

Analyse des risques technologiques - domaine maritime

RAPPORT TECHNIQUE

PROJET RABASKA

ANALYSE DES RISQUES TECHNOLOGIQUES

DOMAINE MARITIME

NOVEMBRE 2005

DET NORSKE VERITAS

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE.....	2
2.1. Étapes de l'analyse des risques.....	2
2.2. Méthodologie particulière pour cette étude	4
2.3. Définition de certains termes de l'analyse de risque	5
3. BASES DE L'ÉVALUATION DES RISQUES.....	6
3.1. Étude du trafic existant sur le Saint-Laurent	6
3.1.1. Introduction	6
3.1.2. Méthodologie.....	7
3.1.3. Évaluation du volume de trafic.....	7
3.1.4. Autres trafics.....	12
3.2. Étude des données d'accidents	18
3.2.1. Méthodologie.....	18
3.2.2. Évolution mondiale dans la sécurité du transport maritime	18
3.2.3. Accidents Liés au GNL dans le monde entier	20
3.2.4. Accidents dans les eaux canadiennes	21
3.2.5. Accidents dans la voie maritime du Saint-Laurent.....	28
3.2.6. Conclusion de la revue des accidents du passé.....	31
3.3. Description de la route des méthaniers	32
3.3.1. Généralités	32
3.3.2. Description des tronçons	32
3.3.3. Pilotage sur le Saint-Laurent	38
3.3.4. Vitesse	39
3.3.5. Mouillage.....	39
3.3.6. Remorqueurs (urgences et accostage) et brise-glaces	39
3.4. Description des conditions météorologiques et nautiques.....	41
3.4.1. Marées et courants de marée à Ville-Guay.....	41
3.4.2. Vent à Ville-Guay.....	42
3.4.3. Température à Ville-Guay	42
3.4.4. Visibilité à Ville-Guay.....	44
3.4.5. Vagues à Ville-Guay	45

RAPPORT TECHNIQUE

3.4.6.	Limites météorologiques	45
3.4.7.	Concentration de glace sur le Saint-Laurent (en aval de Québec)	46
3.5.	Densité de la population	52
3.6.	Bilan des dangers.....	53
3.7.	Comparaison avec l'évaluation des risques faite par les pilotes.....	56
4.	CRITÈRES RECOMMANDÉS D'ÉVALUATION DES RISQUES.....	58
5.	IDENTIFICATION DES DANGERS.....	61
5.1.	Objectifs de l'identification des dangers (HAZID)	61
5.2.	Méthodologie.....	61
5.3.	Résultats principaux de l'HAZID	64
5.4.	Scénarios d'accident plausibles	69
6.	ÉVALUATION DES FRÉQUENCES	71
6.1.	Statistiques d'accidents relatives à l'échouement et aux collisions.....	71
6.2.	Échouement	73
6.2.1.	Modélisation de la fréquence d'échouement.....	73
6.2.2.	Échouement d'un navire propulsé	74
6.2.3.	Échouement d'un navire à la dérive	78
6.2.4.	Fréquence d'échouement globale	82
6.3.	Collision dans le fleuve	85
6.3.1.	Modélisation de la fréquence de collision	85
6.3.2.	Fréquence totale de collision	89
6.4.	Navire heurté à la jetée	93
6.5.	Défaillance de l'amarrage et des bras de déchargement.....	94
6.5.1.	Défaillance du raccord de branchement d'un bras de déchargement	94
6.5.2.	Défaillance de l'amarrage et arrachement des bras de déchargement.....	95
6.5.3.	Rupture d'un bras de déchargement causée par une collision à quai	96
7.	ANALYSE DES CONSÉQUENCES	97
7.1.	Scénarios de déversement accidentel – Aspects physiques des déversements de GNL	97
7.1.1.	Fuite de GNL non pressurisé – Phase 1.....	97
7.1.2.	Formation de la nappe liquide – Phase 2.....	98
7.1.3.	Transition rapide de phase (TRP).....	100

RAPPORT TECHNIQUE

7.1.4.	Dispersion – Phase 3.....	100
7.1.5.	Feu éclair – Phase 4.....	101
7.1.6.	Feu de nappe – Phase 5.....	102
7.1.7.	Boule de feu et BLEVE (peu probable).....	102
7.1.8.	Explosion du nuage de vapeur (peu probable)	103
7.1.9.	Conclusion relative aux phénomènes à modéliser.....	105
7.2.	Dommages à la coque et dimensions de la brèche – Déversement de GNL	106
7.3.	Déversement de GNL et évaluation de la dispersion.....	108
7.3.1.	Calculs de débit de fuite	108
7.3.2.	Analyse de sensibilité	113
7.3.3.	Calcul de la dispersion.....	116
7.3.4.	Résultats – Feu de nappe	121
7.4.	Arbre d'événements – Échouement.....	127
7.5.	Arbre d'événements – Collisions.....	130
7.5.1.	Collisions susceptibles d'entraîner un déversement de GNL.....	131
7.5.2.	Collisions avec un navire – trafic traversier et contrebordier.....	131
7.5.3.	Inflammation, propagation	134
7.5.4.	Densité de population	134
7.6.	Méthanier heurté à la jetée.....	135
7.7.	Défaillance de l'amarrage et des bras de déchargement.....	135
8.	ÉVALUATION DU RISQUE	136
8.1.	Descriptions détaillées des scénarios.....	139
8.1.1.	Collision dans le fleuve	139
8.1.2.	Échouement	140
8.1.3.	Collision à quai.....	141
8.1.4.	Défaillance des bras de déchargement.....	141
8.2.	Résumé de l'évaluation des risques.....	142
9.	MESURES OPÉRATIONNELLES DE SÉCURITÉ PROPOSÉES	
	PAR RABASKA.....	143
9.1.	Golfe du Saint-Laurent	143
9.2.	Estuaire du Saint-Laurent	143
9.3.	Traverse du Nord	144
9.4.	Chenal des Grands Voiliers et zone de manœuvres.....	144
9.5.	Poste d'amarrage	145

RAPPORT TECHNIQUE

10. PRÉPARATION AUX SITUATIONS D'URGENCE POUR LES MÉTHANIERES	146
11. RÉFÉRENCES	148

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1	Données sur le trafic maritime
Annexe 2	Itinéraires des traversiers
Annexe 3	Incidents survenus sur des méthaniers dans le monde entier, 1964 à 2004
Annexe 4	Événements de transport maritime, Détroit de Cabot - Québec, 1994-2002
Annexe 5	Données sur le vent
Annexe 6	Fiches HAZID
Annexe 7	Données sur la population
Annexe 8	Arbres d'événement - exemples

TABLE DES FIGURES

Figure 2.1 – Méthode d'évaluation des risques.....	3
Figure 3.1 – Trafic maritime annuel entre le détroit de Cabot et Québec	8
Figure 3.2 – Trafic mensuel moyen entre le détroit de Cabot et Québec.....	9
Figure 3.3 – Trafic maritime mensuel moyen par type de navire entre le détroit de Cabot et Québec.....	10
Figure 3.4 – Trafic maritime mensuel moyen par capacité de navire entre le détroit de Cabot et Québec.....	11
Figure 3.5 – Trafic mensuel moyen de traversiers entre le détroit de Cabot et Québec.....	13
Figure 3.6 – Trafic annuel moyen des traversiers entre le détroit de Cabot et Québec.....	14
Figure 3.7 – Secteurs de navigation de plaisance à trafic intense entre le détroit de Cabot et Québec.....	15
Figure 3.8 – Principale zone de pêche dans le golfe du Saint-Laurent	17
Figure 3.9 – Pertes de navire, 1990 – 2002	19
Figure 3.10 – Décès dans l'industrie maritime, 1985-2001	20
Figure 3.11 – Accidents maritimes dans les eaux canadiennes, 1994 -2003	22
Figure 3.12 – Décès et blessés dans l'industrie maritime dans les eaux canadiennes, 1994-2003	23
Figure 3.13 – Accidents maritimes par type d'accident.....	24
Figure 3.14 – Accidents maritimes par type de navire.....	25
Figure 3.15 – Accidents maritimes par région	26
Figure 3.16 – Incidents par type dans les eaux canadiennes	27
Figure 3.17 – Accidents dans la région des Laurentides.....	28
Figure 3.18 – Localisation des accidents dans les eaux du Saint-Laurent, 1994-2002	30
Figure 3.19 – Les cinq tronçons de la route des méthaniers	33
Figure 3.20 – Localisation des remorqueurs	40
Figure 3.21 – Température moyenne dans la région de Québec	43
Figure 3.22 – Température moyenne avec refroidissement éolien dans la région de Québec	44
Figure 3.23 – Conditions de glace au terminal d'Ultramar.....	50
Figure 3.24 – Densité de la population le long du Saint-Laurent (en aval de Québec).....	52
Figure 4.1 – Matrice de risque	60
Figure 6.1 – Période de retour des échouements et des collisions en fonction des types de navires choisis	72
Figure 6.2 – Périodes de retour d'échouement des navires propulsés (nombre d'années).....	78
Figure 6.3 – Période de retour d'échouement des navires à la dérive (nombre d'années).....	82
Figure 6.4 – Périodes de retour d'échouement dans les tronçons 1 à 4 (nombre d'années).....	83
Figure 6.5 – Périodes de retour d'échouement dans les tronçons 1 à 4, reportées sur une carte de la voie maritime du Saint-Laurent.....	84
Figure 6.6 – Périodes de retour de collision dans les tronçons 1 à 4.....	91
Figure 6.7 – Périodes de retour de collision dans les tronçons 1 à 4, reportées sur une carte du Saint-Laurent.....	92
Figure 6.8 – Navire heurté à la jetée	93
Figure 7.1 – Conséquences d'un déversement de GNL d'un méthaniers.....	99
Figure 7.2 – Exemple de transition rapide de phase (TRP).....	100
Figure 7.3 – Scénarios de déversement de GNL au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison..	110
Figure 7.4 – Représentation schématique d'un nuage de dispersion.....	117

RAPPORT TECHNIQUE

Figure 7.5 – Déversement provenant d’une cuve d’un méthanier – Brèche de 250 mm de diamètre – Nappe à l’équilibre	124
Figure 7.6 – Déversement provenant d’une cuve d’un méthanier – Brèche de 750 mm de diamètre – Nappe à l’équilibre	125
Figure 7.7 – Déversement provenant d’une cuve d’un méthanier – Brèche de 1500 mm de diamètre – Nappe à l’équilibre	126
Figure 8.1 – Matrice de risque	138

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 – Niveaux de probabilité	58
Tableau 4.2 – Niveaux de gravité.....	58
Tableau 5.1 – Évaluation qualitative du niveau de risque des dangers identifiés	70
Tableau 6.1 – Fréquences annuelles d'échouement et de collision.....	71
Tableau 6.2 – Fréquence d'échouement moyenne par mille marin.....	74
Tableau 6.3 – Estimation de la fréquence d'échouement d'un navire propulsé.....	77
Tableau 6.4 – Estimation de la fréquence annuelle d'échouement des navires à la dérive.....	81
Tableau 6.5 – Fréquence moyenne de collision par mille marin et par année	86
Tableau 6.6 – Estimation de la fréquence de collision.....	89
Tableau 6.7 – Estimations finales des fréquences de collision dans les tronçons 1 à 4	90
Tableau 6.8 – Probabilités de collision	93
Tableau 7.1 – Dimensions de l'orifice et scénario de déversement	108
Tableau 7.2 – Débits de déversement calculés pour les brèches au-dessus de la ligne de flottaison.....	111
Tableau 7.3 – Débits de déversement calculés pour les brèches sous la ligne de flottaison	113
Tableau 7.4 – Principaux paramètres de modélisation de la dispersion (PHAST).....	119
Tableau 7.5 – Distance à la limite d'inflammabilité estimée par PHAST (GNL composé à 94 % de méthane et à 6 % d'éthane).....	120
Tableau 7.6 - Déversement provenant d'une cuve d'un méthanier – Brèche de 250 mm de diamètre	122
Tableau 7.7 – Déversement provenant d'une cuve d'un méthanier – Brèche de 750 mm de diamètre.....	122
Tableau 7.8 - Déversement provenant d'une cuve d'un méthanier – Brèche de 1 500 mm de diamètre.....	123
Tableau 7.9 – Distances du rayonnement thermique pour les pires scénarios de déversement au-dessus de la ligne de flottaison	127
Tableau 7.10 – Conséquences des échouements selon les données du LRFP.....	129
Tableau 7.11 – Probabilités de dommages à la coque en cas d'échouement	129
Tableau 7.12 – Répartition des collisions selon les routes des navires dans les tronçons 1 à 4.....	132
Tableau 7.13 – Conséquences des collisions entre navires selon le LRFP	133
Tableau 7.14 – Probabilités de dommages à la coque à la suite d'une collision entre navires	134
Tableau 8.1 – Niveaux de probabilité d'accident.....	137
Tableau 8.2 – Niveaux de gravité des accidents	137

ACRONYMES UTILISÉS DANS CE RAPPORT

ALARP	Aussi faible que raisonnablement possible (As Low As Reasonably Practicable)
BLEVE	Détente explosive des vapeurs d'un liquide en ébullition (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CPBSL	Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent
DNV	Det Norske Veritas
DST	Dispositif de séparation du trafic
EQR	Évaluation quantitative de risque
ERS	Système de déconnexion d'urgence (Emergency release system)
GCC	Garde côtière canadienne
GDF	Gaz de France
GNL	Gaz naturel liquéfié
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
HAZID	Identification des dangers (Hazard Identification)
IGC	Recueil international de règles relatives à la construction et à l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac (OMI)
JSP	Joint Sponsor Project (Étude DNV /4/)
LRFP	Lloyds Register Fairplay
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec
NM	Mille marin (1852 mètres)
OBO	Péto-minéralier (Ore, Bulk, Oil)
OCIMF	Oil Companies International Marine Forum
OMI	Organisation maritime internationale
PERC	Dispositifs de déconnexion d'urgence (Powered Emergency Release Couples)
SIGTTO	Society of International Gas Tanker and Terminal Operators
STM	Services de trafic maritime

RAPPORT TECHNIQUE

TJB	Tonneau de jauge brute
TPL	Tonne de port en lourd
TRP	Transition Rapide de Phase
USCG	Garde côtière américaine (United States Coast Guard)

1. INTRODUCTION

Pour cette étude, on a sélectionné, analysé et mis en forme l'information suivante :

- les risques associés à la navigation et à l'exploitation des navires-méthaniers selon les règles de navigation et les routes maritimes existantes pour les navires marchands;
- la probabilité d'un incident plausible ayant pour effet la perte d'intégrité d'une cuve;
- la probabilité d'un incident important lors du transfert de la cargaison au poste d'amarrage;
- les limites géographiques et les conséquences d'un rejet accidentel de cargaison dans le milieu maritime et les impacts potentiels sur les collectivités côtières adjacentes.

Ce rapport reprend l'information contenue dans les études réalisées dans le cadre du processus d'examen TERMPOL, sous l'autorité de Transports Canada :

- Étude sur les provenances, les destinations et l'intensité du trafic maritime
- Étude sur les exercices au large et les activités de l'industrie pétrolière offshore
- Étude des données d'accidents
- Analyse des risques et méthodes visant à réduire les risques
- Plan d'intervention d'urgence

Afin de faciliter sa compréhension, cette étude a été divisée en trois parties principales :

(1) Données de base :

- Chapitre 3 – Bases de l'évaluation des risques

(2) Analyse des risques :

- Chapitre 4 – Critères d'acceptabilité
- Chapitre 5 – Identification des dangers
- Chapitre 6 – Évaluation des fréquences
- Chapitre 7 – Analyse des conséquences
- Chapitre 8 – Évaluation des risques

(3) Mesures de réduction des risques :

- Chapitre 9 – Mesures opérationnelles de sécurité proposées par Rabaska
- Chapitre 10 - Préparation aux situations d'urgence pour les méthaniers

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Étapes de l'analyse des risques

Le SIGTTO a établi des recommandations sur la meilleure manière de procéder à une évaluation quantitative des risques (EQR). Selon elle, l'évaluation doit comprendre les étapes suivantes :

- définition du système;
- établissement des critères d'acceptabilité du risque;
- identification des dangers;
- définition des scénarios d'accident;
- évaluation de la probabilité des scénarios;
- analyse des conséquences des scénarios, y compris les mesures de sécurité touchant la conception comme les mesures d'urgence;
- classification et évaluation des risques;
- mesures de réduction et de suppression des risques.

Cette méthode est conforme aux lignes directrices du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) /9/.

Aux fins de la présente étude, les huit points précédents ont été regroupés en quatre grandes étapes (voir la figure 2.1).

RAPPORT TECHNIQUE

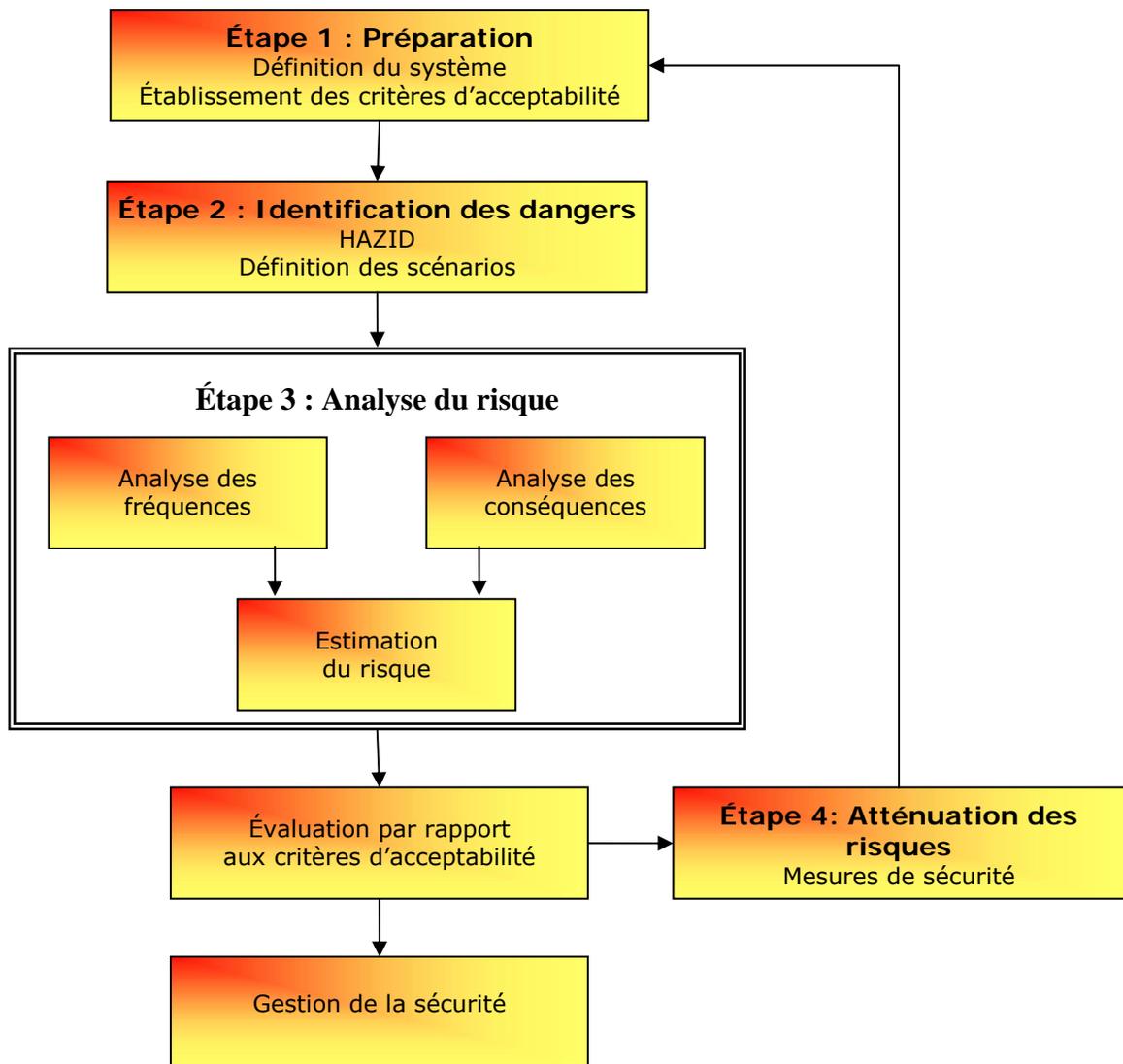


FIGURE 2.1 – MÉTHODE D'ÉVALUATION DES RISQUES

Sources : SIGTTO et DNV.

RAPPORT TECHNIQUE

Étape 1 : Étape préparatoire

L'étape préparatoire consiste à décrire et à définir le système. Dans le cas de l'évaluation des risques maritimes, on rassemble les données relatives au passage des méthaniers dans le Saint-Laurent, y compris les données sur la circulation, sur la navigation, sur les conditions météorologiques et sur la glace. On prend également en considération les méthodes opérationnelles et les mesures mises en œuvre pour la gestion du trafic maritime dans le Saint-Laurent ainsi que pour les opérations au poste d'amarrage.

En ce qui concerne la route du méthanier jusqu'au terminal, on établit des critères d'acceptabilité du risque fondés sur les normes de l'industrie.

Étape 2 : Identification des dangers (HAZID)

La détermination des dangers consiste à les recenser de manière exhaustive. Les dangers sont décrits et évalués de façon qualitative. Les scénarios d'accident ainsi retenus sont affinés et approfondis dans l'évaluation quantitative.

Étape 3 : Analyse des risques

L'analyse des risques est constituée d'une évaluation des fréquences et d'une analyse des conséquences. Dans l'évaluation des fréquences, on quantifie la fréquence (ou probabilité) des scénarios d'accident retenus sous forme, par exemple, de nombre probable d'échouements en 100 ans. Dans l'analyse des conséquences, on quantifie le flux thermique en cas d'incendie ainsi que la taille des nuages de gaz pour évaluer l'impact sur la vie humaine dans le cas d'un accident.

Ensemble, les deux mesures représentent le risque (fréquence \times conséquence) lié au passage du méthanier dans le Saint-Laurent. On évalue le risque et on étudie toute zone où le risque est élevé. Le risque est présenté sous forme de matrices de risque (voir la section 2.3).

