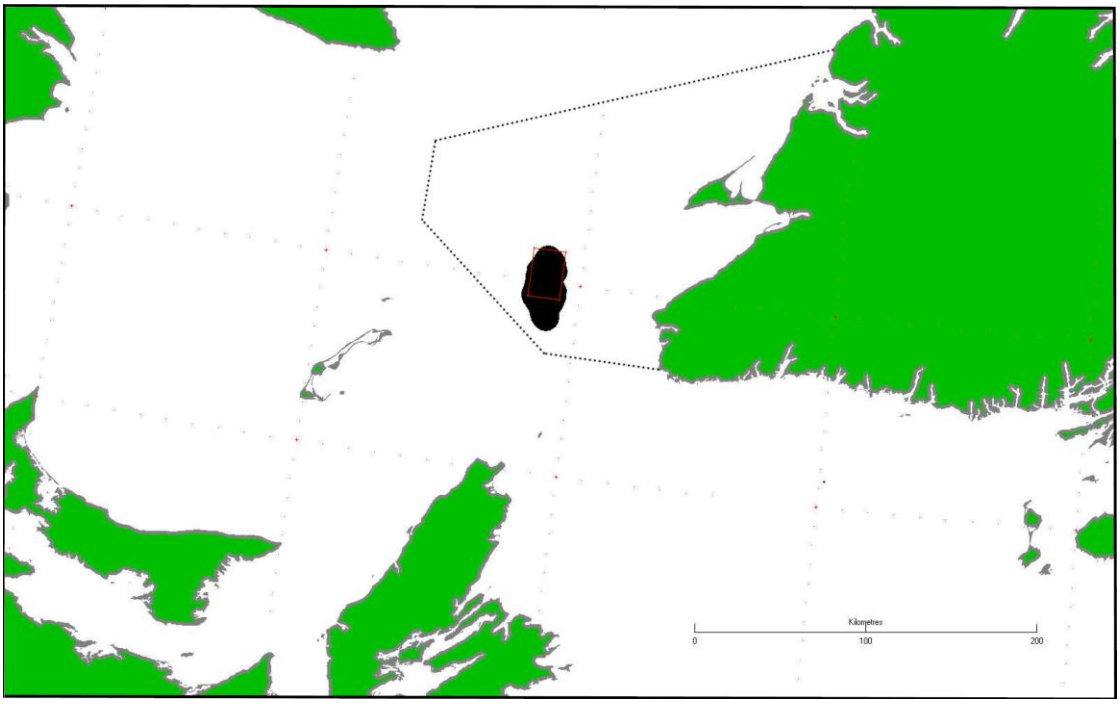


Figure 2.23 Étendue maximale des trajectoires anticipées des panaches de pétrole par rapport à la zone du permis de prospection 1105

3.0 CONSULTATION AUPRÈS DES PARTIES PRENANTES

Corridor comprend l'importance d'entretenir de bonnes relations et une bonne communication avec les parties prenantes clés du projet, dont les organismes de pêches, les organismes environnementaux, les représentants des Premières nations, les organismes de réglementation, le gouvernement fédéral, les gouvernements provinciaux, les administrations municipales, les représentants des médias, etc. Corridor a déjà mis en œuvre un programme de consultation dans le cadre du projet et entend le maintenir en place tout au long du processus d'évaluation environnementale.

Le site Web de Corridor se veut aussi un bon instrument d'information. La description du projet proposé y est d'ailleurs publiée et des mises à jour y sont apportées régulièrement.

Dans l'ensemble, le programme de consultation mis en œuvre dans le cadre du projet d'exploration proposé préconise une approche basée sur le dialogue libre et bidirectionnel avec les parties prenantes clés. Grâce à ce processus, Corridor a pu identifier d'importants enjeux qu'elle a pris en considération dans la conception et la planification de ses activités. Les résultats du programme de consultation publique sont présentés dans ce rapport d'évaluation environnementale.

3.1 Exigences établies par la loi

La *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* exige que le public soit consulté à trois occasions durant la réalisation d'une évaluation environnementale :

- Lors de la préparation des lignes directrices ;
- Lors de la réalisation de l'évaluation environnementale ;
- À l'achèvement de l'évaluation environnementale, lors de son examen, avant que le ministre concerné prenne une décision quant à son contenu et ses conclusions.

Les lignes directrices a été mises à la disposition de l'OCTLHE aux fins d'examen public du 25 février au 28 mars 2011. Un avis public a été émis sur le site Web du Registre canadien d'évaluation environnementale (numéro de référence 11-01-60633) dans le but d'amorcer la période d'observation du public. L'avis public a aussi été émis sur le site Web de l'OCTLHE et dans certains journaux. L'OCTLHE, au nom des autorités responsables, a invité le public à commenter l'ébauche des lignes directrices du projet de Old Harry. Des versions électroniques de l'ébauche des lignes directrices et de la description du projet ont été mises à la disposition du public sur le site Web de l'OCTLHE. Des copies papier ont été mises à la disposition de l'OCTLHE sur demande. Les parties prenantes étaient invitées à formuler leurs commentaires, observations et suggestions électroniquement ou par la poste au plus tard le 28 mars 2011. La majorité des commentaires reçues se trouvaient en dehors de la portée de l'évaluation environnementale concernant un seul puits d'exploration au sein du PP 1105 et portaient plutôt sur les questions de politique plus large.

Corridor a élaboré et mis en œuvre un programme de consultation au cours de la préparation de l'évaluation environnementale. Les questions et enjeux, pertinents à la proposition d'un seul puits d'exploration, soulevés par les parties prenantes au cours des consultations ont été pris en considération dans la préparation de cette évaluation environnementale.

Le programme de consultation était principalement centré sur les régions géographiques les plus concernées par les activités du projet, c.-à-d. la côte ouest de Terre-Neuve et les îles de la Madeleine. Le programme de consultation mis en œuvre dans la préparation de l'évaluation environnementale comprenait les éléments suivants :

- Examen de l'EES et de ses modifications préparées pour la zone extracôtière de l'ouest de Terre-Neuve (LGL 2005b, 2007) ;
- Examen des enjeux soulevés lors des consultations tenues dans le cadre de l'EES de la zone extracôtière de l'ouest de Terre-Neuve ;
- Consultation auprès du public et de divers membres des communautés, pêcheurs, entreprises, organismes, ONG à vocation écologique, etc. ;
- Rencontres avec différents ministères et organismes gouvernementaux ;
- Journées portes ouvertes ;
- Communication et suivi avec les médias ;
- Diffusion des renseignements relatifs au projet par l'entremise de médias électroniques et traditionnels ;
- Établissement d'un site Web propre au projet (http ://www.corridor.ca/oil-gas-exploration/ gulf-of-saint-lawrence.html).

Un élément important du programme de consultation était l'enregistrement des préoccupations, commentaires et enjeux soulevés lors des rencontres avec le public. Le détail des consultations ayant eu lieu dans le cadre de la préparation de l'évaluation environnementale est présenté tout au long de cette section. Corridor entend demeurer à l'écoute des parties prenantes intéressées ayant des questions ou des préoccupations concernant le projet proposé.

Le 3 juin 2011, l'OCTLHE a fait parvenir l'Évaluation environnementale au ministère de l'Environnement avec la recommandation de nommer soit un médiateur ou un groupe de révision. Le 15 août 2011, le ministère de l'Environnement a déterminé que l'Évaluation environnementale devrait procéder comme une évaluation préalable, mais a requis qu'une consultation publique complète soit effectuée en conjonction avec une évaluation environnementale préalable. De plus, le ministère de l'Environnement a également demandé une mise à jour de l'Évaluation environnementale stratégique (EES) de 2007 pour la zone extra-côtière de l'ouest de Terre-Neuve. L'OCTLHE avait nommé un réviseur indépendant qui devait mettre l'accent sur les effets environnementaux potentiels du forage proposé pour un seul puits d'exploration sur le PP 1105, mais cette révision indépendante a ensuite été annulée par l'OCTLHE.

L'OCTLHE a mis sur pied un groupe de travail afin de superviser les processus de mise à jour de l'EES pour le secteur au large de l'ouest de Terre-Neuve. Une partie intégrante du processus d'EES est la consultation publique. Ce processus donne à la population l'occasion de donner son avis sur les questions de politique plus larges liées au développement et à

l'exploration pétrolière et gazière dans le secteur au large de l'ouest de Terre-Neuve. L'ébauche d'un document de détermination de la portée pour la mise à jour de l'EES du secteur au large de l'ouest de Terre-Neuve a été publié aux fins de commentaires de la population le 21 décembre 2011. Les commentaires reçus ont été examinés et intégrés, le cas échéant, par l'OCTLHE dans un document final de détermination de la portée qui a été publié le 21 février 2012. Des séances de consultation de la population ont eu lieu dans le cadre du processus de mise à jour de l'EES à Terre-Neuve-et-Labrador, au Nouveau-Brunswick, à l'Île-du-Prince-Édouard, en Nouvelle-Écosse, aux Îles-de-la-Madeleine et au Québec, en septembre et octobre 2012. La prochaine consultation de la population au sujet du processus de mise à jour de l'EES sera un examen public d'un projet de rapport de mise à jour de l'EES, qui devrait être publié au début du printemps 2013. La mise à jour finale de l'EES devrait être publiée à l'été 2013.

3.2 Consultation auprès de municipalités locales

Corridor a rencontré plusieurs représentants de conseils et d'administrations municipales sur la côte ouest de Terre-Neuve et aux îles de la Madeleine, incluant :

- Zone 10 - Marine and Mountain Zone Corporation ;
- Ville de Channel-Port aux Basques ;
- Chambre de commerce de Port aux Basques ;
- Zone 9 - Conseil de développement économique régional des Long Range ;
- Association des autochtones du Labrador et de Terre-Neuve (actuellement désignée sous le nom de Bande de la Première nation mi'kmaq des Qalipu) ;
- Chambre de commerce de Corner Brook ;
- Ville de Corner Brook ;
- Société portuaire de Corner Brook.

Corridor a également rencontré les représentants des municipalités des îles de la Madeleine et a fait une présentation à leur Comité sur les hydrocarbures. Bien que cette consultation n'était pas considérée officielle par le Comité sur les hydrocarbures, elle a permis à Corridor l'occasion de procurer de l'information sur le projet et a permis aux membres du Comité de commenter le projet proposé.

3.3 Pêches commerciales

Les groupes de pêche de Terre-Neuve-et-Labrador incluent One Ocean, la Fishermen, Food and Allied Workers Union (FFAW), la Seafood Producers' Association et les pêcheurs de l'ouest de Terre-Neuve. Les îles de la Madeleine comptent aussi quelques organismes de pêche (voir Section 3.3.2).

3.3.1 One Ocean, FFAW et autres groupes de pêche à Terre-Neuve

One Ocean est un organisme de liaison qui a pour but de faciliter la communication entre les industries des pêches, gazière et pétrolière à Terre-Neuve-et-Labrador. Corridor a rencontré des représentants de One Ocean et de la FFAW à St. John's et a aussi rencontré le représentant de la FFAW de la côte ouest de Terre-Neuve à Corner Brook. Les deux rencontres

ont permis de présenter le projet proposé aux parties concernées, lesquelles ont aussi pu faire part à Corridor de leurs préoccupations et commentaires. FFAW a formulé des commentaires sur le rapport d'EE de Old Harry de décembre 2011, indiquant qu'elle n'a aucun problème particulier avec les documents (R. Saunders, FFAW, pers. comm. 2012).

3.3.2 Pêcheurs et représentants des pêcheries des Îles-de-la-Madeleine

En plus des dirigeants municipaux, Corridor a aussi rencontré des représentants de divers organismes de pêche des îles de la Madeleine

- Regroupement des Pêcheurs Professionnels des Îles (RPPIM) ;
- Regroupement des Palangriers et Pétoncliers Uniques Madelinots (RPPUM) ;
- Association des pêcheurs propriétaires des Îles-de-la-Madeleine (APPIM).

Les rencontres incluaient une présentation du projet et ont fourni l'occasion aux représentants des pêcheries de commenter le projet proposé.

3.4 Rencontres avec différents ministères et organismes gouvernementaux

Afin d'obtenir un soutien dans l'évaluation de la portée des impacts, dans l'identification des mesures d'atténuation à mettre en œuvre et le traitement de tout enjeu propre au projet, Corridor et ses conseillers ont mis en place un programme de consultation spécifique aux autorités de réglementation. Celles-ci incluent entre autres :

- OCTLHE ;
- MPO (incluant un directeur régional des évaluations environnementales et des grands projets - région de Terre-Neuve ; un analyste des évaluations environnementales et des grands projets - région de Terre-Neuve ; le directeur régional des évaluations environnementales et des grands projets - région du Golfe ; un conseiller supérieur en pétrole et gaz, Direction de la gestion des écosystèmes - région du Golfe ; et un analyste principal des évaluations environnementales - région du Québec (Prendre note que cette rencontre constituait une présentation du projet et n'incluait aucune discussion portant sur l'évaluation environnementale en tant que tel) ;
- Environnement Canada (Terre-Neuve-et-Labrador) ;
- Transports Canada et Protection des eaux navigables (Terre-Neuve-et-Labrador) ;
- Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACEE) ;
- Office national de l'énergie ;
- L'Assemblée des chef des Premières Nations du Nouveau-Brunswick ;
- La Confédération des Mi'kmaq de l'Île-du-Prince-Édouard ;
- Représentants du gouvernement et représentants élus, en particulier ceux des gouvernements provinciaux de Terre-Neuve-et-Labrador et du Québec, incluant ceux des ministères des Ressources naturelles du Québec et de Terre-Neuve-et-Labrador.

Le groupe d'étude de Corridor consulte régulièrement les représentants des divers gouvernements et organismes de réglementation, que ce soit dans le cadre de rencontres officielles ou non. L'objectif de ces consultations est de transmettre aux parties prenantes des

renseignements et mises à jour concernant l'évolution du projet et l'évaluation environnementale et de leur permettre de faire part à Corridor de leurs commentaires et préoccupations. L'équipe de Corridor a rencontré à plusieurs reprises les représentants de l'OCTLHE et des autorités fédérales depuis la soumission de la description du projet.

Corridor a aussi rencontré le premier ministre de Terre-Neuve-et-Labrador et tient des entretiens réguliers avec le ministre des Ressources naturelles de Terre-Neuve-et-Labrador et sons sous-ministre et sous-ministre adjoint afin de les tenir informés de l'évolution du projet.

Ces consultations ont eu lieu par le biais de rencontres personnelles, de conversations téléphoniques et de courriels.

3.5 Autres méthodes de consultation

Corridor a tenu une série de journées portes ouvertes sur la côte ouest de Terre-Neuve. Corridor a aussi informé le public via des communiqués de presse ou le site Web du projet.

3.5.1 Journées portes ouvertes

Les journées portes ouvertes se sont déroulées sur la côte ouest de Terre-Neuve à Port aux Basques (14 participants), Stephenville (9 participants) et Corner Brook (6 participants, incluant les médias locaux). Elles ont permis de présenter le projet au public à l'aide de prospectus et de panneaux explicatifs. Le public pouvait ensuite discuter avec les représentants de Corridor et son expert-conseil en environnement (Stantec). Tous les participants se sont montrés enclins à ce que le projet se réalise.

3.5.2 Lettres de mise à jour

Corridor transmet régulièrement des lettres de mises à jour aux personnes et organismes suivants :

- Atlantica Centre for Energy ;
- Ville de Corner Brook ;
- Chambre de commerce de Corner Brook ;
- Association des autochtones du Labrador et de Terre-Neuve (actuellement désignée sous le nom de Bande de la Première nation mi'kmaq des Qalipu) ;
- Maire de Port Saunders ;
- Maire de Souris, Î.-P.-É. ;
- Newfoundland and Labrador Oil and Gas Industries Association (NOIA) ;
- Offshore / Onshore Technologies Association of Nova Scotia (actuellement Maritimes Energy Association [MEA]) ;
- Chambre de commerce de Port aux Basques ;
- Port Harmon Authority Ltd. ;
- Développement durable ;
- Ville de Channel-Port aux Basques ;

- Zone 9 - Conseil de développement économique régional des Long Range ;
- Zone 10 - Marine and Mountain Corporation ;
- Deux groupes de Premières Nations (l'Assemblée des chef des Premières Nations du Nouveau-Brunswick et la Confédération des Mi'kmaq de l'Île-du-Prince-Édouard).

Corridor entend poursuivre la transmission de mises à jour aux organismes et personnes précités.

3.5.3 Communication avec les médias

Corridor répond aux demandes des médias, comme il convient, et a fourni les renseignements pertinents au projet aux médias locaux, nationaux et internationaux. Corridor vérifie régulièrement le contenu des renseignements rapportés par les médias provinciaux et nationaux, incluant la presse écrite et les médias télévisuels et électroniques.

3.5.4 Site Web du projet

Afin d'améliorer la communication de renseignements au grand public, Corridor fournit des informations concernant le prospect de Old Harry sur son site Web (http ://www.corridor.ca/). Le contenu du site Web est régulièrement mis à jour et le public peut soumettre ses questions ou préoccupations par courriel ou par téléphone en utilisant le numéro sans frais indiqué.

3.6 Préoccupations

Le Tableau 3.1 présente le résumé des préoccupations et commentaires émis par les parties prenantes lors du processus de consultation. Les sections de l'évaluation environnementale s'y rattachant y sont aussi indiquées.

Tableau 3.1 Commentaires soulevés durant le programme de consultation

Commentaire	Section de l'évaluation environnementale reliée au commentaire
Évènements accidentels	
Est-ce que le modèle de déversement d'hydrocarbures est en 2D ou en 3D?	La modélisation était bidimensionnelle. Consulter le document justificatif : SL Ross 2011a (mis à jour en 2012) pour plus de détails.
Le déversement dans le golfe du Mexique s'est produit au cours de l'exploration	Section 8.4.2
Combien de temps cela prendrait-il pour contrôler une éruption subite?	Section NON DISCUTÉE
Est-ce que le modèle de déversement prend en compte le temps que cela prendrait pour contrôler une éruption subite?	Section NON DISCUTÉE DANS SL Ross 2011
Est-ce que des exemplaires du plan d'intervention d'urgence seront disponibles ?	Section 13 (PAS DE DÉCLARATION SPÉCIFIQUE OU D'ENGAGEMENT À CE SUJET
Oiseaux	
Est-ce que des observateurs d'oiseaux de mer seront basés sur les navires de soutien et la plateforme de forage?	Section 7.5.3 ;

Tableau 3.1 Commentaires soulevés durant le programme de consultation

Commentaire	Section de l'évaluation environnementale reliée au commentaire
Pêches commerciales	
Où est située la pêche aux crabes dans la zone F sur les cartes du projet ?	Figure 5.62[A]
Espèces en voie de disparition ou à statut particulier	
De quelle façon le bruit occasionné par le forage perturbe-t-il les espèces à proximité de la plateforme de forage?	Section 7.2.2.5
Poissons et habitat halieutique	
Qu'est-ce que la zone d'extrusion du sébaste larvaire?	Section 5.7.2
Que sont les marques d'échappement identifiées par l'étude des géorisques?	Section NON DISCUTÉE
Est-ce que le calendrier du programme de forage est prévue afin d'éviter les périodes de migration et de reproduction ?	Tableau 5.11 indique le calendrier, mais pas de déclaration concernant l'évitement
De quelle façon le bruit occasionné par le forage perturbe-t-il les espèces à proximité de la plateforme de forage?	Section 7.4.2.5
Mammifères marins	
De quelle façon le bruit occasionné par le forage perturbe-t-il les espèces à proximité de la plateforme de forage?	Section 7.6.2.5
Zones sensibles	
L'île Brion est une zone sensible	Section 5.7.3 ; Tableau 5.18
Participation du public	
La consultation a été restreinte à l'Île de Terre-Neuve et aux Îles-de-la-Madeleine ; pourquoi ne pas avoir consulté l'Île-du-Prince-Édouard, la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick?	Section 3.1
Pourquoi n'y a-t-il pas eu de « consultation publique » formelle aux Îles-de-la-Madeleine?	Section NON DISCUTÉE
Description technique / du projet	
Est-ce que l'on parle seulement de pétrole ou également de gaz	Section 2.3
Pourquoi est-ce que le forage est restreint à certaines périodes de l'année?	Section 2.6
Est-ce que la plateforme de forage peut résister à l'environnement de la région?	Section 12
Quels sont les produits chimiques qui seront utilisés durant l'évolution de la pente de fracture?	Il n'y aura pas de simulation de fracturation du puits.Il s'agit d'un puits de pétrole et de gaz traditionnel. Les produits chimiques utilisés seront évalués en vertu des LDTDZE, section 7.1.2.1
Divers	
Lacunes identifiées dans les données	Les données manquantes sont reconnues, le cas échéant, et prises en compte lors de la prévision de l'impact sur l'environnement.
[A] La zone F n'est pas spécifiquement identifiée à la Figure 5.62 ; il s'agit de la zone d'approvisionnement du crabe de neiges dans la zone 4Tf de l'OPANO, plus proche du PP 1105	

3.7 Participation aux conférences

Corridor a également participé à diverses conférences, dont :

- 7e Symposium international sur les ressources pétrolières et gazières à l'ouest de Terre-Neuve à Corner Brook (12 au 14 septembre 2012) - Corridor a effectué une présentation sur

le projet Old Harry, comprenant un aperçu de la géologie, les résultats de la modélisation des déversements de pétrole, des renseignements sur les activités du projet et les avantages économiques potentiels ;

- 6e Symposium international sur les ressources pétrolières et gazières à l'ouest de Terre-Neuve à Corner Brook (23 au 25 août 2011) - Corridor a effectué une présentation sur son programme d'exploration d'un puits et le potentiel en hydrocarbures de Old Harry ;
- 5e Symposium international sur les ressources pétrolières et gazières à l'ouest de Terre-Neuve à Corner Brook (21-24 septembre 2010) - Corridor a effectué une présentation sur son programme d'exploration d'un puits et les résultats de l'étude des géorisques ;
- Un forum sur le pétrole et le gaz à la mi-avril 2011 organisé par la municipalité des Îles-de-la-Madeleine - Corridor a effectué une présentation sur sa proposition de programme d'exploration d'un puits
- Conférence annuelle *Playing on the Edge* de NOIA à St.John's (21-23 juin 2011) – Corridor a présenté une mise à jour du projet ;
- La conférence « CORE All Energy Conference » à Halifax (3 au 6 octobre 2011) – Corridor a présenté une mise à jour du projet.

4.0 MILIEU PHYSIQUE

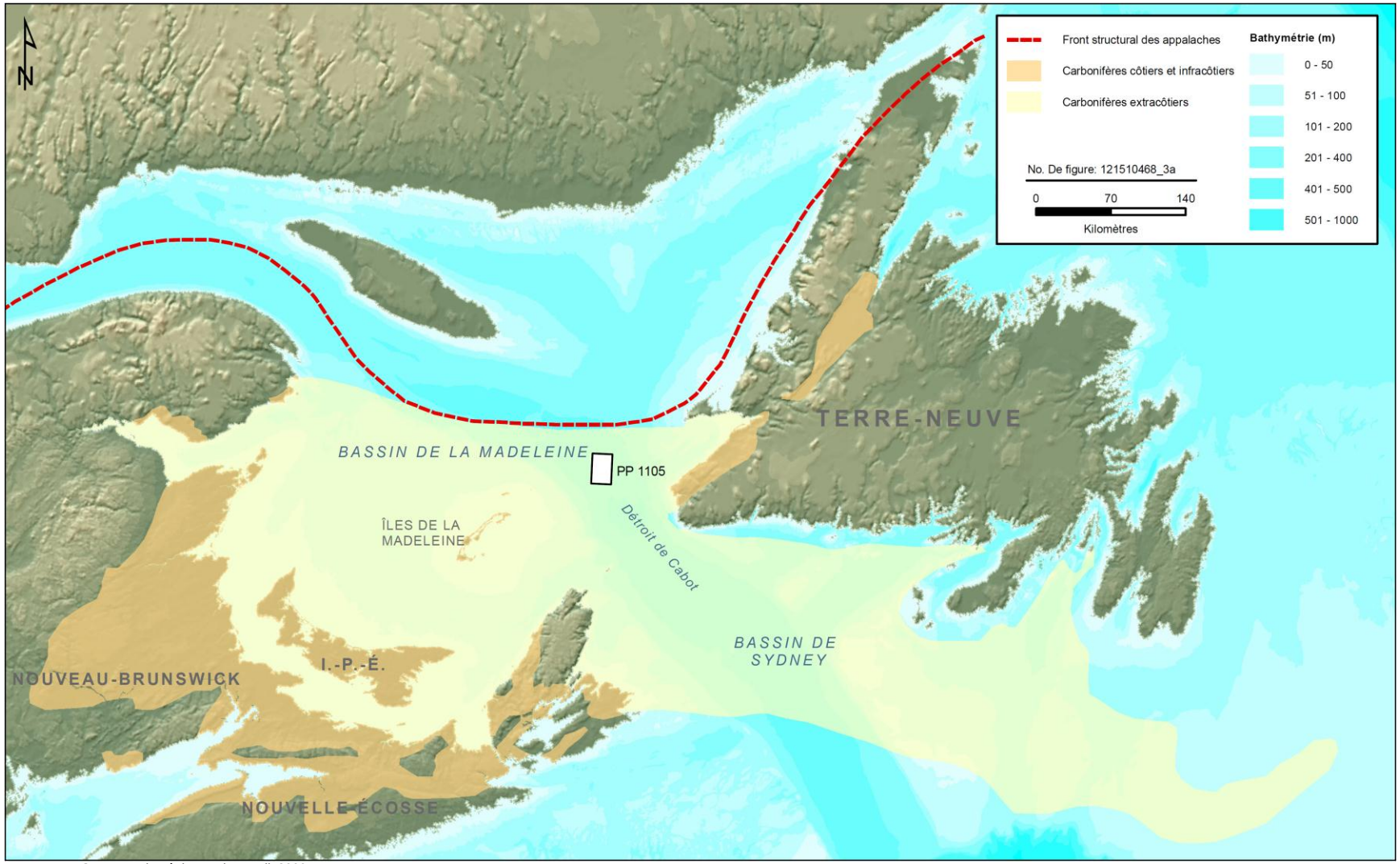
La présente section fournit des détails sur l'environnement physique en rapport avec la zone de prospect de Old Harry, y compris la géologie, l'océanographie physique et la météorologie. Il est possible de consulter les détails d'une discussion approfondie sur l'environnement physique du projet dans l'Évaluation environnementale stratégique (EES) de 2005 (LGL 2005b) et ses modifications préparées en 2007 (LGL 2007) pour la zone extracôtière de l'ouest de Terre-Neuve-et-Labrador. Cette EES est actuellement mise à jour (consulter la section 3.1). La description de l'environnement physique présentée dans ce document a été résumée à partir de l'information provenant de l'Évaluation environnementale stratégique (EES) pour la région de la zone extracôtière de l'ouest de Terre-Neuve-et-Labrador (LGL 2005b) et de l'évaluation environnementale sur l'étude des géorisques effectuée par Corridor (Stantec 2010), ainsi que des données et de l'information plus récentes qu'il a été possible de consulter.

4.1 Géologie

Dans le Golfe, les formations géologiques constituent un élément essentiel des habitats marins étant donné qu'ils influencent la circulation océanique. Les formations géologiques qui forment les fondations du Golfe datent de millions d'années et elles chevauchent trois grandes régions géologiques, dont le Bouclier canadien, la Plateforme du Saint-Laurent et les Appalaches. Certaines de ces formations géologiques demeurent exposées à l'océan, alors que d'autres sont couvertes de couches de sédiments de diverses profondeurs allant de quelques mètres à des centaines de mètres. Au cours des deux derniers millions d'années, quatre périodes glaciaires et interglaciaires ont transformé ces formations géologiques par suite de l'érosion et de dépôts de sédiments. Le phénomène naturel, incluant le mouvement des icebergs, de même que les activités humaines (c'est-à-dire les chaluts) ont également joué un rôle dans la transformation du plancher océanique du Golfe, comparativement à ce qu'il est devenu aujourd'hui (MPO 2005a).