Étape 4 : Atténuation des risques

En se fondant sur cette évaluation des risques, des mesures d'atténuation sont proposées. Les mesures d'atténuation des risques réduisent soit la probabilité d'un accident, soit la conséquence d'un accident, soit les deux.

2.2. Méthodologie particulière pour cette étude

Afin d'évaluer le risque entre l'entrée du golfe du Saint-Laurent et le terminal méthanier projeté à Ville-Guay, on a divisé en cinq tronçons la route suivie par les méthaniers. Le découpage est expliqué en détail au chapitre 3. La fréquence des accidents et les risques sont présentés pour chaque tronçon ainsi que pour l'ensemble de la route. Afin de souligner l'importance de la glace, l'analyse des fréquences d'échouement et de collision est séparée

RAPPORT TECHNIQUE

en deux périodes, l'une avec glace (de janvier à mars-avril), l'autre sans glace (d'avril-mai à décembre).

Le risque est évalué pour le public, c'est-à-dire les personnes qui ne sont pas des membres de l'équipage du méthanier ni des travailleurs à terre. Le public inclut les visiteurs sur la jetée ou au terminal qui n'ont pas de lien professionnel avec le transport ou la manipulation du GNL. En général, cela comprend toutes les personnes qui vivent sur les rives du Saint-Laurent le long du parcours du méthanier.

On a utilisé le logiciel PHAST pour le calcul du rayonnement thermique de l'incendie et la distance de dispersion des nuages de gaz en cas de rejet de GNL par le méthanier. L'impact potentiel est calculé en associant le rayonnement thermique ou la distance de dispersion aux données de densité de population.

2.3. Définition de certains termes de l'analyse de risque

Voici les définitions de certains termes utilisés dans l'analyse des risques :

Période de retour

Nombre d'années attendu entre chaque accident. C'est l'inverse de la fréquence annuelle des accidents : période de retour = $1/\text{fréquence d'accident}$. Par exemple, une période de retour de 100 ans représente une fréquence d'accident de 1×10^{-2} par an.

Matrice de risque

Une matrice de risque est une représentation graphique des différents risques liés, par exemple, à une manœuvre. On utilise les matrices de risque pour évaluer les risques liés aux scénarios d'accident choisis. Les fréquences et les conséquences sont placées sur une grille pour visualiser la relation probable entre les deux : la conséquence (nombre de victimes) d'un accident est sur l'axe horizontal (abscisse) et la période de retour (nombre moyen d'années entre chaque accident), sur l'axe vertical (ordonnée). Les accidents qui présentent le risque le plus élevé se trouvent donc dans le coin supérieur droit, tandis que ceux qui présentent le moindre risque se trouvent dans le coin inférieur gauche.

3. BASES DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

Les données de base de l'évaluation des risques sont présentées dans les sections suivantes en termes de description du trafic existant sur le Saint-Laurent, de revue des accidents du passé, de description de la route et des conditions de navigations, de conditions météorologiques et d'autres facteurs importants.

3.1. Étude du trafic existant sur le Saint-Laurent

Cette section a pour but de quantifier et de décrire les mouvements de navires récréatifs, commerciaux et autres qui forment le trafic maritime régional.

3.1.1. INTRODUCTION

Pour évaluer le volume, l'origine et la destination du trafic maritime, on a analysé les informations suivantes :

- **Renseignements sur les types et les capacités des navires** en service dans la région, plus particulièrement ceux que les méthaniers rencontreront vraisemblablement sur leur route vers l'appontement du terminal projeté ou à partir de ce dernier;
- Statistiques sur les **variations de densité du trafic**, y compris les variations prévues après la mise en exploitation des navires du promoteur;
- Secteurs réservés à des **opérations spéciales** (secteurs d'exercices navals et aériens, activités d'exploration et d'exploitation en mer ainsi que zones d'utilisation d'hydravions);
- **Points focaux du réseau** ou nœuds correspondant aux lieux géographiques où un rapprochement important de navires pourrait se produire, en particulier les points de croisements des routes de navigation;
- **Principaux lieux de pêche** et périodes durant lesquelles les pêcheurs s'y trouvent; cela inclut les données concernant les espèces, y compris les périodes et les aires de fraie;
- **Principales routes de navigation**, en tenant compte des variations saisonnières dues à l'influence du climat ou à d'autres causes;
- **Autres routes de navigation possibles** pour les méthaniers, compte tenu des renseignements ci-dessus, et évaluation de l'expérience tirée de la navigation de navires similaires dans le même secteur ou dans des secteurs semblables.

RAPPORT TECHNIQUE

3.1.2. MÉTHODOLOGIE

Cette évaluation du trafic maritime a été réalisée par assemblage et analyse d'informations provenant d'un certain nombre de sources, dont les suivantes :

- Données sur le trafic reçues des Services de communications et de trafic maritimes de la Garde côtière canadienne en 2004 (projet de Système intégré d'information sur la navigation maritime). Elles concernent le secteur qui s'étend du détroit de Cabot à la ville de Québec et portent sur une période de deux ans. Les données reçues de la GCC ont été traitées par la société de gestion de l'information DEVIC, de Québec, avant d'être analysées et évaluées par DNV.
- Les informations sur les traversiers ont été reçues directement des sociétés maritimes dont les navires empruntent le Saint-Laurent.
- Les autres informations proviennent de diverses sources mises à disposition par les pilotes (CPBSL) et la Société du port de Québec.

Les données disponibles ont été analysées par des experts de DNV ayant une longue expérience en études de trafic similaires.

3.1.3. ÉVALUATION DU VOLUME DE TRAFIC

L'évaluation du volume de trafic se rapporte au trafic maritime sur le Saint-Laurent en aval de Québec, c'est-à-dire entre le détroit de Cabot et Québec (distance de 600 à 700 milles marins).

3.1.3.1. Volumes de trafic, variations saisonnières

Du détroit de Cabot à Québec, il y a entre 2 250 (détroit de Cabot) et 2 500 (Québec) *passages* de navires de commerce par an dans chaque sens. Le trafic s'intensifie au fur et à mesure qu'on remonte le fleuve (voir la figure 3.1).

RAPPORT TECHNIQUE

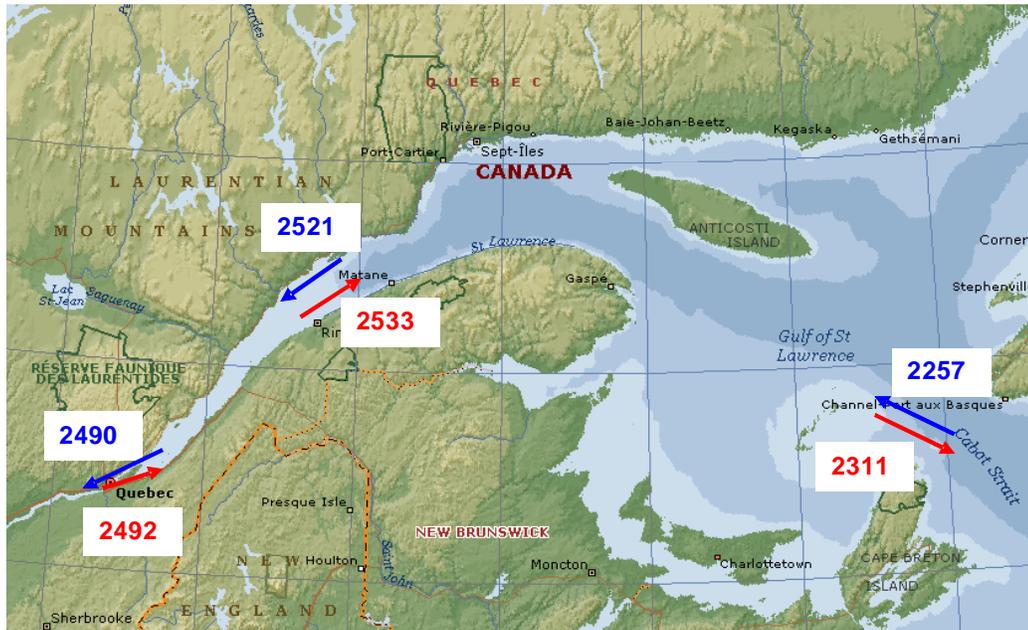


FIGURE 3.1 – TRAFIC MARITIME ANNUEL ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

Source : Garde côtière canadienne, Communications maritimes et Services du trafic, 2004

La plupart des navires font toute la route du détroit de Cabot à Québec, à l'exception des bateaux de pêche (surtout dans le golfe du Saint-Laurent) et des navires à passagers (essentiellement entre Québec et l'embouchure de la rivière Saguenay).

Le transport de gaz naturel liquide (GNL) jusqu'à Québec représentera 60 passages de navires supplémentaires par an (120 en tenant compte des deux sens de navigation), soit une augmentation annuelle de trafic d'environ 2,5 %.

La figure 3.2 illustre le trafic moyen mensuel de juin 2002 à juin 2004.

RAPPORT TECHNIQUE

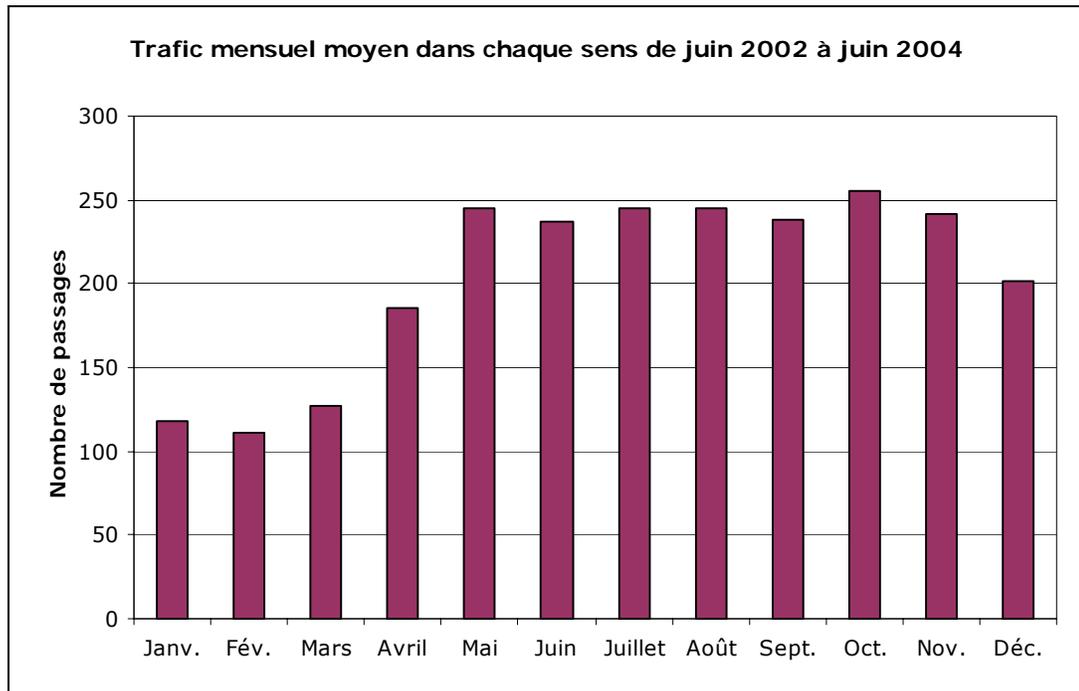


FIGURE 3.2 – TRAFIC MENSUEL MOYEN ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

Source : Garde côtière canadienne, Communications maritimes et Services du trafic, 2004

En se basant sur ces données, on peut s'attendre à ce qu'un méthanier type utilisé pour l'exploitation du terminal Rabaska (méthanier de référence) rencontre en moyenne 22 navires (en plus de bateaux de pêche, des petits bateaux de plaisance et de passagers) entre le détroit de Cabot et la jetée de Ville-Guay, un peu plus en été et moins en hiver. Cette valeur correspond à une durée de navigation de 1,5 à 1,75 jour entre le détroit de Cabot et Québec. On l'obtient en supposant que le méthanier croise tous les navires sortants dans le détroit, au début, ainsi que les navires entrants, et qu'il dépasse un vraquier entrant. Voici le raisonnement permettant d'arriver à ce nombre :

- Le trafic dans le fleuve est de 6,8 navires par jour en moyenne (2 500/365);
- Le méthanier entrant doit croiser chacun des navires qui passent devant le terminal de GNL, alors qu'il remonte le fleuve pendant 1,6 jour en moyenne, soit $1,6 \times 6,8 = 10,5$ navires;
- En plus, le méthanier de référence doit croiser chacun des navires déjà présents dans le fleuve, soit également $1,6 \times 6,8 = 10,5$ navires;
- On suppose que le méthanier dépasse un seul vraquier, plus lent.

Cela correspond à quelque 22 navires (entre 20 et 25) entre le détroit de Cabot et Ville-Guay.

RAPPORT TECHNIQUE

3.1.3.2. Types de navires

Les navires du type « marchand, cargaison sèche », c'est-à-dire les vraquiers et autres navires transportant une cargaison sèche — notamment les porte-conteneurs —, représentent de 65 % à 75 % des navires de commerce empruntant la route du détroit de Cabot à Québec (voir la figure 3.3).

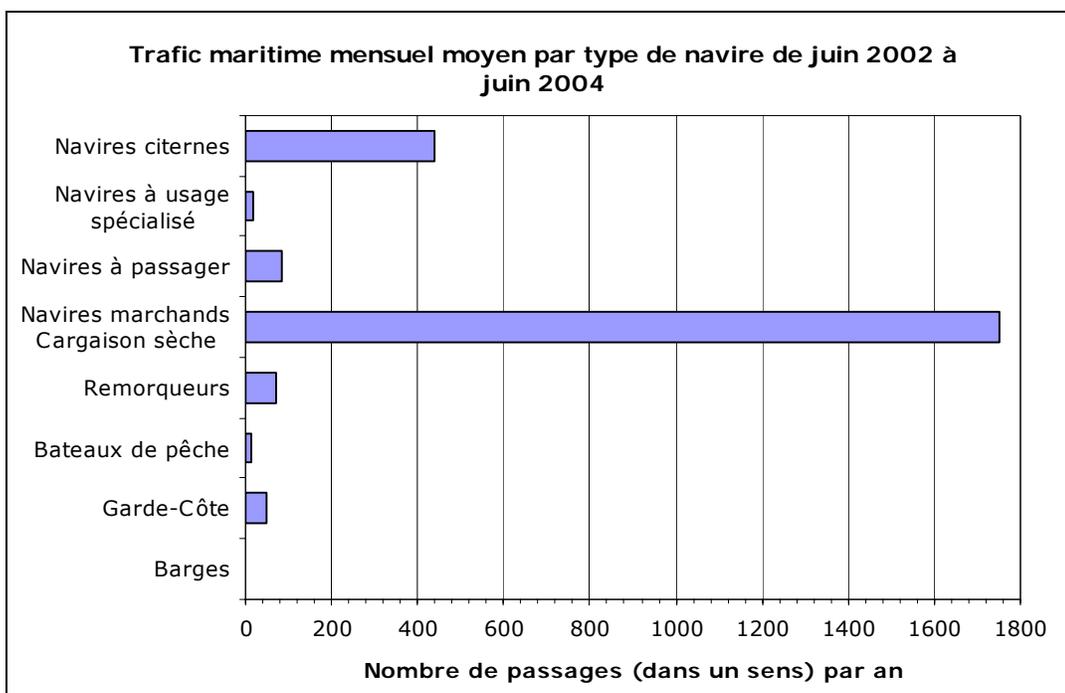


FIGURE 3.3 – TRAFIC MARITIME MENSUEL MOYEN PAR TYPE DE NAVIRE ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

Source : Garde côtière canadienne, Communications maritimes et Services du trafic, 2004

La prédominance des navires de commerce transportant une cargaison sèche a pour effet d'atténuer les risques, car, bien que ces navires soient lourds, les conséquences environnementales en cas d'accident sont moindres. Il ne faut toutefois pas ignorer le nombre relativement élevé de navires-citernes. Environ la moitié des navires-citernes sont des pétroliers desservent le terminal Ultramar à Québec.

Les navires de 20 000 à 50 000 TPL (tonnes de port en lourd) sont les plus nombreux (Cf. figure 3.4), de telles capacités sont tout à fait normales pour un port, sauf pour des terminaux ou des ports pétroliers qui sont desservis par des navires de plus grande taille.

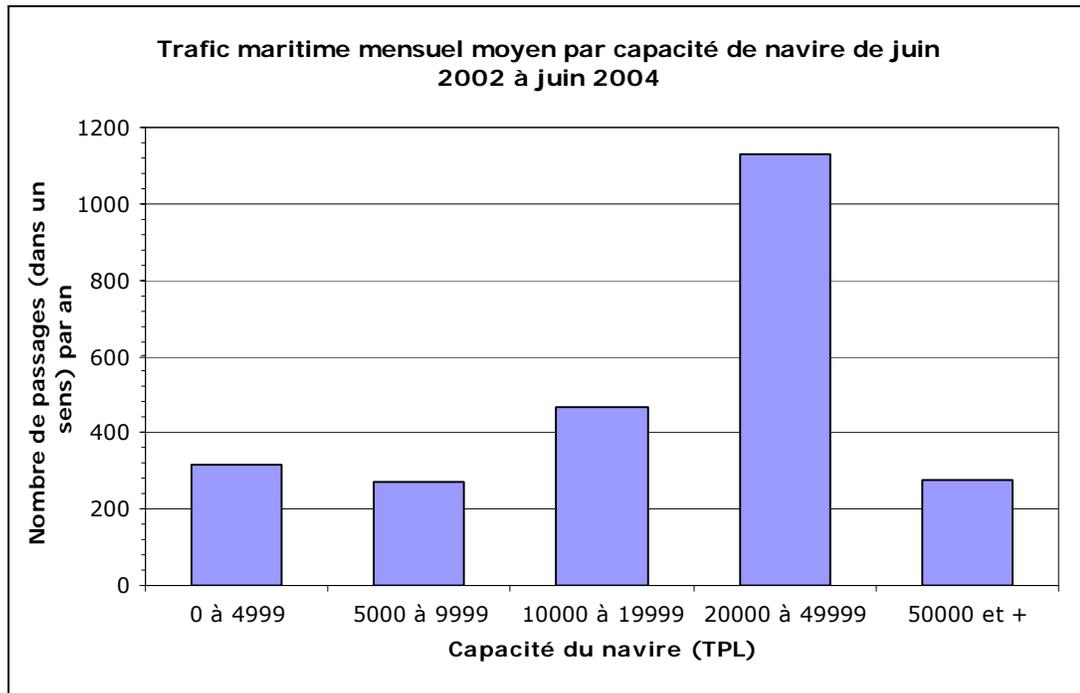


FIGURE 3.4 – TRAFIC MARITIME MENSUEL MOYEN PAR CAPACITÉ DE NAVIRE ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

Source : Garde côtière canadienne, Communications maritimes et Services du trafic, 2004

En analysant les données détaillées, on remarque qu’il n’y a pas de différence notable entre les capacités des navires naviguant entre le détroit de Cabot et Québec, pas plus qu’entre les saisons (voir l’annexe 1 pour plus de détails).

3.1.3.3. Principales routes de navigation

Principales routes

La seule route de navigation importante sur le Saint-Laurent se trouve entre le détroit de Cabot et Québec. Les instructions nautiques appropriées figurent sur les cartes de navigation se rapportant à cette route ainsi que dans les avis aux navigateurs (NOTMAR) régulièrement publiés.

Navigation dans les glaces

Le programme de déglçage de la Garde côtière canadienne (GCC) vise à assurer la sécurité du trafic maritime dans les eaux recouvertes de glaces ou à proximité.

La GCC et le Service canadien des glaces d’Environnement Canada mettent à la disposition des navigateurs des manuels, des cartes ainsi que d’autres directives; l’avis aux navigateurs

RAPPORT TECHNIQUE

(NOTMAR) n° 6 contient des renseignements sur la navigation dans les glaces des eaux canadiennes.

Autres routes de navigation possibles

L'entrée dans le golfe peut éventuellement se faire par le détroit de Belle-Isle (uniquement l'été) pour les quelques navires venant du nord de l'Europe. Puisqu'il y a peu de différence du point de vue des dangers de navigation entre les deux détroits, seul le détroit de Cabot est utilisé dans cette étude.

3.1.3.4. Trafic à proximité du terminal projeté (Ville-Guay)

Dans la région géographique proche du terminal projeté, les caractéristiques du trafic sont les mêmes que pour le reste de la route de navigation. Environ douze à quatorze navires de plus de 5 000 TPL passent tous les jours devant la zone d'implantation du terminal méthanier. S'y ajoute l'été un trafic de bateaux de croisière, de navires à passagers et de bateaux de plaisance.