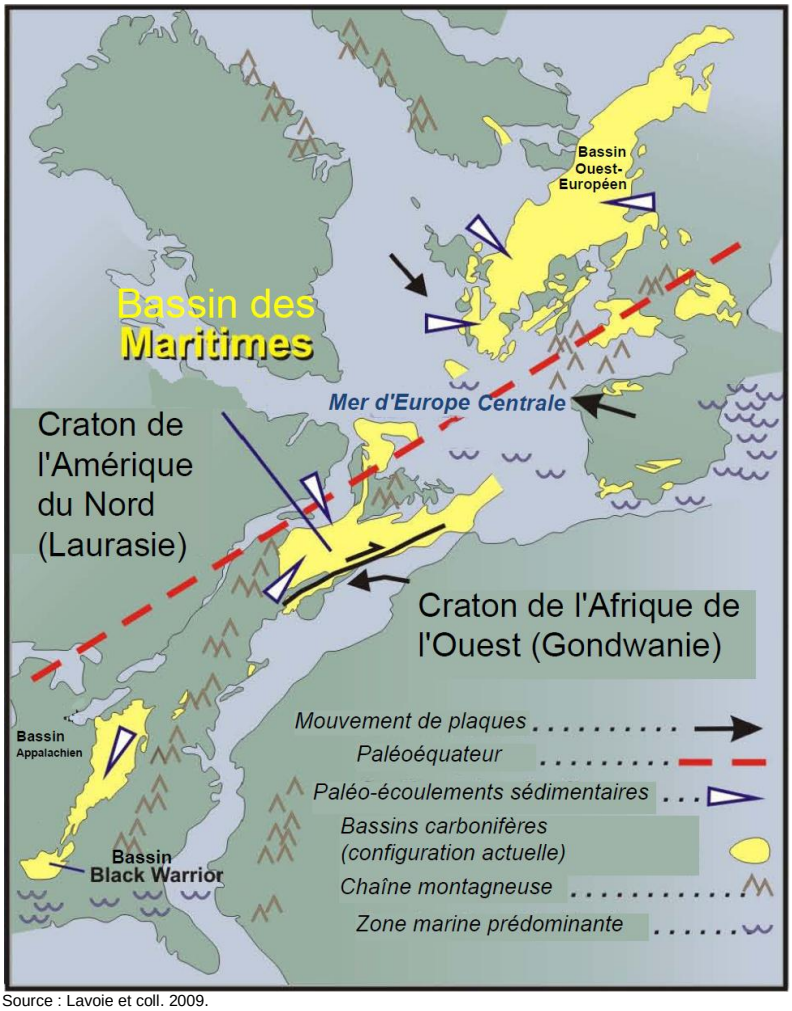
4.1.1 La géologie des Maritimes et du bassin des Îles-de-la-Madeleine

Sous-jacent au Golfe, au détroit de Cabot, aux Grands Bancs au sud-ouest et aux plateaux continentaux au nord-est de Terre-Neuve, y compris les extensions côtières couvrant cinq provinces canadiennes de l'est, se trouve un immense bassin sédimentaire connu sous le nom de bassin des Maritimes (Lavoie et coll. 2009) (Figure 4.1). Le bassin s'est développé en latitude équatoriale, dans une zone d'abordage entre les cratons de la Laurasia et du Gondwana (Figure 4.2) au cours des étapes finales de création du supercontinent de la Pangée (Lavoie et coll. 2009). Les roches dans le bassin des Maritimes sont principalement composées de grès, de siltite et de schiste argileux, avec de petites quantités de calcaire, de gypse et de sel. Ces roches varient en âge, allant du milieu de l'âge dévonien à l'âge permien (du Paléozoïque supérieur), mais elles sont généralement vues comme étant de l'époque carbonifère. On retrouve des roches d'âge similaire aux États-Unis (bassin appalachien) et en Europe occidentale (Figure 4.2). Ainsi, le bassin des Maritimes est considéré comme faisant partie d'un ensemble de bassins sédimentaires entre la Laurassia et le Gondwana (Figure 4.2).



Source : Adapté de Lavoie et coll. 2009.
Note : Le bassin des Maritimes est la partie ombragée en jaune pâle et en brun pâle.

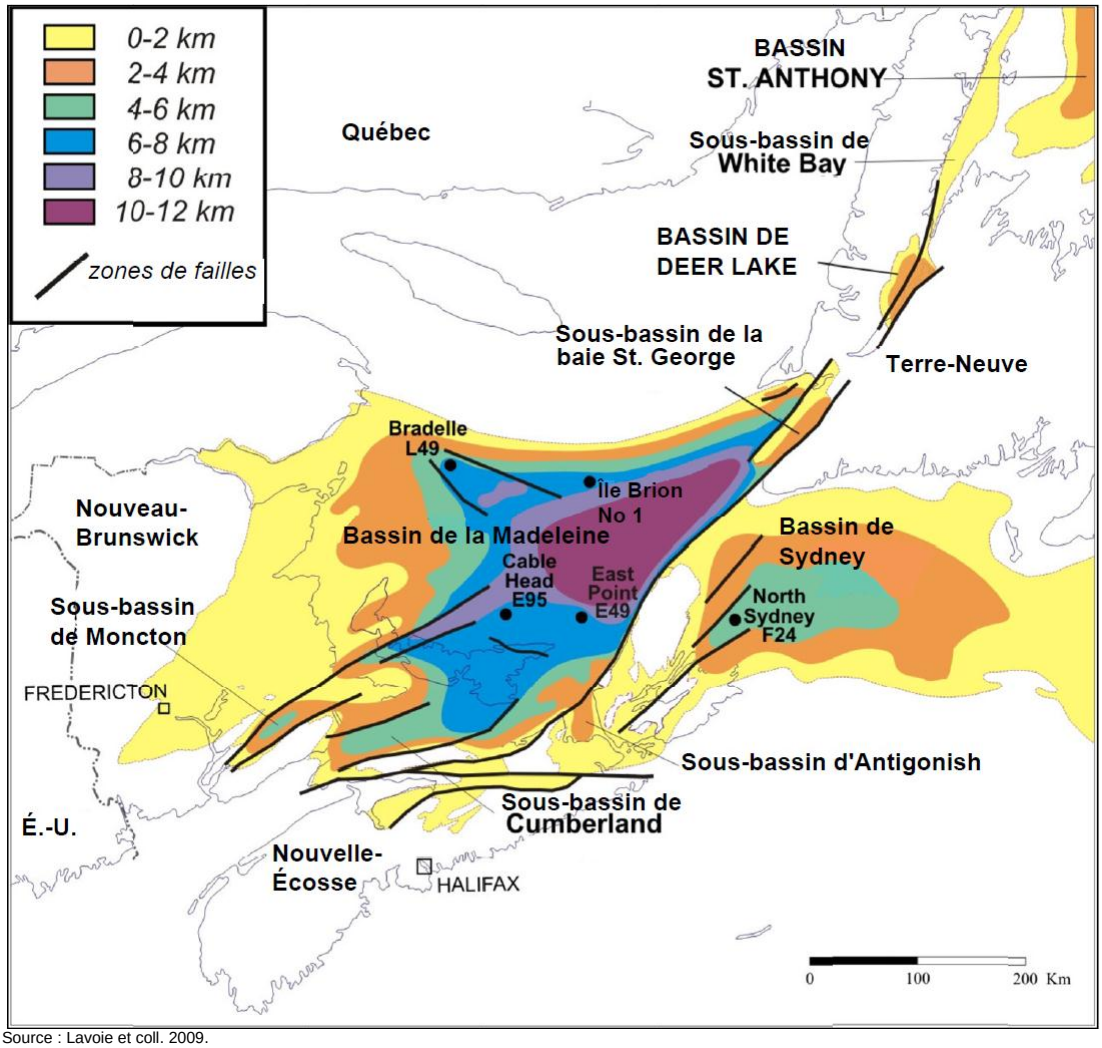
Figure 4.1 Milieu régional du bassin des Maritimes et site du bassin des Îles-de-la-Madeleine



Source : Lavoie et coll. 2009.

Figure 4.2 Milieu de la tectonique des plaques du bassin des Maritimes

Les roches du bassin des Maritimes sont sous-jacentes à l'ensemble de l'Île-du-Prince-Édouard et aux Îles-de-la-Madeleine et s'étendent vers les côtes à l'est du Nouveau-Brunswick, au nord de la Nouvelle-Écosse et l'île du cap Breton et à l'ouest de Terre-Neuve (Figure 4.1) (Lavoie et coll. 2009). Le bassin des Maritimes comprend plusieurs bassins, notamment le basin des Îles-de-la-Madeleine et celui de Sydney et des sous-bassins locaux. Il englobe un secteur de 250 000 km^2, avec environ 75 % de la zone extracôtière des bassins (Lavoie et coll. 2009). L'histoire géologique du bassin des Maritimes comprend des milieux tectoniques d'extension et des décrochements du Dévonien tardif allant du Carbonifère précoce, de même qu'un milieu de bassin d'horizon marin de décrochement allant de l'âge Carbonifère tardif au Permien précoce (Lavoie et coll. 2009). Le bassin des Maritimes contient une couche d'origine peu profonde continentale de l'âge du Dévonien moyen à l'âge du Permien précoce d'une épaisseur d'environ 12 000 m (Figure 4.3) (Lavoie et coll. 2009). Le bassin des Maritimes d'aujourd'hui est constitué d'un lambeau d'érosion de couvert plus étendu de la strate du Paléozoïque supérieur (Lavoie et coll. 2009). Le PP 1105 est situé dans la partie est du bassin des Îles-de-la-Madeleine (Figure 4.1).



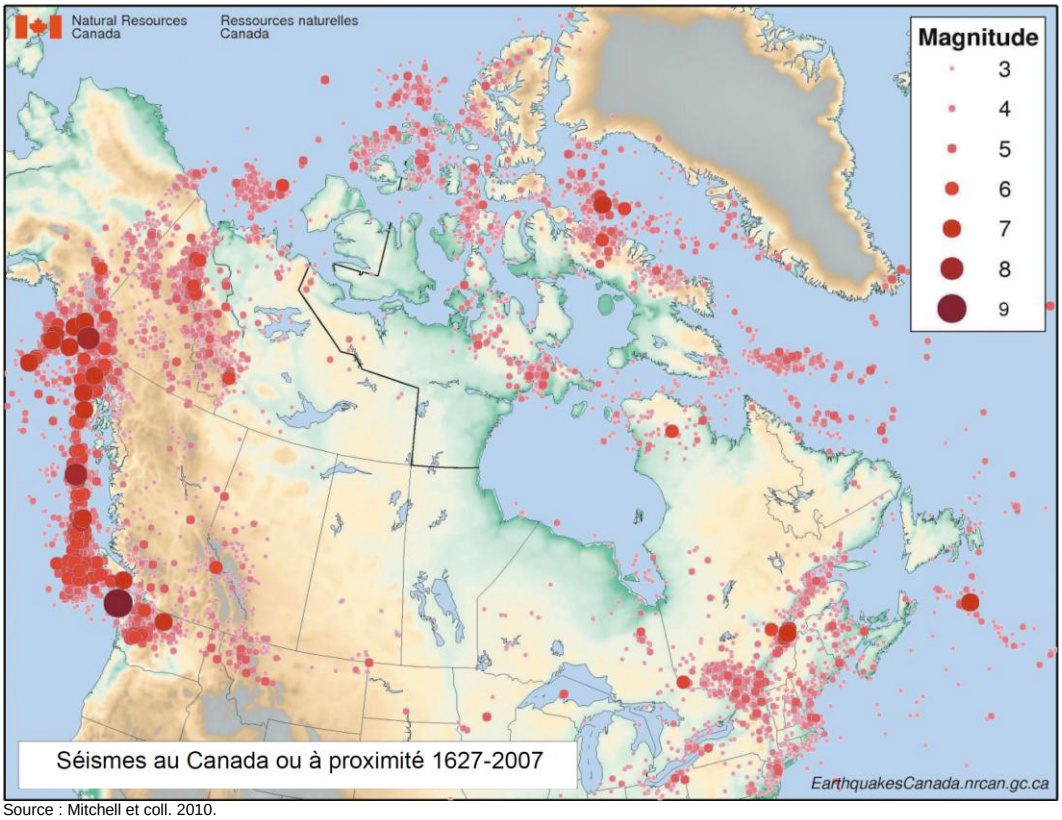
Source : Lavoie et coll. 2009.

Figure 4.3 Carte d'isopaches de la strate du Paléozoïque supérieur du bassin des Maritimes

4.1.2 Séismicité

La séismicité est définie comme étant la fréquence ou la magnitude de l'activité des tremblements de terre dans une région donnée. Les cartes sur la séismicité à l'échelle mondiale montrent que les régions où la séismicité est la plus élevée correspondent habituellement à l'âge des chaînons des plaques tectoniques. Le changement continuel des plaques tectoniques est responsable de 97 % des tremblements de terre à l'échelle mondiale (Ressources naturelles Canada 2011). Les causes des tremblements de terre de l'Est du Canada s'expliquent mal. L'Est du Canada fait partie de l'intérieur stable du plateau nord-américain et, en tant que tel, le changement des plaques tectoniques n'est pas la cause de la plupart des tremblements de terre observés dans cette région. L'activité séismique dans les secteurs tels que ceux de l'Est du Canada semble être liée aux champs de contrainte régionaux, les tremblements de terre étant concentrés dans les régions de faiblesse de la croûte (Ressources naturelles Canada 2011).

Les accélérations maximales et les vélocités définissent les zones sismiques dans tout le Canada (Ressources naturelles Canada 2011), qui varient de zéro (Bouclier canadien, qui est une région relativement parasismique) à six (régions qui résistent le plus aux séismes). Le PP 1105 est situé à l'intérieur de la zone 1 (en tenant compte de la carte sur les zones sismiques de 1985), et il est, par conséquent, considéré comme étant de faible séismicité (Ressources naturelles Canada 2011). Pour le Canada, la séismicité antérieure (de 1627 à 2007) est présentée à la Figure 4.4 et tel qu'il est indiqué, aucune activité séismique enregistrée n'a jamais été enregistrée près du PP 1105.



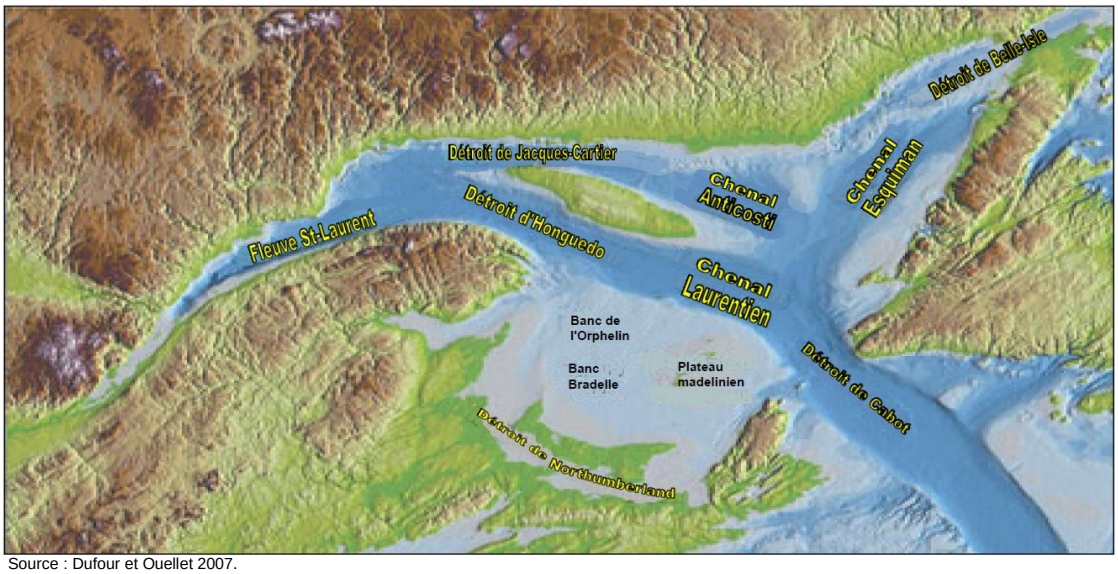
Source : Mitchell et coll. 2010.

Figure 4.4 Séismicité historique au Canada

4.1.3 Type de sédiments

La configuration tridimensionnelle des sédiments du Quaternaire dans le Golfe ont fait l'objet d'une étude réalisée par Josenhans et Lehman (1999) par le biais d'une analyse des observations sismiques par réflexion haute résolution et d'échantillons de carottes. Les résultats ont été interprétés et les sédiments ont été sous-divisés en trois unités sismostratigraphiques, incluant des sédiments de till juxtaglaciaire, des sédiments glaciomarins et des sédiments postglaciaires. Les sédiments de till juxtaglaciaire reposent au-dessus du substratum et autres dépôts plus anciens de till et leur épaisseur varie selon les régions de dépôts discontinus aux dépôts morainiques d'une épaisseur pouvant aller jusqu'à 180 m. On a, par la suite, interprété que cette couche de till juxtaglaciaire contenait de multiples dépôts de till juxtaglaciaire, lesquels ont été subdivisés dans les couches inférieures, moyennes et supérieures de till. Des

échantillons prélevés de la partie inférieure de la couche de till contenaient du silt argileux roux avec grès grossier et de grandes quantités de clastes d'argile et de galets. La couche moyenne de till se trouve le long de la bordure est du plateau madelinien (Figure 4.5) et s'étend sur le versant sud-ouest du chenal Laurentien. Les sédiments de cette couche sont brun foncé et sont composés de boues calcaires silto-sableuses avec des galets et des billes d'argile durcies de couleur rouge. La couche supérieure de till glaciaire s'étend sur les versants sud-ouest du chenal Laurentien et les sédiments composant cette couche sont des boues d'argile massives, de couleur gris foncé et des clastes de calcaire, de fragments ignés et de roche phylladienne noire. Les sédiments glaciomarins reposent au-dessus de la couche de till juxtaglaciaire et sont composés d'argile limoneuse massive avec des sédiments graveleux et caillouteux et de fragments de roche. La troisième couche sismostratigraphique, les sédiments postglaciaires, constitue la couche supérieure et est composée de boues calcaires et de boues sablonneuses massives de couleur grise et contient quelques fragments de coquillages. En règle générale, les dépôts de sédiments glaciaires les plus épais se retrouvent en direction de la pente sud-ouest du chenal Laurentien.

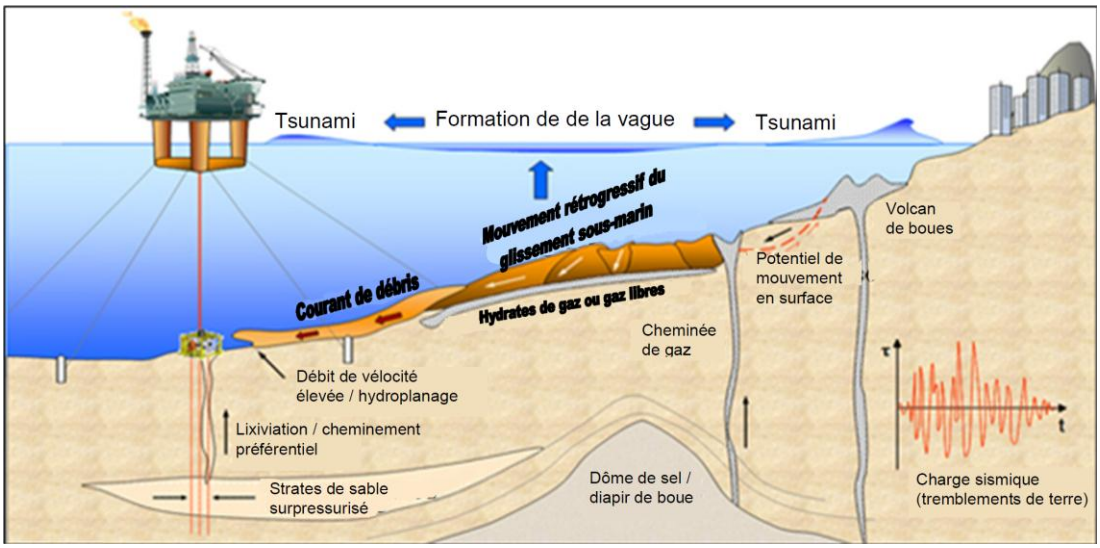


Source : Dufour et Ouellet 2007.

Figure 4.5 Caractéristiques physiques présentes dans le golfe du Saint-Laurent

4.1.4 Risques naturels ayant un impact sur le plancher océanique

On nomme géorisques les risques naturels ayant un impact sur le plancher océanique. Le géorisque est défini comme « Un état géologique qui représente ou qui a le potentiel de se développer plus avant en une situation menant à des dommages ou à un risque non contrôlé ». Les géorisques sont présents partout sur la planète et sont toujours reliés à des conditions et à des phénomènes géologiques spécifiques, récents ou anciens. Les géorisques en mer importants incluent : (i) les instabilités du fond marin et les phénomènes de mouvement de masse incluant les courants de débris et les écoulements gravitaires (glissements sous-marins) ; (ii) les phénomènes de pression interstitielle (ex. : l'accumulation peu profonde de gaz, les hydrates de gaz, les débits d'eau peu profonds, le diapirisme et le volcanisme de boue, les cheminées de fluide, les dépressions coniques) ; et (iii) la séismicité (Figure 4.6).



Source : ICG 2010.

Figure 4.6 Principaux géorisques en mer

Une évaluation des risques et contraintes de forage du projet de puits d'exploration de Old Harry a été menée en octobre 2010 (FGI 2010). Les contraintes sont les caractéristiques ou conditions pouvant affecter les activités de forage ou d'installations, mais ne constituant pas un risque pour la sécurité. Elles incluent des éléments tels des blocs localisés près de la surface pouvant occasionner des refus durant le forage ou avoir un impact sur l'alignement structural du cuvelage durant l'installation, nécessitant alors un rebattage au câble ou une réinstallation. Par comparaison, un risque peut représenter un risque pour la sécurité, par exemple la présence d'un gaz peu profond surcomprimé au sein de l'intervalle de forage du trou non tubé, ce qui pourrait causer une éruption. Les risques peuvent être évalués qualitativement comme ayant une probabilité faible ou élevée de se produire, en se basant sur l'interprétation des données géologiques et géophysiques disponibles. Une probabilité élevée est attribuée si les conditions géologiques sont propices et que les données indiquent la présence d'un risque spécifique. Dans ce cas, l'occurrence de risque est considérée comme probable. Dans le cas d'une probabilité faible, les conditions géologiques observées peuvent être propices et, bien que les données ne confirment pas nécessairement la présence d'un risque, elles n'excluent pas la possibilité de ce risque (FGI 2010).

Des données géophysiques à haute résolution furent acquises sur le site du puits proposé aux fins d'une évaluation des risques de forage à faible profondeur (FGI 2010). Les données géophysiques furent acquises à l'intérieur d'un site d'étude rectangulaire de 22,5 km^2, d'alignement nord/nord-ouest / sud/sud-est. Les dimensions du site sont de 4,5 km (ouest/sud-ouest / est/nord-est) par 5 km (nord/nord-ouest / sud/sud-est). L'évaluation a été effectuée afin d'identifier les risques et contraintes géologiques sur le fond marin et sur la sous-surface à faible profondeur pertinents pour la sécurité et l'efficacité des activités proposées de forage d'exploration. L'évaluation a été limitée à l'intervalle de forage du « trou non tubé » (environ 600 m sous le plancher océanique). Les risques naturels pouvant avoir un impact sur le plancher océanique sont décrits et discutés aux sections suivantes et les résultats provenant de l'étude des géorisques de Old Harry (FGI 2010) sont inclus lorsqu'appropriés.

4.1.4.1 Conditions du fond marin

La géologie superficielle et peu profonde dans le PP 1105 reflète des phénomènes de glaciation Pleistocene et de sédimentation marine subséquente (FGI 2010). Le retrait définitif du chenal Laurentien de la glace du Wisconsinien tardif est enregistré par la succession sédimentaire près de la surface, laquelle consiste en un diamiction glaciaire (till), recouvert par des boues glaciomarines (limon d'émeraude), le tout drapé d'argile limoneuse superficielle de l'Holocène (argile de LaHave) (Fader et coll. 1982 ; Grant and Morrison 1996). Les argiles de LaHave sont des équivalents de dépôts de talus riches en sable (Sables de Sambro) sur les flancs du chenal Laurention, lesquelles sont dérivées de l'érosion transgressive du banc Saint-Pierre et des zones de plateau adjacentes alors que le niveau de la mer s'élève à partir d'un bas niveau post-glaciaire de -110 m (Fader et coll. 1982 ; Josenhans et Lehman 1999 ; Quinlan et Beaumont 1981).

Josenhans et Lehman (1999) décrivent une succession typique de dépôts juxtaglaciaires et dépôts de till, de dépôts d'argile proximale et distale, ainsi que des boues marines superficielles. Trois sous-unités de till associées aux multiples avancées glaciaires ont été définies, dont seulement la plus ancienne (Till Inférieur) est présente dans la région du prospect de Old Harry. Les tills forment une couverture discontinue par-dessus le fond marin et sont drapés de sédiments glaciomarins et de boues de l'Holocène (FGI 2010).

Le prospect de Old Harry est situé dans le bassin de la Madeleine (FGI 2010). La formation du bassin fut initiée durant les stades ultimes de l'orogenèse acadienne dans un milieu tectonique d'extension, avec des périodes de transpression dextre (Williams 1995 ; Hayward et coll. 2002). Au sein de la région du prospect de Old Harry, le bassin abrite une strate sédimentaire du Carbonifère supérieur comportant plusieurs étages de grès interstratifiés de siltites à grain fin, de schiste et de mudstones (Giles et Utting 1999, 2003). L'ancienne strate horizontale à légèrement pentue a été pliée et fissurée par une activité tectonique engendrée par le sel, résultant ainsi en un système d'anticlinaux et de synclinaux limités par des failles, engendrant une fermeture structurale aux ensembles prometteurs d'hydrocarbures (Hayward et coll. 2002).

À l'intérieur du chenal Laurentien, la strate a été profondément érodée par la glaciation du Pleistocène. Dans le secteur du puits de Old Harry, la succession sédimentaire peu profonde comporte une formation Cable Head partiellement érodée et dominée par du grès sur le dessus, reposant sur une formation Green Gables à grains plus fins, et sur une formation Bradelle davantage stratifiée, laquelle est interprétée comme abritant du grès retenant un réservoir prometteur de qualité (Hayward et coll. 2002 ; Hu et Dietrich 2008, 2009 ;).

Le site de Old Harry est situé sur le plancher du chenal Laurentien, une gigantesque vallée en U surcreusée par les glaces séparant le banc des Îles-de-la-Madeleine et le plateau étroit du sud-ouest insulaire de Terre-Neuve (FGI 2010). Les niveaux de profondeur au sein de la région étudiée du puits de Old Harry vont de 462 m au nord-ouest jusqu'à 482 m dans l'est ; et le fond marin plonge localement au sud-est à une moyenne de moins 1°. Le fond marin affiche une topographie ondulant légèrement avec une large « dorsale océanique » à bas relief en direction sud-est à travers le centre du site, ainsi que des fosses de faible élévation sur chaque côté.

L'emplacement de surface du puits proposé est situé près de la crête de la dorsale océanique à 470 m de profondeur. La pente locale du fond marin est de <1° SSO (FGI 2010).

Les sédiments du fond marin de la région étudiée du site de Old Harry sont constitués principalement de boues glaciomarines légères et post-glaciaires avec quelques matières occasionnelles à grains grossiers dérivées du transport glaciel (FGI 2010). Les boues (>60 pour cent d'argile, >30 pour cent de limon et <5 pour cent de sable) sont interprétées comme ayant été déposées par une sédimentation pélagique graduelle en eaux profondes entre le Wisconsinien tardif et l'Holocène. Un énorme décalage dans les données de carottage par piston suggère que les boues superficielles sont bioturbées et qu'elles contiennent des clastes occasionnelles de transport glaciel. Des images vidéos du plancher océanique montrent un fond marin généralement constitué de boues lisses comportant des terriers communs formés par l'endofaune benthique. Des réseaux isolés de cailloux provenant du transport glaciel ont été aperçus (FGI 2010).

Les conditions d'ancrage sont considérées comme étant généralement favorables dans la zone du puits de Old Harry. Aucun aménagement ni obstruction fabriqués par l'homme n'a été identifié ou répertorié qui pourrait nuire au forage ou à l'ancrage sur le site du puits (FGI 2010).

Bloc rocheux

Il existe la possibilité de la présence de pierres et/ou de bloc rocheux de transport glaciel à l'intérieur des dépôts près de la surface, jusqu'à la discordance glaciaire quaternaire de base. Les dépôts de boues marines superficielles de l'Holocène varient d'environ 9 à 28 m d'épaisseur à travers le site de Old Harry et on estime à 15 m leur profondeur sur l'emplacement du puits proposé. Le potentiel de retrouver de la matière à grains grossiers augmente généralement sous les boues marines superficielles de l'Holocène, à l'intérieur des sédiments glaciomarins proximaux et de till basal. Il pourrait y avoir un potentiel de retrouver un plancher océanique fragmenté sur la surface enterrée et érodée glaciairement du fond marin. Bien que des blocs rocheux isolés peuvent apparaitre, on estime que la probabilité est faible que des blocs rocheux près de la surface puissent occasionner des refus de forage ou des problèmes de cuvelage sur le site du puits de Old Harry (FGI 2010).

Failles

Un système de failles standards à tendance sud-ouest/nord-est est présent dans la partie sud du secteur du site à l'étude (voir la Figure 4.8), formant une structure de style graben (FGI 2010). La faille est associée probablement à un arrachement et un mouvement tectonique occasionné par le sel. Ces failles ne sont pas considérées comme actives. Il est noté que le site du puits proposé à Old Harry est situé approximativement à 1 200 m au nord-ouest du système de failles et qu'il ne traverse pas les failles interprétées.

24.1.4.2 Phénomène de pression interstitielle

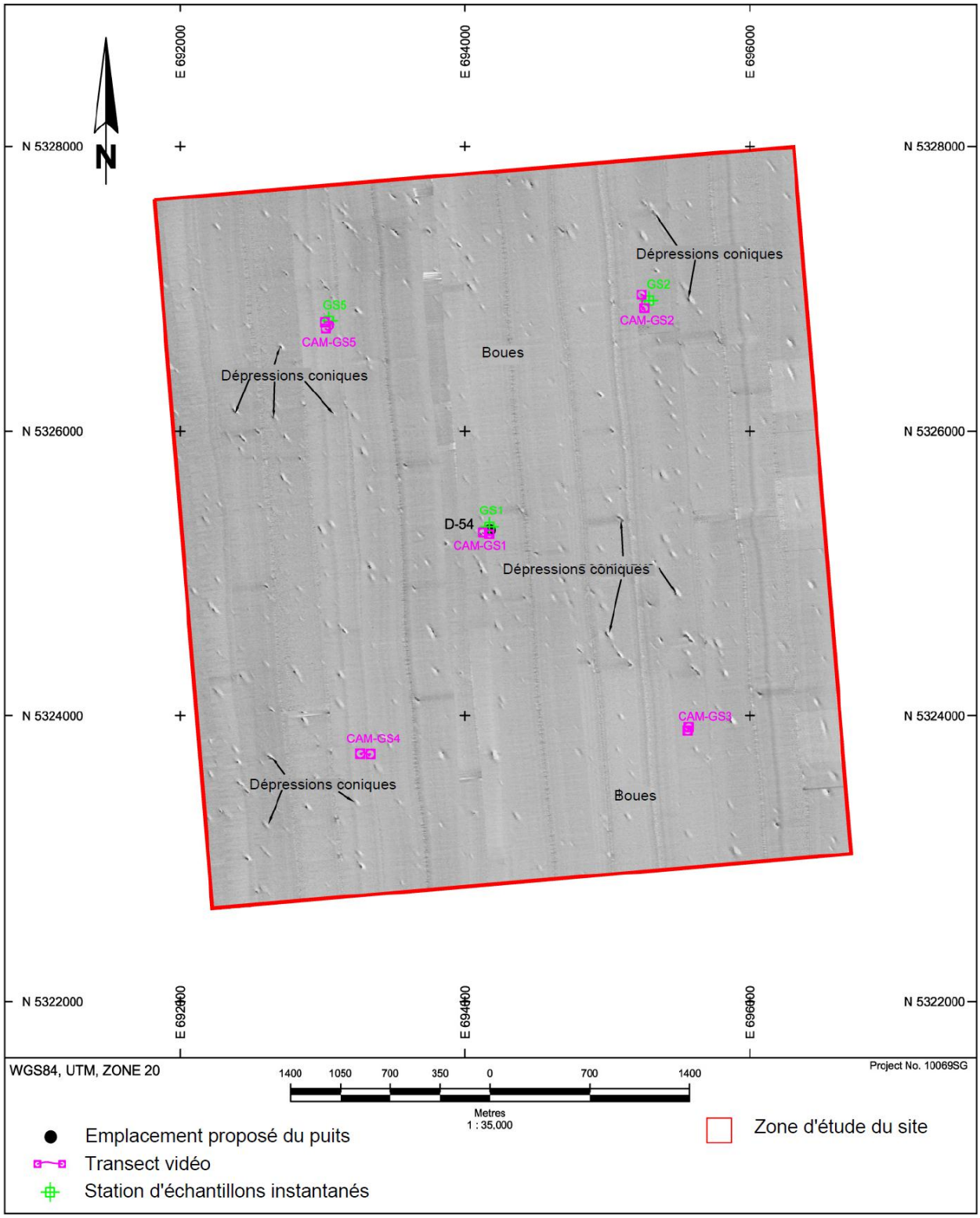
Le phénomène de pression interstitielle considéré dans ce rapport inclut l'accumulation peu profonde de gaz, les hydrates de gaz, les débits d'eau peu profonds, le diapirism de boue, le

volcanisme de boue, les cheminées de fluide et les dépressions coniques. Alors que ce sont tous des phénomènes individuels, ils sont reliés, et ils sont une expression d'activités passées ou actuelles de débits de fluide reliés à des conduits tels des failles ou des discontinuités sédimentaires. Le débit de fluide au sein des sédiments, exploitant des trajectoires de sédiments ou de failles perméables, occasionne des migrations en hauteur de gaz et d'eau expulsés par les sédiments en profondeur. Le résultat final de ces extrusions sont les dépressions coniques et les volcans et diapirismes de boues, lesquels se forment lorsque les sédiments entraînés vers le haut font éruption au niveau du plancher océanique. Ces phénomènes sont associés à la pression interstitielle excessive en profondeur, laquelle fait diminuer la force des sédiments et augmenter le potentiel d'un glissement de talus. En général, les outils de mappage haute résolution du plancher océanique sont utilisés dans le monde entier pour l'identification de glissements de terrain sous-marins, de dépressions coniques, de volcans de boues et de failles actives avec un niveau de détails sans précédent. La preuve morphologique suggère que toutes ces caractéristiques devraient être considérées comme communes plutôt que comme exceptionnelles pour le plancher océanique (Cochonat et coll. 2007).

Dépressions coniques

Les dépressions coniques sont des caractéristiques concaves en forme de cratère sur le plancher océanique, mesurant généralement jusqu'à plusieurs centaines de mètres de diamètre et des dizaines de mètres de relief (King et MacLean 1970 ; Kelley et coll. 1994). La formation de dépressions coniques est surtout causée par le suintement des gaz thermogéniques et biogéniques (Rogers et coll. 2006) et le rejet d'eau interstitielle (Harrington 1985). Les dépressions coniques ont été décrites dans des secteurs qui ont été affectés par la dérive des glaciers qui se sont détachés du sous-plancher océanique (Paull et coll. 1999) ainsi que par la décomposition des hydrates de gaz (Solheim et Elverhøi 1993). Les dépressions coniques sont également causées par le mouvement terrestre des icebergs ou les activités anthropiques tels le chalutage et l'ancrage des bateaux (Harrington 1985 ; Fader 1991).

Environ 250 dépressions coniques sur le fond marin sont présentes à travers le site à l'étude de Old Harry (FGI 2010) et leur répartition est indiquée à l'aide de l'imagerie par sonar à balayage latéral et à faisceaux multiples (Figure 4.7). Les caractéristiques sont asymétriques avec un allongement dominant vers le sud/sud-est, dans la direction des courants de fond dominants. Ils mesurent typiquement 50 m de large par 100 m de long et communément moins de 2 m de profond. Les plus petites dépressions coniques imagées par les données à faisceaux multiples ont approximativement un diamètre de 20 m. Les dépressions coniques isolées atteignent des profondeurs d'environ 5 m sous le fond marin avoisinant. Les pentes latérales intérieures des dépressions coniques sont typiquement de <2° mais excèdent 5° en certains endroits (FGI 2010).



Source : FGI 2010

Figure 4.7 Mosaïque du sonar par balayage latéral représentant les dépressions coniques à Old Harry

La densité surfacique des dépressions coniques au sein du site à l'étude est d'environ 11/km^2. La répartition des dépressions coniques ne démontre pas de schémas bien définis, bien qu'elles apparaissent en plus grand nombre au sud-est de l'emplacement proposé du puits de Old Harry (FGI 2010). Quelques-unes des dépressions coniques se sont alignées et sont entrées en coalescence les unes avec les autres afin de former des dépressions de fond marin plus longues orientées dans la direction du courant dominant, comme cela arrive principalement dans la partie nord-est du site. Nous ne savons pas si l'une ou l'autre de ces caractéristiques comporte une exhalaison active ; cependant, certaines sont distinctes alors que d'autres apparaissent éteintes et sont potentiellement plus anciennes (FGI 2010). L'expulsion des fluides serait probablement graduelle et intermittente (Grant et Morrison 1996).

L'imagerie par sonar à balayage latéral démontre localement une réflectance acoustique élevée dans plusieurs des dépressions coniques, suggérant que des accumulations de matière à grains grossiers pourraient s'être formées à la base de ces éléments, en raison d'un vannage progressif par expulsion des fluides des sédiments à grains fins (FGI 2010). La matière à grains grossiers (transportée par les glaciers), préalablement encastrée une matrice boue / argile, s'est sédimentée au fond des dépressions coniques lorsque les sédiments fins se sont retrouvés suspendus par exhalaison, puis transportés par le courant. Certaines des dépressions coniques démontrent des bombements locaux du fond marin sur les franches en aval du courant où certaines des charges de sédiments en suspension ont été rapidement déposées près de la source (FGI 2010).

Les dépressions coniques devraient être évitées lors de la sélection des emplacements des amorces de puits. Dans l'éventualité où un MODU ancré est utilisé pour le forage, les dépressions coniques les plus profondes devraient être évitées lors de l'installation de l'ancrage.

Formations de gaz peu profondes

Les formations de gaz peu profondes, c'est-à-dire celles qui se trouvent à des profondeurs de moins de 1000 m sous le fond marin (Floodgate et Judd, 1992), peuvent présenter un risque pour les forages sans colonne montante ou les sondages en découvert effectués en mer, comme les forages géotechniques ou le forage des sections supérieures des puits de pétrole et de gaz. Les formations de gaz peu profondes proviennent de deux sources : thermogénique et biogénique. Les gaz thermogéniques se forment en profondeur sous des pressions et températures élevées. Ils peuvent se retrouver dans la subsurface peu profonde où ils migrent à partir d'un gisement plus profond (Floodgate et Judd, 1992). Les gaz thermogéniques peuvent migrer vers la surface le long de voies naturelles, par le biais de strates poreuses ou le long de failles, ou le long de puits fuyants. Les gaz biogéniques se forment à de faibles profondeurs par l'activité bactérienne.

Les gaz biogéniques sont de loin les gaz les plus courants dans les sédiments superficiels (Lin et coll., 2004). Ils se forment grâce à un apport suffisant en matières organiques et un taux de sédimentation rapide qui permet d'enterrer ces matières avant qu'elles ne s'oxydent. Ces gaz s'accumulent lorsqu'ils peuvent migrer en phase libre (Rice, 1993), ce qui se produit lorsque la concentration dans le fluide interstitiel dépasse la solubilité des gaz, ou lorsque les gaz

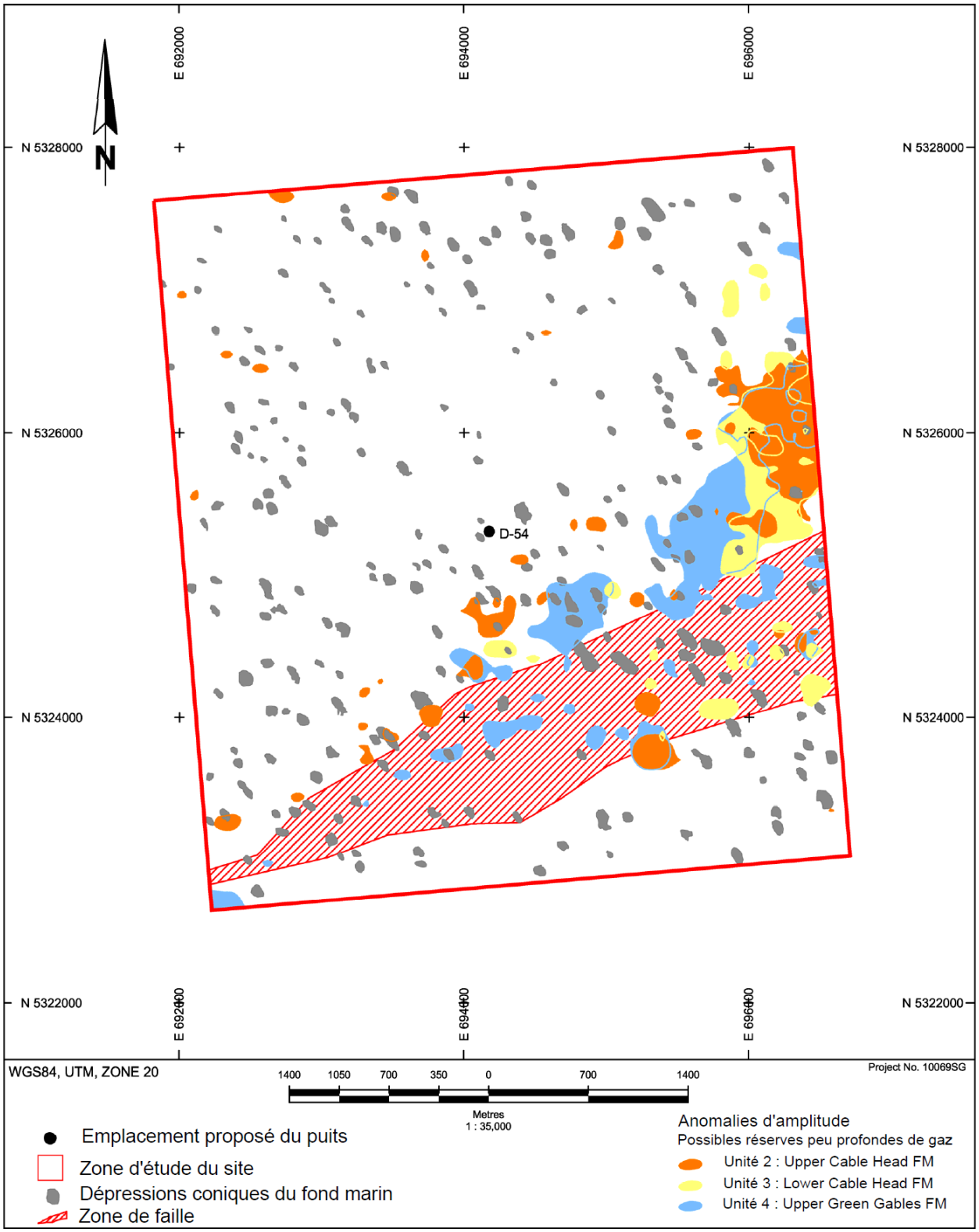
subissent une exsolution en raison de la réduction de la pression hydrostatique, ce qui peut survenir par l'érosion du fond marin ou l'abaissement du niveau de la mer.

Les formations de gaz peu profondes ne peuvent provenir que de gisements plus profonds et sont maintenues en place par des enveloppes étanches. Elles sont généralement constituées de matériaux grossiers comme du sable et leur étanchéité est assurée par des sédiments fins comme de l'argile (Kortekaas et coll., 2011).

Les observations géophysiques relevées lors du sondage de sédiments laissent croire qu'il pourrait y avoir du gaz à proximité de la surface du site de Old Harry (FGI 2010). En effet, des dépressions coniques et des colonnes de faibles amplitudes y ont été observées. L'atténuation acoustique à proximité des dépressions coniques porte à croire que les sédiments fins près de la surface pourraient renfermer du gaz (probablement du méthane), lequel risque de s'échapper du fond marin. Cependant, il convient de noter que le gaz possiblement présent près de la surface à Old Harry ne produit pas d'atténuation étendue avec perte de stratigraphie et structure acoustique, ce qui est généralement observable dans les données de profilage haute fréquence des fonds marins où des sédiments superficiels sont considérablement chargés de gaz (FGI 2010).

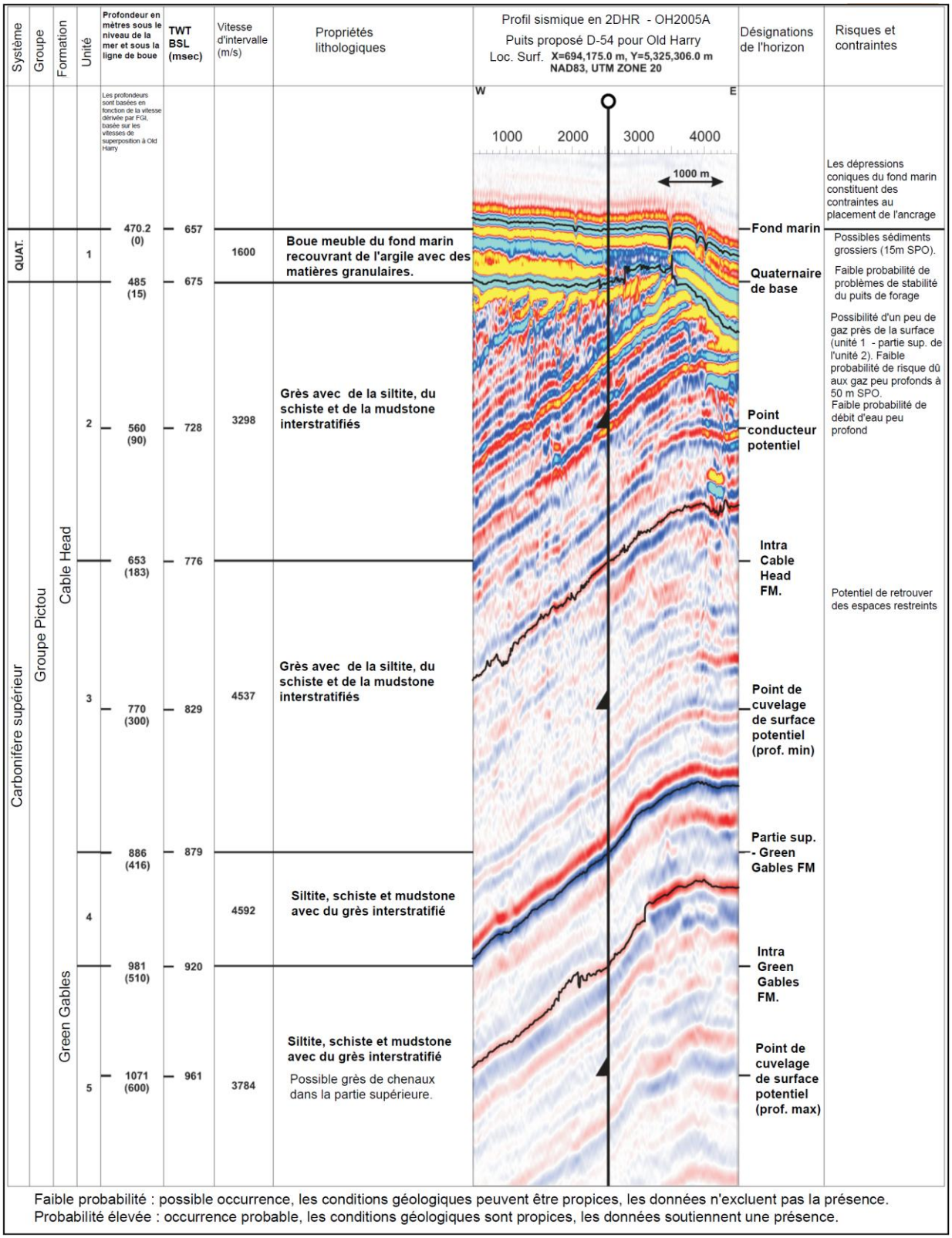
Des anomalies sous-marines localisées de forte amplitude qui pourraient révéler de possibles formations de gaz peu profondes ont été observées à l'intérieur du site de Old Harry (FGI 2010). Ces anomalies surviennent au sein du substratum rocheux carbonifère peu profond le long d'une tendance sud-ouest-nord-est traversant la partie sud du site. Celles-ci coïncident surtout avec la zone de failles cartographiée le long de la structure anticlinale qui devient moins profonde vers le nord-nord-est (voir la Figure 4.8). Des anomalies de forte amplitude qui pourraient révéler de possibles formations de gaz ont été observées à plus de 200 m au sud-est de l'emplacement du puits. Ces anomalies présentent certaines caractéristiques propres au gaz, y compris des déclivités latérales abruptes, etc. (FGI 2010). Des anomalies surviennent en amont-pendage du site de forage proposé, au sein d'une structure anticlinale tronquée. Ces anomalies qui apparaissent sur la carte des risques et contraintes relevés dans la zone d'étude ne constituent pas un danger sur le site de forage proposé (voir les Figures 4.8 et 4.9) (FGI 2010).

Il convient de noter que les amplitudes anormales surviennent près de la limite amont-pendage du réflecteur de creux (Figure 4.9), ce qui laisse à penser qu'il peut y avoir une migration de gaz en amont-pendage le long des plans de litage (FGI 2010). La possibilité de communication entre le litage d'amplitude modérée, les anomalies de faible amplitude (amont-pendage) et les marques apparentes d'échappement de fluide ou de gaz sur le fond marin laissent croire qu'on ne peut exclure la présence de gaz sur la base des données disponibles. Cependant, l'observation des caractéristiques sismiques ne semble pas révéler la présence d'une zone de gaz surcomprimé sous l'emplacement du puits proposé à Old Harry. L'interprétation du réflecteur sous l'emplacement du puits laisse croire qu'il est peu probable que les formations de gaz peu profondes constituent un danger pour les activités de forage. Comme on ne peut exclure la possibilité qu'il y ait des formations de gaz peu profondes à l'emplacement du puits proposé, il est donc proposé de prendre en considération certaines options d'atténuation (FGI 2010).



Source : FGI 2010

Figure 4.8 Carte des risques et contraintes relevés dans la zone d'étude de Old Harry



Source : FGI 2010

Figure 4.9 Risques et contraintes relevés sur le site de forage proposé de Old Harry

Hydrates de gaz

Les hydrates de gaz surviennent naturellement sur terre dans le pergélisol et dans les sédiments du fond marin où de l'eau et du gaz se combinent à de basses températures et des pressions élevées pour former une substance solide ressemblant à de la glace. Le méthane, ou gaz naturel, est généralement le gaz dominant dans la structure des hydrates. Dans les hydrates de gaz, des molécules d'eau gelée forment une structure en forme de cage autour de fortes concentrations de gaz naturel. Il s'agit plus précisément de composés solides non stoechiométriques s'apparentant à des cristaux de glace (Sloan, 1998).

Les hydrates de gaz se retrouvent abondamment partout dans le monde dans les quelques premières centaines de mètres de sédiments sous les marges continentales à des profondeurs de 100 à 1000 m (quelques centaines et quelques milliers de pieds). La zone de stabilité des hydrates de gaz dans le milieu marin est déterminée par la profondeur de l'eau, la température du fond marin, la pression interstitielle, le gradient thermique et la composition des gaz et des fluides. La base du champ de stabilité des hydrates est limitée par l'augmentation des températures en profondeur sous le fond marin (Sloan, 1998). Actuellement, la détection de réflecteurs de simulation de fond basée sur des données sismiques constitue le principal indicateur d'hydrates de méthane en milieu marin (CGG Veritas 2011).

En analysant les données recueillies sur les sédiments sous-marins, la présence de dépressions coniques dans les fonds marins et d'amplitudes localement atténuées laisse croire qu'il peut y avoir des formations de gaz peu profondes sur le site de Old Harry. Si les conditions de température et de pression sont favorables, des hydrates de gaz pourraient s'y former (FGI 2010). Les paramètres estimés pour le site de Old Harry ont été reportés sur une courbe d'équilibre de phases afin de mieux comprendre le potentiel de formation d'hydrates qu'il présente. La profondeur d'eau à l'emplacement du puits de Old Harry est de 470 m. La température de l'eau près du fond marin est de 5 °C. Le gradient géothermique de la subsurface n'est pas bien connu pour la zone de forage. Ces paramètres et hypothèses confinent le site de Old Harry à la limite supérieure de la courbe d'équilibre de phases des hydrates de gaz. Dans le cas de l'eau salée, la tendance géothermique est presque tangentielle à la branche supérieure de la courbe d'équilibre de phases sans la couper, ce qui laisse croire que les conditions de formation d'hydrates ne sont pas respectées. Étant donné que les eaux interstitielles des sédiments près de la surface à Old Harry sont susceptibles d'être salines à une certaine profondeur, il est donc peu probable que des hydrates de gaz s'y forment et demeurent stables à proximité du fond marin (FGI 2010).

En outre, il semble que les sédiments près de la surface (quaternaires) dans les environs du puits soient principalement constitués de grains fins et comportent une matrice d'argile. On peut donc conclure que ceux-ci ne peuvent favoriser le développement d'hydrates. De plus, aucun réflecteur de simulation de fond apparent n'indique qu'il y a une accumulation de gaz libre sous une potentielle zone de stabilité d'hydrates de gaz (FGI 2010).

S'il y a des hydrates de gaz dans la région, ils sont probablement localisés et diffusés dans des sédiments fins sous la forme de petits cristaux, de petits ou grands nodules, de lentilles et d'intercalations ou de minces veines. S'il y a des gaz en phase libre (ou gaz mixtes et hydrates)

dans les sédiments non consolidés près de la surface du site, ceux-ci ne devraient pas être surcomprimés (FGI 2010).

Les risques potentiels associés aux hydrates de gaz comprennent l'affaissement du sol, l'émission de méthane et l'instabilité du fond marin et de ses talus. Des sédiments porteurs d'hydrates de gaz pourraient être remués lors des activités de forage en haute mer, ce qui pourrait compromettre certaines structures comme le puits de forage, les pipelines, les supports de l'appareil de forage et d'autres équipements utilisés dans la production de pétrole et de gaz. Les diminutions de pression ou les hausses de température peuvent entrainer certains problèmes comme le rejet rapide de grandes quantités d'hydrates de gaz dans un puits lors de son forage (Folger, 2008). Cependant, comme indiqué ci-dessus, il est peu probable que des hydrates de gaz se forment et demeurent stables à proximité du fond marin à Old Harry (FGI 2010).

Écoulement des eaux peu profondes

L'écoulement des eaux peu profondes se définit comme l'eau qui s'écoule à l'intérieur et autour des structures de puits (Alberty et coll., 1997). Cet écoulement survient lorsque des fluides subissent une pression plus grande que la pression hydrostatique dans des sables non consolidés à environ 90 et 500 m (300 et 5000 pi) sous la ligne de boue. Ces sables très perméables favorisent l'écoulement des eaux peu profondes parce qu'ils sont suffisamment géopressurés pour « pousser » l'eau et le sable dans un puits de forage où la pression est moindre (Von Flatern, 1997). Les sédiments que l'on retrouve en eau profonde consistent généralement en des fractures de faible déclivité soumises à des pressions interstitielles supérieures à celles de pentes en haute mer. Les pressions interstitielles élevées nuisent aux activités de forage dans les eaux peu profondes.

Dans la zone du puits de Old Harry, la stratigraphie du relief peu profond est composée principalement de minces dépôts d'argile quaternaires non consolidés (< 20 m) recouvrant des lits de grès et de mudstones carbonifères tronqués et inclinés. La porosité du grès peut favoriser la présence de fluides interstitiels. Les dépôts quaternaires sont cependant trop minces pour exercer une pression géostatique considérable sur le grès lithifié qui est, par conséquent, incompressible. Tout écoulement peu profond découlerait probablement d'une géopression qui favoriserait le déplacement de l'eau vers la surface à travers des lits de grès poreux ou fracturés. L'interprétation des données laisse croire qu'il est peu probable que les lits de haute amplitude occasionnent un écoulement dans les eaux peu profondes sur le site de Old Harry (FGI 2010).

Autres phénomènes de pression interstitielle

Le diapirisme des boues et le volcanisme sont d'autres phénomènes qui exercent une pression interstitielle, mais ceux-ci ne devraient pas se produire sur le site de Old Harry selon les résultats de l'étude des géorisques ayant été réalisée (FGI 2010). Il convient de décrire quand même ces phénomènes brièvement par souci d'exhaustivité.

Le diapirisme est l'extrusion de sédiments fins vaseux à travers une succession lithologique sus-jacente (Yassir, 1989). L'emplacement réel de la remontée de boues est souvent régi par des éléments structuraux imperméables ou une zone de faiblesse préexistante (failles) qui contribuent à l'assèchement des voies et conduits (Shipley et coll., 1990).

Les volcans de boue consistent quelques fois en d'importantes structures géologiques à vie longue qui ressemblent morphologiquement à des volcans magmatiques. Il existe deux types de volcans de boue : ceux associés aux complexes magmatiques et ceux associés aux marches pétrolières. Les volcans de boue, qu'ils soient en activité ou non, sont répandus partout dans le monde et on les retrouve souvent le long de failles, de plis apparentés à des failles et d'axes anticlinaux. Les volcans de boue constituent le conduit de prédilection des fluides en profondeur qui cherchent à gagner la surface. Ils subissent épisodiquement des éruptions violentes de grandes quantités de gaz mélangées à de l'eau, du pétrole, de la boue et des fragments de roche, produisant du même coup des « brèches de tassement ». Ces éruptions périodiques peuvent mener à la formation de montagnes en forme de volcan dont la superficie peut atteindre plusieurs kilomètres (Mazzini 2009). Le principal déclencheur de ces éruptions est le méthane surcomprimé provenant de roches mères et de gisements d'hydrocarbures à de plus grandes profondeurs.

Les volcans de boue peuvent poser un géorisque pour les aménagements et le matériel de forage parce qu'ils peuvent émettre de grandes quantités d'hydrocarbures de façon violente. Les éruptions de gaz à effet de serre provenant de volcans de boue pourraient avoir un effet sur les régimes climatiques et l'on a tenté à plusieurs reprises d'en estimer les impacts. Les volcans de boue au large des côtes sont souvent liés à la présence d'hydrates de gaz (Mazzini 2009).

24.1.4.3 Autres géorisques

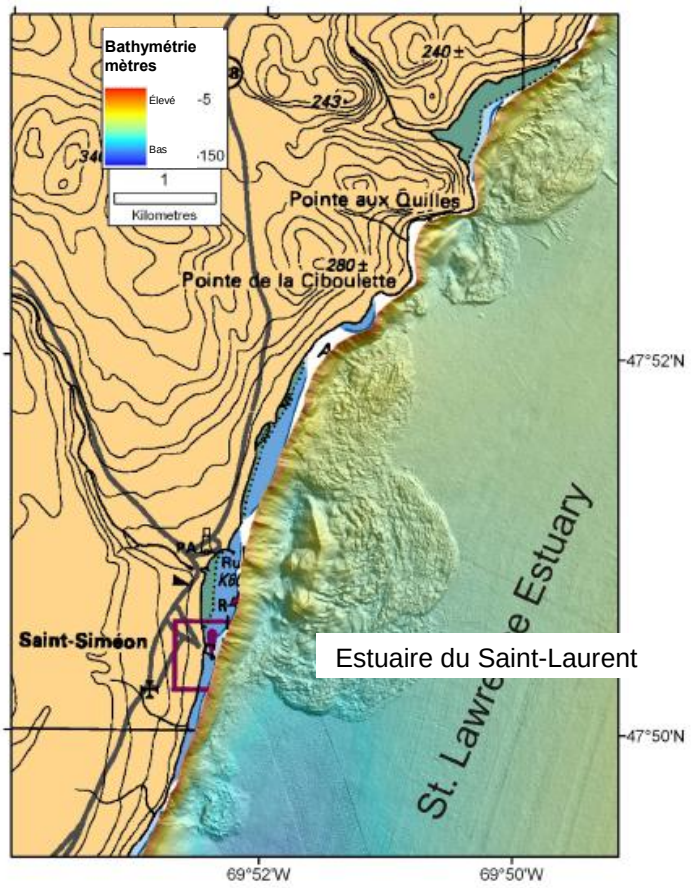
Le littoral canadien fait plus de 243 000 km, ce qui en fait le deuxième plus important dans le monde. Comme indiqué à la section 4.1.41, les plus importants géorisques en zone extracôtière comprennent l'instabilité des fonds marins, les phénomènes de pression interstitielle (dont il est question à la section 4.1.4.2) et (iii) l'activité sismique (Section 4.1.2). L'instabilité des fonds marins, y compris les glissements sous-marins, constitue le géorisque le plus sérieux sur le site et dans la région. En raison de sa nature et du peu de conséquences qu'elle entraine sur la vie humaine, l'instabilité des fonds marins n'a pas vraiment fait l'objet d'études approfondies. Une prise de conscience accrue du potentiel tsunamigène occasionné par ce phénomène nécessite de mieux comprendre les processus d'instabilité des fonds marins au large des côtes (Locat et Lee, 2002). Les géorisques que présente l'instabilité des fonds marins sont inclus dans le présent document par souci d'exhaustivité. Ceux-ci ne devraient toutefois pas subsister sur le site de Old Harry pour les raisons indiquées ci-dessous.