3.1.4. AUTRES TRAFICS

3.1.4.1. Trafic de traversiers en aval de québec

Cette évaluation concerne les services de traversiers suivants :

Traversée	Nb de navires	Capacité des navires	Nbre de traversées par jour	
			Été	Hiver
L'Isle-aux-Coudres– Saint-Joseph-de-la-Rive	2	400 passagers	24-52	18-24
Trois-Pistoles– Les Escoumins	1	200 passagers et 42 voitures	1-6	0-4 *
Rivière-du-Loup– Saint-Siméon	1	409 passagers et 100 voitures	6-10	2-8****
Rimouski-Forestville	1	175 passagers et 30 voitures	6-8	0-6**
Matane–Baie-Comeau	1	600 passagers et 120 voitures	2-4	0-2
Matane-Godbout	1	600 passagers et 120 voitures	2-6	2
North Sydney– Port aux Basques	4	Jusqu'à 1 200 passagers et 400- 500 voitures, plus remorques	2	2
North Sydney–Argentia	1	Jusqu'à 1 200 passagers et 400- 500 voitures, plus remorques	1*****	0

* Aucune activité de novembre à mai

** Aucune activité entre fin octobre et fin avril

*** Aucune activité en février et mars

**** En service du 17 juin au 26 septembre

RAPPORT TECHNIQUE

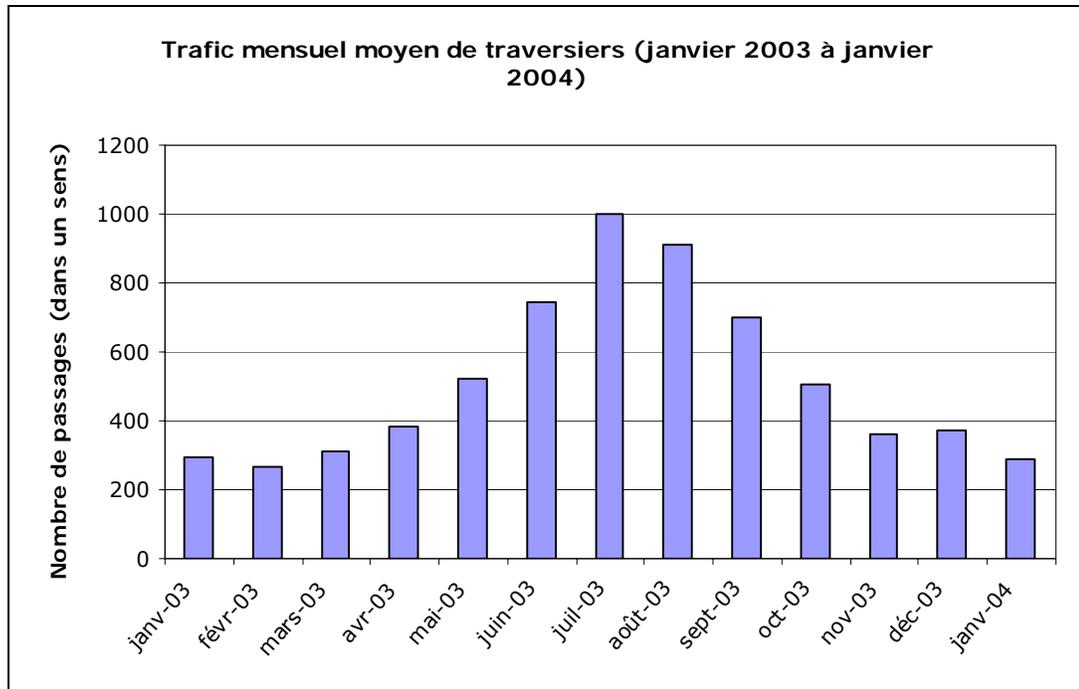


FIGURE 3.5 – TRAFIC MENSUEL MOYEN DE TRAVERSERS ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

Source : horaires fournis par les compagnies de traversiers; statistiques de la GCC, 2004

Il n'est pas surprenant qu'il y ait de deux à trois fois plus de traversées durant la haute saison d'été que l'hiver (cf. figure 3.5); juillet et août sont les mois durant lesquels il y a le plus de traversées. Les méthaniers peuvent croiser de zéro à six ou sept traversiers sur leur route entre le détroit de Cabot et Québec.

La fréquence des traversées la plus élevée concerne l'île aux Coudres (Cf. figure 3.6), et ce passage représente le plus grand risque de collision.

RAPPORT TECHNIQUE

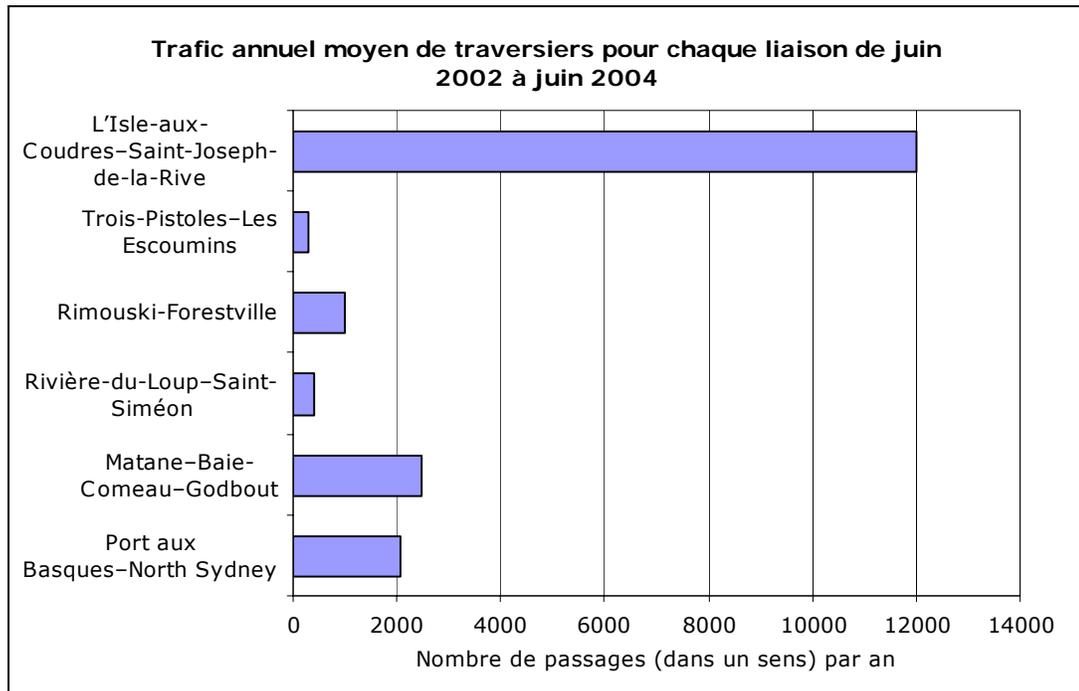


FIGURE 3.6 – TRAFIC ANNUEL MOYEN DES TRAVERSERS ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

Source : horaires fournis par les compagnies de traversiers, plus statistiques de la GCC, 2004

Chacun des itinéraires de traversiers mentionnés est illustré sur les figures de l'annexe 2.

Aucun des services de traversiers dans le Saint-Laurent n'est considéré comme un facteur de risque significatif. Les pilotes interrogés ne considèrent pas que ces traversées augmentent de beaucoup le risque.

Toutefois, il ne faut pas oublier qu'il peut y avoir jusqu'à quatre traversées à l'heure en été entre L'Isle-aux-Coudres et Saint--Joseph-de-la-Rive, la traversée la plus fréquentée.

En plus des traversées mentionnées, un certain nombre de navires de croisière et de navires à passagers/rouliers circulent entre Montréal ou Québec et le golfe du Saint-Laurent, la Nouvelle-Écosse et Terre-Neuve, mais ces navires empruntent en gros la même route que les autres navires (les chiffres utilisés pour l'évaluation du trafic en tiennent compte); de plus, ils ne naviguent pas en hiver. Par conséquent, ces services ne sont pas considérés comme représentant un risque supplémentaire.

3.1.4.2. Secteurs de navigation de plaisance à forte densité et hydravions

Dans les secteurs suivants, entre le détroit de Cabot et Québec, la densité des bateaux de plaisance est plus forte en été (cf. figure 3.7) :

- Île aux Coudres

RAPPORT TECHNIQUE

- Île d'Orléans
- Les Escoumins
- Embouchure de la rivière Saguenay

La navigation de plaisance n'a lieu que l'été et est considérée comme étant « encadrée ». Les bateaux de plaisance représentent toutefois un risque certain pour la circulation des gros navires sur l'ensemble de la route de navigation. Certaines journées d'été, le trafic de bateaux de plaisance peut augmenter fortement dans les secteurs voisins de l'île aux Coudres et de l'embouchure du Saguenay.



FIGURE 3.7 – SECTEURS DE NAVIGATION DE PLAISANCE À TRAFIC INTENSE ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

RAPPORT TECHNIQUE

3.1.4.3. Services de traversiers et navigation de plaisance à proximité du terminal projeté

Il n'y a pas de service de traversiers à proximité immédiate de la zone d'implantation du terminal projeté. Le traversier le plus proche relie Québec et Lévis, mais en aucun cas ce service n'aura de répercussions sur le trafic lié à l'exploitation des installations de GNL projetées — alors qu'il en a sur le trafic lié au terminal Ultramar.

Il est possible qu'un nouveau traversier soit mis en service entre Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans et la rive sud du fleuve; si ce projet est confirmé, il sera évalué séparément en temps opportun. Néanmoins, cet éventuel appontement de traversier ne se sera pas à proximité du terminal méthanier de Ville-Guay et n'aura pas de répercussions sur le trafic à cet endroit, contrairement au traversier Québec-Lévis pour le trafic lié au terminal Ultramar.

S'il y a bien une navigation de plaisance au voisinage du terminal projeté, elle demeure relativement limitée. De plus, la navigation de plaisance se limite à la saison estivale et les bateaux se déplacent plutôt parallèlement au fleuve en dehors du secteur du terminal. Ainsi, une quantité très limitée de bateaux de plaisance traversent le fleuve dans la direction nord-sud, entre Ville-Guay et l'île d'Orléans.

3.1.4.4. Activités de pêche entre le détroit de Cabot et Québec

Il n'y a pas de lieux de pêche à proximité de la zone d'implantation du terminal projeté. Le seul lieu de pêche établi le long de la route de navigation entre le détroit de Cabot et Québec se trouve plus près de Terre-Neuve, dans la partie orientale du golfe du Saint-Laurent (cf. figure 3.8).

Cependant, bien qu'il n'y ait pas de lieux de pêche entre le détroit de Cabot et Québec, la pêche est une activité pratiquée à de nombreux endroits, à la fois par des amateurs et par des professionnels.

Les sites de pêche fréquentés par ces pêcheurs se trouvent en dehors du chenal de navigation principal, mais il faut toutefois considérer que des bateaux de pêche pourraient entrer dans ce chenal. Il est à noter qu'un incident s'est récemment produit dans une zone de pêche au large de la Corée, lorsque les hélices d'un méthanier se sont prises dans un filet.

Il existe bien de grands bancs de pêche au large de Terre-Neuve, mais ils n'ont pas été pris en considération dans cette étude, étant donné qu'ils se trouvent en dehors du détroit de Cabot.

RAPPORT TECHNIQUE



FIGURE 3.8 – PRINCIPALE ZONE DE PÊCHE DANS LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

3.1.4.5. Activités de pêche à proximité du terminal projeté (Ville-Guay)

À l'exception de la pêche d'agrément durant la saison où les eaux sont libres de glace, il n'y a pas de pêche importante au voisinage de l'emplacement du terminal projeté.

3.1.4.6. Secteurs d'opérations spéciales

Zones d'exercices militaires

Selon les sources officielles d'information données dans le guide TERMPOL (§ 3.4.3.), il n'y a pas de secteur d'exercices militaires le long de la route maritime entre le détroit de Cabot et Québec qui pourrait avoir une influence sur la sécurité de la navigation des

RAPPORT TECHNIQUE

méthaniers. La même conclusion s'applique pour le trafic spécial dans le secteur proche du terminal projeté.

Dans tous les cas, Notmar reg. 18 (Avis aux navigateurs émis par la garde côte canadienne) décrit les mesures de sécurité adaptées pour l'exploration et l'exploitation des navires et des plateformes.

Zones d'exploration offshore, autres zones d'opérations spéciales

Comme mentionné plus haut, il n'y a pas d'activités particulières qui puissent avoir une influence sur la sécurité de la navigation des méthaniers.

3.2. Étude des données d'accidents

3.2.1. MÉTHODOLOGIE

L'étude des données d'accidents a été menée en examinant les documents suivants :

- données mondiales (tous navires) à partir de la base Lloyds Register Fairplay, la base de données d'accidents la plus complète au monde pour l'industrie maritime;
- base de données d'accidents pour le GNL, basée sur diverses bases de données de l'industrie, compilées et analysées par DNV;
- données sur les incidents dans les eaux canadiennes provenant du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST);
- données sur les incidents dans les eaux du Saint-Laurent, du détroit de Cabot à Québec, provenant du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) et des rapports d'incidents des pilotes (CPBSL).

Les données relatives aux accidents (trafic mondial, GNL, Canada, Saint-Laurent) ont été analysées par DNV et les fréquences d'accident basées sur les données historiques ont été calculées.

La présente étude suit l'ordre des sources d'information mentionnées :

- incidents maritimes dans le monde entier (tous types de navires);
- incidents maritimes dans le monde entier (méthaniers);
- incidents maritimes dans les eaux canadiennes;
- incidents maritimes sur le Saint-Laurent (Québec – Détroit de Cabot).

3.2.2. ÉVOLUTION MONDIALE DANS LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT MARITIME

Le dossier de sécurité de l'industrie maritime s'est amélioré continuellement au cours des dernières années. Comme des accidents se sont produits dans le passé, des leçons ont été

RAPPORT TECHNIQUE

tirées, les procédures de sécurité ont été améliorées et la pression commerciale et réglementaire est devenue plus forte. Dans la plupart des cas, les organismes gouvernementaux ont eu tendance à élaborer des règlements en réponse à des accidents graves et non pas à établir des exigences réglementaires avant que la pression du public ne s'exerce en ce sens. En dehors du fait que diverses méthodes ont évolué, la sécurité en mer a été améliorée au cours des dernières années.

Si nous prenons comme indicateur le nombre d'accidents ayant eu pour conséquence une perte totale du navire au cours des quinze dernières années, on peut constater une amélioration remarquable. Cette amélioration est illustrée à la figure 3.9 ci-après. Le nombre d'incidents se traduisant par une perte totale sur 1 000 navires-années est passé de cinq environ en 1990, à juste au-dessus de 1 en 2002. C'est une réduction de près de 80 % en 12 ans.

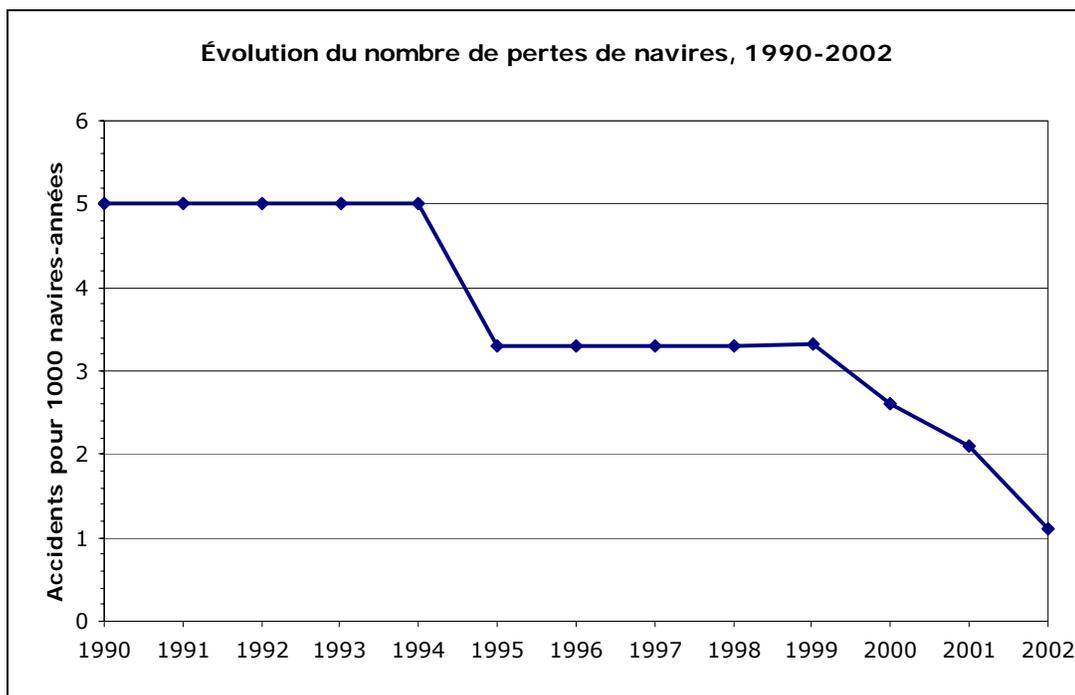


FIGURE 3.9 – PERTES DE NAVIRE, 1990 – 2002

Source : /19/

Cette tendance est confirmée par l'évolution du nombre de décès dans l'industrie maritime au cours des 20 dernières années (voir figure 3.10). Le nombre de décès par 1 000 navires-années a diminué et est passé d'environ 14 en 1985 à environ 5 en 2001. C'est une réduction de plus de 50 % en seulement 16 ans.

RAPPORT TECHNIQUE

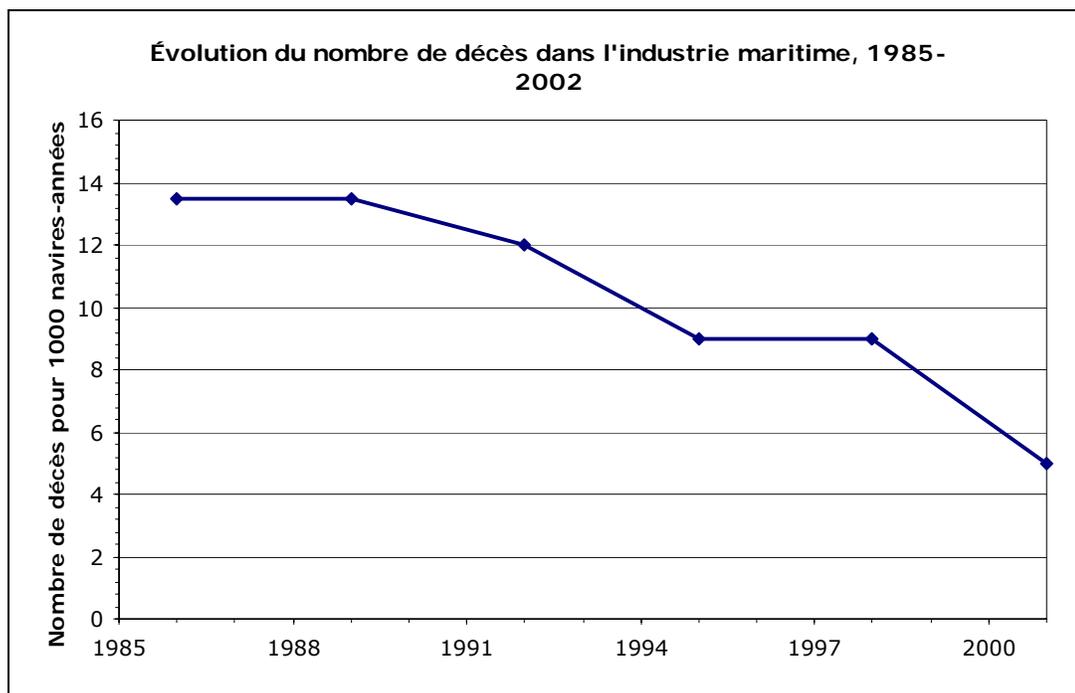


FIGURE 3.10 – DÉCÈS DANS L'INDUSTRIE MARITIME, 1985-2001

Source : /19/

Cette amélioration du dossier de sécurité mondial conforte le fait que le nombre d'accidents sur la voie maritime du Saint-Laurent a également diminué au cours des dernières années, bien que cette constatation repose sur une quantité de données statistiques limitée.

3.2.3. ACCIDENTS LIÉS AU GNL DANS LE MONDE ENTIER

Dans l'examen suivant, on a passé en revue les accidents relatifs au traitement, au stockage et au transport du GNL.

On a omis les défaillances génériques propres au propane, au butane et au condensat et seuls les incidents représentatifs propres au GNL sont énumérés dans le tableau de l'annexe 3, qui donne un résumé des incidents représentatifs relatifs aux méthaniers depuis 1964.

Dans l'ensemble, l'industrie du GNL présente un excellent dossier de sécurité par rapport aux raffineries et autres usines pétrochimiques. Dans le monde entier, en 2003, il y avait 17 terminaux d'exportation (usines de liquéfaction), 47 terminaux d'importation (re-gazéification) et 167 méthaniers, traitant ensemble plus de 150 millions de tonnes de GNL par an, ce qui représente environ 3 000 chargements de navire par an (source : /20/).

Le GNL est livré en toute sécurité depuis plus de 40 ans sur tous les continents. Il y a eu plus de 40 000 voyages de méthaniers, représentant plus de 100 millions de milles, sans perte de cargaison de GNL, accidents concernant les cuves ou problèmes de sécurité que ce soit au port ou en haute mer. Les méthaniers transitent fréquemment dans des zones de trafic

RAPPORT TECHNIQUE

dense. Par exemple, en 2000, un méthanier entrain dans la baie de Tokyo toutes les 20 heures en moyenne et un par semaine entrain dans le port de Boston. L'industrie de GNL respecte les normes rigoureuses établies par les pays comme les États-Unis, le Japon, la France et les autres nations européennes.

Selon le ministère de l'Énergie des É.-U. (/17/), au cours des 40 ans d'existence de l'industrie, huit incidents maritimes dans le monde entier se sont traduits par le déversement de GNL (la plupart provenant de rejets de petites tuyauteries ou de joints), certains provoquant des dommages au pont sous les tuyauteries en raison d'une fracture due à la fragilisation du métal, mais aucune explosion ni décès.

Autrement dit, sur les 40 000 voyages en 40 ans, il n'y a jamais eu un déversement de GNL dans l'eau suite à une collision ou un échouement. Il n'y a eu aucun incendie lié à la cargaison des méthaniers. Il n'y a jamais eu de décès à bord de méthaniers en raison du GNL. La conception des méthaniers a contribué à éviter des dommages aux cuves contenant le GNL.

À l'exception de l'incendie de 1944 à Cleveland qui concernant des réservoirs terrestres, tous les accidents avec blessés associés au GNL se sont produits dans les limites de l'installation de GNL. Le public a été entièrement protégé. Des accidents isolés avec des décès se sont produits sur plusieurs installations terrestres au cours des premières années de l'industrie. Aucun n'était attribuable au GNL, il s'agissait d'accidents industriels non spécifiques au GNL.

3.2.4. ACCIDENTS DANS LES EAUX CANADIENNES

Les données portent ici sur les eaux canadiennes, de l'Atlantique et du Pacifique, plus le système des voies maritimes du Saint-Laurent et des Grands Lacs. Les données ont été étudiées selon les catégories suivantes :

- Types d'accidents, causes, conséquences;
- Navires touchés (type, dimensions);
- Répartition géographique.