Instabilité des fonds marins

Les fonds marins peuvent être instables à proximité d'une région côtière et le long de pentes continentales. Les fonds marins côtiers instables présentent des risques particuliers en raison de leur potentiel tsunamigène et de leur proximité des infrastructures sociales. Les régions côtières comportent souvent divers facteurs et conditions pouvant mener à des glissements de

masse sédimentaire (Mosher, 2008). L'effet des vagues, des courants de dérive littorale et de l'érosion glaciaire peut favoriser la présence de pentes abruptes dans les régions côtières. Les sédiments côtiers découlant de dépôts quaternaires présentent des lithologies mixtes dont la résistance manque souvent de cohésion. Ceux-ci ont subi divers épisodes de hausse et de baisse du niveau de la mer et sont d'origine marine et lacustre. Les divers cycles qu'ils ont subis au cours de leur histoire font qu'ils sont de compétences géotechniques adjacentes variables.

Après la Colombie-Britannique, la deuxième zone la plus prédisposée aux séismes au Canada est la vallée Laurentienne au Québec (Mazzotti et coll., 2005), laquelle se trouve à environ 700 km de Old Harry. On peut observer de nombreux exemples de glissements de sédiments (Figure 4.10) le long des rives et des talus sous-marins de l'estuaire du Saint-Laurent et du fjord du Saguenay (Urgeles et coll., 2001 ; Levesque et coll., 2006 ; Cauchon-Voyer et coll., 2007). La plupart de ceux-ci datent de la préhistoire, mais quelques-uns sont tout de même survenus récemement, soit en 1663 et vers 1860 (Cauchon-Voyer et coll., 2007). Selon les circonstances qui l'occasionneraient et son emplacement, un événement récent qui provoquerait une instabilité dans ces régions pourrait facilement infliger des dommages aux structures sous-marines et générer des vagues qui endommageraient les infrastructures côtières au sein d'une région limitée.



Source : Mosher 2009.

Figure 4.10 Caractéristiques physiques présentes dans le golfe du Saint-Laurent

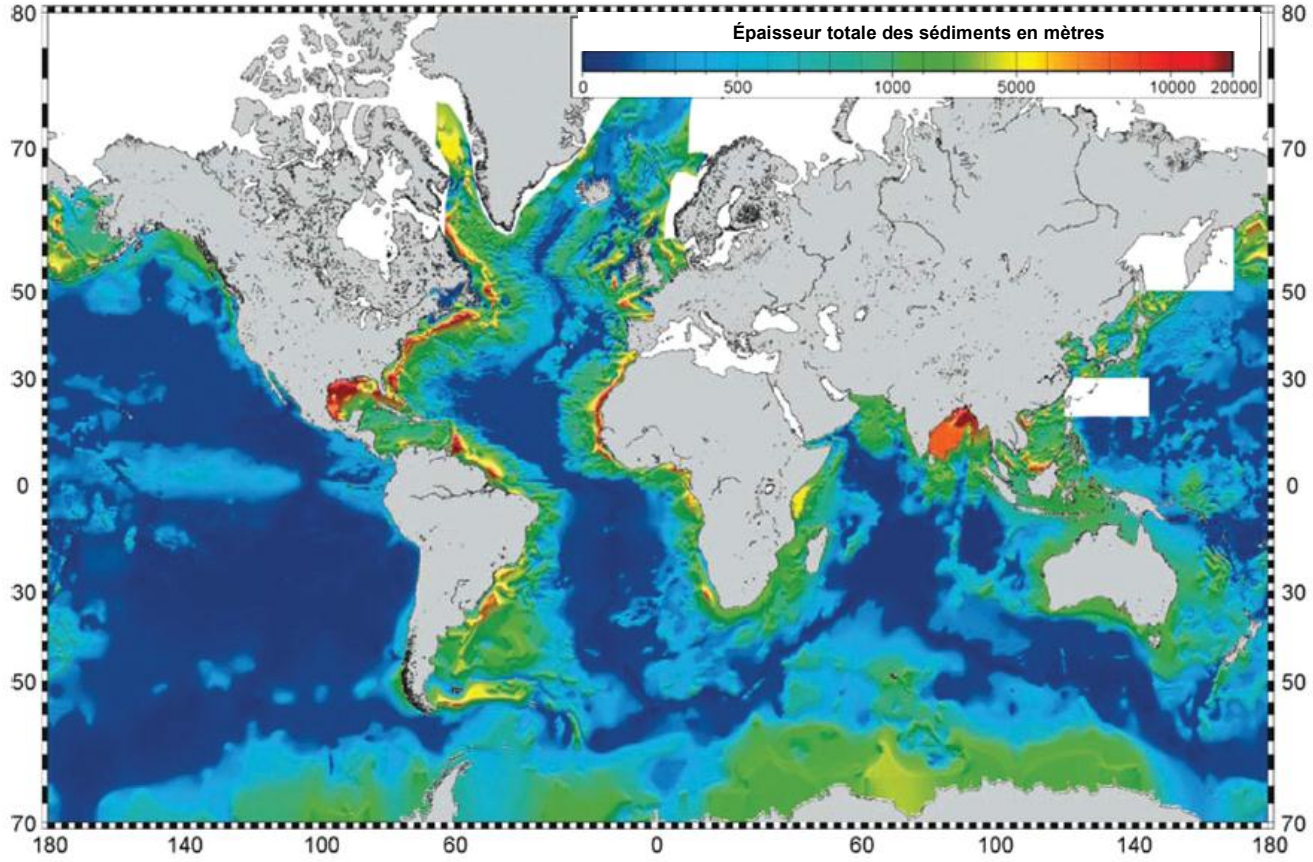
Il convient de noter que le site de Old Harry n'est pas considéré comme une zone côtière, car il est situé dans le golfe à environ 80 km à l'ouest du cap Anguille, à l'ouest de Terre-Neuve, et à 88 km au nord-est des îles de la Madeleine, au Québec, à une profondeur d'eau d'environ 470 m (FGI 2010). Le fond marin de la région de Old Harry n'est pas abrupt et suit une inclinaison moyenne de moins de 1 degré vers le sud-est (FGI 2010). Il présente une topographie légèrement vallonnée où l'on retrouve une large crête à faible relief passant en plein cœur du site, laquelle est orientée vers le sud-est et adjacente à des creux dépressionnaires. La surface du puits proposé se trouve à proximité du sommet de la crête à une profondeur d'eau de 470 m et l'inclinaison du fond marin dans les environs est de moins de 1° vers le sud-ouest (FGI 2010).

Instabilité dans les fonds marins du plateau continental

La masse terrestre sous-marine du Canada en deçà de l'isobathe de 200 m (profondeur approximative de la rupture de pente continentale) et au-dessus de l'isobathe de 3000 m occupe une superficie de 2 960 000 km^2, soit la plus importante dans le monde. L'inclinaison du fond marin dans cette zone varie généralement entre < 1° et 4°. L'inclinaison des bordures de canyons et chenaux ou des pentes de zones de subduction peut toutefois excéder 45° (Mosher et coll., 2004a). La pente continentale est généralement recouverte d'une couche de sédiments stable, épaisse et non consolidée (Mosher et coll., 1994). D'autres facteurs peuvent affecter l'instabilité des fonds marins et de leurs pentes, comme les gaz biogéniques interstitiels, les gaz exempts d'hydrocarbures, les hydrates de gaz, la mobilité du sel, les taux élevés de sédimentation (p. ex., les périodes de déglaciation), les pressions interstitielles élevées et les variations verticales des lithologies (porosité et perméabilité) (Mosher et coll., 2004b). Lykousis et coll. (2007) ont révélé que dans les environnements de marge continentale, une activité ou des secousses sismiques devaient se produire pour provoquer l'instabilité du fond marin. Il est reconnu que les principaux mécanismes qui déclenchent les glissements de sédiments sont les secousses sismiques, les surcharges, la dissolution d'hydrates de gaz, des pressions interstitielles excessives (régime d'écoulement côtier), les efforts de houle, l'érosion et les structures d'origine anthropique (Locat et Lee 2009).

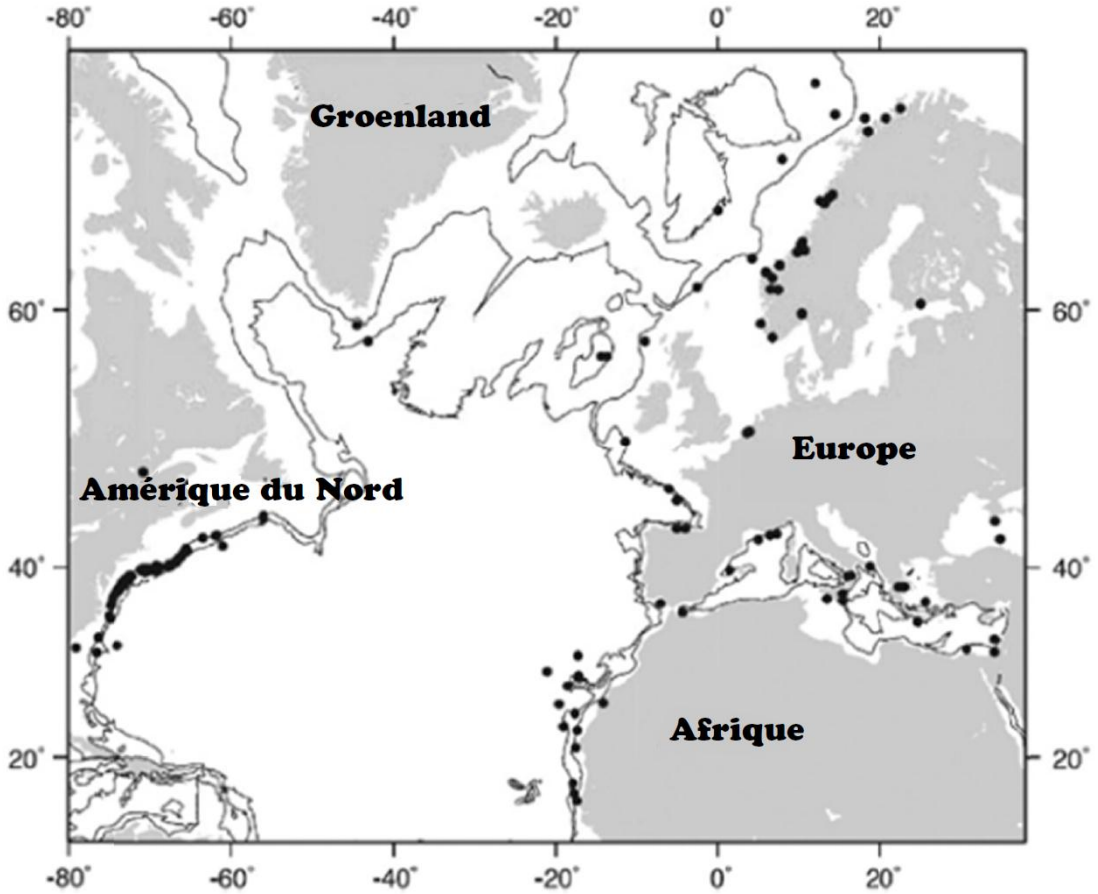
Du point de vue tectonique, la marge continentale de l'est du Canada est une marge passive où l'activité sismique se fait rare (Adams et Halchuk, 2003). Cependant, des tremblements de terre pouvant atteindre plus de 7 de magnitude pourraient survenir (Mazzotti et Adams, 2005), comme ce fut le cas en 1929 (M 7,2) le long de la queue des Grands Bancs (Bent, 1995). Dans le passé, l'activité sismique était probablement plus fréquente en raison du relèvement isostatique occasionné par la déglaciation ou en raison d'épisodes d'activité tectonique à l'échelle des bassins océaniques (Weaver, 2003). Le glissement survenu dans les Grands Bancs en 1929 est peut-être le plus notoire des dépôts sous-marins ayant été occasionnés par des mouvements de masse. Il a permis de reconnaitre formellement les courants de turbidité naturelle (Piper et coll., 1988) et il a aussi permis de comprendre que les déplacements du plancher océanique dus aux glissements de sédiments pouvaient déclencher des tsunamis dévastateurs pouvant parcourir de grandes distances (Ruffman et Tuttle, 1995 ; Ruffman 2001 ; Fine et coll. 2005).

Lee et coll. (2007) ont observé que les glissements sous-marins (instabilité sédimentaire) ne sont pas répartis uniformément dans les océans du monde, mais plutôt qu'ils tendent généralement à se produire où subsistent de grosses masses de sédiments meubles, où les pentes sont abruptes et où les charges exercées par l'environnement sont élevées. Il convient de noter que la région de Old Harry n'est pas située dans une zone présentant ce type de morphologie de fond marin. La Figure 4.11 illustre l'épaisseur des sédiments dans les principaux océans (les zones rouges correspondent à d'importantes zones d'accumulation deltaïque [comme le golfe du Mexique] ou à d'épaisses séquences de sédiments glaciaires [que l'on retrouve au large de la côte est du Canada]). L'estuaire du Saint-Laurent est situé dans une zone glaciaire où la terre s'est élevée plus rapidement que le niveau de la mer, formant ainsi de grandes terrasses coupées qui sont désormais exposées. La Figure 4.12 illustre la répartition des glissements de terrain dans l'Atlantique Nord telle que décrite par Hunerbach and Masson (2004). Depuis l'enregistrement de ces chiffres, on a cartographié l'estuaire du Saint-Laurent où plus de 30 glissements ont été identifiés (Campbell et coll., 2008).



Source : Locat and Lee 2009

Figure 4.11 Épaisseur totale des sédiments dans les principaux océans



Source : Locat and Lee 2009

Figure 4.12 Glissements sous-marins dans l'ouest et l'est de l'Atlantique Nord et les mers adjacentes

Les instabilités de pente peuvent survenir principalement dans deux environnements (marges continentales ouvertes et flancs d'îles océaniques) et semblent dépendre de certains aspects propres aux caractéristiques géologiques et morphologiques de ceux-ci. Les talus sous-marins dans les marges continentales présentent généralement un relief légèrement ondulé de faible déclivité. Cependant, la différence de niveau de la bordure du plateau au plancher du bassin peut atteindre 5 km sur des distances de quelques centaines de kilomètres (Masson et coll., 2006). Leur structure sous-marine se caractérise par des séquences sédimentaires litées parallèles variant peu sur de grandes superficies. Par conséquent, si une rupture de talus devait survenir, plusieurs grandes régions pourraient être touchées simultanément.

Les risques que présentent les glissements sous-marins varient selon leur nature, leur ampleur et leur emplacement. Même de petits glissements peuvent être dangereux lorsqu'ils se produisent dans des zones côtières. Les ruptures de talus se divisent en deux catégories : celles provoquées en raison des caractéristiques géologiques des matériaux impliqués (p. ex., une surpression due à un dépôt rapide ou à la présence d'une couche fragile) et celles provoquées par des événements extérieurs momentanés (p. ex., les tremblements de terre ou les changements climatiques).

De nombreux talus de sédiments ont subi des glissements sous-marins au fil de l'histoire, certains remontant même jusqu'aux temps géologiques. Certains se sont produits à des échelles très locales et l'on peut observer à certains endroits des dépôts de glissement empilés qui se démarquent nettement des couches ayant été plus stables à long terme (Solheim et coll., 2005). L'importance des tsunamis générés par les instabilités de pente n'est reconnue que depuis une quinzaine d'années, alors qu'il est devenu évident qu'une source de glissement de terrain pouvait expliquer les caractéristiques inhabituelles de la répartition et de la propagation de certains tsunamis meurtriers, comme celui qui a dévasté la Papouasie-Nouvelle-Guinée en 1998 (Ward, 2001 ; Okal et Synolakis, 2004).

Tsunamis occasionnés par l'instabilité des fonds marins

Certains éléments portent à croire que les tsunamis « inhabituels », particulièrement ceux de grande étendue en champ proche qui décroissent rapidement à partir de leur source, sont directement causés par des ruptures de talus ou de fond marin (glissements sous-marins) (Bardet et coll., 2003 ; Okal et Synolakis, 2004). Les glissements rotationnels (souvent appelés effondrements), où une surface de glissement épaisse dont le mur de tête est abrupt peut se déplacer rapidement vers le bas, peuvent être particulièrement efficaces pour générer des tsunamis, même lorsque la distance latérale parcourue est petite et qu'il y a peu d'effets vers le bas de la pente du fond marin à proximité immédiate de la région touchée. Comme mentionné auparavant, la région de Old Harry présente une topographie légèrement vallonnée où l'on retrouve une large crête à faible relief passant en plein cœur du site, laquelle est orientée vers le sud-est et adjacente à des creux dépressionnaires. La surface du puits proposé se trouve à proximité du sommet de la crête à une profondeur d'eau de 470 m et l'inclinaison du fond marin dans les environs est de moins de 1° vers le sud-ouest (FGI 2010). Ce type de topographie ne favorise généralement pas les ruptures de talus ou les glissements sous-marins.

La nature des tsunamis dépend de la vitesse et de la distance de rupture et du volume et de l'épaisseur des matériaux en mouvement (Masson et coll., 2006). Le meilleur indicateur du potentiel tsunamigène se définit par le produit de son volume et de son accélération initiale (Lovholt et coll., 2005). Une décélération brutale pourrait aussi contribuer à des élévations de surface plus importantes. La distance de glissement influe à la fois sur la longueur d'onde et le niveau maximal de la surface océanique (Haugen et coll., 2005), la longueur d'onde étant aussi déterminée par le temps de parcours ou la distance parcourue par le glissement. Les glissements sous-marins sont normalement clairement sous-critiques, ce qui signifie qu'un tsunami s'éloigne de la source qui l'a généré, limitant ainsi l'accroissement de l'onde. Les glissements survenant dans les eaux peu profondes sont plus critiques, puisque la vitesse de propagation de l'onde est plus faible. De plus, les eaux moins profondes se trouvent normalement plus près des côtes, ce qui diminue le potentiel d'amortissement de l'onde (Masson et coll., 2006). En revanche, les tsunamis générés par les tremblements de terre sont plus critiques lorsque le déplacement du fond marin se produit dans les eaux plus profondes de la mer, car l'onde initiale est plus courte et plus dangereusement amplifiée en se propageant des eaux plus profondes aux moins profondes (Masson et coll., 2006). La zone où se trouve Old Harry présente un faible potentiel d'activité sismique et une topographie légèrement vallonnée. Il est donc fort peu probable que des ruptures ou glissements sous-marins surviennent dans la région ou ses environs.

4.2 Océanographie physique

Le Golfe est une mer semi-fermée (Koitutonsky et Bugden 1991), ayant deux ouvertures sur l'océan Atlantique, le détroit de Cabot et le détroit de Belle Isle (Figure 4.5). Le Golfe a une étendue de surface d'environ 236 000 km^2, un volume de 35 000 km^3, une profondeur moyenne de 152 m et des profondeurs allant jusqu'à 535 m (Dufour et Ouellet 2007 ; Dufour et coll. 2010). Le Golfe échange de l'eau salée avec l'océan Atlantique Nord et reçoit des quantités considérables d'eau douce du Saint-Laurent et d'autres fleuves à proximité, ce qui fait qu'il agit comme un grand estuaire où les effets de Coriolis (provenant de la force générée par la rotation de la Terre), les courants géostrophiques, les procédés baroclines, la formation de vents tourbillonnants et les effets de la tension du vent sont tous très importants.

Le Golfe présente divers secteurs de faibles profondeurs et des dépressions profondes. Un fossé particulièrement profond bien connu, appelé le chenal Laurentien, en est un long dont la profondeur maximale est de 535 m et s'étend sur environ 1 500 km à partir du plateau continental dans l'océan Atlantique jusqu'à son point final dans l'estuaire du Saint-Laurent. Deux fossés secondaires sont également situés dans le Golfe : le chenal Esquiman et le chenal d'Anticosti. Une autre caractéristique prédominante est le plateau madelinien, qui est situé dans la partie sud du Golfe (Dufour et Ouellet 2007). Les caractéristiques physiographiques du Golfe influencent grandement la circulation, le brassage et les caractéristiques de masses d'eau dans ce secteur (Dufour et Ouellet 2007).

4.2.1 Bathymétrie

Les profondeurs d'eau dans le secteur du PP 1105 et des environs du secteur visé par le projet varient de 400 à 500 m (voir la Figure 1.2).

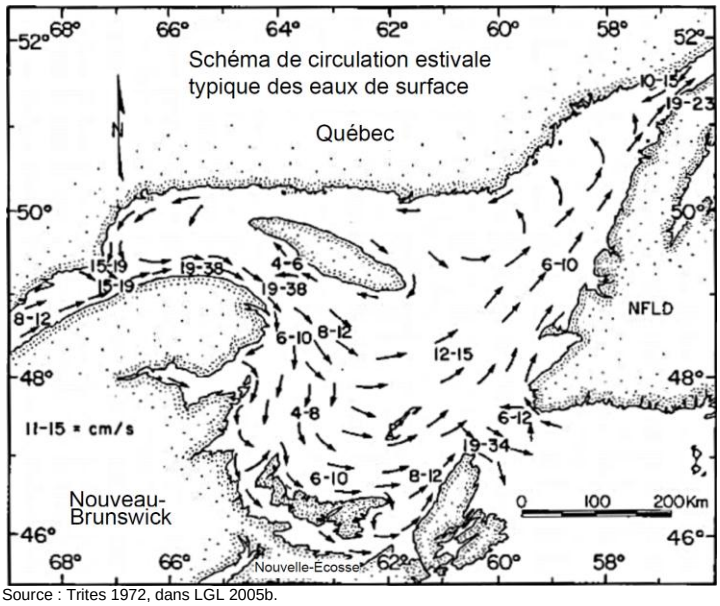
4.2.2 Courants océaniques

La connaissance des courants océaniques est essentielle à la planification des opérations gazières et pétrolières dans chaque région. Les courants du Golfe sont influencés par de nombreux facteurs, notamment les marées, les événements météorologiques régionaux, l'écoulement de surface d'eau douce et l'échange d'eau par le détroit de Belle Isle et le détroit de Cabot. Il y a d'importants écoulements d'eau douce variant selon les saisons dans le Golfe, principalement à partir du fleuve Saint-Laurent et des fleuves sur les rives sud et nord, ce qui influence grandement la circulation du Golfe.

Les forts courants du Golfe se trouvent de 2 à 12 nm au large des côtes de la Gaspésie et atteignent en moyenne 6 à 10 nm par jour. De là, l'eau se répand dans le Plateau madelinien vers le détroit de Cabot et un peu d'eau traverse le chenal Laurentien dans le Golfe. Les courants dans le Plateau madelinien atteignent habituellement de 3 à 5 nm par jour. Les taux d'écoulement au nord de l'île du Cap-Breton sont typiquement de 5 à 7 nm et de 2 à 4 nm le long de la côte ouest de Terre-Neuve (Environnement Canada, 2011).

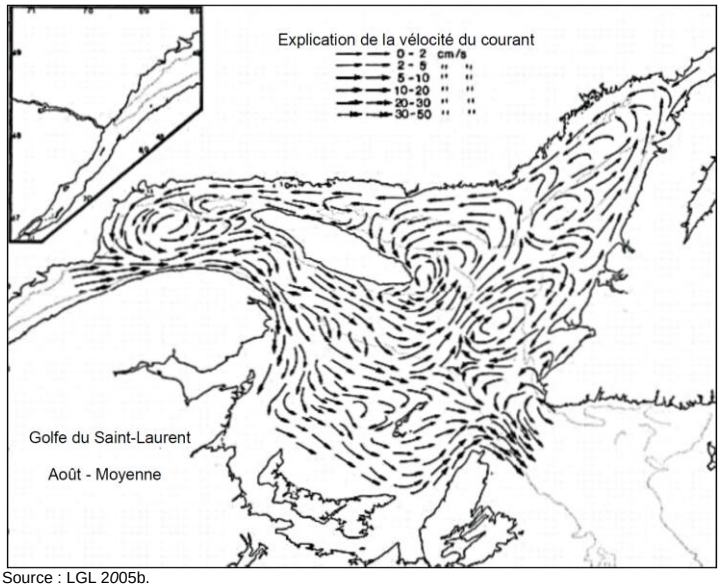
L'eau froide et dense est acheminée jusqu'au Golfe le long du détroit de Belle-Isle en provenance des latitudes nordiques par le courant du Labrador. Les eaux provenant de l'océan

Atlantique entrent dans le Golfe par le détroit de Cabot, dans le chenal Laurentien (Figure 4.13). La circulation de surface du Golfe montre de fortes caractéristiques telles que les courants côtiers, les tourbillons océaniques, les grands vents tourbillonnants dans l'estuaire et les fronts de marée (Dufour et Ouellet 2007). Le courant de débordement du fleuve Saint-Laurent produit un fort courant côtier qui coule le long de la péninsule gaspésienne (le courant de Gaspésie), en direction de la mer et dispersant l'écoulement de surface du Saint-Laurent en direction nord-ouest et du sud du Golfe (Dufour et Ouellet 2007). Les eaux du sud du Golfe (entre les Îles-de-la-Madeleine, l'Île-du-Prince-Édouard et le côté ouest du cap Breton) forment le principal courant de débordement du Golfe sur le côté ouest du détroit de Cabot. Du côté est du détroit de Cabot, un courant de déversement provenant de l'Atlantique coule en direction nord-est le long de la côte ouest de Terre-Neuve (Dufour et Ouellet 2007). Les eaux provenant du détroit de Belle Isle se déplacent en direction de l'ouest le long de la rive nord-est (Dufour et Ouellet 2007) (Figure 4.14).



Source : Trites 1972, dans LGL 2005b.

Figure 4.13 Circulation représentative dans le golfe du Saint-Laurent en été

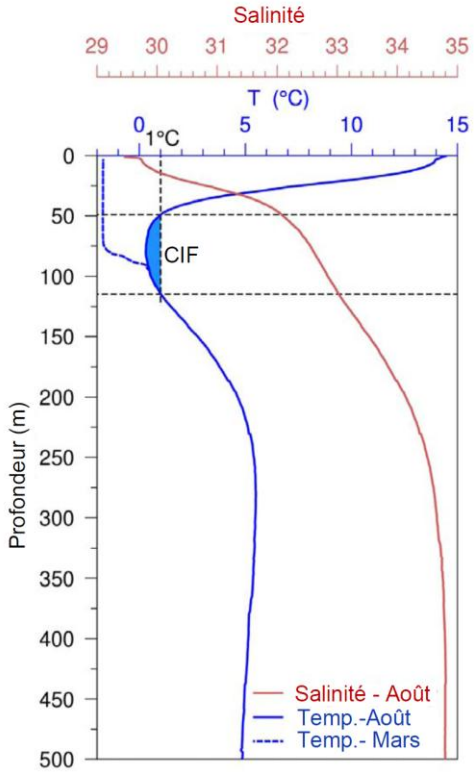


Source : LGL 2005b.

Figure 4.14 Courants de surface géostrophiques dans le golfe du Saint-Laurent en août

La circulation de surface est cyclonique, c'est-à-dire que le courant de surface se déplace en sens trigonométrique (Figure 4.13). Les similarités entre ce modèle de circulation cyclonique et les distributions de la salinité de surface dans les régions des plateaux gaspésien et madelinien indiquent que les courants de surface résultent de l'équilibre géostrophique (Figure 4.14) entre le champ du gradient barométrique horizontal et les effets de Coriolis (Koutitonsky et Bugden 1991) et sont un signe de modèle de circulation complexe.

Les conditions océanographiques dans le Golfe sont complexes. Des masses d'eau de différentes températures et salinités se mélangent. Le Golfe peut être considéré comme un système à trois couches (Figure 4.15) durant l'été (une couche limite de surface, une couche intermédiaire froide et une couche en eau profonde) ; les deux couches supérieures subissent les variations saisonnières pour ne faire qu'une seule couche durant les mois d'hiver (MPO 2005a ; Dufour et Ouellet 2007). Les températures de surface atteignent habituellement des valeurs maximales à la mi-juillet jusqu'à la mi-août (Galbraith et coll. 2011). Il se produit un refroidissement graduel par la suite et un brassage des eaux durant l'automne mènent à une couche progressivement plus profonde et plus froide, englobant éventuellement la couche intermédiaire froide. L'hiver, la couche de surface épaissit par suite de perte de flottabilité (en raison du refroidissement et de l'écoulement réduit d'eau) et du rejet d'eau sursalée associé à l'accumulation de glace de mer. Cependant, la principale force entraînant l'épaississement de la couche de surface est le mélange du courant de dérive avant l'accumulation de glace (Galbraith 2006).