En 2003, 546 accidents maritimes ont été déclarés au Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST), soit une augmentation par rapport au total de 485 pour l'année 2002 et à la moyenne de 537 sur la période 1998-2002. Au cours des 10 dernières années, 90 % des accidents maritimes ont été des accidents de navigation, tandis que les autres étaient des accidents à bord (entraînant des blessures de membres de l'équipage plutôt que des dommages au navire). En 2003, il y a eu 65 accidents à bord de navires par rapport à 36 en 2002 et à la moyenne de 60 sur la période 1998-2002. La majeure partie des accidents à bord de navires sont survenus à bord soit de bateaux de pêche (42 %) soit de cargos/pétro-minéraliers (25 %).

Il y a eu 481 accidents de navigation en 2003, soit une augmentation de 7 % par rapport au total de 449 en 2002, mais comparable à la moyenne de 477 sur la période 1998-2002.

RAPPORT TECHNIQUE

Malgré cette augmentation, en utilisant une analyse statistique avec une régression linéaire, on peut noter une nette tendance à la diminution du nombre d'accidents de navigation depuis 1994. La figure 3.11 ci-après illustre cette diminution du nombre d'accidents de 1994 à 2003.

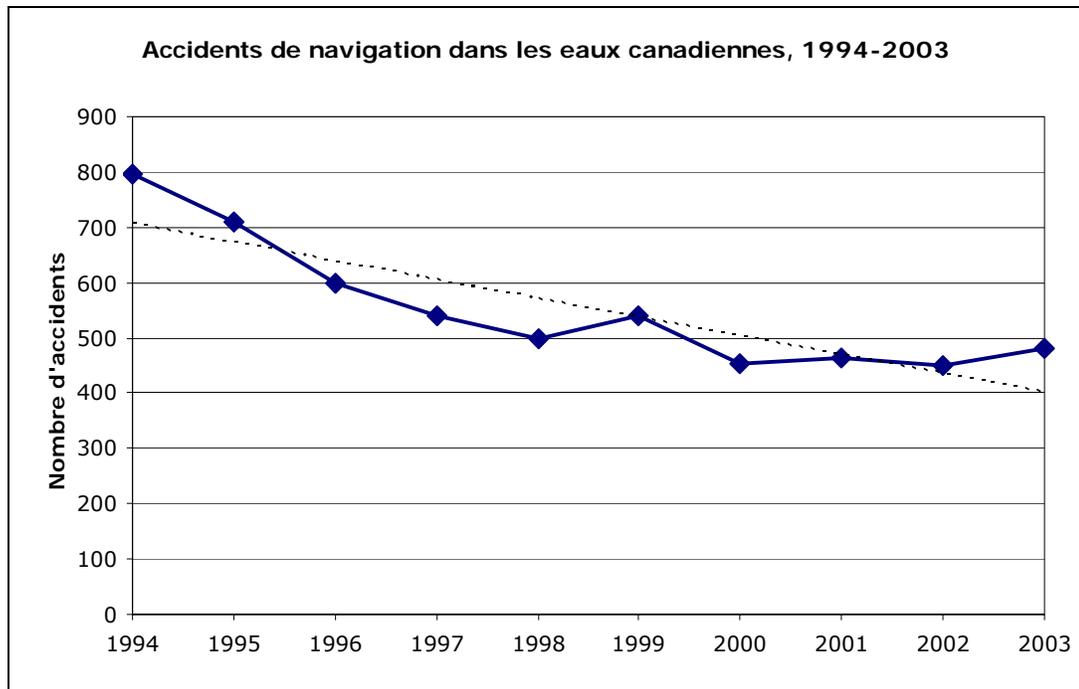


FIGURE 3.11 – ACCIDENTS MARITIMES DANS LES EAUX CANADIENNES, 1994 -2003

Source : /18/

3.2.4.1. Décès et blessures

En 2003, il y a eu 18 décès associés aux activités maritimes, le nombre le plus bas enregistré en 27 ans. Ce chiffre est bien inférieur à la moyenne de 34 sur la période 1998-2002 (Figure 3.12). Les décès attribuables aux accidents de navigation (neuf) ont diminué de 57 % par rapport à la moyenne annuelle de 21 sur la période 1998-2002. Huit de ces neuf décès étaient dus à des accidents de bateaux de pêche, dont deux ont entraîné plusieurs décès.

En 2003, le nombre de blessés se chiffrait à 91, une augmentation par rapport à la moyenne annuelle de 81 sur la période 1998-2002. Sur ces 91 blessés, 60 étaient graves et tous ceux-ci à l'exception de deux ont été le résultat d'accidents à bord de navires.

RAPPORT TECHNIQUE

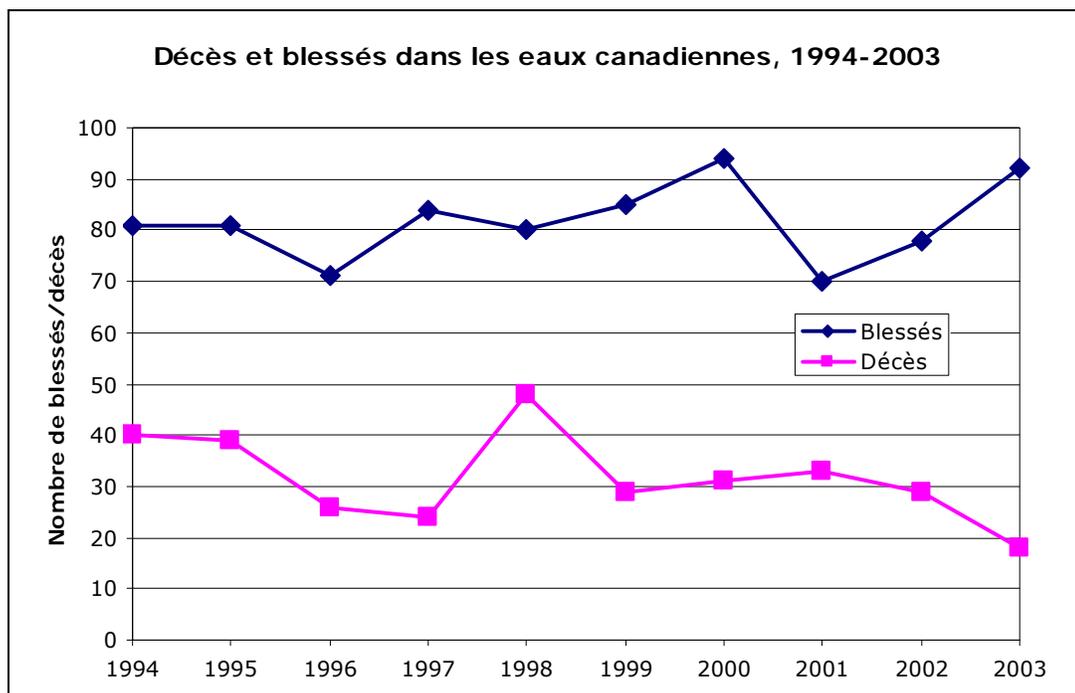


FIGURE 3.12 – DÉCÈS ET BLESSÉS DANS L'INDUSTRIE MARITIME DANS LES EAUX CANADIENNES, 1994-2003

Source : /18/

3.2.4.2. Accidents par type

Comme illustré à la figure 3.13, les types les plus fréquents d'accidents de navigation en 2003 étaient des échouements (25 %) et des collisions contre des structures fixes (16 %). Si on les compare à la moyenne sur six ans (1998-2003), le nombre d'accidents attribuables aux dommages causés par les glaces est passé de 7 à 28 en 2003. Parmi ces derniers, 21 étaient associés à des bateaux de pêche dans la région de Terre-Neuve dont 18 à des activités de chasse au phoque. Ainsi, uniquement 7 n'étaient pas dus à la pêche. Comme il y a eu une quantité exceptionnelle de glace en 2003, les chasseurs de phoques ont fait cette année-là plus de demandes d'aide que par le passé par suite de dommages occasionnés par la glace.

Il y a eu 24 collisions en 2003, soit une augmentation par rapport à la moyenne de 17 entre 1998 et 2002. 44 % des navires accidentés au cours des cinq dernières années étaient des bateaux de pêche, la plupart d'entre eux étant entrés en collision avec un autre bateau de pêche.

RAPPORT TECHNIQUE

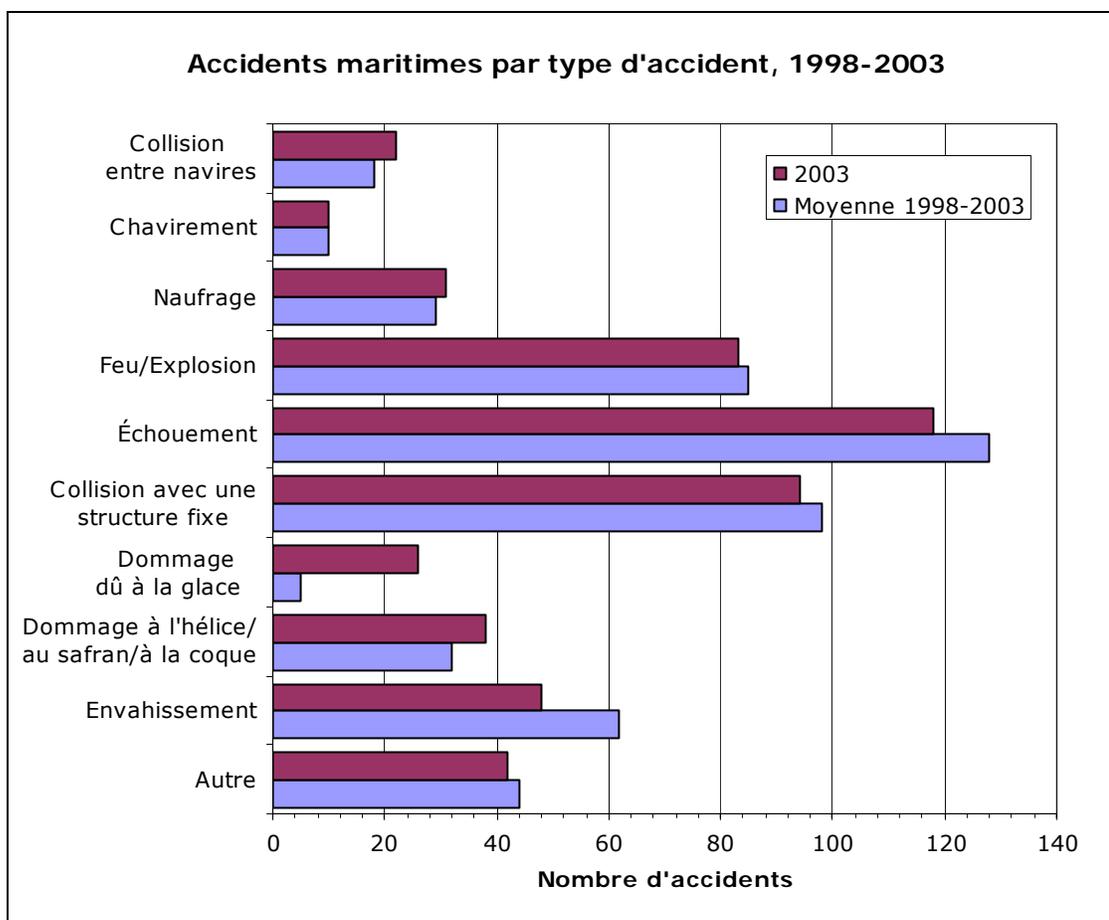


FIGURE 3.13 – ACCIDENTS MARITIMES PAR TYPE D'ACCIDENT

Source : /18/

3.2.4.3. Accidents par type de navire

En 2004, il y avait 20 221 bateaux de pêche au Canada, ce qui représente 74 % de tous les navires immatriculés à l'exclusion des bateaux de plaisance (source : Transport Canada). Depuis 1994, environ 50 % des navires ayant eu un accident de navigation sont des bateaux de pêche (Figure 3.14). En 2003, 260 bateaux de pêche ont eu un accident de navigation, ce qui représente une augmentation de 9 % par rapport à 2002 et de 4 % par rapport à la moyenne de 251 pour 1998-2002.

Après les bateaux de pêche, les remorqueurs ou les barges (12 %) et les navires de vrac secs ou liquides (9 %) sont ceux qui ont eu le plus d'accidents de navigation. Le nombre de navires de croisière ayant eu un accident de navigation est passé à 41, un record en 29 ans par rapport à 26 en 2002 et à la moyenne de 22 sur la période 1998-2002. Toutefois, aucun

RAPPORT TECHNIQUE

de ces accidents n'a conduit à un décès. La majeure partie de ces accidents de navires de croisière comprenait des échouements (32 %) et des collisions (29 %).

En 2003, 18 cargos ont eu des accidents, ce qui représente une baisse de 22 % par rapport à 2002 et de 31 % par rapport à la moyenne de 26 sur cinq ans.

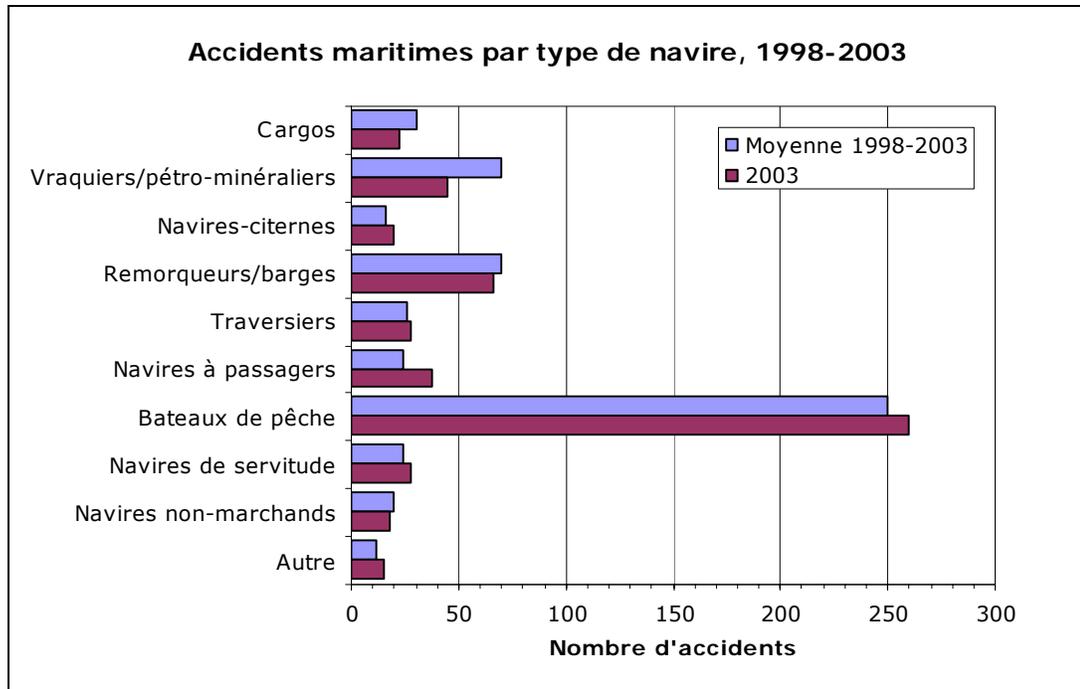


FIGURE 3.14 – ACCIDENTS MARITIMES PAR TYPE DE NAVIRE

Source : /18/

La figure 3.14 montre que le nombre d'accidents de bateaux de pêche est bien plus élevé que ceux d'autres types de navire dans les eaux canadiennes.

Le méthanier devrait être comparé aux catégories des navires-citernes et des cargos.

3.2.4.4. Accidents par région géographique

En 2003, près des trois quarts des accidents de navigation se sont produits dans trois des sept régions géographiques (Figure 3.15) : la région de l'Ouest (29 %), les Maritimes (27 %) et Terre-Neuve (17 %). Ce sont les bateaux de pêche qui ont eu le plus d'accidents dans ces eaux côtières. Seuls les Maritimes et Terre-Neuve ont présenté une augmentation des accidents de navigation par rapport à la moyenne sur la période 1998-2002, soit respectivement de 100 à 129 et de 71 à 80. Cette augmentation s'explique principalement par une croissance du nombre de bateaux de pêche qui ont eu des accidents de navigation dans ces deux régions.

RAPPORT TECHNIQUE

La région des Laurentides et du Centre comptaient seulement respectivement 12 et 11 % des accidents de navigation; dans des voies navigables plus étroites, les accidents se sont produits le plus souvent avec des navires commerciaux plus grands comme les cargos/pétro-minéraliers et les navires-citernes.

Les autres accidents de navigation (4 %) sont survenus dans les eaux étrangères ou dans l'Arctique.

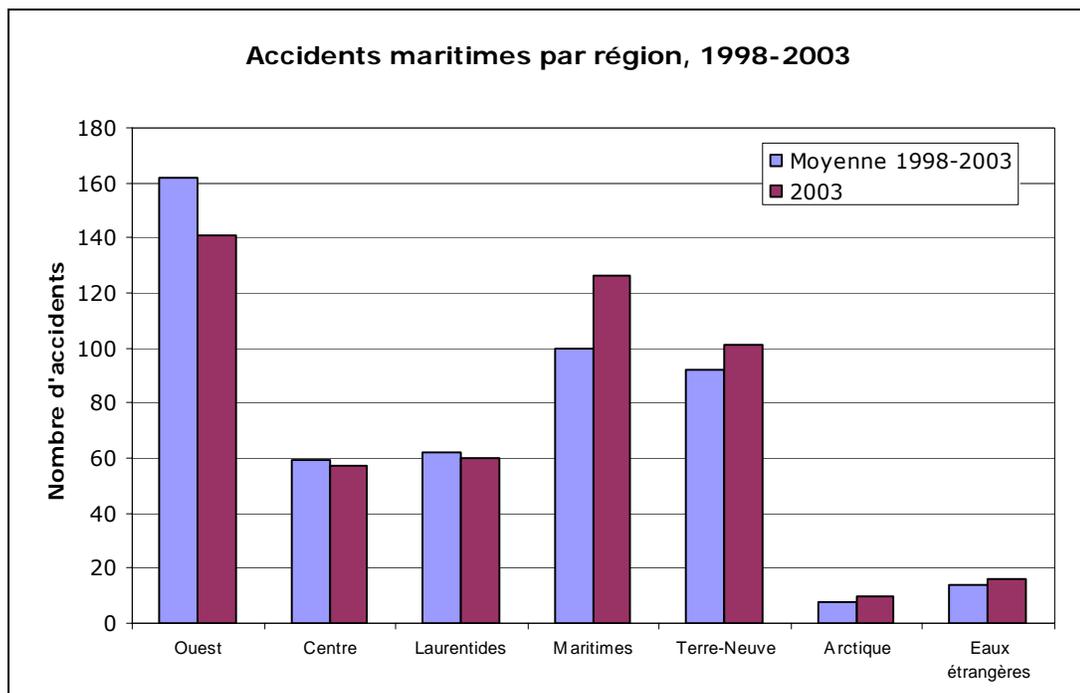


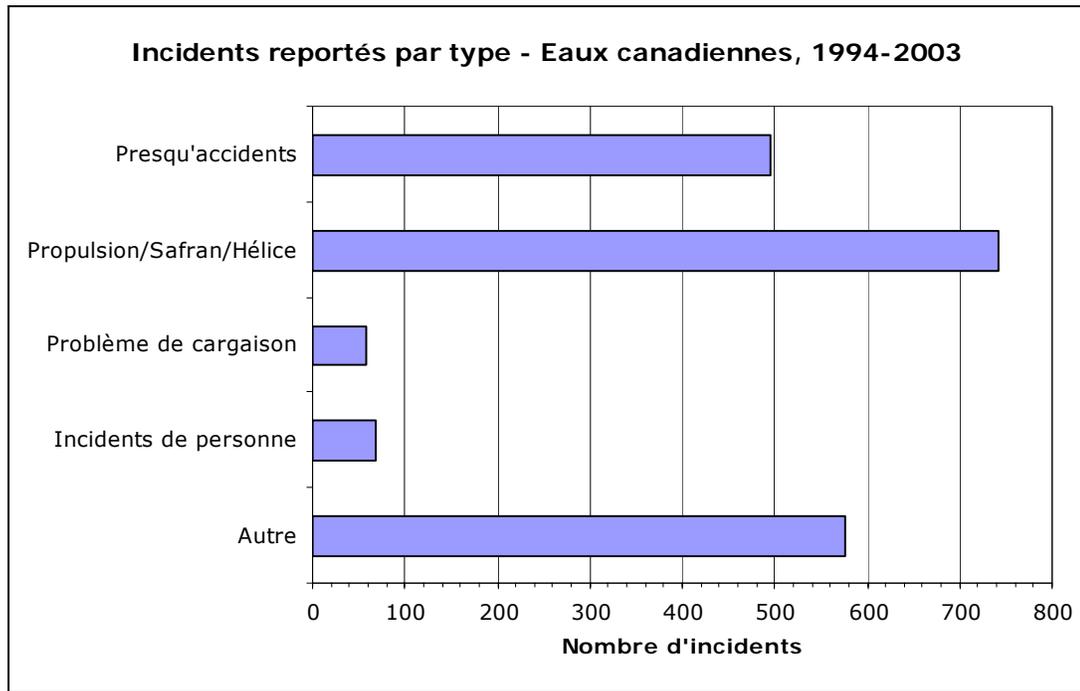
FIGURE 3.15 – ACCIDENTS MARITIMES PAR RÉGION

Source : /18/

On doit également noter le taux relativement élevé de défaillances de propulsion, de gouvernail ou d'hélice qui provoquent un accident (Figure 3.16). Ceci explique en partie le nombre également élevé d'échouements, comme nous l'avons vu à la figure 3.13.

La plupart des garde-côtes dans le monde entier doivent déclarer les presque accidents. Ceci a pour but d'obtenir une meilleure image du risque en général, car il y a relativement peu d'accidents. Il n'y a pas de définition absolue des presque accidents ou de situations dangereuses et chacun peut faire sa propre interprétation. Il n'existe pas de chiffres globaux sur les presque accidents, donc la comparaison avec d'autres pays est impossible.

RAPPORT TECHNIQUE

**FIGURE 3.16 – INCIDENTS PAR TYPE DANS LES EAUX CANADIENNES**

Source : /18/

Le dernier graphique (Figure 3.17) s'applique à la région des Laurentides. Comme on l'a mentionné, pour cette région, les accidents de cargos, de pétro-minéraliers et de navires-citernes dominant, ce qui s'explique partiellement par les voies navigables plus étroites.