Source : Galbraith et coll. 2010.

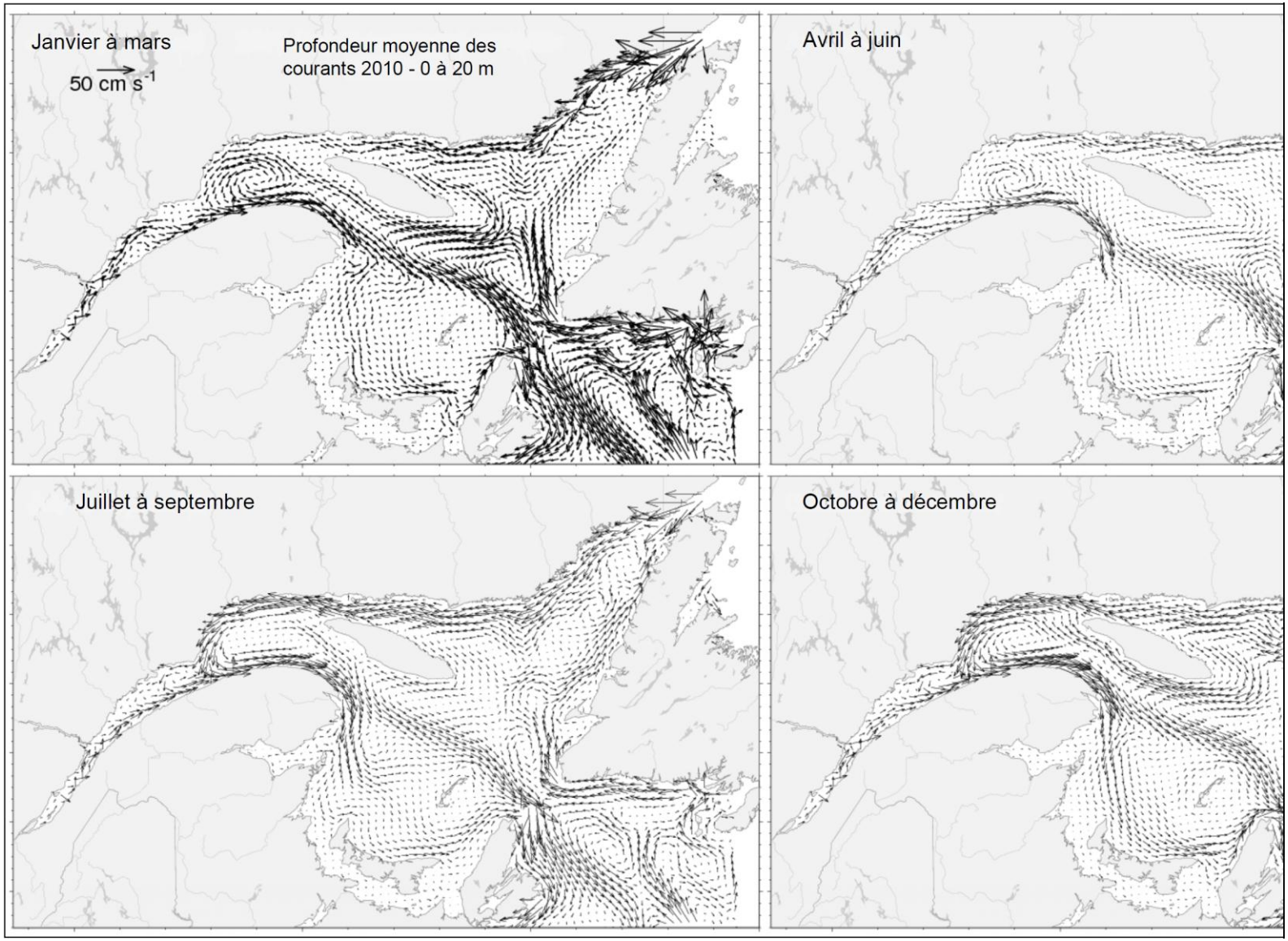
Figure 4.15 Profil de profondeur type de température et de salinité observé durant l'été dans le golfe du Saint-Laurent (d'après des données pour 2007-2008).

L'hiver, la couche de surface atteint une profondeur moyenne de 75 m pouvant aller jusqu'à 150 m et une plus grande profondeur dans le nord-est du Golfe où les eaux provenant du plateau continental du Labrador pénètrent dans le gGlfe et prolongent la couche hivernale de surface de la surface jusqu'au fond (>200 m) dans le fossé de Mécatina à la fin-mars. La couche hivernale de surface affiche des températures près du point de congélation (entre -1,8 à 0 ºC) (Galbraith 2006). Les couches de surface plus chaudes et à faible salinité se produisent au printemps lorsqu'il y a une augmentation du débit d'eau douce entrant dans le Golfe par le fleuve Saint-Laurent, la rivière Saguenay et d'autres petites rivières sur les côtes. La couche de surface s'écoule du Golfe vers l'Atlantique. L'automne, il y a un écoulement additionnel d'eau douce, amenant les modèles de circulation dans le Golfe, ce qui fait que le secteur montre les propriétés d'un milieu estuarien (Dufour et Ouellet 2007). Au début de l'hiver, la couche hivernale de surface de faible salinité coulant dans l'Atlantique devient moins flottante en raison de la baisse de la température de l'air et de l'accumulation de glace, et se déplace vers la colonne d'eau. Quand le printemps arrive, une nouvelle couche estivale de surface se crée, ce qui entraîne l'emprisonnement de la couche hivernale au fond. C'est ce que l'on appelle la couche intermédiaire froide (Dufour et Ouellet 2007).

Les courants sont plus forts sur la couche de mélange de surface, habituellement de 0–20 m, sauf durant les mois d'hiver quand les moyennes de 20–100 m, sont presque aussi fortes (la couche de surface et la couche intermédiaire froide ont fusionné en une seule couche) et les

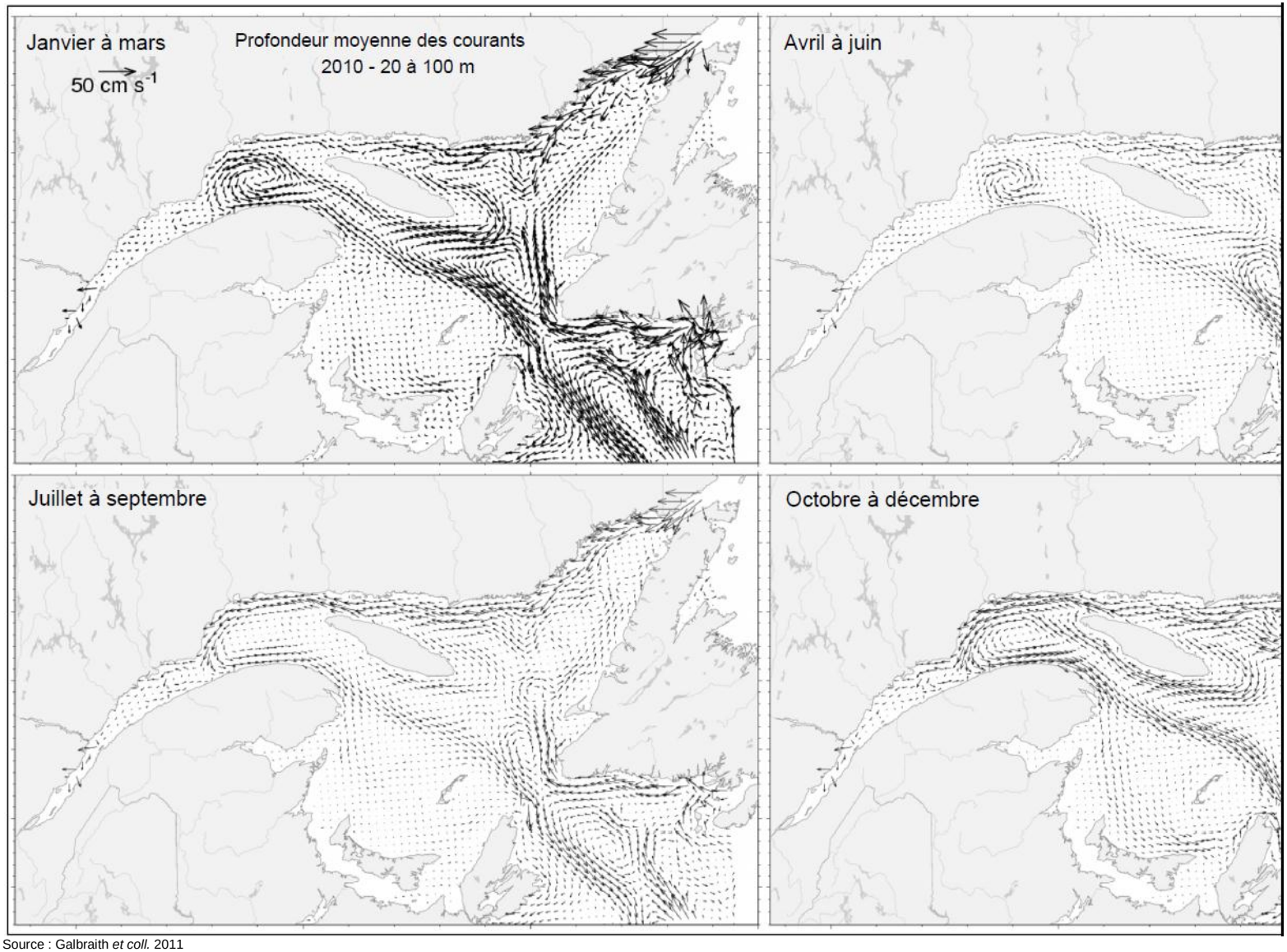
moyennes de la couche profonde (100 m au fond) sont très élevées. Les courants sont plus forts le long des pentes des chenaux profonds. Le tourbillon océanique d'Anticosti est toujours évident, mais plus fort durant les mois d'hiver, lorsqu'il s'étend fortement dans les courants moyens par rapport au fond (Galbraith et coll. 2011). Les Figures 4.9, 4.10 et 4.11 présentent les courants saisonniers moyens par rapport à la profondeur de 0–20 m, 20–100 m, et de 100 m au fond pour 2010 (Galbraith et coll. 2011).

L'Institut Maurice Lamontagne, le Service hydrographique du Canada et le MPO émettent des prévisions océaniques pour le Golfe (l'Observatoire global du Saint-Laurent (OGSL) 2011). Les prévisions des courants de surface sont extraites à partir d'un modèle numérique tridimensionnel qui enregistre la circulation océanique sous l'influence des marées, l'écoulement d'eau douce du fleuve Saint-Laurent, les conditions atmosphériques et glaciaires de surface (OGSL 2011). Ce modèle a été validé grâce à une série de programmes de recherche opérationnelle et scientifique et de développement au sein du MPO. Le processus de validation a été effectué en tenant compte de nombreuses observations océanographiques, notamment sur les courants, le niveau d'eau, la température et la salinité de l'eau (OGSL 2011). Ce programme en ligne permet de fournir des prévisions quotidiennes des courants de surface. Les courants de surface pour le PP 1105 présentés à la Figure 4.12 constituent un exemple de données du modèle décrit précédemment pour le 29 septembre 2011 à 8 heures.



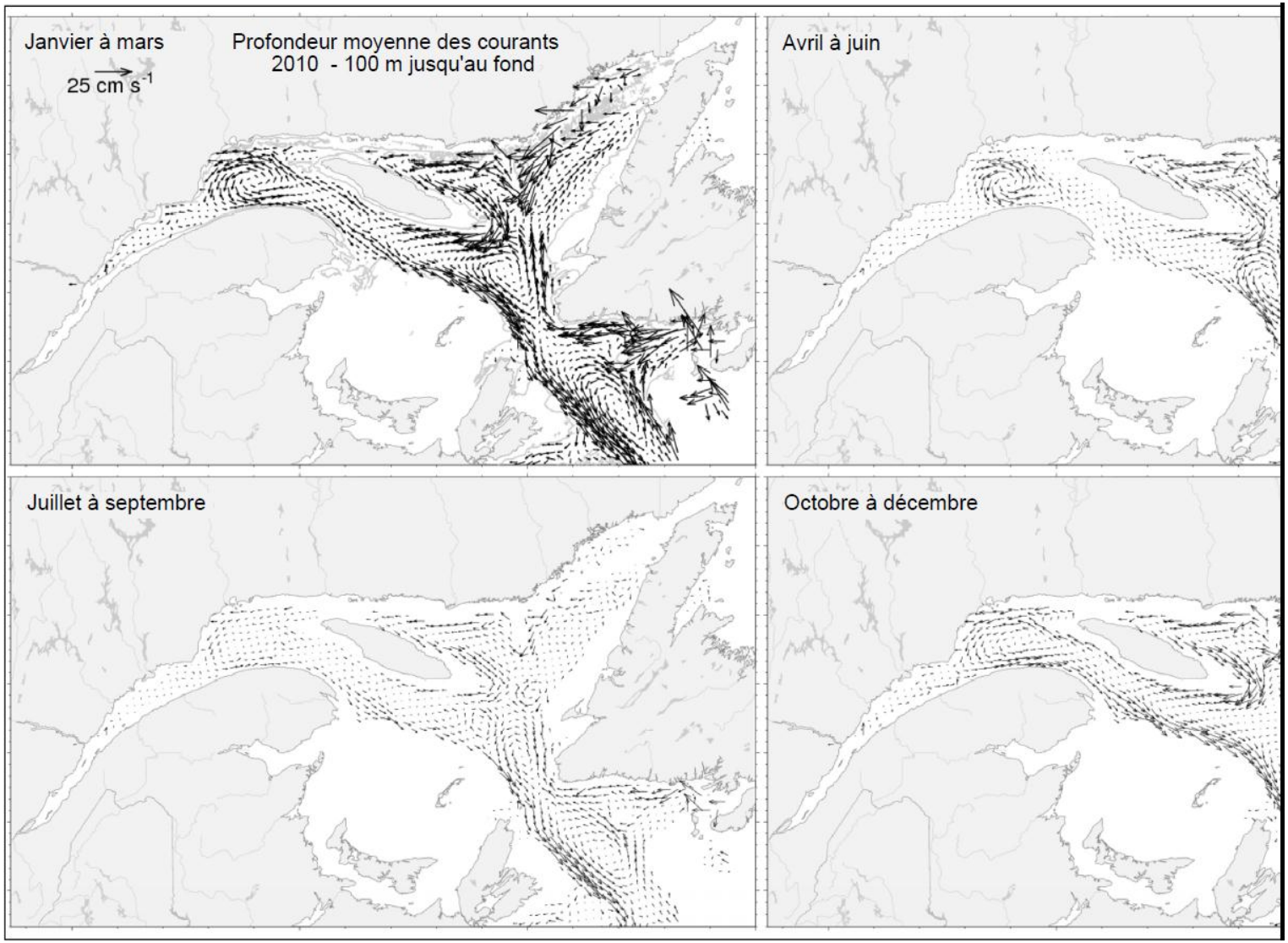
Source : Galbraith *et coll.* 2011

Figure 4.16 Courants moyens par rapport à la profondeur de 0 à 20 m pour chaque période de trois mois en 2010.



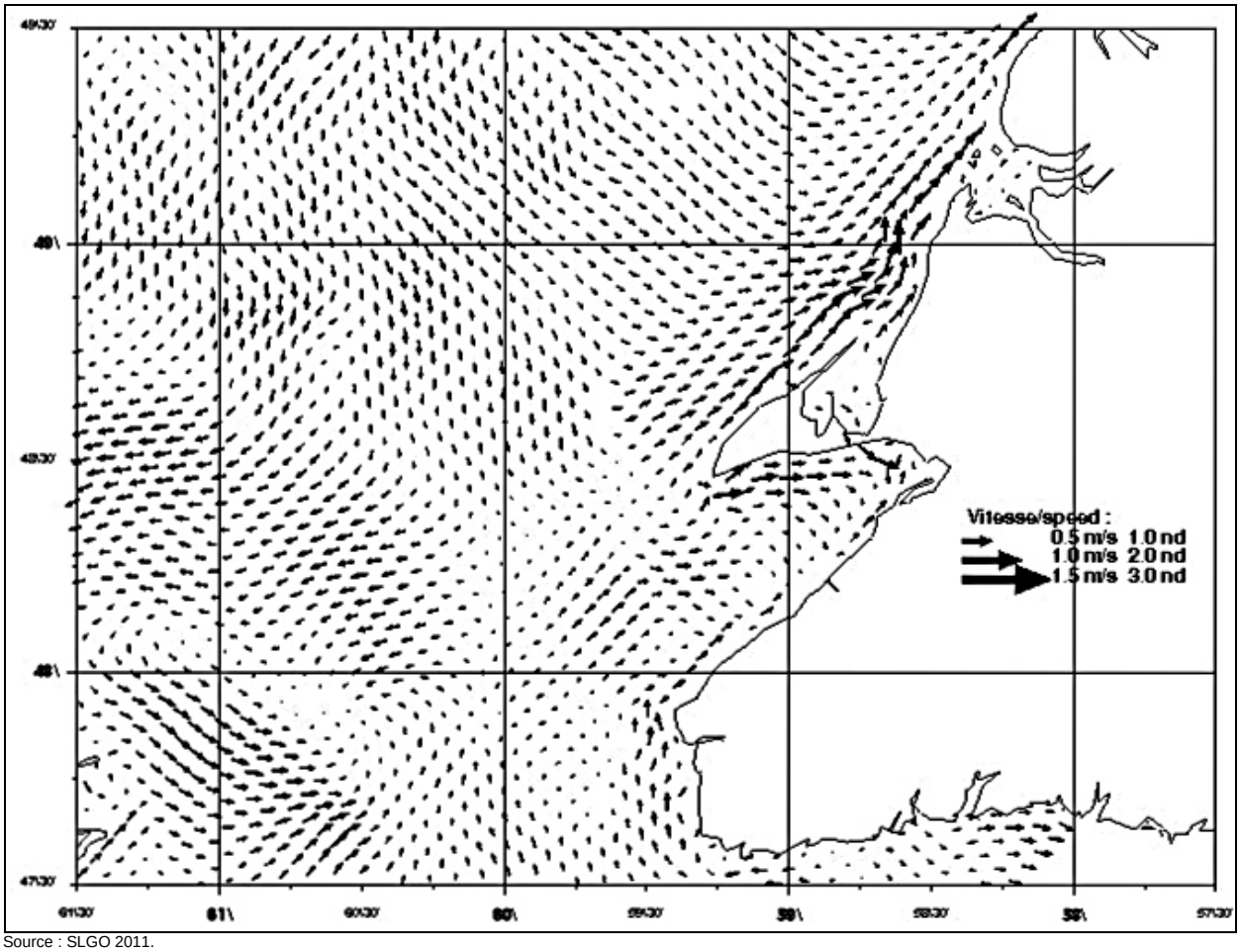
Source : Galbraith *et coll.* 2011

Figure 4.17 Courants moyens par rapport à la profondeur de 20 à 100 m pour chaque période de trois mois en 2010.



Source : Galbraith et coll. 2011

Figure 4.18 Courants moyens par rapport à la profondeur de 100 m jusqu'au fond pour chaque période de trois mois en 2010.



Source : SLGO 2011.

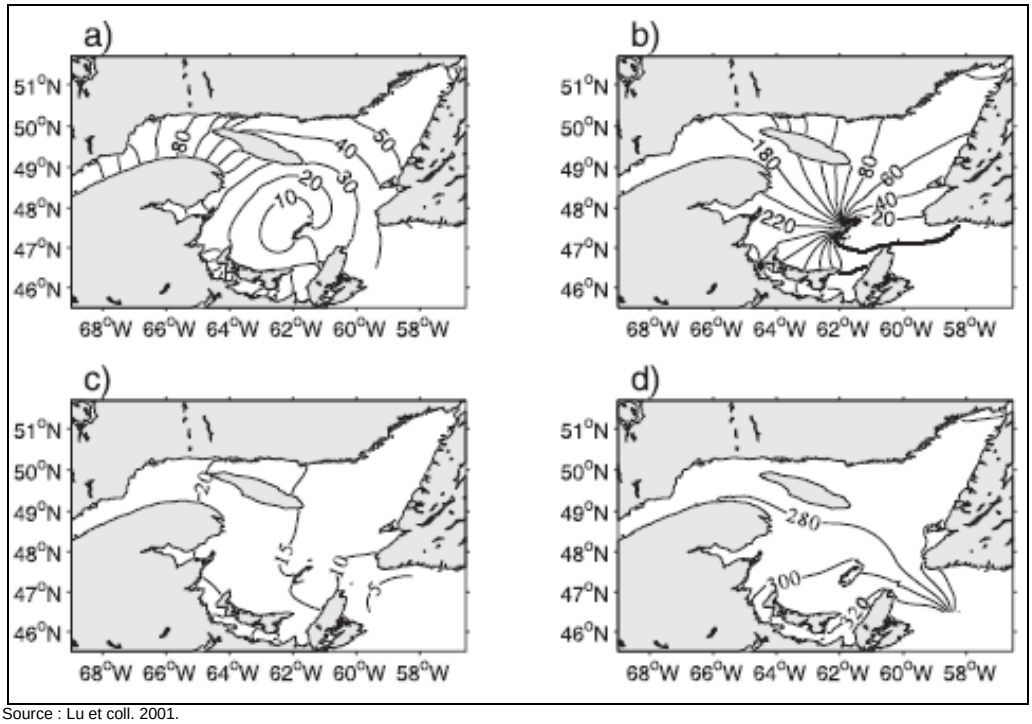
Figure 4.19 Courants de surface dans le golfe du Saint-Laurent (29 septembre 2011 à 8 heures)

Le brassage vertical est un important processus qui a une incidence sur les masses d'eau étant donné qu'il joue un important rôle dans les habitats marins, ayant ainsi un effet direct sur la productivité et la biodiversité. Les marées se propageant au-dessus des filons-couches à la tête du chenal Laurentien produisent un fort brassage des différentes masses d'eau qui convergent dans ce secteur (Dufour et Ouellet 2007). Le brassage de la zone intertidale est également un élément modificateur permanent et dominant des eaux profondes et intermédiaires près de la tête du détroit de Jacques-Cartier et dans le détroit de Belle Isle (Saucier et coll. 2003). Le mélange du courant de dérive associé au régime tidal ainsi que la stabilité locale des eaux de surface détermineront la profondeur des couches de surface d'été et d'hiver (Saucier et coll. 2003). Une masse d'eau peut résider dans le Golfe pour quelques mois près de la surface ou jusqu'à quelques années dans les eaux plus froides du fond.

Les conditions atmosphériques dans le Golfe jouent également un rôle important dans la circulation de l'eau étant donné qu'elles ont un effet sur la couverture nuageuse, la précipitation, l'évaporation et la température de l'air.

4.2.3 Les marées

Dans le Golfe, les marées sont brassées dans le centre (LGL 2005b). Elles sont forcées à travers le détroit de Cabot avec des contributions mineures du détroit de Belle Isle et un forçage direct de gravitation (Lu et coll. 2001). Les marées, aux îles de la Madeleine, atteignent en moyenne 0,7 m. La principale onde de marée a une rotation en sens trigonométrique autour d'un point ouest des îles de la Madeleine (Figure 4.20). Elle entre dans le détroit de Cabot, et les amplitudes moyennes de marée varient de 0,8 à 1,5 m. Dans le détroit de Northumberland, le profil de la marée devient plus complexe. Le secteur ouest du détroit a une seule marée par jour, tandis qu'à l'est, il y a généralement deux marées atteignant de 1,2 à 1,8 m. Le détroit de Belle-Isle a des marées qui atteignent de 0,8 à 0,9 m (Environnement Canada, 2011). Les courants de marée dépassent rarement 30 cm/sec (Koutitonsky et Bugden 1991).



Source : Lu et coll. 2001.
Les amplitudes sont en cm, et les phases sont en degrés par rapport au TMG – minuit.
Note : a et c sont les lignes de co-amplitude ; b et d sont les lignes de co-phase.

Figure 4.20 Lignes des marées diurnes (K1) et semi-diurnes (M2) calculées à l'aide d'un modèle complexe

4.2.4 Vagues

D'octobre à mars, le climat des vagues du Golfe peut être influencé par les tempêtes extratropicales. Les tempêtes tropicales peuvent également survenir entre août et octobre ; cependant, les ouragans semblent avoir laissé la place aux tempêtes tropicales ou extratropicales à leur arrivée dans les eaux du Golfe (LGL 2005b). Le climat des vagues du Golfe a été évalué à l'aide d'ensembles de données du MSC50 pour le point de grille 13511 (dans le cadre du secteur visé par le projet). Les déviations minimales, maximales, moyennes et standards de hauteurs des vagues importantes pour chacune des saisons sont présentées

au Tableau 4.1. La hauteur importante de vague est définie comme la hauteur moyenne du tiers supérieur de toutes les vagues individuelles du creux à la crête (NOAA, 2011).Les hauteurs maximales des vagues importantes étaient plus grandes l'automne et l'hiver. Le pourcentage d'occurrences durant la période de pointe de vagues importantes par rapport à la hauteur des vagues importantes au point de grille 13511 pour chacune des saisons est présenté aux Tableaux 4.2 à 4.5. La période du pic des vagues correspond à la période associée aux vagues les plus fortes dans le spectre non directionnel des vagues à un point précis (NOAA, 2011). Les données sur les vents au même point de grille sont fournies à la section 4.3.2.

Tableau 4.1 Déviations minimales, maximales, moyennes et standards de hauteurs des vagues importantes pour chacune des saisons au point de grille 13511 par saison

Saison	Hauteur de vague minimale (m)	Hauteur de vague maximale (m)	Hauteur de vague moyenne (m)	Déviation standard (m)
Automne (sept. à Nov.)	0,15	9,29	1,95	1,09
Hiver (déc. à fév.)	0	9,46	2,41	1,35
Printemps (mars à mai)	0	7,05	1,41	0,92
Été (juin à août)	0,1	7,56	1,14	0,63

Tableau 4.2 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : septembre, octobre et novembre

Hauteur importante de vague (m)	Période du pic de vague										Total
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
0 à 0,99	<0,01	2,05	9,82	2,25	2,19	0,72	0,67	0,13	0,02	<0,01	17,9
1 à 1,99	<0,01	0,46	25,1	13,2	2,58	0,95	0,61	0,2	0,05	<0,01	43,1
2 à 2,99	<0,01	<0,01	0,81	20,6	1,29	0,29	0,22	0,01	0,01	<0,01	23,2
3 à 3,99	<0,01	<0,01	<0,01	4,04	5,94	0,12	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	10,2
4 à 4,99	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	3,76	0,07	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	3,92
5 à 5,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,95	0,31	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,27
6 à 6,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,29	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,31
7 à 7,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08
8 à 8,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
9 à 9,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Total	**<0,01**	**2,51**	**35,7**	**40,2**	**16,7**	**2,87**	**1,6**	**0,35**	**0,08**	**<0,01**	**100**

Tableau 4.3 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : décembre, janvier et février

Hauteur importante de vague (m)	Période du pic de vague										Total
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
0 à 0,99	0,07	2,25	5,22	0,34	1,19	1,03	0,69	0,03	0,01	0,01	10,9
1 à 1,99	<0,01	0,44	19,9	9,95	2,07	1,99	0,68	0,09	<0,01	<0,01	35,1
2 à 2,99	<0,01	<0,01	1,66	21,9	1,44	0,94	0,36	0,06	<0,01	<0,01	26,3
3 à 3,99	<0,01	<0,01	0,01	6,72	8,04	0,4	0,17	0,01	<0,01	<0,01	15,4
4 à 4,99	<0,01	<0,01	<0,01	0,27	6,84	0,22	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	7,41
5 à 5,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	2,28	0,78	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	3,07
6 à 6,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	0,97	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	1,16
7 à 7,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,48	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,49
8 à 8,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,2
9 à 9,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04
Total	**0,07**	**2,7**	**26,8**	**39,2**	**22**	**7,05**	**2,03**	**0,19**	**0,01**	**0,01**	**100**

Tableau 4.4 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : mars, avril et mai

Hauteur importante de vague (m)	Période du pic de vague											Total
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	
0 à 0,99	0,63	7,59	15	6,95	5,48	1,93	1,66	0,11	0,04	0,02	0,01	39,4
1 à 1,99	<0,01	0,62	24,7	9,29	3,25	1,39	0,27	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	39,5
2 à 2,99	<0,01	<0,01	0,9	12,3	0,97	0,32	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	14,6
3 à 3,99	<0,01	<0,01	<0,01	2,53	1,9	0,09	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	4,57
4 à 4,99	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	1,29	0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,39
5 à 5,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,37	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,44
6 à 6,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08
7 à 7,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Total	0,63	8,21	40,6	31,1	13,3	3,89	2,09	0,14	0,04	0,02	0,01	100

Tableau 4.5 Pourcentage d'occurrences durant la période de vagues de pointe par rapport à la hauteur importante des vagues au point de grille 13511 : juin, juillet et août

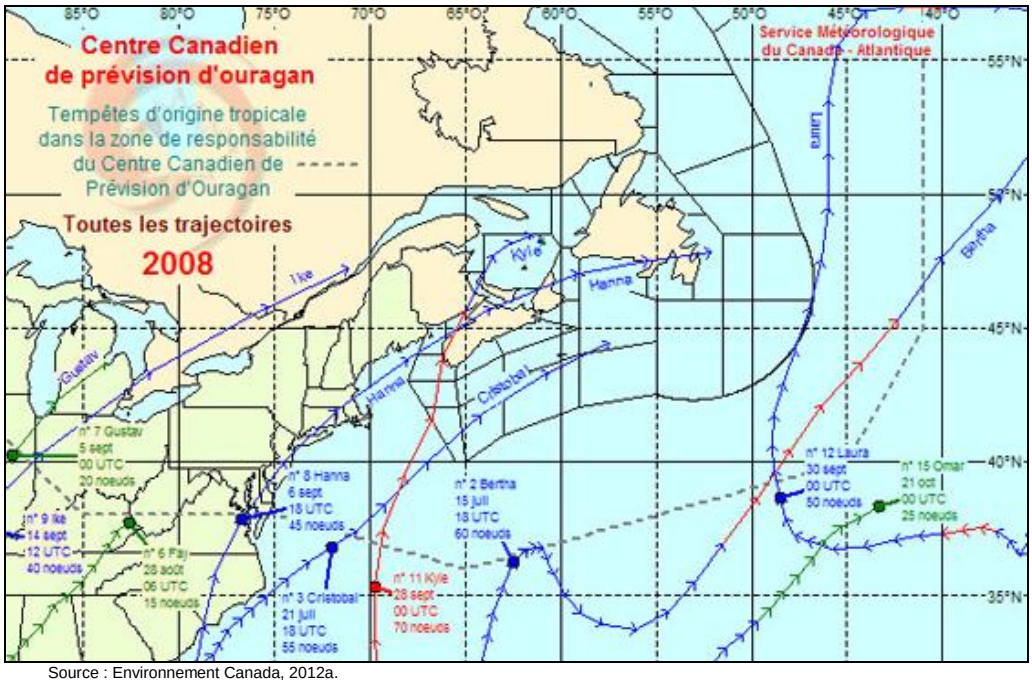
Hauteur importante de vague (m)	Période du pic de vague										Total
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
0 à 0,99	<0,01	7,74	24,5	11,3	4,26	1	0,89	0,34	0,19	0,02	50,3
1 à 1,99	<0,01	0,43	27,8	9,87	1,31	0,53	0,05	0,07	0,03	0,01	40,1
2 à 2,99	<0,01	<0,01	0,26	7,73	0,25	0,07	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	8,32
3 à 3,99	<0,01	<0,01	<0,01	0,54	0,58	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,14
4 à 4,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,17
5 à 5,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
6 à 6,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
7 à 7,99	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Total	**<0,01**	**11,2**	**52,6**	**29,5**	**6,59**	**1,63**	**0,94**	**0,41**	**0,23**	**0,03**	**100**

Une grande partie des vagues de hauteurs importantes durant l'automne et l'hiver se produit à 1 à 1,99 m, et à 0 à 0,99 m durant l'été. Une grande partie des vagues de hauteurs importantes durant le printemps est répartie uniformément entre 0 à 0,99 m et 1 à 1,99 m. Habituellement, c'est au cours des mois d'hiver que l'on constate les vagues les plus hautes. La période de pointe habituelle est d'environ 7 secondes durant les mois d'automne et d'hiver et de 5 secondes durant les mois de printemps et d'été.