RAPPORT TECHNIQUE

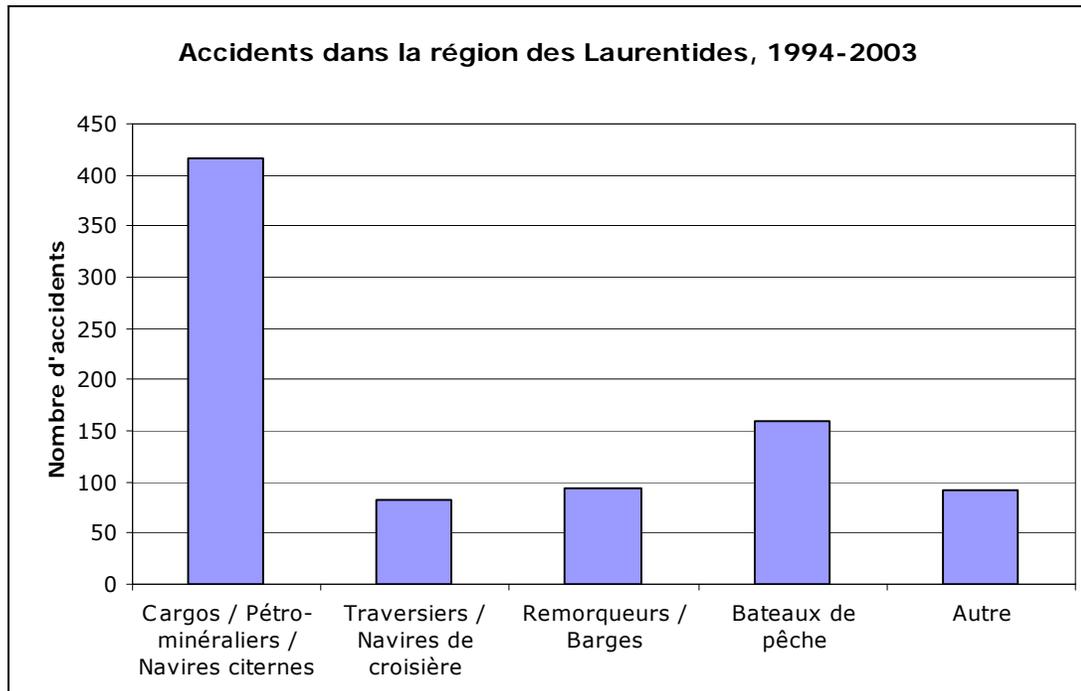


FIGURE 3.17 – ACCIDENTS DANS LA RÉGION DES LAURENTIDES

Source : /18/

3.2.5. ACCIDENTS DANS LA VOIE MARITIME DU SAINT-LAURENT

Les données relatives aux accidents présentées ici portent sur la voie maritime du Saint-Laurent, du détroit de Cabot jusqu'à Québec. Les rapports d'enquête produits par le Bureau de la sécurité du transport du Canada (BST) de 1994 à 2002 ont été examinés. L'annexe 4 donne un résumé détaillé de tous les incidents pertinents de 1994 à 2002.

À partir des 33 incidents examinés, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Quatorze incidents sur 33 étaient des échouements. Sur les 14 échouements, 2 étaient des échouements de navire à la dérive, c'est-à-dire qu'ils étaient provoqués par une panne de machine, tandis que les autres étaient des échouements dus à des erreurs de navigation, etc. Sur les 14 navires échoués, 7 étaient des vraquiers, 3 des navires-citernes, 2 des traversiers/navires de croisière, 1 transporteur de produits raffinés et le dernier un porte-conteneurs. Aucun des échouements n'a entraîné le naufrage de navire, mais un des échouements a été déclaré comme étant une perte totale du navire. Cet incident a été l'échouement le plus grave.
- Quatre chavirements se sont produits, un comprenant 5 kayaks de mer, deux avec des bateaux de pêche et le dernier était un navire de servitude.
- Trois navires ont coulé. Un vraquier s'est brisé et a sombré. Les deux autres étaient des bateaux de pêche.

RAPPORT TECHNIQUE

- Deux fuites ou pertes de chargement, sur une barge et sur un vraquier. Ces événements n'ont pas provoqué de pollution.
- Trois pannes mécaniques sur un vraquier et sur deux cargos de marchandises diverses.
- Deux incidents se sont produits à bord d'un navire. Un mettait en jeu un transporteur d'automobiles et l'autre un traversier.
- Une seule collision entre navires s'est produite. Elle a eu lieu entre un navire-citerne et son remorqueur.
- Une collision avec une structure fixe a eu lieu. Il s'agit d'un traversier-rails qui est entré en collision avec une jetée.
- Un remorqueur a sombré (entrée d'eau).
- Une entrée d'eau s'est produite sur un bateau de pêche, mais celui-ci n'a pas sombré.
- Un membre d'équipage est tombé par-dessus bord sur un porte-conteneurs.

Quant aux types de navires, les vraciers dominent les statistiques d'incident pour la route détroit de Cabot-Québec. Au moins 33 navires au total ont eu un accident au cours de la période (sans compter les 5 kayaks). Parmi ces 33 navires, il y avait :

- dix vraciers;
- cinq bateaux de pêche;
- quatre navires-citernes;
- quatre traversiers ou navires de passagers;
- deux porte-conteneurs;
- deux cargos;
- deux remorqueurs;
- un navire transporteur de produits raffinés;
- un navire de servitude;
- une barge; et
- un transporteur d'automobiles.

Entre 1994 et 2002, un bateau de pêche, un traversier et un vraquier ont été prisonniers des glaces. Le vraquier s'est échoué en raison de la glace et considérant qu'il n'y a de la glace que pendant un quart de l'année, cet événement est significatif. Il est par conséquent important de considérer que la glace est un danger quand elle est présente dans la voie maritime du Saint-Laurent.

RAPPORT TECHNIQUE

Les incidents sont répartis sur tout le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent, du détroit de Cabot à Québec. Il y a également eu un nombre important d'accidents sur le Saint-Laurent en amont de Québec, mais ces événements n'ont pas été considérés dans cette analyse.

Quand on regarde les lieux des incidents, on peut voir qu'il y a certains endroits plus à risques dans la voie maritime. L'Île Rouge et la Traverse du Nord sont des endroits à risque potentiel et la station d'embarquement des pilotes aux Escoumins est également une zone demandant des précautions spéciales. Le dernier échouement dans la Traverse du Nord s'est produit il y a 3 à 4 ans en raison d'un problème de gouvernail.

La figure ci-après illustre les emplacements des accidents mentionnés précédemment, ils sont indiqués par un point noir.



FIGURE 3.18 – LOCALISATION DES ACCIDENTS DANS LES EAUX DU SAINT-LAURENT, 1994-2002

Source : /18/

Il est également intéressant d'observer que le nombre d'accidents a généralement diminué au cours de la dernière décennie. Parmi les 33 incidents de 1994 à 2002, 25 se sont produits au cours des 5 années de 1994 à 1998, donnant une moyenne de 5 par an et uniquement 8 au cours des quatre années de 1999 à 2002, donnant une moyenne de 2 par an. Ceci correspond bien à la diminution générale à l'échelle mondiale.

Environ un tiers de tous les accidents sont survenus entre 1994 et 2002 à l'intérieur de la zone de pilotage, et deux tiers se sont produits à l'extérieur. Cependant, il faut noter que les

RAPPORT TECHNIQUE

traversiers et les bateaux de pêche n'ont pas de pilotes, quel que soit l'endroit où ils naviguent.

En ce qui a trait aux variations saisonnières d'accident, les accidents ont tendance à être plus nombreux dans la deuxième moitié de l'année. La répartition est la suivante :

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Accidents	3	1	1	2	2	3	4	2	4	2	5	4

3.2.6. CONCLUSION DE LA REVUE DES ACCIDENTS DU PASSÉ

L'étude des données d'accidents a permis de mener une revue complète des accidents pertinents qui se sont produits entre le détroit de Cabot et Québec. Cette information, associée aux résultats de l'atelier HAZID (voir le chapitre 5) et aux données fournies par les pilotes, a permis d'établir les zones de risque plus élevé (« zones de risques ») suivantes le long du Saint-Laurent :

- embouchure de la rivière Saguenay – île Rouge;
- passage de l'Île-aux-Coudres;
- traverse du Nord.

Les zones de risque plus élevé ont en commun :

- les courants (moins forts dans la traverse du Nord, plus importants dans l'embouchure de la rivière Saguenay et à l'île-aux-Coudres);
- le vent (en particulier le Saguenay et la traverse du Nord);
- la visibilité réduite (brumes durant l'été; poudrière durant l'hiver);
- glace dans le golfe et l'estuaire (principalement le long de la rive sud du Saint-Laurent).

Aux dires des pilotes de la CPBSL, les seuls risques entre le détroit de Cabot et Les Escoumins, en période d'eau libre de glace, sont les éventuels problèmes de communication. Dans ce tronçon ordinairement sans pilote, des problèmes de communication entre navires peuvent survenir plus facilement qu'entre Les Escoumins et Québec, où un pilote est toujours à bord.

Par ailleurs, le marquage latéral (bouées) est enlevé au cours de l'hiver, ce qui représente un risque supplémentaire. Les pilotes n'ont toutefois exprimé aucune préoccupation à ce sujet. En hiver, la traverse du Nord conserve huit paires d'espars qui tiennent lieu de bouées.

RAPPORT TECHNIQUE

En dehors des bateaux de pêche, un seul accident est survenu de mémoire de pilote entre le détroit de Cabot et Les Escoumins : il s'agissait d'un navire qui s'était échoué à l'île d'Anticosti.

3.3. Description de la route des méthaniers

3.3.1. GÉNÉRALITÉS

En se fondant sur une évaluation générale des risques de navigation depuis l'entrée du golfe du Saint-Laurent (détroit de Cabot) jusqu'à Lévis, la route suivie par les méthaniers a été découpée en cinq tronçons (cf. figure 3.19) :

- (1) de l'entrée dans le golfe du Saint-Laurent aux Escoumins;
- (2) des Escoumins (station de pilotage) à l'entrée de la traverse du Nord;
- (3) la traverse du Nord jusqu'au lieu d'embarquement du pilote lamaneur aux environs de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans;
- (4) de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans à la jetée du terminal Rabaska;
- (5) opérations au poste d'amarrage.

L'objet de ce découpage est d'obtenir un ensemble de paramètres pratiques pour évaluer et structurer de façon plus logique les dangers courus dans chaque tronçon.

3.3.2. DESCRIPTION DES TRONÇONS

Tronçon 1 – Du détroit de Cabot à la station de pilotage des Escoumins

Note : L'entrée dans le golfe peut éventuellement se faire par le détroit de Belle-Isle (uniquement l'été) pour les quelques navires venant du nord de l'Europe. Puisqu'il y a peu de différence du point de vue des dangers de navigation entre les deux détroits, seul le détroit de Cabot est utilisé dans la description du tronçon 1.

Une distance d'environ 450 milles marins (NM) sépare le détroit de Cabot des Escoumins, ce qui donne un temps de navigation de un jour (été) à un jour et demi (hiver). En résumé, la navigation entre le détroit de Cabot et Les Escoumins est de type hauturier. Les routes de navigation sont organisées au moyen de dispositifs de séparation du trafic (DST).

Zones de risque

Dans l'atelier HAZID organisé par Rabaska et DNV (voir le chapitre 5), les environs du détroit d'Honguedo et de la pointe des Monts ont été considérés comme des « zones de prudence » en ce qui a trait au risque de collision. D'autres zones de risque accru, dans lesquelles une collision pourrait survenir, sont les points de croisement du DST et les zones de trafic dense, comme à Matane et à Rimouski.

RAPPORT TECHNIQUE

Un autre sujet à prendre en compte est la communication entre navires. Il n'y a pas de pilote à bord dans ce tronçon de la voie maritime et un problème de communication peut survenir plus facilement ici qu'entre Les Escoumins et Québec.

Au cours de la saison des glaces, le chenal de navigation en aval des Escoumins devient parfois très étroit, et tous les navires doivent passer par cette voie. Un chenal de navigation plus étroit augmente le risque de collision, en outre les DST ne sont plus opérationnels pendant cette période.

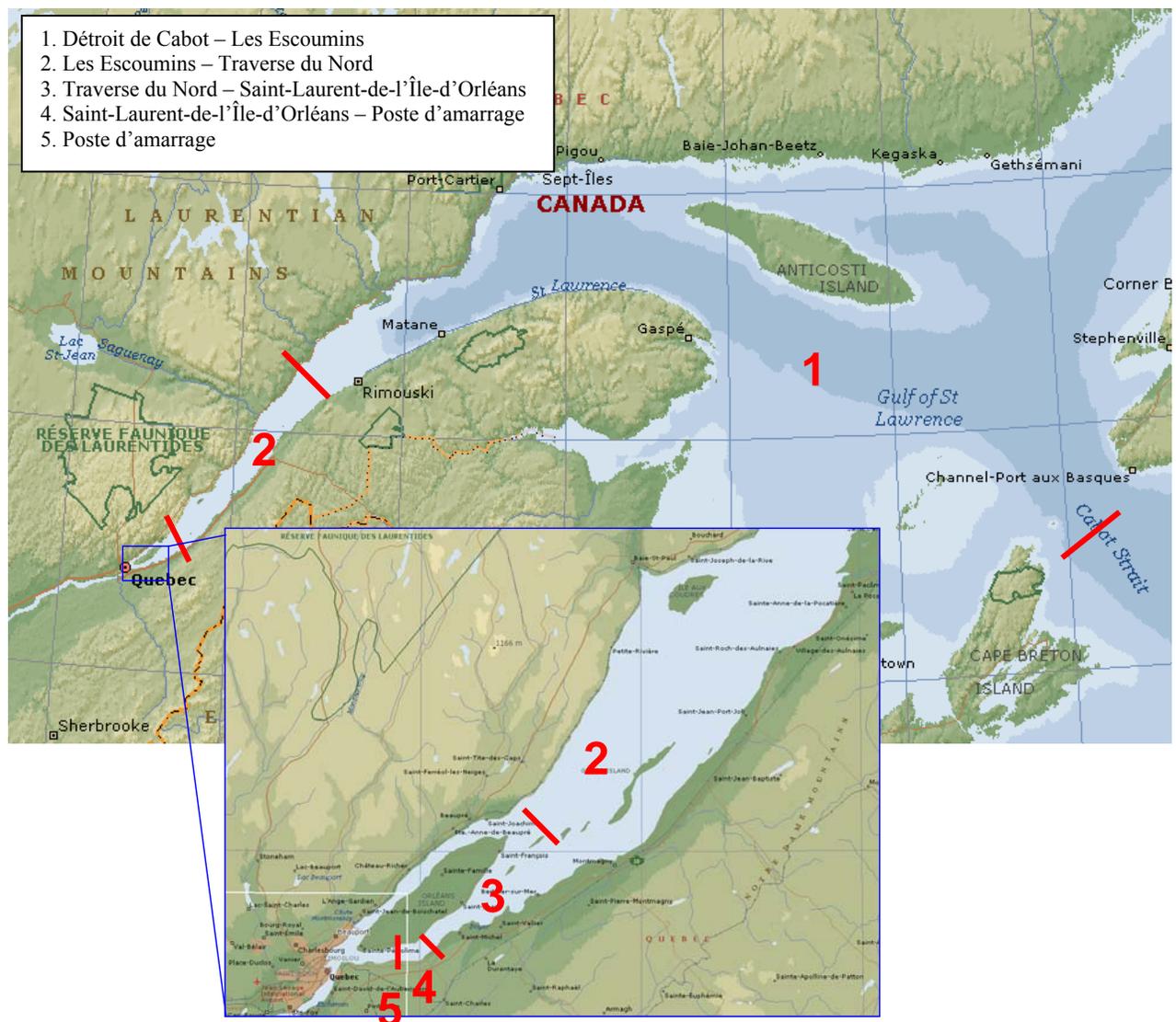


FIGURE 3.19 – LES CINQ TRONÇONS DE LA ROUTE DES MÉTHANIERES

RAPPORT TECHNIQUE

Tronçon 2 – De la station de pilotage des Escoumins à la traverse du Nord

À partir de la station de pilotage des Escoumins, tous les navires circulent près de la rive nord pour trouver des zones de navigation abritée et plus facile ainsi que pour échapper à la pression de la glace qui se trouve plus dans le sud de l'estuaire.

Quand un navire remonte le Saint-Laurent et prend un pilote à bord, il s'arrête ou ralentit au point d'embarquement, juste au large des Escoumins. On doit tenir compte tout particulièrement des navires qui se rassemblent dans cette zone d'embarquement. Bien qu'elle se trouve en eaux libres, la zone présente des risques de collision en raison de la convergence des navires à cet endroit. La méconnaissance de cette zone par les commandants ajoute au risque de collision, spécialement si la visibilité est réduite.

En amont des Escoumins, les navires qui ne remontent pas le Saguenay continuent le long du Saint-Laurent, au nord ou au sud de l'île Rouge. Les navires qui décident de prendre le chenal nord fondent leur décision sur les conditions dominantes du moment.

Le confluent du Saguenay et du Saint-Laurent est une zone de contre-courants. En outre, au cours des périodes chaudes et humides de l'été, un brouillard se forme lorsque les eaux plus chaudes à l'embouchure du Saguenay rencontrent les eaux froides du fleuve.

Les courants qui changent continuellement de direction et d'intensité dans cette zone peuvent avoir divers effets sur la trajectoire d'un navire. Les vents sont un facteur de dérive supplémentaire. Leur effet est encore plus marqué sur les navires qui avancent lentement ou qui ont une passerelle haute, obligeant le pilote à anticiper constamment les perturbations pour garder le cap.

Entre Les Escoumins et l'embouchure du Saguenay, l'estuaire est fréquenté par de nombreux petits navires de croisière, qui viennent pour l'observation des baleines de mi-mai à mi-octobre, ainsi que par des bateaux de plaisance à moteur et à voile.

Au-delà de l'embouchure du Saguenay, les passages navigables s'élargissent et les courants suivent généralement l'axe du chenal. À Saint-Siméon, spécialement en cas de brouillard, la présence du traversier de véhicules et de passagers qui assure le service régulier entre Rivière-du-Loup et Saint-Siméon oblige à la plus grande prudence. L'eau est très profonde le long de la rive nord. À 10 NM de Cap-aux-Oies et à 4 NM au large de La Malbaie, les chenaux nord et sud confluent près des hauts-fonds Morin. Les pilotes franchissent généralement les hauts-fonds Morin au sud quand ils se déplacent vers l'aval et au nord quand ils voyagent vers l'amont.

Au large de Pointe-au-Pic, dans la Réserve mondiale de la biosphère de Charlevoix, il y a une zone d'ancrage.

De Cap-aux-Oies à Québec, sur une distance d'environ 60 NM, le chenal se resserre, mais le trafic s'effectue dans la même direction. Il y a du brouillard, quoique pas autant qu'à l'embouchure du Saguenay, en particulier au printemps et au milieu de l'été.

RAPPORT TECHNIQUE

Entre Cap-aux-Oies et Cap-à-la-Baleine, le fleuve est très large sur une distance d'environ 5 NM. De Cap-à-la-Baleine vers l'amont, des roches cachées, des bancs et de petites îles divisent le fleuve en deux chenaux principaux :

- Le chenal Saint-Roch, qui longe la rive sud du fleuve et qui n'est plus ni entretenu, ni balisé, ni utilisé;
- Le passage de l'Île-aux-Coudres, qui passe au nord de l'île et qui forme une partie du chenal nord.

Ce dernier passage est suffisamment large pour assurer une navigation sans danger (il mesure environ 1 NM de largeur à son point le plus étroit). Ce passage suit une courbe très régulière avant d'obliquer brusquement vers le sud à l'extrémité ouest, à l'endroit le plus étroit. Par ailleurs, il faut surveiller attentivement le traversier qui fait la navette entre Saint-Joseph-de-la-Rive et L'Île-aux-Coudres. Quand on emprunte le passage de l'Île-aux-Coudres, on doit prendre des précautions exceptionnelles pour garder la droite du chenal, spécialement les plus petits navires, qui ont moins de puissance. Ces derniers devront souvent maintenir un angle de dérive pour compenser la force des courants transversaux. La nuit, les navires qui arrivent en sens inverse peuvent désorienter les navigateurs ignorants des conditions locales, parce que leurs feux latéraux n'indiquent pas nécessairement leur vraie trajectoire.

De l'extrémité ouest du passage de l'Île-aux-Coudres à Longue-Pointe, juste au-delà du cap Gribane, sur une distance de 19 NM, le chenal mesure au moins 1,5 NM de largeur.

Le chenal du nord se termine 5 NM à l'ouest du cap Grabane et puis devient la traverse du nord, qui coupe le fleuve et redirige le trafic vers des eaux plus profondes et plus ouvertes au sud de l'Île d'Orléans. Elle rejoint le chenal du sud pour former le chenal de navigation principal conduisant à Québec.

Zones de risque

Dans le tronçon 2, les secteurs où peuvent éventuellement se produire des échouements et des collisions sont ceux de l'île Rouge (embouchure du Saguenay) et de l'île-aux-Coudres. Les risques de collision sont présents dans les secteurs des Escoumins, de l'île Rouge et de l'île-aux-Coudres.

Tronçon 3 – De la traverse du Nord à l'embarquement du pilote lamaneur

Les travaux de dragage sont nécessaires dans la traverse du Nord afin de maintenir une profondeur minimale de 12,5 m. Le chenal sud n'est plus entretenu ni balisé et n'est pas utilisé pour la navigation commerciale.

La navigation dans ce chenal dragué, qui est peu profond et où l'effet des marées se fait ressentir, nécessite des précautions particulières. Dans le cas où des navires à fort tirant d'eau, comme les pétroliers d'Ultramar, sont utilisés, le moment du passage doit être choisi selon les marées afin d'assurer une profondeur d'eau suffisante. Pour les méthaniers, des profondeurs d'eau insuffisantes ne se rencontrent que 4 % du temps sur une année. De ce

RAPPORT TECHNIQUE

fait, il sera facile de s'assurer que la profondeur d'eau est suffisante dans la traverse du nord, sans conduire à des temps d'attente pour le méthanier.

Au-delà de la traverse du Nord, le chenal sud et le chenal principal convergent, et les eaux sont très profondes jusqu'à Québec. Le chenal principal s'étend du sud de l'île d'Orléans jusqu'au port de Québec.

À partir de l'extrémité ouest de l'île d'Orléans, le chenal suit une longue courbe, avec des courants transversaux à Lauzon. Quatre bouées délimitent l'espace navigable. A cet endroit, on a dépassé le terminal.

À l'équinoxe de printemps, une forte marée montante oblige les navires se déplaçant vers l'amont à se rapprocher de la rive nord. La règle est que les navires qui se déplacent dans l'une ou l'autre direction doivent toujours tenir leur droite.

La circulation est actuellement à double sens dans la traverse du Nord. Le chenal fait environ 300 m de largeur et les pilotes prennent toujours les navires dans les deux directions, tant l'été que l'hiver. Dans le cas de la traverse du Nord, les paramètres de navigation sont les suivants :

- une profondeur 12,5 m en basses eaux;
- des marées allant jusqu'à 6 m d'amplitude;
- un dégagement sous la quille (Distance verticale entre la quille d'un navire et le fond de l'eau) de 1,5 m en été et de 2 m en hiver;
- des courants allant jusqu'à 2 ou 3 nœuds.

Cela signifie que les navires à fort tirant d'eau (15-15,5 m) doivent attendre des marées de 4,5 m avant de pouvoir franchir la traverse du Nord. C'est le cas des pétroliers Suezmax d'Ultramar. Les méthaniers de tirant d'eau plus faible n'ont pas besoin d'attendre de telles marées.

C'est au pilote de décider de la distance entre les navires. Autrement dit, aucune distance de sécurité entre les navires qui passent par la traverse du Nord n'est actuellement prescrite.

Zones de risque

Le passage de la traverse du Nord représente un risque d'échouement et de collision. Toutefois, au cours de la période 1994-2003, seuls 2 ou 3 échouements se sont produits dans la traverse du Nord (voir le chapitre 6). Si le navire doit, pour une raison quelconque, annuler son transit par la traverse du Nord et faire demi-tour, cela est aussi considéré comme un risque potentiel.

Le niveau d'eau limité et le possible accroupissement des navires ajoutent également au risque (l'accroupissement est le phénomène d'augmentation du tirant d'eau avec la vitesse lors du passage dans des chenaux étroits et des chenaux peu profonds)

RAPPORT TECHNIQUE

Tronçon 4 – De l'embarquement du pilote lamaneur au poste d'amarrage de Ville-Guay

Quelques 4 NM séparent l'endroit où embarque le pilote lamaneur du poste d'amarrage du terminal. Cela représente environ une heure de trajet, remorquage et accostage compris. Un point important est le passage sous les câbles électriques entre l'île d'Orléans et Ville-Guay.

Zones de risque

Il est important de préciser que les dimensions des méthaniers utilisés pour atteindre la jetée de Rabaska respecteront le tirant d'air stipulé sur les cartes marines, à savoir 44 m au cours de la période d'hiver pendant laquelle la glace peut se former sur les câbles et 53 m en dehors de cette période. Par conséquent, puisque les méthaniers prévus pour Rabaska en hiver auront un tirant d'air inférieur à 44 m, et puisque des procédures d'approbation préalables et d'études de compatibilité seront mises en place pour tous les méthaniers qui viendraient au terminal, il n'y a aucun risque d'arc électrique en passant sous les câbles, quelque soit la marée et la période de l'année.

Tronçon 5 – Accostage, opérations à la jetée et appareillage

Dans toutes les conditions de fonctionnement plausibles, la vitesse d'approche finale du méthanier sera insuffisante pour assurer la maîtrise de sa direction. L'aide de remorqueurs est nécessaire. Les remorqueurs doivent également être disponibles au cas où le navire perdrait de la puissance au cours des manœuvres d'accostage.

Les manœuvres d'appareillage sont généralement moins délicates que les manœuvres d'accostage, puisqu'il n'y a pas à contrôler le contact de la coque avec les défenses du quai. De plus, le méthanier est assisté par des remorqueurs. La manœuvre doit être préparée avec autant de soin que l'accostage.

Une panne électrique au cours des manœuvres peut également se produire et entraîner des retards, mais pas de dommages, puisque le navire est remorqué.

Il est également important de contrôler et de surveiller le trafic des autres navires ou bateaux dans la zone du terminal pendant l'accostage et l'appareillage.

Zones de risque

Les deux dangers principaux à prendre en compte quand le navire se trouve à quai sont un rejet accidentel sur les bras de déchargement et un navire tiers entrant en collision avec le méthanier à quai. Il est important de s'assurer que les méthaniers en escale sont compatibles avec la jetée pour garantir un déchargement sécuritaire.

Au cours du déchargement, il se peut qu'il y ait des fuites au collecteur ou au bras de déchargement. Ces risques de fuite sont atténués par l'utilisation du système ERS et du dispositif PERC pour la déconnexion d'urgence des bras et la mise automatique en position repliée. Les dispositifs ERS/PERC sont conçus pour empêcher le rejet de GNL.

RAPPORT TECHNIQUE

La circulation dans la voie navigable n'est pas interrompue pendant que le méthanier est au poste d'amarrage, ce qui peut également présenter un risque. Une collision entre un navire et un méthanier à quai constituerait un événement important. Cependant, plusieurs circonstances doivent se rencontrer (vitesse/déplacement du navire abordeur, angle de l'impact) pour qu'il y ait des conséquences graves.

3.3.3. PILOTAGE SUR LE SAINT-LAURENT

L'historique du pilotage sur le Saint-Laurent est étroitement lié au développement de cette importante voie navigable intérieure et à la croissance économique des régions traversées, principalement entre les ports de Duluth au Minnesota (lac Supérieur) et Sept-Îles. Cette voie maritime s'étend sur quelque 3 770 km, de la tête du lac Supérieur au détroit de Cabot ou au détroit de Belle-Isle. Aujourd'hui, dans la région qui relève de la Corporation des pilotes du Bas Saint-Laurent (CPBSL), le pilotage est obligatoire entre Les Escoumins et Québec de même que le long de la rivière Saguenay jusqu'à Chicoutimi.

Les pilotes embarquent aux Escoumins. Pour les navires de tonnage plus élevé qui accostent à Québec, un pilote lamaneur monte à bord juste avant Québec. Dans le cas des navires qui dépassent Québec pour se rendre à des destinations en amont, un changement de pilote est effectué à Québec.

En été, sur tous les navires ayant un port en lourd de plus de 3 500 t (pavillon canadien) ou une longueur supérieure à 35 m (navires internationaux), il doit y avoir un pilote à bord en amont des Escoumins. En hiver, il doit y avoir en permanence deux pilotes sur tous les navires dont le port en lourd est supérieur à 3 500 t (pavillon canadien) et la longueur, de plus de 35 m (navires internationaux).

Les pétroliers qui ont un port en lourd supérieur à 40 000 t embarquent toujours deux pilotes, toute l'année.

L'hiver, à la demande de l'agent maritime, de l'armateur ou du commandant, un aviseur des glaces monte à bord du navire au détroit de Cabot et le guide jusqu'à la station de pilotage des Escoumins.

La Garde côtière canadienne (GCC) fournit les brise-glaces sur simple demande, s'ils sont disponibles. Toutefois, le pont de Québec a priorité. À notre connaissance, la GCC n'a jamais refusé d'aider les navires, avec pour seule priorité la sécurité et non les retards possibles des navires.

Les pilotes ont démontré leur expérience sur divers types de navires, y compris ceux qui ont un fort tirant d'eau.

RAPPORT TECHNIQUE

3.3.4. VITESSE

Il n'y a pas de limite officielle de vitesse entre le détroit de Cabot et Québec. C'est au pilote de décider d'une vitesse limite aux endroits où cela s'impose. La vitesse normale des méthaniers est de 19,5 nœuds.

Sur le plan des risques, la vitesse la plus basse (dans la glace) entraîne un moindre impact en cas d'accident, mais la maniabilité est alors réduite.

3.3.5. MOUILLAGE

Dans le cas du **mouillage normal**, soit le mouillage prévu en raison de conditions de vent ou de visibilité annoncées, il y a trois endroits désignés entre le détroit de Cabot et Québec :

- Ouest des îles NE des Rasades (en dehors de la période des glaces);
- pointe au Pic;
- Sault-au-Cochon.

Le seul **mouillage temporaire** désigné se trouve en amont de la traverse du Nord, plus précisément au Sud-Ouest du récif de l'île Madame (Est de la pointe Saint-Jean).

Autrement, le mouillage temporaire est possible le long de la majeure partie du trajet entre le détroit de Cabot et la traverse du Nord. De plus, il y a des endroits pour le mouillage d'urgence dans le golfe du Saint-Laurent. Toutefois, le long de l'île aux Lièvres, le mouillage n'est pas possible en raison d'une trop grande profondeur.

La profondeur maximale de mouillage est d'environ 100 m. Quand il y a de la glace, le nombre de points de mouillage est réduit, ce qui augmente le risque de dérive non contrôlable.

3.3.6. REMORQUEURS (URGENCES ET ACCOSTAGE) ET BRISE-GLACES

Selon les *Admiralty Sailing Directions*, des remorqueurs sont disponibles aux endroits suivants (cf. figure 3.20) :

- Sept-Îles et Port-Cartier (deux remorqueurs);
- Baie-Comeau (deux remorqueurs), à environ 80 NM en aval des Escoumins;
- Cap-aux-Oies (plus d'un remorqueur);
- Port-Alfred (deux remorqueurs), sur la rivière Saguenay, à environ 50 NM en amont de son embouchure;
- Québec (trois remorqueurs, bientôt quatre).

RAPPORT TECHNIQUE



FIGURE 3.20 – LOCALISATION DES REMORQUEURS

Les remorqueurs mentionnés ne seront utilisés qu'en cas **d'urgence**, sauf les remorqueurs de Québec, qui seront utilisés également pour les manœuvres.

On considère en général que la route détroit de Cabot–Québec est suffisamment couverte par les remorqueurs. On peut établir divers scénarios quant au temps nécessaire pour qu'un remorqueur rejoigne un méthanier, mais en principe cela ne prendra jamais plus de 10-12 heures (en supposant que la vitesse de croisière du remorqueur est de 12 nœuds et que la distance à parcourir est d'au maximum 120 NM). Dans le golfe du Saint-Laurent toutefois, cela peut prendre plus de temps avant qu'un remorqueur n'arrive.

Néanmoins, avec un méthanier pris dans la glace, l'utilité des remorqueurs est considérée comme limitée. Le risque supplémentaire que représente un remorqueur (en faisant obstacle au navire) annule en partie son avantage.

Si le navire perd sa propulsion et commence à dériver à un endroit où le mouillage est impossible, il risque de s'échouer. Au cours de l'hiver, la pression de la glace pourrait menacer les flancs du navire, en particulier dans le golfe et sud de l'estuaire (Voir section 5.3, point (12)).

Les remorqueurs utilisés pour les manœuvres **d'accostage et d'appareillage** viendront de Québec. Les brise-glaces se trouvent à Québec.

RAPPORT TECHNIQUE

3.4. Description des conditions météorologiques et nautiques

3.4.1. MARÉES ET COURANTS DE MARÉE À VILLE-GUAY

En général, les marées et les courants de marée sont des paramètres importants pour la navigation. Le texte qui suit résume les conditions rencontrées.

3.4.1.1. Marées

Les marées influent sur les niveaux d'eau du Saint-Laurent jusqu'à Trois-Rivières. Les marées sont semi-diurnes, ce qui signifie qu'il y a deux cycles de marée complets par jour, qui ne se manifestent que par de petites différences de hauteur. Dans le cas de la région de Québec, l'amplitude de la marée atteint 6 m :

Niveau d'eau moyen :	2,5 m
Amplitude de la marée :	
Marée moyenne :	4,7 m
Grosse marée :	6,2 m
Niveaux d'eau extrêmes :	
Bas :	- 0,8 m
Haut :	7,0 m

Sources : Tableaux canadiens de marée et de courants, Service hydrographique du Canada, 2003).

3.4.1.2. Courants de marée

Les courants de marée sont influencés principalement par la bathymétrie, mais également par le profil de densité des masses d'eau attribuable aux changements de température et à la salinité. Les courants de marée dans l'estuaire du Saint-Laurent ne suivent pas une configuration simple. On peut trouver la configuration des courants de marée dans l'*Atlas des courants de marée* (Service hydrographique du Canada, 1977). Le tableau suivant résume les vitesses pour la zone de Ville-Guay. Toutefois, on peut observer que les courants loin des rives et des obstacles sont également dynamiques, ayant des plages de vitesse semblables dans toutes les zones de Québec à la rivière Saguenay.

Vitesse maximale du jusant :	3 nœuds
Vitesse maximale du flot :	2,5 nœuds

Source : Roche /14/

RAPPORT TECHNIQUE

Risques liés aux marées et aux courants de marée

Les courants de marée et les marées influent sur les manœuvres d'accostage et d'amarrage. Cependant, les marées et courants de marée rencontrés ne représentent pas un risque pour ce projet

3.4.2. VENT À VILLE-GUAY

L'annexe 5 montre les indicateurs clés des directions mensuelles du vent sur le Saint-Laurent dans le secteur de Ville-Guay.

Le vent est plus fort de décembre à mai, avec une vitesse moyenne de 20 à 24 km/h. Selon l'usage en vigueur dans l'industrie du GNL, la vitesse du vent ne doit pas dépasser 25 nœuds (46 km/h) pour les manœuvres d'accostage et d'appareillage.

Dans le secteur de Ville-Guay, le vent atteint cette vitesse en moyenne trois jours par an, au cours de l'hiver. Par conséquent, les manœuvres peuvent être interrompues en hiver trois jours seulement selon les statistiques. De ce fait, le vent ne devrait pas poser de problème particulier du fait que le site est bien abrité et que le vent souffle principalement dans l'axe du fleuve et du poste d'amarrage.

Risques liés aux vents violents

Les vents sont à l'origine des risques potentiels suivants :

- retards dans la navigation;
- interruption du déchargement;
- dérive.

3.4.3. TEMPÉRATURE À VILLE-GUAY

La figure 3.21 montre la température moyenne de l'air à Québec. L'été ne présente pas de problèmes pour le navire ni pour l'équipage, mais l'hiver peut représenter un défi, en particulier pour l'équipage.

Les températures maximale et minimale quotidienne sont les plus haute et plus basse températures enregistrées en 24 heures. La température moyenne est la moyenne des deux. Les températures maximale et minimale extrêmes sont les températures maximale et minimale enregistrées pendant toute la durée des relevés (données disponibles depuis les années 1940/1950 pour la plupart des mois).

RAPPORT TECHNIQUE

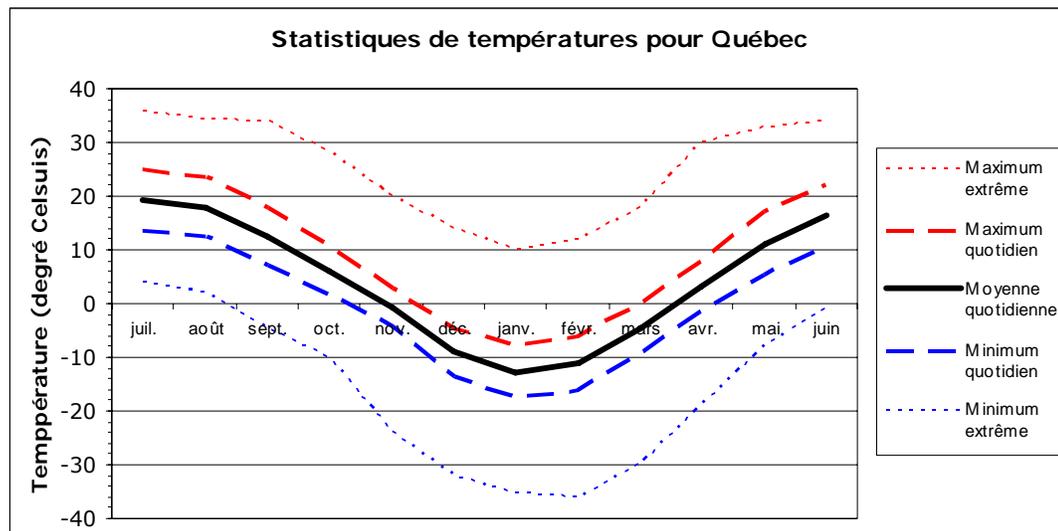


FIGURE 3.21 – TEMPÉRATURE MOYENNE DANS LA RÉGION DE QUÉBEC

Source : Environnement Canada, Bureau de la météorologie.

Si on prend en compte le facteur de refroidissement éolien, les activités extérieures de décembre à mars peuvent être très difficiles (voir la figure 3.22).

Risques liés aux températures extrêmes

Les basses températures peuvent avoir des effets sur l'équipage, dont les suivants :

- possibilité de gelures au visage, aux mains et aux pieds;
- entrave et ralentissement des mouvements dus à de nombreuses couches de vêtements et aux gants;
- changement fréquent de vigie, interruption du travail;
- tentation d'éviter les travaux à l'extérieur.

Les conditions techniques d'exploitation peuvent également subir les effets des températures extrêmes, qui peuvent entraîner :

- des problèmes possibles avec les événements, les gaines, les ouvertures, etc.;
- une fonctionnalité réduite des tuyaux en caoutchouc, des treuils et du matériel apparenté;
- la formation de glace sur le pont et sur l'accastillage;
- La fonctionnalité réduite ainsi que, dans certains cas extrêmes, la présence de glace sur le pont et sur la superstructure peuvent réduire la stabilité du navire.

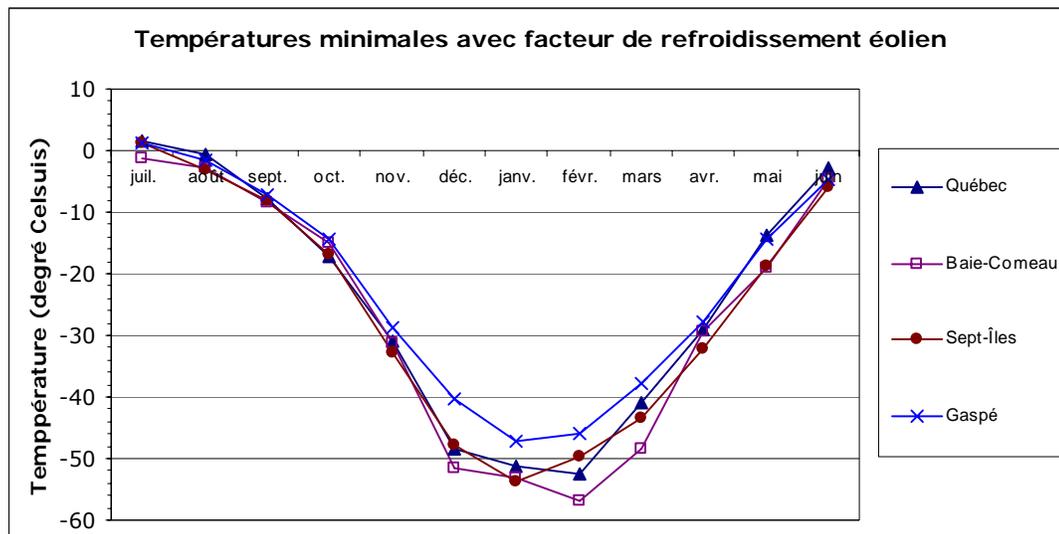


FIGURE 3.22 – TEMPÉRATURE MOYENNE AVEC REFROIDISSEMENT ÉOLIEN DANS LA RÉGION DE QUÉBEC

Source : Environnement Canada, Bureau de la météorologie.

3.4.4. VISIBILITÉ À VILLE-GUAY

La visibilité générale, exprimée en fréquence de visibilité inférieure à 1 km, est indiquée sur les tableaux climatologiques du Saint-Laurent (Environnement Canada, 1994) :

Janvier – juillet :	< 5 %
Août :	5 %
Septembre-décembre :	< 5 %

Les mois de juillet et août présentent les plus mauvaises conditions de visibilité. Les conditions limites ne surviennent toutefois que durant de courtes périodes, généralement de 2 à 6 heures, et jusqu'à 10 ou 12 heures durant les épisodes de brouillard plus longs.

On a retenu une valeur de 1 mille nautique (1,852 km) comme limite minimale de visibilité pour les manœuvres sûres. C'est la distance en usage dans l'industrie du GNL, de plus, elle correspond approximativement à la distance entre les câbles électriques d'Hydro-Québec et la jetée et à la largeur du fleuve.

Risques liés à une mauvaise visibilité

Une mauvaise visibilité rend la navigation plus difficile. Il est plus difficile d'évaluer les sons, les distances et les mouvements, et les autres navires voient moins bien l'arrivée du méthanier. Toutefois, des aides électroniques existent depuis des décennies et, si la visibilité est trop basse pour l'accostage, le navire ne vient pas à quai.

En conclusion, la visibilité ne devrait pas présenter une contrainte pour l'exploitation maritime dans le cadre du projet Rabaska, mais en règle générale on adoptera la limite minimale de 1 NM.

RAPPORT TECHNIQUE

3.4.5. VAGUES À VILLE-GUAY

La présence de glace au cours de l'hiver limite la formation de vagues. Les caractéristiques approximatives des vagues à Ville-Guay sont les suivantes :

Pourcentage de vagues dépassant 1,5 m de hauteur:	0,02 % (0,5 h par saison) ¹
Période maximale correspondante (1,5 m de hauteur) :	5-6 s

Source : Roche /14/

Ainsi, les conditions des vagues se situent dans des limites acceptables au site proposé. La hauteur maximale des vagues pour l'accostage, l'appareillage et les opérations à quai (amarrage, connexion et déconnexion des bras) est de 1,5 m, selon l'usage en vigueur dans l'industrie du GNL. Ces conditions ne se rencontrent pas dans le secteur de Ville-Guay.

Risques liés aux vagues

Les méthaniers sont sensibles aux vagues dont la période est de 9 s et plus, qui entraînent un roulis excessif. En raison du caractère naturellement abrité du port de Québec, de telles vagues ne sont pas à redouter et ne représenteront pas un risque pour les méthaniers.