4.2.5 Trajectoire des tempêtes dans le golfe du Saint-Laurent

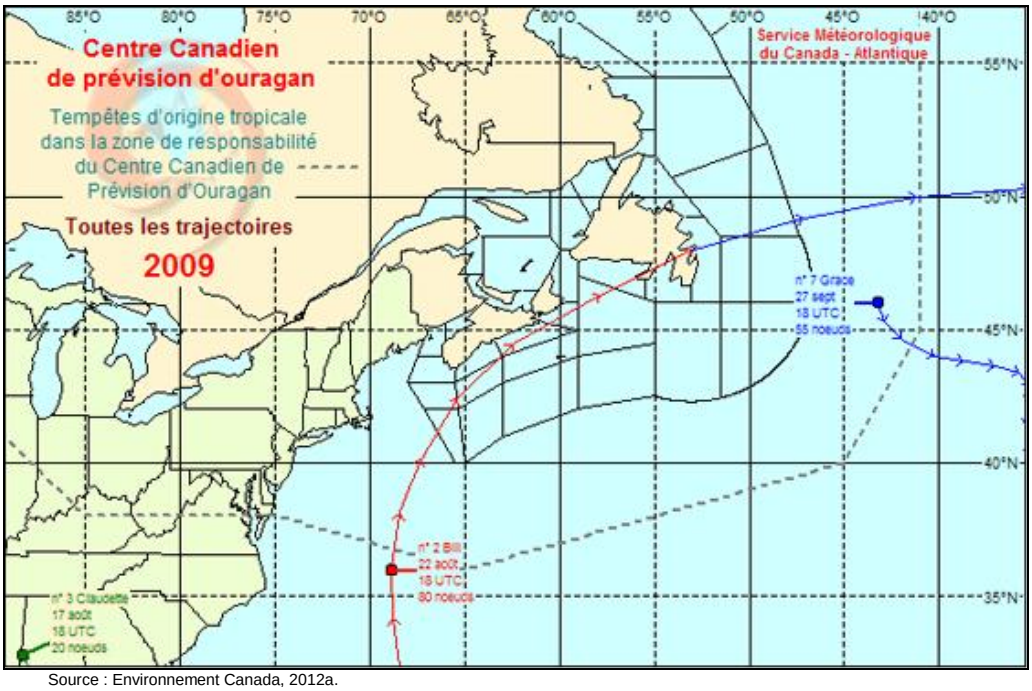
Les systèmes météorologiques ont tendance à se déplacer le long des trajectoires préférées des eaux canadiennes. La majorité des trajectoires passent à travers les Basses-terres du Saint-Laurent, les tempêtes se développant et se déplaçant vers la mer en direction nord-est vers les Grands Bancs de Terre-Neuve et de la mer du Labrador. Dans le golfe du Saint-Laurent, une saison des cyclones se produit de juin à novembre, atteignant son point culminant en août jusqu'à septembre. La majorité des trajectoires des tempêtes polaires durant les mois d'été de 2008 à 2011 sont présentées aux Figures 4.21 à 4.24. Les caractéristiques météorologiques importantes affectant l'Atlantique Nord durant l'hiver sont un secteur de basse pression, la dépression d'Islande centrée au sud-est du Groenland ; et un système de haute pression continentale qui se développe à l'ouest de la baie d'Hudson. Même si les trajectoires de tempêtes polaires les plus courantes sont illustrées aux Figures 4.21 et 4.24, certaines tempêtes peuvent avoir un comportement assez différent. Comme il est illustré dans les figures, il est courant de rencontrer des conditions météorologiques rigoureuses résultant de systèmes de basse pression qui se déplacent en direction nord le long du littoral est des États-Unis dans le Golfe et vers les Grands Bancs. Ces variations font partie des modèles météorologiques normaux qui peuvent donner lieu à d'importantes déviations aux conditions météorologiques saisonnières habituelles, affectant la vitesse et la direction des vents, la température de l'air, la précipitation et la visibilité, et qui peuvent produire des états des glaces hors de l'ordinaire pour

une certaine région (MPO 1999a). La fréquence des trajectoires des tempêtes extratropicales au cours de l'année 1998 est présentée aux Figures 4.25 à 4.28.



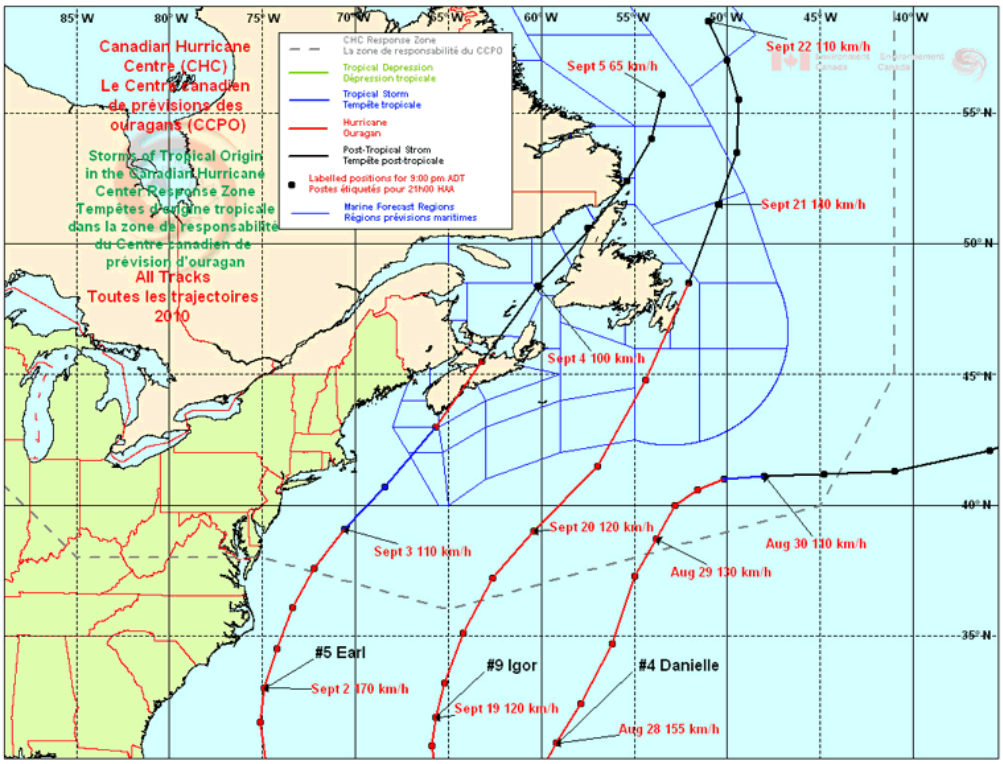
Source : Environnement Canada, 2012a.

Figure 4.21 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2008



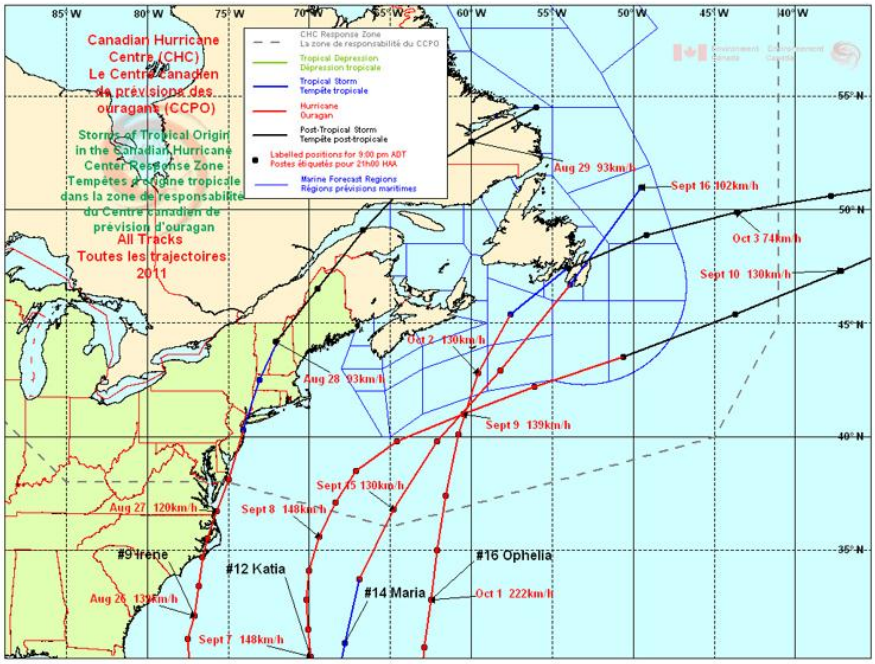
Source : Environnement Canada, 2012a.

Figure 4.22 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2009



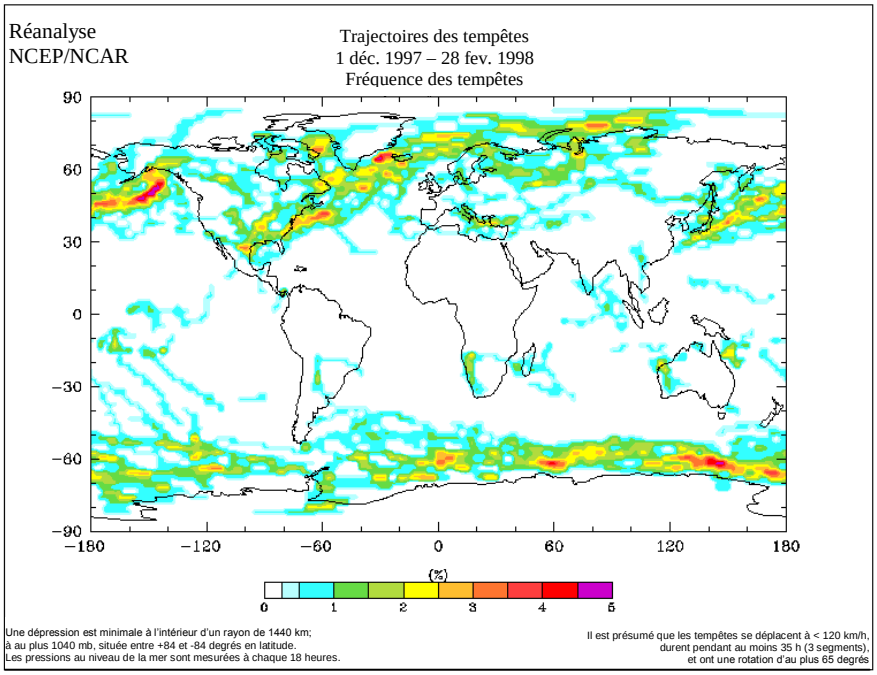
Source : Environnement Canada, 2012a.

Figure 4.23 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2010



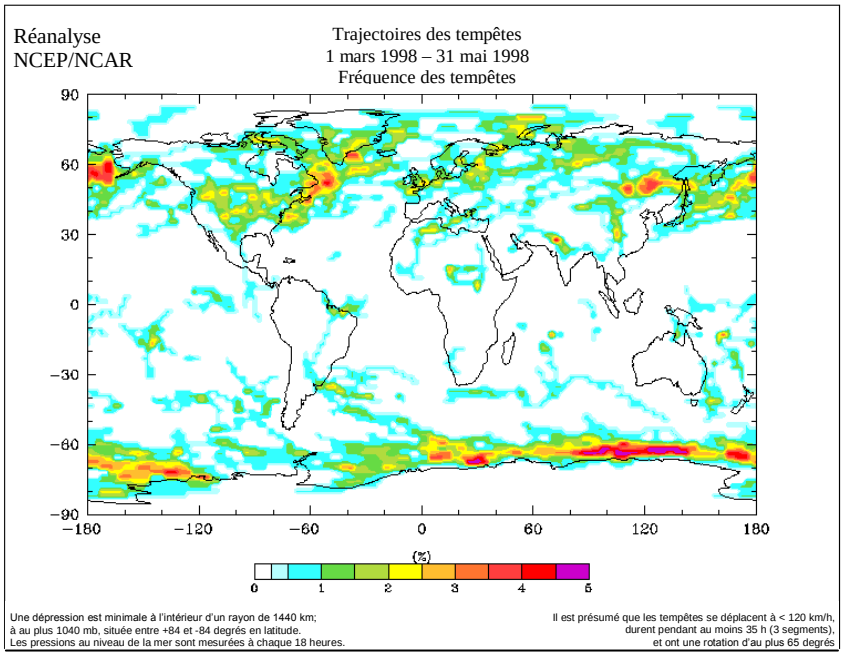
Source : Environnement Canada, 2012a.

Figure 4.24 Trajectoires des tempêtes extratropicales au Canada atlantique, 2011



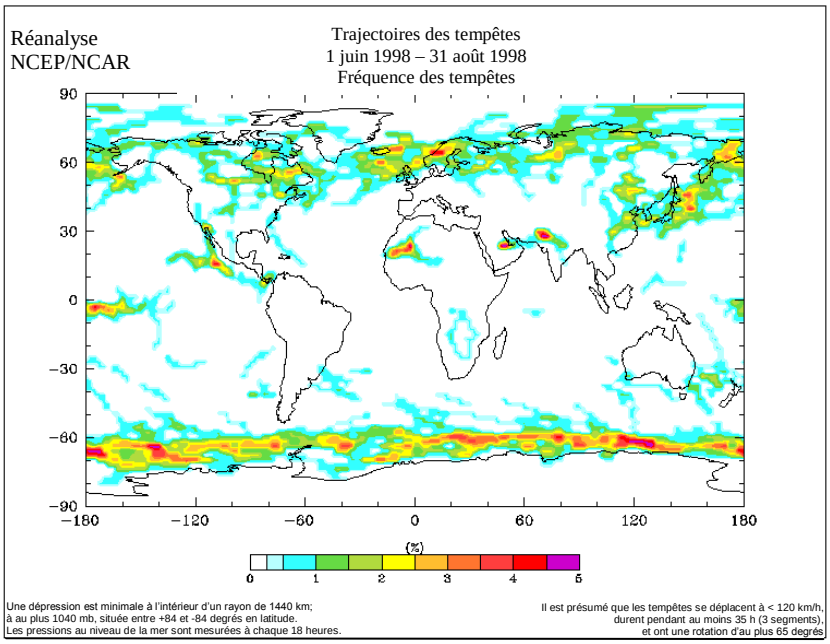
Source : NOAA – Date inconnue.

Figure 4.25 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er décembre 1997 au 28 février 1998



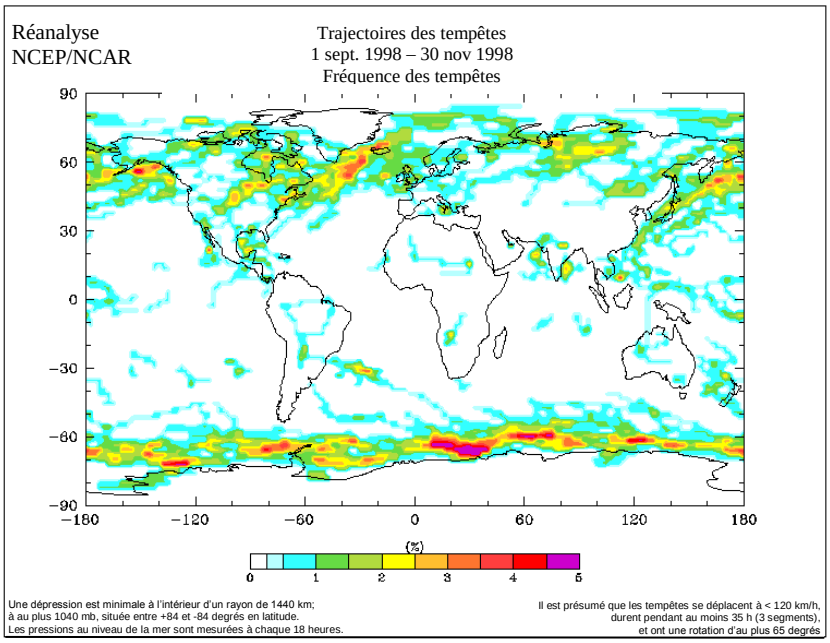
Source : NOAA – Date inconnue.

Figure 4.26 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er mars 1998 au 31 mai 1998



Source : NOAA Date inconnue.

Figure 4.27 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er juin 1998 au 31 août 1998

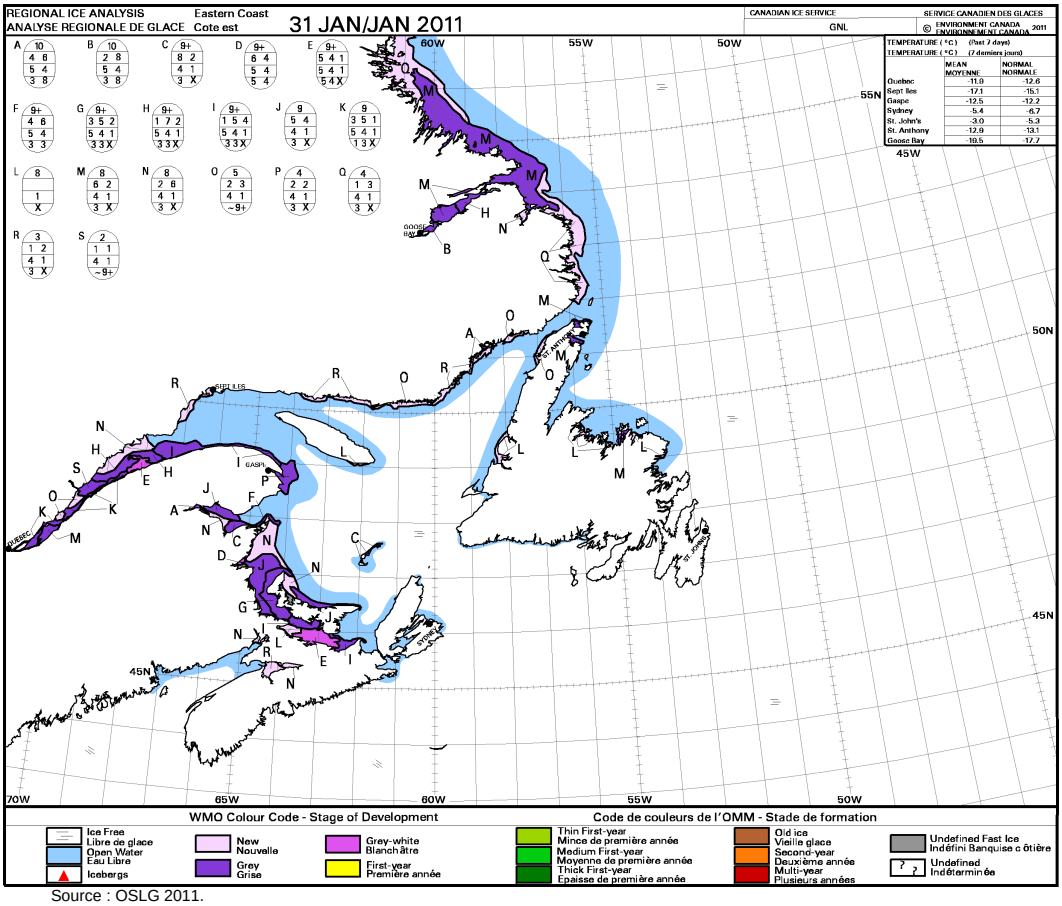


Source : NOAA Date inconnue.

Figure 4.28 Fréquence des tempêtes extratropicales, du 1er septembre 1998 au 30 novembre 1998

4.2.6 Glace

De la glace se forme chaque hiver dans le Golfe. Cependant, on constate la tendance à bon nombre de variations dans la couche de glace, l'épaisseur et le moment de débâcle des glaces d'année en année. On constate la présence de glaces flottantes sous deux formes dans le milieu marin – glaces de mer et icebergs. Les deux types présentent un danger potentiel pour le trafic maritime et les appareils de forage. Les glaces que l'on trouve sur le site du PP 1105 sont des glaces formées au cours de l'année dans le Golfe. Toute la glace de mer dans le cadre du PP 1105 est de la glace saisonnière, décrite comme de la nouvelle glace, de la glace grise et de la glace blanchâtre dans la Figure 4.29. Les épaisseurs de la glace non déformée à ces stades de développement sont de moins de 10 cm, de 10 à 15 cm et de 15 à 30 cm, respectivement. Les épaisseurs de la glace de plus de 30 cm (glace de première année mince à moyenne) ne se voient généralement qu'en mars ou au début d'avril, près de la fin de la saison des glaces dans le golfe du Saint-Laurent.



Source : OSLG 2011.

Figure 4.29 Analyse régionale des glaces dans le golfe du Saint-Laurent (31 janvier 2011)

Les courants, les marées et la bathymétrie sont les principaux facteurs océaniques influençant la formation de glace dans le golfe du Saint-Laurent. La bathymétrie du Golfe est dominée par une fosse océanique profonde, le chenal Laurentien, allant du détroit de Cabot jusqu'au

Saguenay, et elle atteint des profondeurs de 500 m. La fosse profonde se prolonge également dans le passage de la Jacques-Cartier et le bras nord-est du Golfe, où sa profondeur peut atteindre 275 m. Le détroit de Northumberland a des profondeurs de seulement 17 à 65 m, les eaux les plus profondes se retrouvant à chaque extrémité du détroit. Le détroit de Belle-Isle a des profondeurs de seulement 50 m à certains endroits, et la partie sud-ouest du Golfe présente des profondeurs moyennes de moins de 75 (Environnement Canada 2011). Une description des marées est fournie aux Sections 4.2.2 et 4.2.3, respectivement.

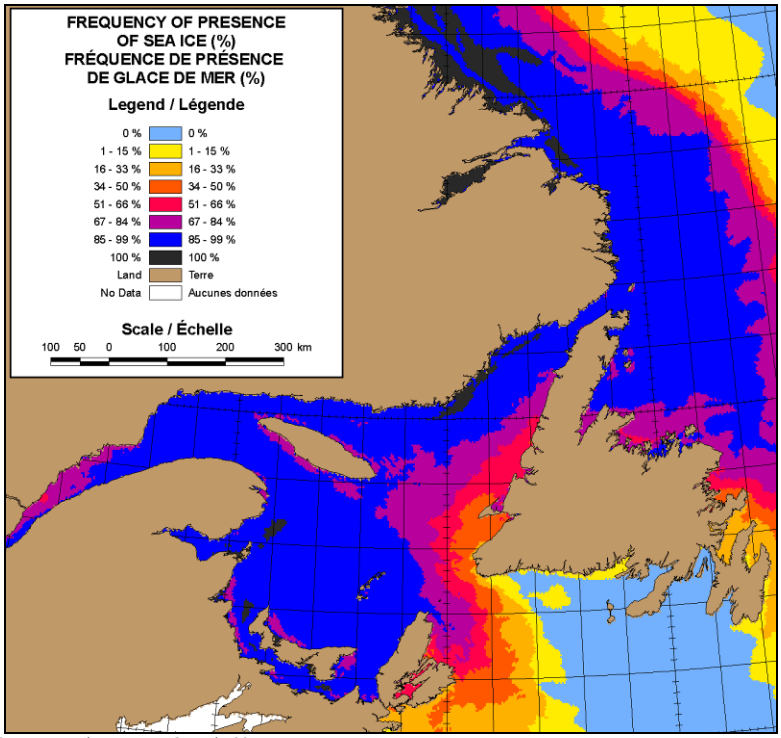
Les forces des marées affectent le régime de glacespar le mouvement de va-et-vient de la glace à mesure qu'elles montent et descendent. Ce mouvement est clairement apparent dans l'estuaire supérieur et dans la baie des Chaleurs. Par suite des influences des marées et de la faible profondeur de ces secteurs, de grandes portions de glace fixée peuvent se former (Environnement Canada 2011).

Les températures et les vents d'hiver sont les deux principaux facteurs climatiques qui ont une incidence sur la couverture de glace du Golfe. L'hiver, les températures moyennes demeurent habituellement autour du point de congélation. Ainsi, les hivers plus froids ou plus doux que la moyenne produisent un effet énorme sur la couverture de glace totale. Les vents d'hiver de l'ouest vers le nord sont généralement froids et secs, alors que ceux de l'ouest vers le nord-est sont doux et humides (Environnement Canada 2011).

Chaque année, la glace se forme dans le Golfe à partir des secteurs situés près des côtes du Saint-Laurent. Au début de février, la glace qui se déplace en direction du sud en traversant le Golfe atteindra Sydney, en Nouvelle-Écosse, et affectera le transport des marchandises pendant le reste de la saison. À la fin de février, la majeure partie des régions restantes du Golfe est couverte. L'exception est un chenal côtier de 10 à 30 km le long de la côte sud de Terre-Neuve du cap Saint-Georges (Environnement Canada, 2011).

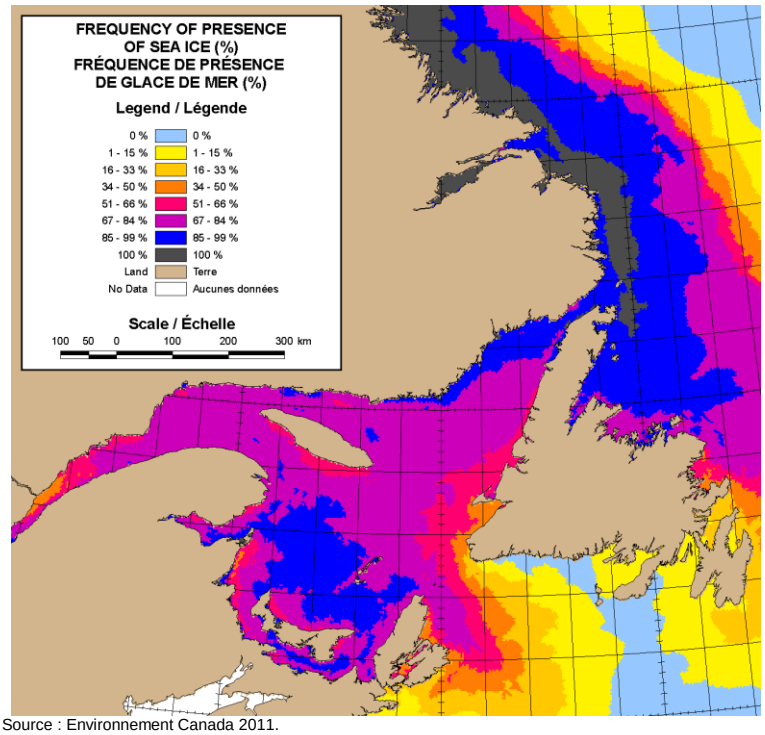
Au début de février, la glace blanche et la glace blanchâtre prédominent avec une mince glace de l'année se développant progressivement dans le courant du mois. À la fin de la troisième semaine de février, une mince glace de l'année se trouve dans le détroit de Northumberland, le long de la côte nord-ouest du cap Breton, le long de la côte nord des Îles-de-la-Madeleine, le long de la côte ouest de Terre-Neuve, de même que le long des rives sud de la baie des Chaleurs et de l'estuaire (Environnement Canada 2011). Sur les portions nord de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, le type de glace qui prédomine reste la glace nouvelle et grise parce que les vents de terre poussent la glace vers le sud. À partir de la fin de février et ce jusqu'au milieu de mars, la glace dans le Golfe aura atteint son étendue maximale et une bonne partie de la glace continue d'augmenter au stade de développement de la première année. Par suite de la débâcle de la banquise en direction du sud dans le Golfe, la glace demeure au stade de glace blanchâtre sur les portions nord-ouest du Golfe. Le chenal le long de la côte ouest de Terre-Neuve, particulièrement au nord de la péninsule de Port-au-Port, est fermé et il est possible qu'il y ait débâcle de glace dans le détroit de Cabot. Pour la période allant de 1981 à 2010, le plus de glace vue pendant une seule saison dans le Golfe se produisit en 1989-1990, alors que la plus petite quantité de glace vue se produisit en 2009-2010. La couverture de glace varie considérablement d'année en année mais, en règle générale, on a connu des conditions au-dessus de la normale de 1980-1981 à 1994-1995 et par la suite des conditions en dessous

de la normale de 1995-1996 à 2009-2010. L'étendue maximale de la banquise dans le Golfe en février, mars et avril, basée sur une moyenne de concentration de glace de 30 ans, est présentée aux Figures 4.30, 4.31 et 4.32, respectivement (Environnement Canada 2011).



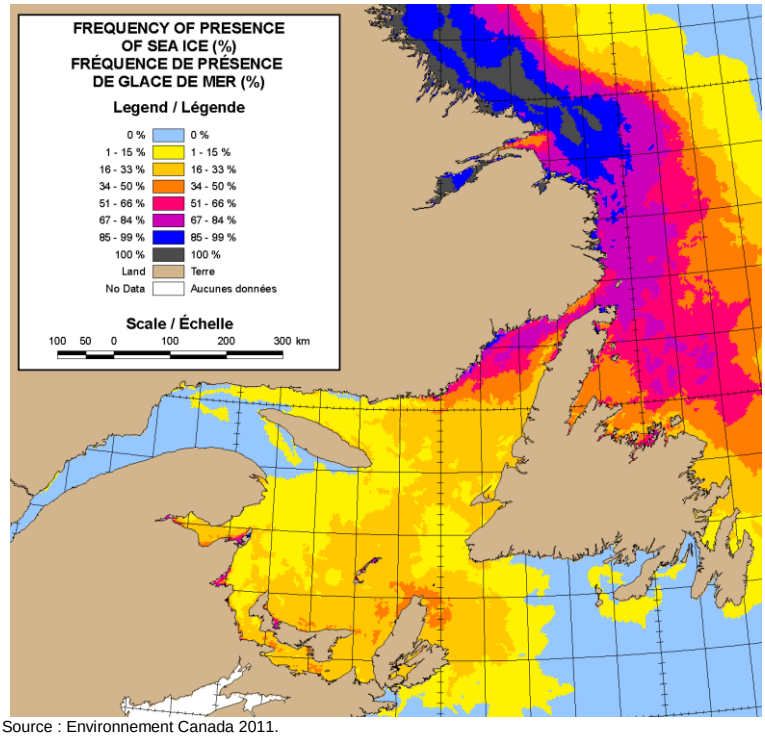
Source : Environnement Canada 2011.

Figure 4.30 Étendue maximale de la banquise en février (1981 à 2010)



Source : Environnement Canada 2011.

Figure 4.31 Étendue maximale de la banquise en mars (1981 à 2010)



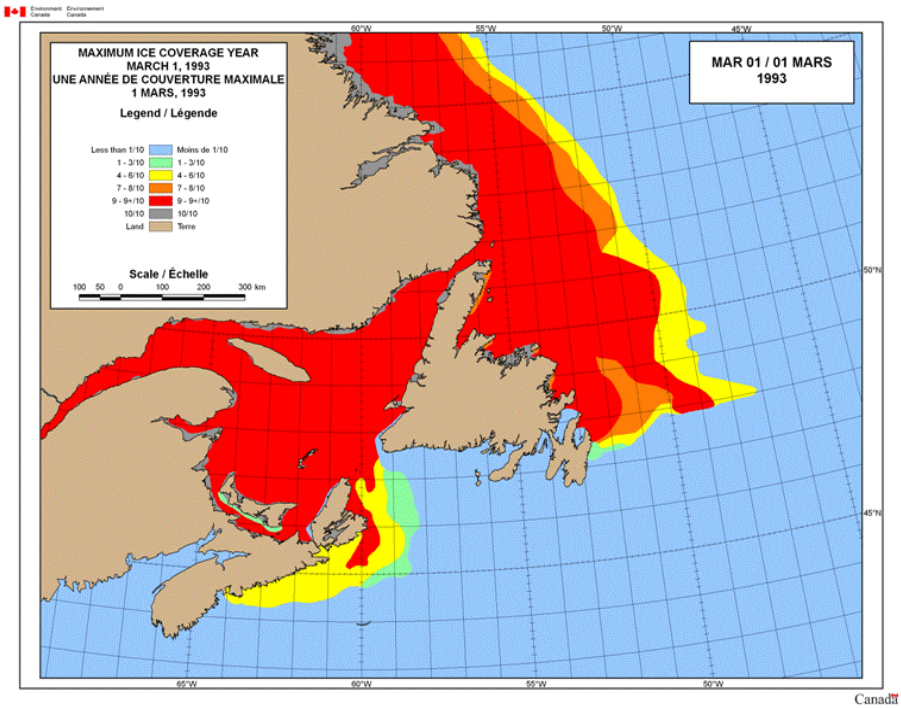
Source : Environnement Canada 2011.

Figure 4.32 Étendue maximale de la banquise en avril (1981 à 2010)

La présence de glace de mer sur une période de 30 ans dans le secteur visé par le projet varie de 51 à 84 % à la fin de février, à moins de 15 % à la fin d'avril. L'année de la couverture de glace maximale a été celle du 1er mars 1993 (Figure 4.33) et l'année de la couverture de glace minimale a été celle du 1er mars 2010 (Figure 4.34). Le PP 1105 est situé dans le secteur dont la date moyenne de congélation de la glace est le 29 janvier (Figure 4.35). L'interglaciel normal pour le PP 1105 s'étend du 9 avril au 12 février de l'hiver suivant et dans le cas d'hivers de froid intense, l'interglaciel est plus court et s'étend seulement du 7 mai au 15 janvier. Pour les hivers doux, il est possible que la glace n'atteigne pas le site du PP 1105. C'est ce qui s'est produit à six reprises au cours des 30 dernières années, avec des incidents survenus depuis la fin des années 90 pour lesquels une tendance de réchauffement général a été observée (Environnement Canada, communication personnelle, 2011).

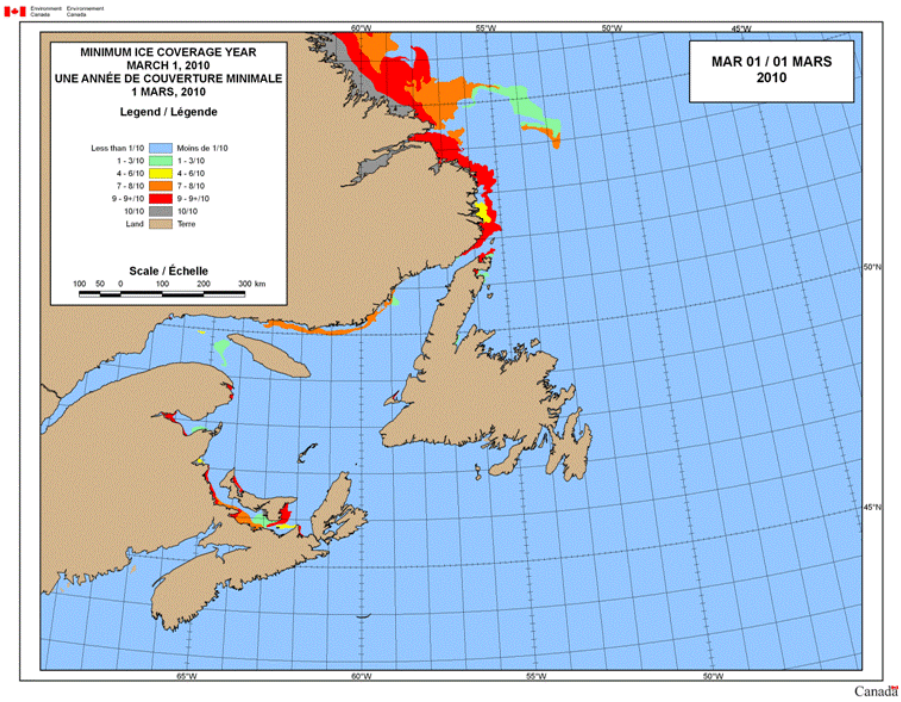
Quand la banquise atteint le site du PP 1105, l'épaisseur de la glace est habituellement entre 10 et 30 cm. À mesure que l'hiver progresse, la glace épaissit entre 30 et 70 cm. Des ondins glaciels pourraient à l'occasion se former dans le secteur, ce qui pourrait se traduire par une augmentation importante de l'épaisseur de la glace, au-dessus des épaisseurs habituelles. La concentration de glace pourrait varier considérablement, mais elle est souvent près de 80 à 100 % de la concentration habituelle, atteignant une plus faible concentration au début de la saison des glaces. Une forte poussée des glaces pourrait également se développer à l'occasion en raison des grands vents associés aux tempêtes d'hiver qui sont assez fréquentes dans la région du Golfe. Une telle poussée des glaces peut avoir d'importants impacts sur les activités de transport des marchandises (Environnement Canada, communication personnelle, 2011).

La dispersion glaciaire est d'abord évidente près de la fin de février, et à la mi-mars, de grandes zones d'eau libre sont visibles à plusieurs endroits dans le Golfe. Une combinaison de hausse des températures et de remontée d'eau chaude sous l'effet de la marée provoque la débâcle près de l'embouchure du Saguenay. Les zones d'eau libre se développent ensuite au sud de l'île d'Anticosti, ainsi que le long de l'extrémité nord de l'estuaire du Saint-Laurent et sur la rive nord de Natashquan. À la fin de mars, les formations de glace plus mince fondent rapidement, réduisant ainsi les concentrations médianes de glace dans le principal couloir de navigation par le biais du Golfe central du Saint-Laurent (Environnement Canada 2011).



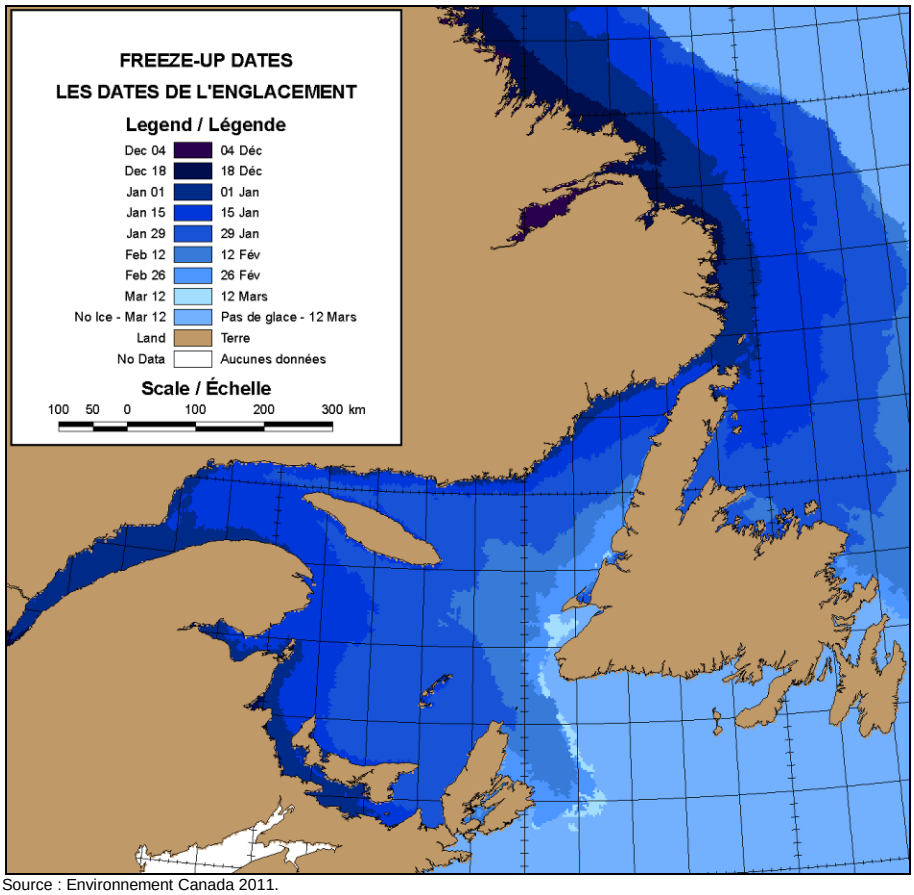
Source : http ://www.ec.gc.ca/glaces-ice/default.asp?lang=Fr&n=9453F6C9-1..

Figure 4.33 Année de couverture maximale de glace



Source : http ://www.ec.gc.ca/glaces-ice/default.asp?lang=Fr&n=4B65BC3E-1.

Figure 4.34 Année de couverture minimale de glace



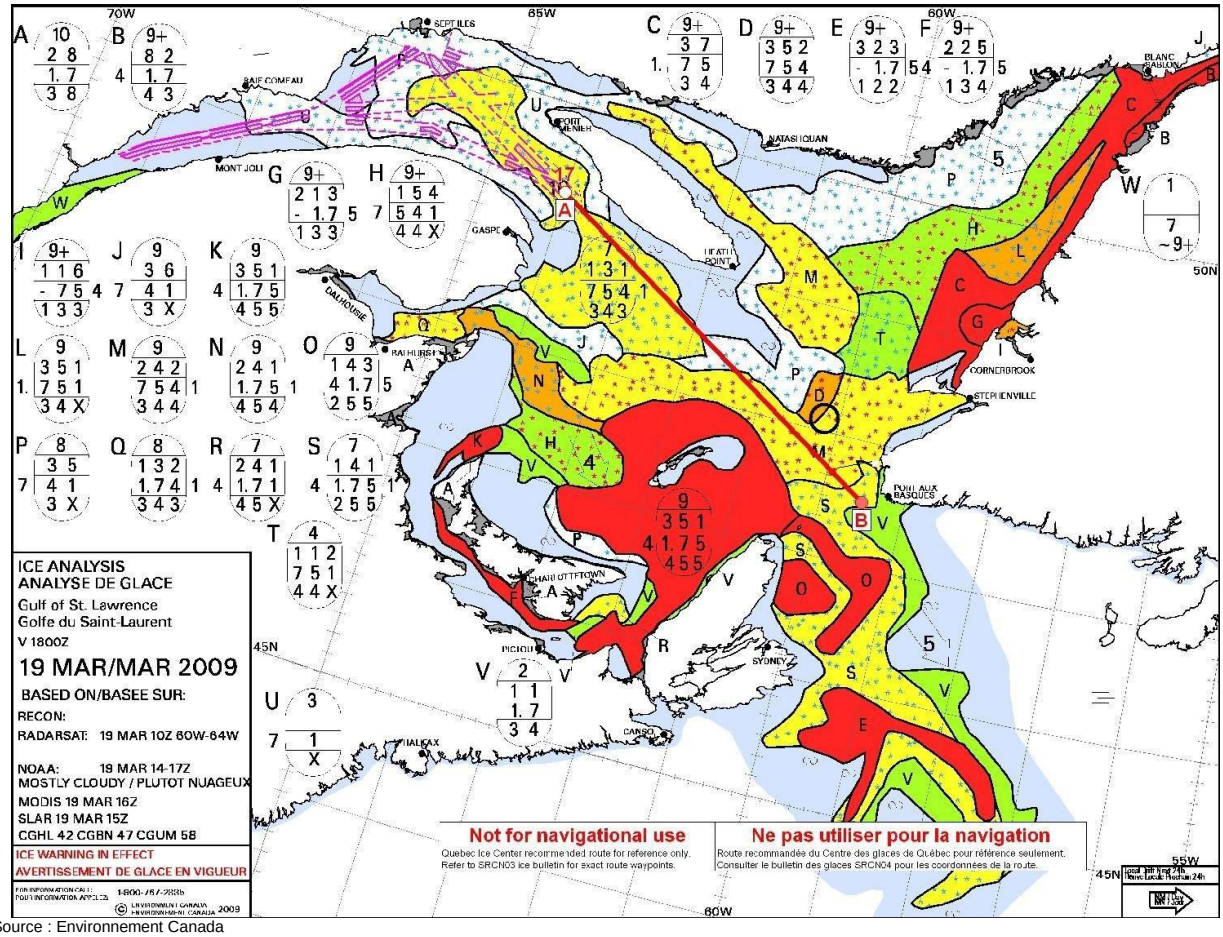
Source : Environnement Canada 2011.

Figure 4.35 Dates de congélation (1981 à 2001)

L'estuaire et la voie principale de navigation se dégagent au début d'avril. Les deux étendues principales de glace restantes sont alors la partie sud-ouest du Golfe dans la région entourant le cap Breton et l'étendue allant de la péninsule de Port-au-Port jusqu'au détroit de Belle-Isle. Aucun nouvel obstacle à la navigation n'est alors présent dans l'estuaire ou dans la principale voie de navigation, et le reste de la glace est habituellement disparu à la mi-avril (Environnement Canada 2011).

Au cœur de la saison des glaces, une nouvelle accumulation de glace et une progression générale de la glace existante vers le sud-est se combinent pour créer une épaisse couverture de glace, à partir du passage de Gaspé jusqu'à l'île du Cap-Breton. Cette couverture de glace épaisse s'accumule le long de la côte du cap Breton et sur parties nord-ouest des Îles-de-la-Madeleine. Ces grands floes de glace épaisse restent habituellement éloignés des côtes de l'Île-du-Prince-Édouard et du Nouveau-Brunswick, en raison des vents dominants. Ces vents peuvent également entraîner une congestion de glace épaisse et déformée dans le secteur de la baie des Îles et au nord du secteur de la péninsule de Port-au-Port. La fracturation des floes de glace dans le secteur du détroit de Cabot peut parfois se produire lorsqu'il y a une épaisse couverture de glace, en raison de la houle créée par les tempêtes de l'Atlantique. La glace ancienne peut parfois entrer dans le bras Northeast, mais ce phénomène est habituellement peu important dans le golfe du Saint-Laurent (Environnement Canada 2011).

Une voie de navigation recommandée pour le transport des marchandises est maintenue par la Garde côtière canadienne au cœur de la saison des glaces. Elle est publiée chaque jour par le centre des glaces de Québec durant la saison et on s'attend à ce que les navires commerciaux suivent cette voie qui transite dans le golfe du Saint-Laurent (Figure 4.36). En période de congestion des glaces le long de la rive sud de l'île d'Anticosti, la voie de transport des marchandises peut parfois être déviée vers le nord de l'île (Environnement Canada 2002a).



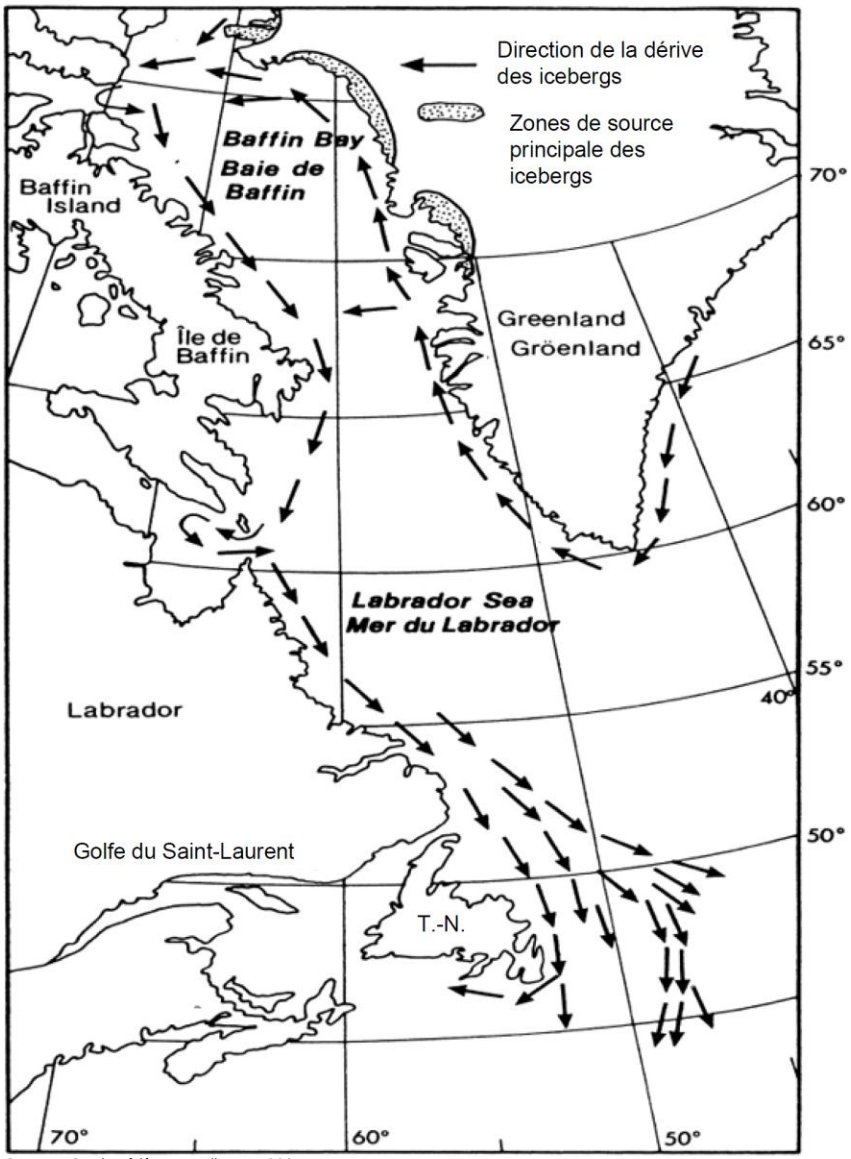
Source : Environnement Canada

Figure 4.36 Rapport quotidien de l'analyse des glaces (Exemple)

4.2.7 Icebergs

Il arrive parfois que les icebergs entrent dans le Golfe, passant à travers le détroit de Belle Isle. Ces icebergs sont habituellement petits étant donné que les profondeurs d'eau dans le détroit (55 m) restreignent le tirant d'eau des icebergs. La plupart des icebergs qui entrent dans le Golfe ont tendance à aller le long de la rive du Québec, à l'est d'Harrington Harbour, même si on en a observé quelques-uns aussi loin qu'à l'île d'Anticosti et dans le secteur de la baie des Îles, le long de la côte ouest de Terre-Neuve. Un nombre considérable d'icebergs peuvent rester ancrés dans le détroit de Belle Isle (Garde côtière canadienne 1999).

Bien que l'on ait aperçu des icebergs dans le détroit de Belle-Isle chaque mois de l'année au cours des 25 dernières années, les intrusions dans le golfe du Saint-Laurent sont rares. Aucun iceberg n'a été aperçu au sud de l'île d'Anticosti, et aucun iceberg au sud de Terre-Neuve n'a jamais été repéré à l'ouest de 59° de latitude ouest. Les courants principaux dans ces eaux empêchent la migration des icebergs de l'est (Environnement Canada, 2011). Pour ces raisons, le secteur visé par le projet est peu susceptible d'être affecté par des icebergs provenant de n'importe quelle direction. Les sources et les principales trajectoires d'icebergs dans les eaux de l'Est du Canada sont présentées à la Figure 4.37.



Source : Garde côtière canadienne 1999

Figure 4.37 Sources et trajectoires des icebergs dans les eaux de l'Est du Canada

4.3 Météorologie

La météorologie est discutée ci-dessous en termes de climat, de vent et de visibilité.

4.3.1 Climat

Le climat dans les alentours du site du PP 1105 est dominé par les effets de l'eau du Golfe qui l'entourent ainsi que par le déplacement vers l'est des masses d'air continental et de leurs systèmes de pression associés. Ainsi, il est classé comme étant un climat maritime tempéré. En raison des hivers rigoureux que l'on connaît dans le Golfe, la présence de bouées est limitée. Pour évaluer les conditions climatiques historiques associées au PP 1105, des données ont été obtenues de la station météorologique de Port aux Basques, laquelle est située sur la côte sud-ouest de Terre-Neuve, à environ 100 km du secteur visé par le projet. Les données sont résumées au Tableau 4.6.

Tableau 4.6 Données sur les températures et les précipitations de 1971 à 2000, Port aux Basques, Terre-Neuve-et-Labrador

	Jan.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Température (°C)												
Moy. quotidienne	-5,2	-6,4	-3,5	1	5,2	9,5	13,7	15	11,6	7	2,6	-2,2
Max. quotidien	-1,9	-3	-0,4	3,7	8,3	12,8	16,7	18,3	15	10	5,2	0,8
Min. quotidien	-8,4	-9,8	-6,6	-1,7	2,1	6,2	10,6	11,7	8,2	3,9	-0,1	-5,1
Maximum absolu	9,9	8,9	11,2	18,2	22,2	25,3	27,8	27,2	30	25	15	10,7
Minimum absolu	-23,3	-26,1	-24,1	-13,3	-6,7	-1,1	3,5	2,8	0	-4	-11,3	-21,2
Precipitations (mm)												
Chutes de pluie	52,8	39,2	61	101,8	124,2	114,1	115,3	114,1	123,1	147	126,2	97
Chutes de neige (cm)	93,5	75	51,7	21,5	3,4	0	0	0	0	3,4	19,6	75,3
Précipitations	146,4	115,1	113,9	126,5	128,2	114,1	115,3	114,2	123,1	150,5	147,6	174,7
Chutes de pluie journalières absolues	74,2	67,3	60	89,9	85,9	66,8	111,4	83,8	96,6	65,3	101,1	88,9
Chutes de neige journalières absolues (cm)	57,4	45,7	36,8	31	11,4	0,5	0	0	2,8	14,7	30,5	43
Jours avec précipitations												
>= 0.2 mm	24,9	20,8	18,9	16,1	15,4	15	15,8	14,7	16,2	17,7	19,5	8,6
>= 5 mm	8,9	6,5	6,6	6,7	6,7	6,3	6,2	6	7,1	8,3	8,6	4,7
>= 10 mm	4,6	3,7	3,7	4	4,4	4	3,6	3,7	4	4,8	4,9	3,3
>= 25 mm	0,96	0,74	0,78	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,6	1,4	0,92
Source : Environnement Canada 2010a.												

Les températures quotidiennes moyennes dans les alentours du site du PP 1105 varient entre -6,4 °C en février et 15°C en août. Des températures moyennes au dessus de zéro ont été enregistrées pour tous les mois sauf décembre, janvier, février et mars. La plus grande quantité de précipitations a été enregistrée au mois de décembre et la plus faible au mois de mars.

Octobre était le mois où l'on a enregistré le plus grand nombre de jours (1,6) avec des chutes de pluie de plus de 25 mm.

En 2008, les températures mensuelles moyennes de l'air pour plusieurs stations météorologiques terrestres entourant le Golfe (incluant Sept-Îles, Natashquan, Blanc-Sablon, Daniel's Harbour, Port aux Basques, Charlottetown, Îles-de-la-Madeleine, Mont-Joli et Gaspé) étaient, en règle générale, normales ou légèrement plus élevées que les températures enregistrées en 2007 (MPO 2009a). Cependant, les parties sud et est du Golfe ont affiché de plus grandes anormalités que les autres régions, et mars a été un mois exceptionnellement froid pour toutes les stations météorologiques. Les températures enregistrées pour septembre, octobre et novembre en 2008 aux stations météorologiques de Port aux Basques et des Îles-de-la-Madeleine étaient toutes au-dessus de 0 ^{O}C. Les mois ayant enregistré des températures en dessous de 0 ^{O}C incluaient décembre, janvier, février et mars pour les deux stations (MPO 2009a). Dans le Golfe, les températures de l'air étaient au-dessus de la normale de 1971 à 2000 entre novembre 2009 et décembre 2010 sauf pour le mois de juin qui était près de la normale (Galbraith et coll. 2011). Des températures mensuelles de l'air au-dessus de la normale à la grandeur du Golfe ont enregistré des hausses (depuis 1945) en février, avril et décembre 2010. La moyenne de plusieurs stations météorologiques terrestres fournit un indice de température globale pour l'ensemble du Golfe, lequel était au-dessus de la normale en 2010 de 2,4 ^{O}C (+2,5 SD) — un maximum enregistré depuis 1945, battant le maximum précédent de 2006 qui était de 1,6 ^{O}C (+1,6 SD). La dernière anomalie annuelle négative est survenue en 2002 (Galbraith et coll. 2011). Les conditions climatiques annuelles et hivernales en 2010 affichaient un maximum, avec les troisièmes conditions climatiques au-dessus de la normale au cours de l'été. Les températures enregistrées à l'automne 2010 étaient également un maximum enregistré depuis 1945, caractérisées par des températures de l'air très chaudes en décembre 2010 qui n'ont même pas descendu sous 0 ^{O}C dans neuf stations météorologiques basées à terre (Galbraith et coll. 2011).