3.4.6. LIMITES MÉTÉOROLOGIQUES

Le tableau suivant donne les limites météorologiques généralement adoptées pour les projets de GNL. Il a été élaboré par les industriels sur la base de 40 ans d'expérience.

¹ Période du 1^{er} avril au 31 décembre.

RAPPORT TECHNIQUE

Activité	Vitesse du vent (nœuds)	Hauteur des vagues (m)	Visibilité (NM)	Courant (nœuds)
Accostage	< 25	< 2	> 1	Propre au site
Conception du système d'amarrage conformément au critère de l'OCIMF	60	S.o. (port abrité)	S.o.	3 à 0° 2 à 10° trois quarts par le travers
Suspension du déchargement	> 35	> 2	S.o.	S.o.
Déconnexion des bras	> 40	> 2	S.o.	S.o.
Reprise du déchargement	< 35	< 2	S.o.	S.o.
Appareillage	< 25	< 2	> 1	Propre au site
Départ d'urgence	À déterminer. La pratique de l'industrie du GNL requiert une étude des conditions de départ d'urgence du navire.			

Comme on peut le voir à partir des sections 3.4.1 à 3.4.5, aucun de ces critères n'est susceptible de créer de problèmes particuliers dans le cadre du projet. Toutefois, à ce jour, aucun projet de GNL n'a été réalisé dans des eaux couvertes de glace, avec risque de pression sur la coque des navires durant le transport ou au poste d'amarrage. Il faut donc fixer des conditions limites pour la glace (voir la section 3.4.7).

Les promoteurs ont confirmé que les méthaniers seront construits avec une cote glace selon les règles de la baltique, et qu'ils seront donc capables de se déplacer dans un chenal ouvert par les brise-glaces. Toutefois, ces navires n'auront pas de cote glace selon les règles de l'arctique, qui correspond à la capacité de brise-glace. Par conséquent, le navire au poste d'amarrage doit être protégé contre la pression des glaces.

3.4.7. CONCENTRATION DE GLACE SUR LE SAINT-LAURENT (EN AVAL DE QUÉBEC)

Une étude complète des glaces a été menée en 2003 pour Gaz Métropolitain par Paul Croteau et ses collaborateurs (/16/). L'étude prenait en compte une série de sites le long du Saint-Laurent, y compris dans le secteur de Ville-Guay. Des extraits de cette étude sont utilisés à titre de référence dans la présente section.

RAPPORT TECHNIQUE

3.4.7.1. Régime des glaces dans l'estuaire du Saint-Laurent

Une description générale du régime des glaces dans l'estuaire du Saint-Laurent est tirée d'un document non publié de Philip W. Cote préparé pour Environnement Canada. Bien que le document soit daté de 1985, la description est toujours valable et donne un bon aperçu initial (la mise en gras est de DNV) :

« On peut diviser cette zone en deux sections; le chenal profond et relativement large à l'**est de la rivière Saguenay** et le chenal peu profond confiné de la **rivière Saguenay à Québec** où les îles et les hauts-fonds sont très courants. La glace commence à se former en premier lieu dans les endroits abrités peu profonds, les ports et les ruisseaux puis s'étend vers la mer. Cette formation initiale commence normalement autour de Québec vers la première moitié de décembre, mais elle ne se propage pas à l'est de la rivière Saguenay avant la fin du mois. En raison des courants et des vents dominants, cette formation de glace s'étend plus rapidement vers l'est le long du côté sud de l'estuaire de la rivière. En général, la glace recouvre toute la surface au début du mois de janvier.

« De la glace peut demeurer attachée à la rive, c'est ce qu'on appelle la banquise côtière, et elle sera délogée ultérieurement ou demeurera en place pour se détériorer au cours de la fonte du printemps. La glace restante dérive généralement vers l'aval sous l'influence des vents dominants et des courants locaux. La banquise côtière peut être bien formée aux endroits peu profonds et derrière les îles. Quand le temps doux accompagne les marées du printemps, de grandes étendues de cette glace couverte de neige épaisse peuvent se fractionner pour former ce qu'on appelle localement la glace de batture. Elle forme de gros obstacles pour la navigation et présente des difficultés en raison de leur dimension et masse.

« La **banquise côtière** est normalement établie au cours des mois d'hiver dans les baies et les ports le long de la rive nord, de Forestville à Baie-Comeau et également de Rivière-Pentecôte à Sept-Îles. La banquise côtière est également commune dans les endroits peu profonds et abrités, et derrière les îles de la partie ouest de l'estuaire. Au cours des hivers froids, elle influe de façon importante sur les conditions à Pointe-aux-Orignaux, entoure les îles de Kamouraska et s'étend vers l'extérieur de la ligne de rivage pour atteindre le Gros Cacouna et le côté sud de l'île Verte. Cela commence normalement au début de janvier et peut persister jusqu'à mi-mars. Ailleurs, la banquise côtière est confinée avant tout aux ports.

« Les vents dominants du nord-ouest ainsi que la force de Coriolis ont tendance à diriger continuellement la banquise vers la rive sud, d'où une plus grande prédominance de quantités importantes de glace et de glaces épaisses. Les zones de glace neuve et grise sont abondantes le long de la rive nord. La glace déformée en crêtes, en chevauchements et en hummocks est également

RAPPORT TECHNIQUE

beaucoup plus fréquente le long de la rive sud que le long de la rive nord parce qu'il y a davantage d'amoncellement et de pression. L'épaisseur totale de glace dans une crête est de l'ordre de quatre fois la hauteur de la crête. On trouve également de la glace déformée le long de la rive nord, mais moins souvent et généralement dans les glaces plus jeunes et plus minces.

« La **couverture de glace**, qui est relativement étendue en janvier, demeure plus ou moins constante en février puis diminue assez rapidement au cours du mois de mars. Le premier signe de débâcle au printemps est l'élargissement de la polynie à l'embouchure du Saguenay vers le milieu du mois. Une grande partie de l'estuaire du Saint-Laurent redevient libre de glace au début d'avril, exception faite de sa (partie) la plus occidentale et au large de Québec, où la dernière glace fond normalement au milieu du mois d'avril.

« Le début de la prise des glaces et la fonte complète des glaces peuvent varier fortement d'une année à l'autre. On sait que la glace peut commencer à se former au large de Québec dès la troisième semaine de novembre ou tarder jusqu'à la fin du mois de décembre. Au cours d'un printemps précoce, une grande partie de l'estuaire du fleuve est dégagée dès la deuxième semaine de mars. Inversement, on a déjà vu de la glace au large de Québec au début de mai. »

Voici les caractéristiques d'un hiver type dans l'estuaire du Saint-Laurent (au large de Québec, la glace commence à se former plus tôt qu'ailleurs) :

Date de la première glace (hâtive/moyenne) :	11 déc. / 20-25 déc.
Date de l'eau libre persistante (moyenne/tardive) :	27 mars - 1 ^{er} avril / 16-23 avril
Longueur de la période de glace (moyenne/ plus longue) :	90-100 jours / 120 jours
Plus forte probabilité de présence de banquise côtière, date :	31 % (15 % pour la région de Matane), mi-février (mi-fin mars pour Matane)
Présence normale de conditions de glace maximales :	Première quinzaine de février
Proportion moyenne de chaque type de glace, quand la glace est présente :	Nouvelle glace : 13-20 % Glace grise : 20-25 % Glace blanchâtre : 29-36 % Glace de première année : 29-32 %

Sources : Tableaux de glace de décembre 1959 à avril 1985 (Cote, 1985).

Par conséquent, c'est en janvier, en février et en mars que les conditions de glace peuvent être les plus difficiles et que des précautions particulières doivent être prises.

RAPPORT TECHNIQUE

3.4.7.2. Conditions de glace à Ville-Guay

On peut trouver de la glace de rive sur la rive sud dans le secteur de Lévis-Beaumont. Les grands fonds sont accessibles très près du rivage, mais la glace ne s'étend pas trop loin dans le fleuve. Comme la profondeur de l'eau augmente rapidement, la banquise côtière ne se forme pas loin dans le fleuve. Pour la même raison, il ne se forme pas beaucoup de banquise côtière aux promontoires, mais il s'en forme dans les baies de chaque côté (voir plus loin). Les courants variables et rapides aident à garder le passage libre de glace.

La présence d'une jetée stabiliserait la banquise côtière vers l'amont, mais il n'y aurait pas d'empiètement sur le fleuve au-delà du dernier duc-d'albe de protection. L'association de l'eau profonde et des marées crée une discontinuité au bord de la couverture de glace, qui se fractionne à marée basse et peut demeurer échouée jusqu'à la prochaine marée haute ou après plusieurs cycles de marée. La glace fractionnée s'éloigne alors en flottant, créant ainsi un mouvement dynamique de glace qui n'occasionne jamais de pression.

La navigation aux alentours de Ville-Guay n'a jamais été interrompue en raison des conditions de glace. C'est également le cas du site d'Ultramar, exploité depuis 34 ans sans blocage dû à la glace.

Les conditions de glace au large de Ville-Guay doivent par conséquent être considérées comme très bonnes et ne nécessitent pas de digue portuaire, contrairement à d'autres endroits de la rive sud. Le site de Ville-Guay est naturellement abrité.

L'expérience d'Ultramar (Cf. section 3.4.7.6) renforce l'idée qu'il n'est pas nécessaire de construire un brise-lames au site de Ville-Guay pour le protéger contre la pression de la glace.

3.4.7.3. Épaisseur de la banquise côtière aux environs du port de Québec

L'épaisseur de la banquise côtière est mesurée à 135 endroits du Canada depuis 1955. Voici un résumé des conditions de glace autour de Québec :

- Épaisseur maximale : 95-105 cm
- Épaisseur moyenne : 38-40 cm
- Écart type autour de la moyenne : 32-35 cm

Ces résultats sont une moyenne des données de glace du cap Rouge (sur la rive nord, à l'ouest du pont de Québec) et de Beauport (à l'est du port de Québec), sur une période de 8 ans (cap Rouge) et de 17 ans (Beauport).

3.4.7.4. Grands floes

Il est très peu probable de rencontrer de grands floes (plaques de glace de 500 à 2 000 m d'extension) à Ville-Guay en raison de la gestion active effectuée par la Garde côtière

RAPPORT TECHNIQUE

canadienne (GCC) et de la circulation des navires jusqu'à Québec et Montréal, qui brisent continuellement la glace.

3.4.7.5. Banquise

Il peut y avoir de la banquise au nord de Ville-Guay, avec des concentrations types de 7/10 à 10/10. Toutefois, la banquise est rarement poussée contre la rive sud, du fait que cette portion du fleuve est protégée contre les vents de nord-ouest par le relief de l'île d'Orléans. Les courants de marée, généralement de 2,5 à 3 nœuds, maintiennent la glace en mouvement. Par conséquent, on n'envisage aucun problème dû à la pression de la glace sur tout le trajet jusqu'à Ville-Guay (à l'exception du golfe du Saint-Laurent) et pendant le temps passé à quai.

3.4.7.6. Terminal d'Ultramar

Ultramar exploite un terminal maritime qui sert à l'importation de pétrole brut pour sa raffinerie de Saint-Romuald ainsi qu'à l'exportation de produits raffinés. L'étude des conditions de glace à l'emplacement de ce terminal a permis d'évaluer toutes les possibilités en situation réelle. Le bilan est largement positif, puisqu'on ne dénombre aucune journée d'interruption en raison de conditions de glace au cours des 34 dernières années.



FIGURE 3.23 – CONDITIONS DE GLACE AU TERMINAL D'ULTRAMAR

RAPPORT TECHNIQUE

Glace côtière

Il y a rarement une couverture de glace complète devant le terminal où les navires doivent manœuvrer. Toutefois, la jetée et les ducs-d'albe de protection obstruent l'écoulement d'eau et de glace, ce qui stabilise la banquise côtière jusqu'au bord intérieur du quai. Comme les navires vont et viennent selon un cycle de trois à quatre jours, l'entretien du quai est effectué régulièrement avec un seul remorqueur. Les brise-glaces ne sont pas nécessaires.

Grands floes

Les grands floes n'ont jamais été un problème au terminal d'Ultramar, parce qu'ils sont fractionnés par les brise-glaces avant d'atteindre le site. Les plus grands amas qui rejoignent le site mesurent de 20 à 100 m.

Banquise

La zone qui se trouve devant le terminal d'Ultramar est souvent chargée de glace, parfois tassée contre le rivage. Toutefois, en raison de la force des courants de marée, il suffit d'un remorqueur, aidé par les eaux qui refoulent, pour évacuer la glace de la zone de manœuvres. Au début de la saison, la banquise s'accumule loin en amont des ducs-d'albe, puis se stabilise en créant une protection contre les impacts directs provenant de l'amont. Une masse de glace arrivant serait déviée vers le centre du fleuve, très probablement en évitant le quai et le navire amarré.

RAPPORT TECHNIQUE

3.5. Densité de la population

La densité de population sur chaque rive du Saint-Laurent est en général basse, de 0 à 30-40 habitants par kilomètre carré. Certaines villes et localités ont une densité de population supérieure, mais elles sont rares. On ne trouve de zones très peuplées que dans les secteurs de Québec et de Lévis. Les données sur la densité de la population utilisées dans le calcul des risques sont tirées de l'*Atlas du Canada* en ligne ^{17/}. L'atlas donne des chiffres de densité de population pour toutes les régions le long du parcours des méthanières, depuis le détroit de Cabot jusqu'au terminal projeté. Les cartes de densité de population sont utilisées dans cette évaluation. On trouvera un exemple de ces cartes à la figure 3.24 et davantage de cartes à l'annexe 7.

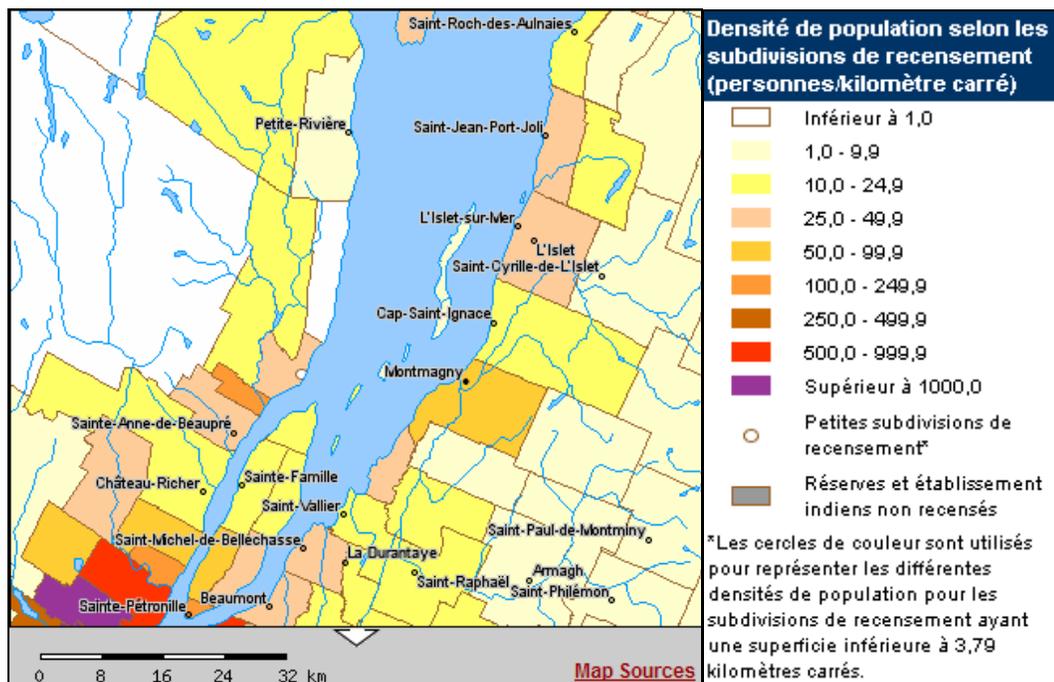


FIGURE 3.24 – DENSITÉ DE LA POPULATION LE LONG DU SAINT-LAURENT (EN AVAL DE QUÉBEC)

RAPPORT TECHNIQUE

3.6. Bilan des dangers

On trouvera ci-dessous un bref résumé des risques à prendre en compte sur le trajet suivi par les méthaniers du détroit de Cabot à Québec. Une description supplémentaire et une évaluation suivent au chapitre 5 de la présente étude.

Sujet / Cause	Danger potentiel	Évaluation et mesures d'atténuation possibles
Excursionnistes et plaisanciers	Collision ou échouement en essayant d'éviter la collision	Contrôle du trafic Planification du voyage
Croisement et rencontre du trafic (traversiers, bateaux de pêche, navires marchands)	Collision ou échouement en essayant d'éviter la collision	Information de l'équipage des traversiers et formation de l'équipage des méthaniers Contrôle du trafic, distances minimales de croisement Planification du voyage
Appareillage d'urgence, annulation de l'accostage	Échouement, collision, retards, heurts avec un îlot de fondation d'un pylône d'Hydro-Québec	Procédure pour interrompre les manœuvres Limites météorologiques Présence et utilisation de remorqueurs
Panne de machine (black-out)	Échouement, collision, retard	Utilisation de remorqueurs Systèmes redondants Programme d'inspection des navires, procédures d'entretien Distances minimales de croisement
Défaillance de l'amarrage	Échouement, collision, retard	Utilisation d'un remorqueur de réserve Procédures d'amarrage Systèmes redondants
Défaillance de mouillage	Échouement, collision	Procédures de mouillage Contrôle du trafic Dimension de la zone de mouillage
Visibilité (brouillard, neige)	Échouement, collision, retard	Limites météorologiques Utilisation de pilotes, aides à la navigation Distances minimales de croisement

RAPPORT TECHNIQUE

Sujet / Cause	Danger potentiel	Évaluation et mesures d'atténuation possibles
Vent	Échouement, heurts avec la jetée	Procédures, limites météorologiques Assistance des remorqueurs Distances minimales de croisement
Courants	Échouement, collision	Formation de l'équipage et des pilotes, limites météorologiques, planification du voyage Contrôle du trafic
Température extrême (froid)	Erreur humaine, fonctionnalité réduite Dommages à la coque et à l'équipement en raison des basses températures Fiabilité réduite du matériel technique	Procédures pour opérer par temps froid Réchauffage de la double coque Renforcement de la coque
Embruns Embruns au cours de l'hiver	Risque de blessures pour l'équipage, erreur humaine Givrage des ponts exposés Fiabilité réduite du matériel Stabilité réduite	Équipement adapté aux conditions spéciales Formation de l'équipage Notation de classe spéciale pour le méthanier
Frasil	Obstruction des prises d'eau, panne, perte de propulsion	Système de recirculation de l'eau, système de nettoyage des prises d'eau à la vapeur
Langue	Mauvaise communication	Pilote à bord
Opérations à quai (transfert de la cargaison de GNL)	Retard, épandage de GNL	Procédures, système d'arrêt d'urgence, système de déconnexion d'urgence

RAPPORT TECHNIQUE

Dangers particuliers liés à la glace et mesures d'atténuation possibles

Activité	Danger dû à la glace	Conséquences	Évaluation et mesures d'atténuation possibles
Navigation du détroit de Cabot au terminal projeté	Eaux couvertes de glace Chenal de navigation plus étroit	Retard Avaries à la coque Navire coincé	Limites opérationnelles pour la glace Formation de l'équipage sur la glace Prévisions des glaces Utilisation d'une route abritée de glaces Utilisation du brise-glace Utilisation d'un aviseur de glace Méthanier avec cote glace appropriée
Accostage	Poste d'amarrage bloqué par les glaces	Impossibilité d'approcher le quai et de s'amarrer	Limites opérationnelles pour la glace : escale reportée si risque lié à la glace Conception du poste d'amarrage Port abrité Utilisation de remorqueurs pour briser la glace et déglacer le quai
Opération à quai	Floes à la dérive vers le navire Glace soumise à la pression	Tension dans les amarres. Rupture des amarres, dérive du navire, échouement Dommages aux bras de déchargement, épandage de GNL et risque cryogénique Avarie à la coque	Limites opérationnelles pour la glace : escale reportée si risque lié à la glace Conception du poste d'amarrage Port abrité Méthanier avec cote glace appropriée
Appareillage	Pression de la glace	Navire pris dans la glace Impossibilité d'appareiller	Limites opérationnelles pour la glace : escale reportée si risque lié à la glace Conception du poste d'amarrage Port abrité

3.7. Comparaison avec l'évaluation des risques faite par les pilotes

L'Administration de pilotage des Laurentides (APL) a entrepris en 2002 un processus public pour évaluer le risque lié au pilotage sur le Saint-Laurent. L'organisme Stratégies Saint-Laurent (www.strategiessl.qc.ca) a été chargé de mener une étude sur ces risques. Voici les principaux dangers recensés par les pilotes dans le cadre de cette étude :

- profondeur d'eau limitée;
- courbes du fleuve (moindres entre Québec et le détroit de Cabot qu'en amont de Québec);
- marée (6 m à Québec) et courant (le courant a parfois un caractère changeant);
- conditions climatiques :
 - brouillard, gel;
 - neige;
 - vent fort, bourrasques;
- aides à la navigation et feux (parfois recouverts de neige et de glace en hiver);
- dimension des navires jusqu'à 300 m de longueur (ce qui est sans conséquence entre le détroit de Cabot et Québec);
- manœuvrabilité des navires;
- tirant d'eau des navires, dégagement sous la quille;
- les équipements autonomes (bridge contrôles), l'obsolescence;
- conception et visibilité du navire (particulièrement les navires porte-conteneurs);
- déplacement des navires et dimensions de l'aire de navigation (souvent restreinte par les marinas et autres obstacles);
- chargement (produits toxiques, produits chimiques, liquides, etc.);
- navigation de nuit;
- langues de communication;
- aspects commerciaux, contraintes de temps;
- fatigue.

Ces éléments de risque ont déjà été pris en considération dans l'évaluation des risques des différents tronçons de la route empruntée par les méthaniens (voir la section 3.3) et ils le sont aussi dans d'autres parties de cette étude. Ainsi, les pilotes confirment les éléments de risque déjà retenus par Rabaska et n'en mentionnent pas de nouveaux. En revanche, des

RAPPORT TECHNIQUE

éléments de risque associés au méthaniers n'ont pas été traités dans l'étude auprès des pilotes, mais ont bien été inclus dans l'analyse des risques de Rabaska.