En ce qui concerne les températures de la surface de l'eau, les températures moyennes minimales pour février et mars sont d'environ -0,8 ℃ et les températures moyennes maximales en août et en septembre sont d'environ 15 °C (LGL 2005b). Les moyennes de températures de surface de la mer pour les 28 premiers jours de chaque mois de 2009, telles qu'elles ont été observées à l'aide du radiomètre perfectionné à très haute résolution de détection à distance (AVHRR) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) qui sont fournies à la Figure 4.38. (les secteurs en blanc n'ont aucune donnée pour la période en raison de la couverture de glace) (Galbraith et coll. 2011).

Le givrage sur les navires peut être causé par l'humidité d'eau douce, comme le brouillard, la pluie verglaçante, la bruine, la pluie et la neige fondante, ou par des sources d'eau salée, comme les embruns givrants et les vagues (Garde côtière canadienne, 2012). Le givrage causé par l'advection et le brouillard qui s'évapore peut être un problème pendant les mois de brouillard. Le givrage causé par les précipitations se produit généralement quand il y a une forte baisse des températures de l'air et il se limite généralement au printemps et à l'automne.

Dans le Golfe, les embruns verglaçants constituent la cause de givrage des navires le plus souvent signalée (Garde côtière canadienne, 2012). Les précipitations verglaçantes et le

brouillard à excès de refroidissement sont moins fréquents, mais ils provoquent tout de même la formation de glace sur les navires dans le Golfe. Les embruns verglaçants peuvent survenir en tout temps de novembre à avril dans le Golfe, avec des concentrations plus élevées de décembre à février. Les conditions potentielles de givrage causées par les embruns surviennent plus de 50 pour cent du temps pendant le mois de janvier. La pluie verglaçante peut se produire de décembre à avril dans le Golfe. Le brouillard à excès de refroidissement peut créer des conditions de givrage de janvier à mars. Pour de plus amples renseignements sur les embruns verglaçants, consultez la section 12.1.

Le projet nécessitera un soutien par hélicoptère, qui consiste en trois voyages par semaine pour transporter le personnel, et des fournitures d'éclairage et de l'équipement. Le climat peut exercer des effets immenses sur le transport aérien. La région de Deer Lake à Port aux Basques n'est pas protégée pendant toute l'année des effets du Golfe. Pendant les mois d'automne, l'air qui circule sur le Golfe devient plus froid, tandis que l'océan demeure relativement chaud (Robichaud et Mullock, 2001). Cette combinaison d'air froid et de chaleur à la surface crée des stratocumulus plats, qui forment un plafond relativement élevé pour le vol. À la fin de novembre, des averses de neige et des bandes de neige se développent dans des vents froids de l'ouest au nord-ouest, créant ainsi un plafond relativement bas et une visibilité réduite. La visibilité locale de ¼ de mille (0,40 km) ou moins et l'instabilité verticale de 100 pieds (30 m) ne sont pas rares à cette époque de l'année. Si les vents sont de l'ouest-nord-ouest, l'île d'Anticosti fait obstacle au développement d'averses de neige, et le ciel est clair sous le vent jusqu'à la côte ouest de Terre-Neuve, y compris à l'aéroport de Stephenville (Robichaud et Mullock, 2001).

Le brouillard dans le Golfe devient fréquent au milieu du printemps et reste fréquent jusqu'à la fin de l'été. Les vents en direction est et les vents du sud-est présentent un danger bien connu de St. Andrews à Cape Ray (Robichaud et Mullock, 2001). Ce sont des vents descendants extrêmement forts « à décorner les bœufs ». Ces vents peuvent causer une turbulence extrême à proximité et en contrebas de la crête, du côté sous le vent. L'effet d'entonnoir peut augmenter davantage la force de ces vents. Dans ces secteurs, on peut rencontrer de fortes turbulences, des tourbillons forts et des courants descendants qui, de l'avis des pilotes locaux, peuvent disloquer un petit avion en vol.

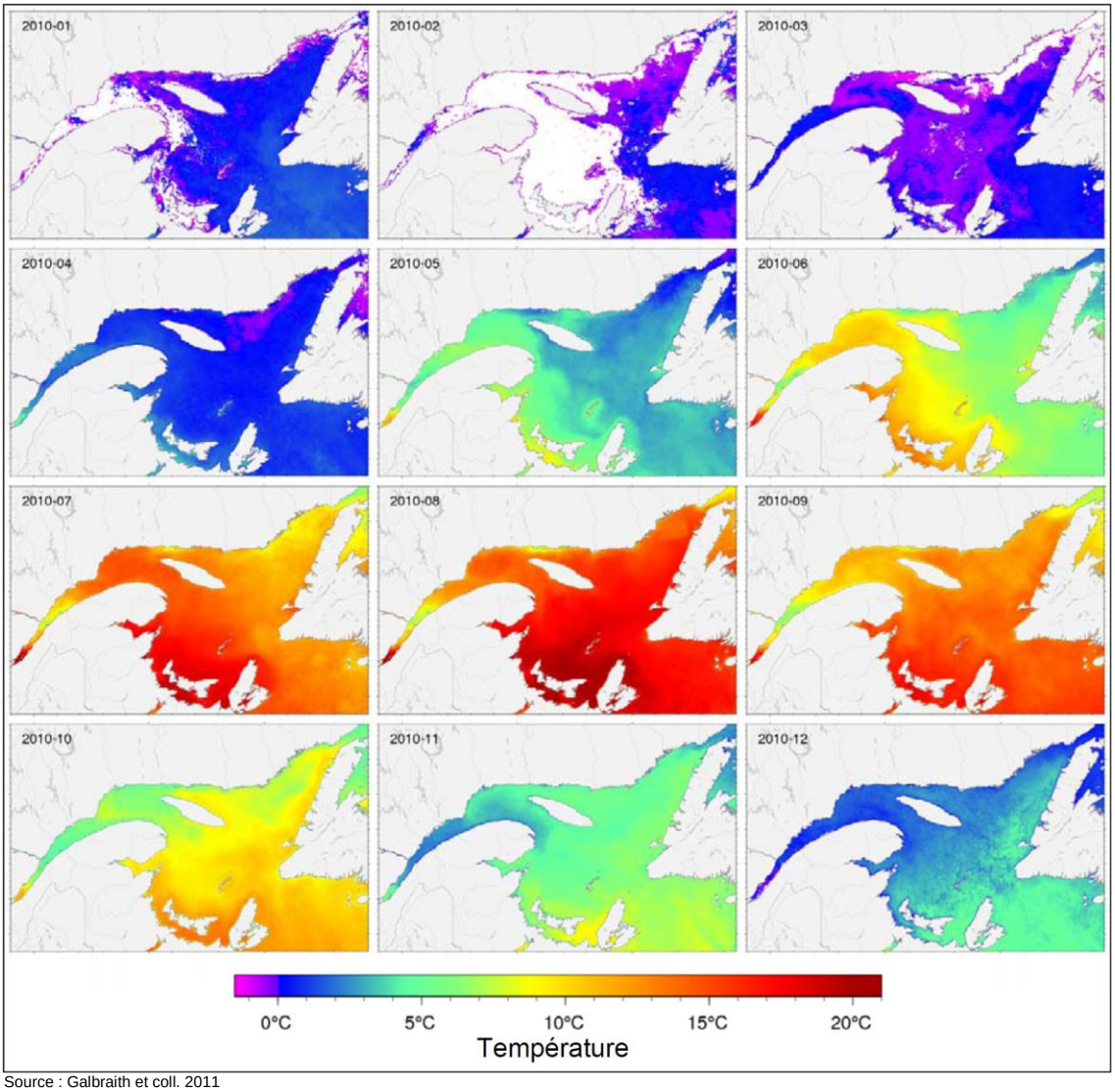
4.3.2 Climat venteux

Le vent constitue un aspect important relativement à la planification des activités compte tenu du rôle qu'il joue sur la génération de la houle et du courant, lesquels, en retour, pourraient produire des forces sur les navires, la plateforme de forage et les autres équipements connexes. Il est nécessaire de connaître la fréquence de la vitesse du vent pour planifier les opérations. À partir de l'automne et tout au long de l'hiver et du printemps, de nombreuses perturbations extratropicales traversent le Golfe ou passent près de celui-ci. Ces tempêtes sont capables de produire des coups de vent qui peuvent persister pendant de nombreuses heures et, dans certains cas, pendant plusieurs jours (tel que décrit à la section 4.2.5). Durant les mois d'été quand les trajectoires de l'activité cyclonique se déplacent plus loin vers le nord, les forts vents persistants deviennent moins fréquents au-dessus du Golfe.

Les paramètres utilisés pour décrire les caractéristiques du vent les plus courantes sont la vitesse du vent et la direction du vent. Les données sur les pourcentages de la vitesse du vent et la direction du vent de 1954 à 2008 proviennent de l'ensemble de données de MSC50 pour le point de grille 13511 (UTM – vers le nord, 5 331 208 m ; vers l'est, 708,455 m) et sont présentées aux Tableaux 4.7 à 4.10 pour chaque saison. Les roses des vents correspondantes pour la même période et les mêmes saisons sont présentées aux Figures 4.39 à 4.42.

Tableau 4.7 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : septembre, octobre et novembre 1954-2008

Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent												Total
	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	
0 à 4,99	1	0,89	0,95	0,87	0,97	1,26	1,6	1,93	2,14	1,91	1,62	1,24	16,4
5 à 9,99	2,49	2,03	1,85	1,61	2,16	3,44	5,41	6,81	6,42	6,59	5,63	3,74	48,2
10 à 14,99	1,34	1,2	0,87	0,86	1,31	2,12	2,95	3,63	3,73	4,91	3,79	24	29,1
15 à 19,99	0,37	0,22	0,21	0,27	0,4	0,5	0,39	0,34	0,62	1,2	0,96	0,53	6,01
20 à 24,99	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,03	0,07	0,09	0,03	0,33
25 à 29,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	5,23	4,37	3,89	3,62	4,85	7,34	1,04	12,71	12,9	14,7	12,1	7,94	100



Source : Galbraith et coll. 2011

Figure 4.38 Moyennes des températures de la surface de la mer (2010)

Tableau 4.8 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : décembre, janvier et février 1954-2008

Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent												Total
	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	
0 à 4,99	1,03	0,84	0,79	0,65	0,59	0,76	0,9	1,2	1,31	1,51	1,48	1,35	12,4
5 à 9,99	2,91	2,28	1,82	1,59	1,74	2,14	2,65	4,03	5,12	6,86	5,78	4,24	41,2
10 à 14,99	2,06	1,34	1,3	1,18	1,07	1,39	2	2,82	4,49	7,17	5,71	3,07	33,6
15 à 19,99	0,62	0,49	0,52	0,54	0,5	0,55	0,38	0,59	1,38	2,78	1,92	0,94	11,2
20 à 24,99	0,03	0,09	0,03	0,09	0,1	0,08	0,03	0,06	0,24	0,37	0,28	0,16	1,56
25 à 29,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0,02
Total	6,65	5,04	4,46	4,05	4	4,92	5,96	8,71	12,6	18,7	15,2	9,77	100

Tableau 4.9 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : mars, avril et mai 1954-2008

Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent												Total
	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	
0 à 4,99	2,42	2,39	2,3	2,09	2,06	2,41	2,97	3,22	2,97	2,97	2,74	2,55	31,1
5 à 9,99	4	3,25	2,7	2,57	2,7	3,95	4,87	4,73	3,95	4,15	4,56	4,37	45,8
10 à 14,99	1,96	1,92	1,29	1,24	1,21	1,42	1,72	1,41	1,42	2,1	1,93	1,78	19,4
15 à 19,99	0,42	0,6	0,24	0,26	0,21	0,16	0,12	0,09	0,24	0,5	0,36	0,32	3,52
20 à 24,99	0,04	0,03	0,01	0,02	0	0	0	0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,18
Total	8,84	8,19	6,55	6,18	6,19	7,95	9,68	9,44	8,59	9,74	9,61	9,03	100

Tableau 4.10 Pourcentage de la vitesse des vents en fonction de la direction au point de grille 13511 : juin, juillet et août 1954-2008

Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent												Total
	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	
0 à 4,99	1,84	1,66	0,18	1,96	2,38	3,89	5,94	7,19	5,58	3,68	2,48	2,13	40,5
5 à 9,99	1,51	1,32	1,51	0,15	2,49	5,95	11	10,5	5,83	3,82	2,61	1,91	50
10 à 14,99	0,39	0,32	0,28	0,37	0,44	1,36	2,49	1,38	0,69	0,7	0,52	0,42	9,23
15 à 19,99	0,04	0,01	0	0	0,02	0,04	0,02	0	0,02	0,03	0,02	0,04	0,26
20 à 24,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3,78	3,21	3,58	3,84	5,34	11,2	19,5	19,1	12,1	8,22	5,63	4,51	100

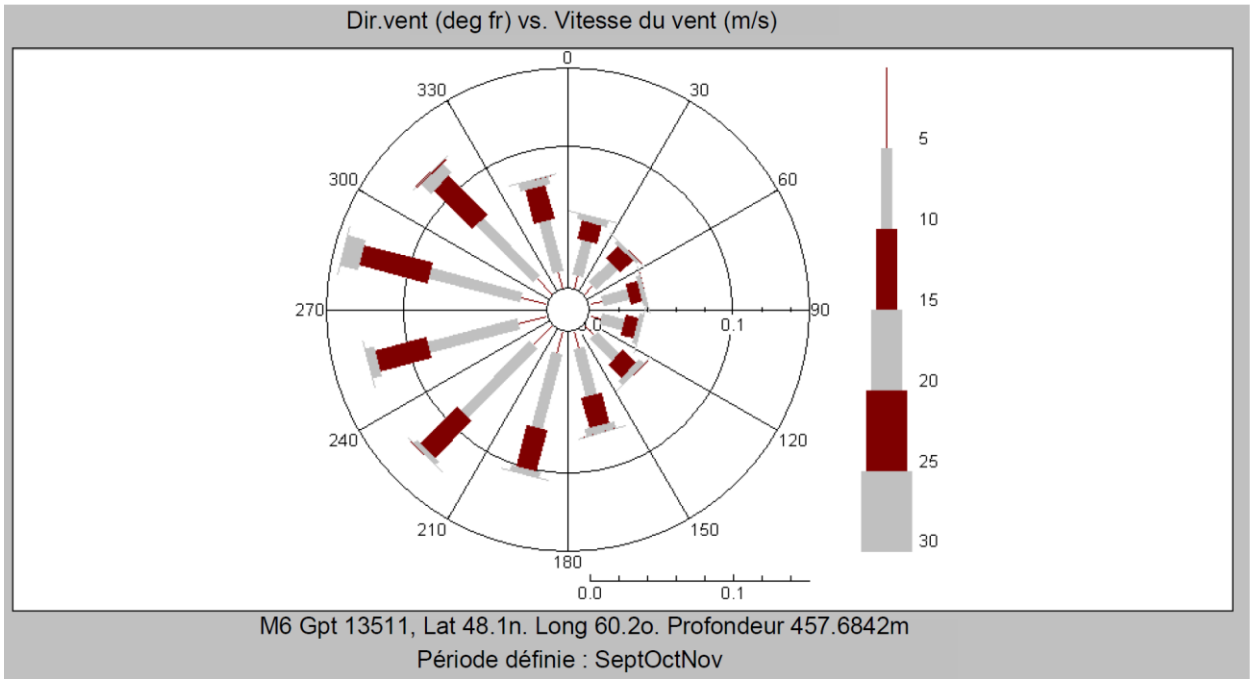


Figure 4.39 Rose des vents pour septembre, octobre et novembre 1954-2008

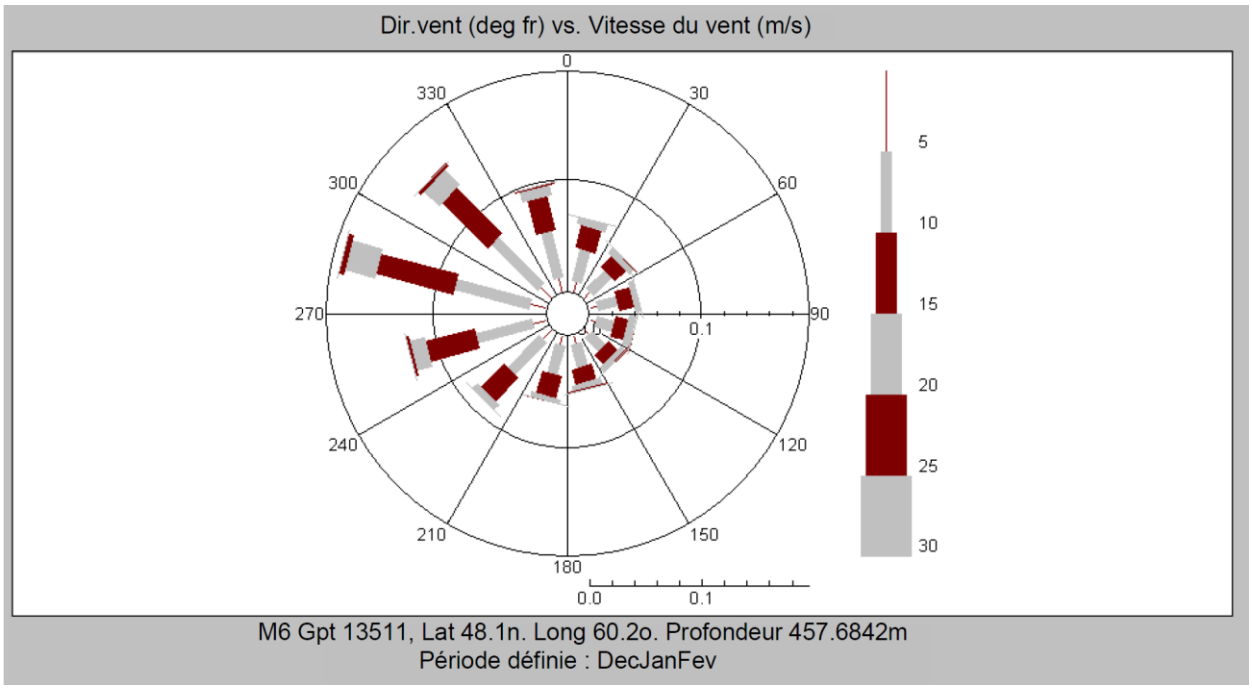


Figure 4.40 Rose des vents pour décembre, janvier et février 1954-2008

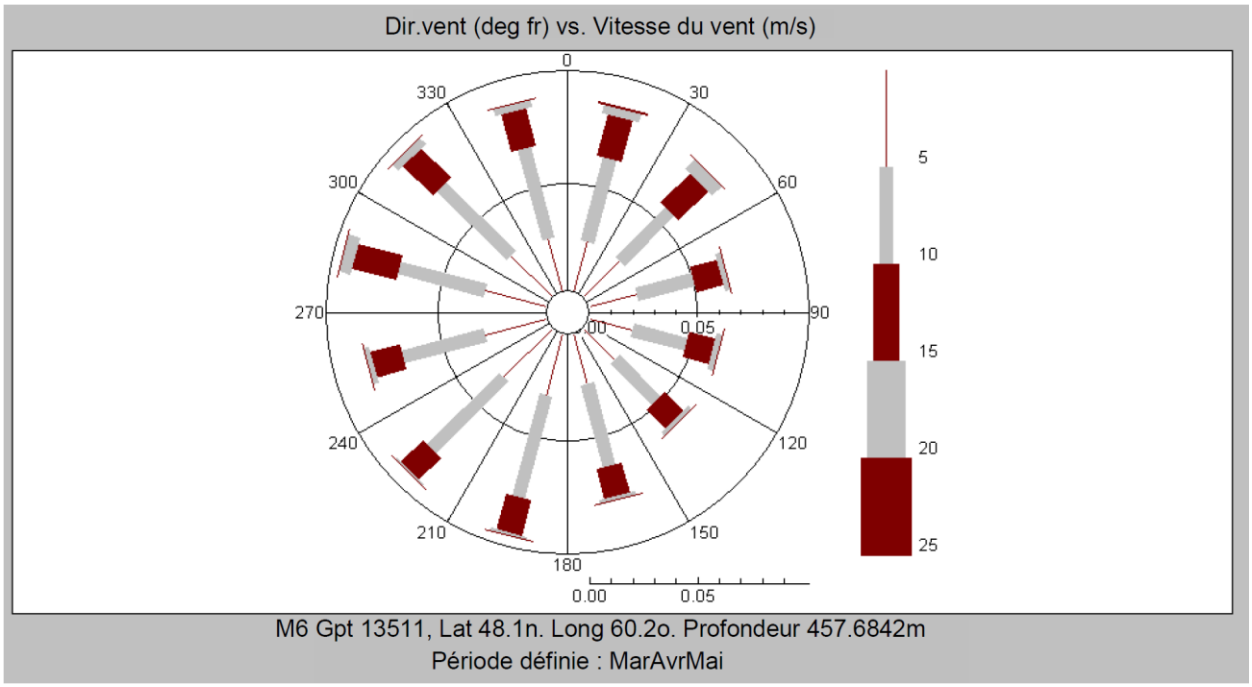


Figure 4.41 Rose des vents pour mars, avril et mai 1954-2008

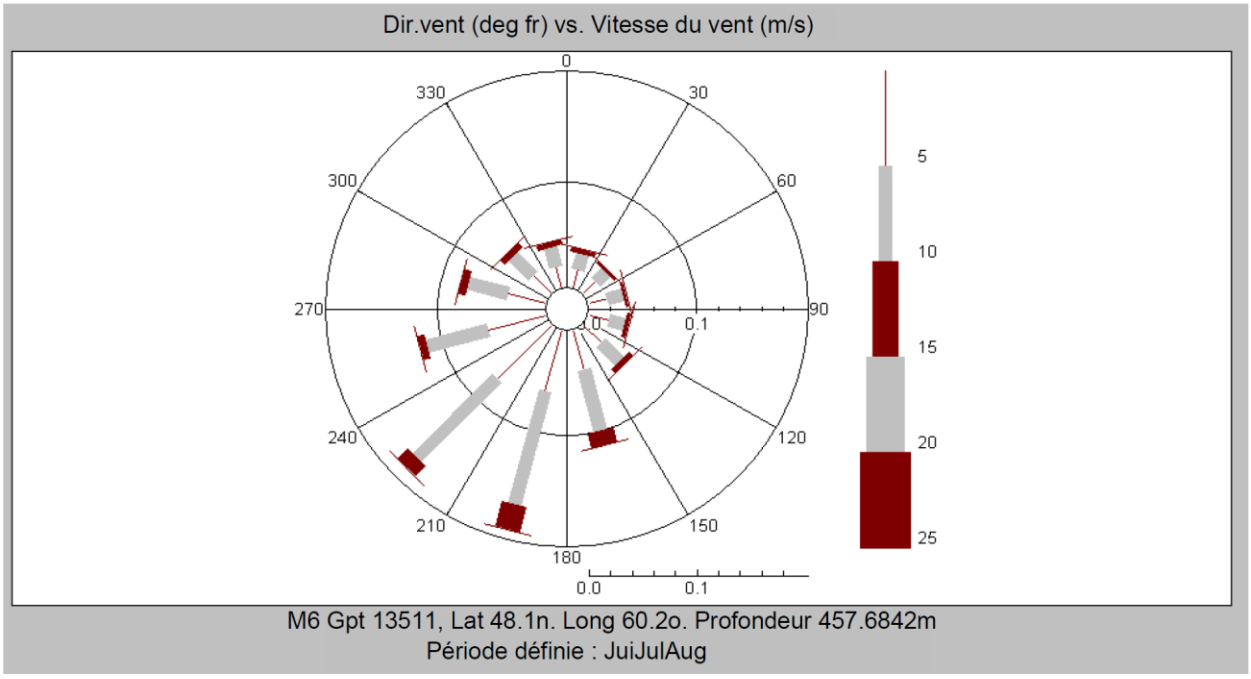


Figure 4.42 Rose des vents pour juin, juillet et août 1954-2008

La majorité des vitesses des vents au point de grille 13511 durant l'automne (septembre à novembre), l'hiver (décembre à février) et le printemps (mars à mai) sont entre 5 et 9,9 m/s et proviennent de l'ouest/nord-ouest. Près de 50 % des vitesses des vents durant l'été (juin à août) sont également entre 5 et 9,9 m/s ; cependant, les vents proviennent le plus souvent du sud-ouest. Aucune vitesse des vents de plus de 20 m/s n'a été enregistrée durant l'été. Les vitesses des vents entre 20 et 24,9 m/s ont été enregistrées durant l'automne, l'hiver et le printemps et le plus haut pourcentage a été enregistré durant l'hiver, c'est-à-dire moins de 2 %.

4.3.3 Visibilité et brouillard

Le brouillard est une condition météorologique importante qui réduit la visibilité des bateaux, des hélicoptères et des aéronefs en mer. Le brouillard marin peut être dense et couvrir de grandes superficies.

Les données historiques pour la visibilité nous ont été fournies par la station météorologique de Port aux Basques et elles sont présentées au Tableau 4.11.

Tableau 4.11 Données sur la visibilité enregistrées à la station météorologique de Port aux Basques, de 1971 à 2000

	Jan.	Févr.	mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Oct.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
< 1 km	51,9	45,7	47,4	54,4	84,8	106,6	138,6	78,2	33,3	32	27,7	37,4
1 à 9 km	208,6	160,8	139,8	140,3	134,3	132,5	154,1	114,7	76,9	83,4	104,4	182
> 9 km	483,6	471	556,9	525,3	525	480,9	451,3	551,1	609,8	628,7	588	524,7

Durant la période de calculs allant de 1971 à 2000, le nombre d'heures avec une visibilité inférieure à 1 km était plus grand entre juin et juillet. Les mois de septembre, d'octobre et de novembre étaient ceux qui présentaient le plus d'heures à visibilité supérieure à 9 km.

Les conditions de visibilité existantes dans le Golfe ont été évaluées dans le rapport d'EES de 2005 (LGL 2005b) utilisant l'information accessible près de l'ensemble de données AES-40 au point de grille 5817, lequel est situé dans la zone extracôtière de Terre-Neuve-et-Labrador, légèrement au nord du cap Saint-Georges. Il y a eu une occurrence (de 8 à 10 %) de visibilité réduite (moins de 1 km) en janvier, février et mars, en raison de la neige. D'avril à juillet, étant donné que la température de l'air de la surface de la mer augmente et se réchauffe, l'air humide en provenance de l'Amérique du Nord (avec une humidité relative élevée (points de rosée élevés) inonde le secteur et la température de l'océan demeure plus froide, l'air devient plus frais et saturé près de l'océan, ce qui se traduit par un brouillard. Une visibilité réduite de 11 % (moins de 1 km) a été enregistrée pour le mois de juillet. À mesure que l'automne approche, la différence de température entre l'air et l'océan diminue et refroidit, l'air sec (points de rosée faibles) en provenance du nord inonde la région, réduisant ainsi la quantité de brouillard, octobre enregistrant les plus faibles occurrences de visibilité réduite, soit environ 2 % (LGL 2005b).

4.4 Changement climatique

Il est généralement accepté qu'un réchauffement de la planète occasionnera un niveau mondialement plus élevé de l'eau et que les températures des surfaces de la mer augmenteront de 1 °C à 2 °C au cours des prochaines décennies si le réchauffement planétaire continu. Les facteurs météorologiques des tendances à long terme de l'élévation globale du niveau de la mer ont été étudiés (Kolker et Hameed 2007) et une partie significative de la variabilité de la tendance depuis 1900 aux cinq marégraphes de l'Océan Atlantique peut être expliquée par des indices atmosphériques tels l'Oscillation nord-atlantique. Kolker et Hameed (2007) signalent que le « débat s'est concentré sur la contribution relative des flux d'eau douce, de l'expansion thermique et des anomalies dans la rotation de la Terre ». Lorsque des facteurs, telle l'Oscillation nord-atlantique, ont été retirés de leur analyse sur l'élévation à long terme, l'élévation « résiduelle » du niveau de la mer s'est retrouvée entre 49±0.25 et 0.93±0.39 mm par année, ce qui pourrait être dû à l'élévation globale des températures (Kolker et Hameed 2007).

Entre 1961 et 2003, le niveau global de la mer s'est élevé en moyenne à un taux de 1,8 (1,3 à 2,3) mm par année selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution climatique – GIEC (Intergovernmental Panel on Climate Control (IPCC) 2007) ; une augmentation mondiale de 18 à 58 cm est prédite d'ici 2100 (IPCC 2007). En se basant sur les scénarios d'émissions de l'évaluation 2007 du GIEC, Vermeer et Rahmstorf (2009) ont estimé des projections de l'élévation du niveau de la mer pour les prochains siècles en appliquant un modèle semi-empirique et en comparant les résultats à la relation entre la température mondiale historique et l'élévation du niveau de la mer. Cette méthode semi-empirique compte implicitement sur les effets de la récente fonte rapide des glaciers.

Les niveaux de la mer de la côte nord-est de l'Amérique du Nord pourraient s'élever entre 30 et 51 cm de plus que les autres secteurs côtiers en raison des taux modérés à élevés de fonte des

glaces provenant du Groenland (Hu et coll. 2009). Puisque les dynamiques océaniques pousseraient les eaux dans des directions différentes, les océans ne s'élèveront pas uniformément aux réchauffements planétaires (Hu et coll. 2009).

Les estimations de l'élévation globale du niveau de la mer pour les 100 prochaines années en raison uniquement du réchauffement planétaire se situent entre 5 cm et 190 cm. En se basant sur un taux de 1,7 cm par année (selon Vermeer et Rahmstorf (2009)), l'élévation totale prévue comporte une estimation médiane de 45 cm et une limite supérieure d'environ 70 cm pour la période 2010 – 2050. L'information sur les tendances en matière de tempêtes et de formation de glace figure aux Sections 4.25 et 4.26, respectivement.