4. CRITÈRES RECOMMANDÉS D'ÉVALUATION DES RISQUES

Il n'existe aucun critère d'acceptabilité reconnu internationalement pour l'évaluation des risques liés au transport maritime (route de navigation). Toutefois, divers organismes recommandent des critères d'acceptabilité des risques qui, une fois rassemblés, permettent de définir des critères d'acceptabilité pour la navigation des méthaniers.

Le risque a été quantifié en utilisant les catégories de probabilité et de gravité, comme on le décrit aux deux tableaux suivants.

Niveau de probabilité	Fréquence indicative (par an)	Description	Période de retour (années)
A	10^{-2}	Possible Occurrence assez probable pendant la durée de vie de l'installation	100
B	10^{-3} à 10^{-4}	Rare Occurrence peu probable pendant la durée de vie de l'installation	1 000 – 10 000
C	10^{-5}	Très rare Tellement rare que la situation ne devrait pas se rencontrer	100 000
D	10^{-6}	Extrêmement improbable Ne se produira probablement jamais	1 million
E	10^{-7} et moins	Négligeable Négligeable, très faible probabilité	10 millions

TABLEAU 4.1 – NIVEAUX DE PROBABILITÉ

Niveau de gravité	Conséquences indicatives	Description
1	Aucun décès	Mineure
2	De un à quelques décès	Majeure
3	Plusieurs décès	Critique
4	Nombreux décès	Catastrophique

TABLEAU 4.2 – NIVEAUX DE GRAVITÉ

RAPPORT TECHNIQUE

On évalue alors le risque de chaque scénario d'accident en se fondant sur les évaluations des fréquences (voir le chapitre 6) et des conséquences (voir le chapitre 7). Les résultats sont présentés dans une matrice de risque (voir la figure 4.1). L'axe horizontal (abscisse) est la gravité ou la conséquence d'un accident, tandis que l'axe vertical (ordonnée) est la vraisemblance d'un accident.

Le risque a été classé en trois catégories, représentées par trois zones de couleur dans la matrice de risque.

Risque acceptable ou négligeable (zone blanche)

Quand un scénario est dans la zone négligeable, cela signifie qu'il a peu de conséquences et/ou que sa probabilité d'occurrence est faible. Dans ce cas, aucune mesure de sécurité supplémentaire n'est requise pour réduire le risque.

Risque à surveiller / à réduire ou zone ALARP (zone jaune)

Le terme ALARP signifie "As Low As Reasonably Practicable", c'est-à-dire "Aussi faible que raisonnablement possible". Quand un scénario est dans la région ALARP, cela signifie que des mesures de sécurité pour réduire le risque doivent être prises aussi longtemps que cela est raisonnablement possible. C'est un principe important dans le domaine de la gestion des risques afin de donner la priorité aux investissements dans les mesures de sécurité les plus efficaces pour diminuer le niveau de risque d'une installation;

Risque inacceptable (zone rouge)

Quand un scénario se situe dans cette zone, cela signifie que des mesures de sécurité doivent être prises pour réduire le risque, quel qu'en soit le prix, afin de ramener le niveau de risque du scénario dans la zone du risque à réduire (ALARP), voire si possible dans la zone du risque négligeable ou acceptable.

RAPPORT TECHNIQUE

		GRAVITÉ			
		1 Mineure	2 Majeure	3 Critique	4 Catastrophique
PROBABILITÉ	A Une occurrence tous les 100 ans			Risque inacceptable	
	B Une occurrence tous les 1 000 à 10 000 ans				
	C Une occurrence tous les 100 000 ans				
	D Une occurrence tous les 1 000 000 années			Risque acceptable si ALARP	
	E Une occurrence tous les 10 000 000 années	Risque négligeable			

FIGURE 4.1 – MATRICE DE RISQUE

5. IDENTIFICATION DES DANGERS

Dans ce chapitre, on évalue les scénarios d'accident liés au déplacement de méthaniers en direction et en provenance du terminal projeté de Ville-Guay.

5.1. Objectifs de l'identification des dangers (HAZID)

Une partie importante de l'étude d'identification des dangers consiste à établir divers scénarios qui pourraient provoquer un événement indésirable. Ces événements seront alors utilisés comme base pour élaborer les scénarios d'accident. En ce qui concerne les modèles de risque, les paramètres qui doivent être utilisés sont généralement les fréquences et les conséquences de ces scénarios.

Dans le cas du projet Rabaska, on a utilisé une méthode type de détermination des dangers, soit la méthode HAZID (HAZard IDentification). Fondée sur l'utilisation d'un groupe de travail, cette méthode est couramment employée dans l'industrie pour la détermination et l'évaluation des scénarios de danger et elle est largement considérée comme la meilleure pratique en vue d'assurer la validité, l'exactitude et l'exhaustivité d'une étude de ce type.

L'annexe 6 contient le rapport HAZID intégral, y compris les comptes rendus détaillés des réunions de groupe, mais on en trouvera un résumé à la section 5.3. Les objectifs particuliers de l'exercice HAZID étaient les suivants :

- Détermination des incidents plausibles mettant en cause le navire qui pourraient entraîner la perte de confinement du GNL, y compris les événements multiples où un événement initial peut mener à un événement plus grave.
- Pour chaque incident, détermination de cas de rejets réalistes qui peuvent en découler, compte tenu des dispositifs de protection existants ainsi que des pratiques, des procédures et des autres contrôles habituellement mis en œuvre.

L'intervention d'urgence et son efficacité n'étaient pas inclus dans la portée de l'exercice.

5.2. Méthodologie

HAZID est un remue-méninges complet, systématique et multidisciplinaire axé sur le travail collectif. Il nécessite la participation d'une équipe d'experts qui évaluent les dangers pouvant résulter de défaillances potentielles ou d'erreurs déterminées par eux. En répondant aux questions relatives à des écarts réalistes par rapport au fonctionnement normal d'un système ou au déroulement d'une manœuvre, l'équipe évalue la vraisemblance d'un incident, ses conséquences potentielles ainsi que l'adéquation des dispositifs de protection qui empêcheraient ou atténueraient de telles conséquences.

RAPPORT TECHNIQUE

Processus HAZID

Afin de faciliter ces discussions, on a utilisé la liste de vérification suivante pour déterminer l'éventail des causes potentielles de rejet de GNL :

- collision dans le fleuve;
- échouement;
- collision contre une structure fixe;
- dangers naturels;
- glace menaçant les flancs du navire;
- dangers liés aux opérations;
- déchargement;
- terrorisme;
- perte d'intégrité d'une cuve;
- incendie à bord;
- autres.

À l'intérieur de ces catégories d'incident, on a pris en compte les tronçons maritimes suivants :

- approche des eaux côtières par le détroit de Cabot;
- navigation dans le golfe du Saint-Laurent sans pilote;
- navigation dans les passages étroits avec pilote;
- manœuvre au voisinage de la jetée avec le pilote lamaneur;
- opérations à quai.

On a dressé une liste de vérification HAZID propre au projet en se fondant sur une revue des accidents relatifs au GNL dans le monde entier, et l'expérience de l'industrie du GNL et des évaluations de risques mené par DNV ainsi que sur une revue des principes de conception et d'exploitation des méthaniers. Une attention particulière a été portée aux conséquences des opérations relatives au GNL dans les eaux couvertes de glace.

La méthode HAZID comprend plusieurs étapes itératives :

- (1) choisir un tronçon maritime;
- (2) définir les conditions normales de fonctionnement;
- (3) déterminer un écart par rapport aux conditions normales de fonctionnement en appliquant un système de mots guides ou de questions;

RAPPORT TECHNIQUE

- (4) déterminer les causes possibles et les conséquences de l'écart. Un écart peut être considéré comme significatif s'il a une cause plausible et peut se traduire par des conséquences préjudiciables;
- (5) dans le cas d'un écart significatif, déterminer quels sont les dispositifs de protection et décider quelles mesures sont éventuellement nécessaires;
- (6) enregistrer la discussion et les actions.

On répète les étapes 3 à 6 jusqu'à que tous les mots guides et questions aient été utilisés et que l'équipe soit assurée que tous les écarts significatifs aient été pris en compte. Quand tous les mots-guides ou questions ont été épuisés, l'équipe retourne à l'étape 1 et répète le processus pour le tronçon suivant. On a appliqué cette méthode à la lettre pour le tronçon 1, mais on a procédé « par exception » pour les tronçons 2 à 5, pour lesquels seules les questions jugées différentes de celles du tronçon 1 ont été traitées.

Afin de déterminer tous les dangers pertinents, les résultats des études effectuées à ce jour ont été examinés. En particulier les résultats du projet JSP mené par DNV /13/. On a aussi mené des entrevues avec les parties prenantes et les pilotes (CPBSL incluse), en plus de consulter d'autres sources écrites.

Probabilité d'un événement ou d'un scénario

Afin de porter des jugements sur la probabilité d'un événement ou d'un scénario, il est nécessaire de prendre en considération cette probabilité en tenant compte à la fois de la fréquence potentielle de l'élément déclencheur, du déroulement de l'événement et des dispositifs de sécurité existants.

Dans le cadre du HAZID initial, les questions utilisées pour définir la probabilité d'un événement sont les suivants :

- Cela pourrait-il arriver à un méthanier?
- Est-il possible que cela arrive à la prochaine génération d'activités GNL, compte tenu des améliorations de la conception des installations ?

Les fiches HAZID, à l'annexe 6, utilisent trois niveaux d'« évaluation qualitative du risque » pour les scénarios décrits — faible, moyen, élevé —, tant pour la probabilité d'événement que pour les conséquences éventuelles.

Équipe HAZID

Le cumul des expériences est une caractéristique essentielle qui détermine la qualité des résultats d'une séance HAZID. Pour le projet Rabaska, une équipe formée de représentants des promoteurs et d'experts de DNV a permis de réunir un éventail complet et représentatif de disciplines et d'expériences. DNV estime que l'équipe formée pour l'exercice cumulait un vaste ensemble de connaissances relatives à la fois au risque et au GNL. L'équipe comprenait :

- Ole Vidar Nilsen, expert des risques DNV

RAPPORT TECHNIQUE

- Wilhelm Chr. Magelssen, secrétaire DNV
- Tom Arne Bakken, animateur DNV
- Jason Clifton-Samuel, expert GNL DNV
- Jean Lemonnier, expert GNL Gaz de France
- Capitaine Philippe Bor, expert en navigation, ex-commandant de méthaniers

L'atelier HAZID a eu lieu pendant deux jours à Londres en octobre 2004, les résultats ont été par la suite analysés à l'interne par DNV.

5.3. Résultats principaux de l'HAZID

En se fondant sur tous les dangers recensés au cours de l'étude HAZID, on s'est efforcé de regrouper les dangers relatifs au transit des navires par catégories pertinentes et de présenter chacune sur un formulaire de registre des dangers (il s'agit d'avant-projets de fiches HAZID). Un registre des dangers donne une vue d'ensemble plus systématique des dangers et permet une meilleure description ainsi qu'une meilleure évaluation de chaque danger pour les scénarios spécialisés. Le registre des dangers est utilisé comme base pour l'évaluation de chaque danger, notamment pour le processus de classement et d'évaluation des risques. Par la suite, on a utilisé une matrice de risque pour visualiser et quantifier l'évaluation des risques effectuée dans le cadre du processus de classement. C'est sur cette base que se fondait la décision d'inclure ou non un danger en vue d'une évaluation détaillée des risques.

Dans le cas du projet Rabaska, on a déterminé les événements accidentels possibles, notamment :

- (1) collision dans le fleuve ou à la jetée;
- (2) échouement;
- (3) collision contre une structure fixe;
- (4) dangers d'origine naturelle (Courants, vents forts, glace - navire coincé dans les glaces par exemple -, etc.)
- (5) fausse manœuvre;
- (6) dangers liés aux opérations de déchargement;
- (7) terrorisme;
- (8) fuite de cuve (perte de confinement);
- (9) incendie à bord du méthanier;
- (10) incendie à proximité du méthanier;
- (11) naufrage;

RAPPORT TECHNIQUE

- (12) Navire coincé dans les glaces;
- (13) dérive d'hydrocarbures provenant d'un autre navire;
- (14) autres – effet domino.

Ces scénarios d'accident sont décrits plus en détail ci-dessous; l'annexe 6 donne une revue détaillée des scénarios les plus pertinents.

(1) Collision entre navires dans le fleuve ou à la jetée

Un navire de 30 000 à 150 000 TPL qui heurte le méthanier est considéré comme le plus grave événement plausible. Une collision frontale aurait l'impact le plus important; toutefois, ce n'est pas jugé plausible étant donné qu'en dernier recours le commandant essaierait d'éviter une collision en changeant de cap (on dénombre historiquement très peu de collisions frontales).

Le scénario retenu met en jeu un deuxième navire de masse suffisante, de 30 000 à 150 000 TPL, qui frappe le méthanier sur le côté. Dans le pire des cas, le méthanier serait immobilisé à la jetée et devrait donc absorber une plus grande énergie d'impact que s'il était en route.

Le risque de perte de confinement serait également influencé par l'emplacement de l'impact. Le pire des cas serait un impact situé à l'équateur d'une sphère, car c'est là où la paroi de la cuve de GNL est le plus près de la coque. Dans le cas d'un impact sur un navire à membrane, il y a moins de variation liée à la position du point d'impact. On estime que, pour créer une brèche de l'ordre de 250 mm à 750 mm dans la double coque et la cuve, il est nécessaire d'avoir une déchirure d'environ 3 m dans la coque extérieure. Des perforations et des brèches suite à un enfoncement sont plausibles.

On ne juge pas plausible que l'impact fasse éclater une cuve de GNL. On estime également qu'une brèche dans une cuve conserverait approximativement les mêmes dimensions pendant toute la durée du rejet et n'entraînerait pas la rupture totale du confinement.

Les collisions avec des navires de très grandes dimensions (très gros porteurs et superpétroliers) sont jugées non plausibles, étant donné que ces navires n'empruntent actuellement pas la voie maritime du Saint-Laurent. Par conséquent, la fréquence à laquelle un méthanier peut rencontrer un tel navire est nulle.

Les plus gros navires à prendre en compte sont généralement de 150 000 TPL.

Dans le cas des navires plus petits, de 5 000 à 30 000 TPL et ceux de moins de 5 000 TPL, la fréquence de collision peut être plus élevée, mais on juge peu probable que l'impact contre le méthanier soit assez fort pour créer une brèche dans la coque double et la cuve de GNL.

Deux types de collision sont pris en compte : dans le fleuve et à la jetée.

Le déversement de mazout lourd provoqué par la collision est également une conséquence possible, mais c'est la même pour tous les navires qui circulent dans le Saint-Laurent. Le

RAPPORT TECHNIQUE

transport de GNL n'augmentera pas ce risque de façon importante, c'est pourquoi il n'est pas traité plus en détail dans l'évaluation des risques.

(2) Échouement

L'événement d'échouement le plus grave qui soit plausible consiste à heurter un écueil au milieu de la coque d'un navire à membrane. On estime également qu'un navire peut heurter latéralement un chenal dragué rocheux. Les données indiquent qu'une double coque offre une protection efficace : 88 % des chocs entraînent une perforation pénétrant à moins de 2 m à l'intérieur de la coque externe. Les méthaniers ont en général un dégagement de plus de 2 m entre la coque externe et la cuve de confinement. Un échouement à 12 nœuds pourrait par conséquent être considéré comme l'équivalent d'un dommage par collision au-dessous de la ligne de flottaison.

Un déversement de mazout est une conséquence possible de l'échouement d'un méthancier, mais son importance est moindre qu'avec d'autres navires de même puissance qui naviguent dans le Saint-Laurent. En effet, le méthancier utilise une partie de sa cargaison comme carburant et transporte moins de mazout à puissance équivalente. La circulation de méthaniers n'augmentera donc pas ce risque de façon importante, ce dernier n'est pas traité plus en détail dans l'évaluation des risques.

(3) Collision contre une structure fixe

L'événement de collision maximal plausible est un méthancier qui heurte un objet noyé, submergé ou flottant. Toutefois, on estime qu'un petit impact ne causerait pas de brèche dans la cuve de GNL et qu'un impact important ne serait pas pire qu'un échouement.

Une collision avec la jetée aurait lieu à basse vitesse et ne causerait pas de brèche dans le confinement.

Le choc contre un pylône d'Hydro-Québec n'est pas jugé plausible en raison des dimensions de l'îlot de fondation, qui protège le pylône, et en raison de la basse vitesse du méthancier à cet endroit.

(4) Dangers naturels

Actuellement, on estime qu'aucun danger naturel ne pourrait causer de perte de confinement qui serait plus grave que les événements déjà mentionnés. La foudre est un événement plausible, mais elle est prise en compte dans la conception d'un navire et les règles opérationnelles. Par exemple, les opérations de transfert de la cargaison sont suspendues au cours d'une période de risque de foudre.

(5) Fausses manœuvres

On n'a déterminé aucun problème maximal plausible résultant de fausses manœuvres. Les cas suivants ont été pris en compte, mais ils ne sont pas jugés plausibles en raison de la

RAPPORT TECHNIQUE

compétence de l'équipage, du temps de progression de l'événement et des éventuels dispositifs de protection :

- largage de GNL en mer;
- entrée d'air dans les cuves de GNL (atmosphère explosive);
- fonctionnement intempestif des pompes de déchargement;
- entrée d'eau entre les coques provoquant des problèmes de confinement.

Un basculement de couches dans les cuves, phénomène constaté dans les réservoirs terrestres, n'est pas plausible en raison du brassage occasionné par les vagues et de la pureté du GNL transporté.

Le risque que le navire coule en raison du noyage de la salle des machines n'a pas été jugé plausible en raison de la bonne flottabilité des méthaniers.

(6) Déchargement

L'événement maximal plausible lié au déchargement consiste en un éloignement du quai subit en raison de la poussée des glaces qui provoquerait une défaillance du bras de déchargement. Au cours du déchargement, si le navire s'écarte, la protection PERC entre en jeu. Bien que tous les terminaux ne soient pas équipés de PERC, le terminal projeté en comportera un. On juge possible que certains dispositifs d'arrêt d'urgence soient désarmés à cause d'une défektivité. On considère qu'un rejet au débit de déchargement (12 000 m³/h) peut se produire pendant une minute.

(7) Terrorisme

Un certain nombre d'événements potentiels liés au terrorisme ont été retenus. DNV a évalué les conséquences de ce qui est considéré comme étant l'impact maximum d'un acte terroriste, c'est à dire une brèche importante dans une cuve du navire (cf. section 7.2).

(8) Fuite d'une cuve

Les fuites de cuve sont considérées comme des événements plausibles, mais on estime qu'elles ne progresseront pas rapidement et que des dispositifs de protection suffisants sont en place pour localiser le problème avant une perte catastrophique. La contribution au risque total est considérée comme négligeable.

(9) Incendie à bord du méthanier

Bien qu'un GPLier ait récemment été perdu en raison d'un incendie dans la salle des machines, la plupart des incendies qui se déclarent à cet endroit y restent confinés, sans conséquences pour la cargaison. La contribution au risque total est considérée comme négligeable.

RAPPORT TECHNIQUE

(10) Incendie à bord d'un navire adjacent

Un incendie à bord d'un navire adjacent pourrait causer des problèmes en cas de propagation du feu, ou en cas de modification du trajet du navire et un échouement potentiel si le méthanier cherche à éviter de se rapprocher du navire en feu. La contribution au risque total est considérée comme négligeable.

(11) Naufrage

Un navire coule en raison d'une entrée d'eau pouvant provoquer, par exemple, le noyage de la salle des machines. L'événement maximal plausible dans le cas où un navire chavirerait ou coulerait est par conséquent le naufrage avec rejet possible de GNL. Toutefois, la flottabilité inhérente aux méthaniers empêche le navire de couler. La contribution au risque total est considérée comme négligeable.

(12) Emprisonnement dans les glaces

Du tronçon 2 au tronçon 5, le méthanier navigue près de la rive nord du Saint-Laurent à travers une glace ouverte par le trafic maritime. On ne rencontre de grandes étendues de glace que dans le golfe du Saint-Laurent.

Il est arrivé que de petites embarcations soient prisonnières des glaces dans le golfe du Saint-Laurent en raison de leur manque de puissance. Ces navires peuvent couler en raison de l'endommagement par la glace, mais il n'est pas possible que la glace endommage un méthanier aussi gravement. La glace peut toutefois entraîner des retards importants et un échouement éventuel surtout pour les navires qui naviguent en dehors des conditions contrôlées du chenal du nord. Un échouement survenu dans ce contexte ne sera probablement pas grave, parce que la vitesse de dérive sera relativement faible. La contribution au risque total est considérée comme négligeable.

Par ailleurs, un navire pourrait éventuellement être pris dans les glaces lorsqu'il est à quai. Néanmoins, cela ne risque pas d'arriver à Ville-Guay en raison du mouvement dynamique de la glace dans la partie abritée du port de Québec, comme on le constate à l'installation d'Ultramar existante.

(13) Dérive d'hydrocarbures provenant d'un autre navire

Bien qu'il puisse nuire à l'environnement, ce type d'événement ne causerait aucun dommage particulier au navire ni la jetée, à condition que la nappe d'hydrocarbures ne soit pas en feu. Cependant, le risque d'un tel événement (présence d'hydrocarbure et de feu) est considéré comme négligeable.

(14) Autres – Effet domino

Un autre événement important envisageable consiste en une aggravation d'un incendie ou d'une explosion sur une installation maritime ou terrestre sur le trajet du méthanier. Il y a la

RAPPORT TECHNIQUE

possibilité d'impact sur le navire résultant de la proximité d'un accident dans une installation terrestre ou, plus vraisemblablement, dans une installation en mer. Aucune installation potentiellement dangereuse ne se rencontre le long du trajet dans les eaux du Saint-Laurent. De plus, la distance entre les installations terrestres du terminal et la jetée élimine tout risque d'effet domino entre le terminal et le navire.

5.4. Scénarios d'accident plausibles

L'évaluation qualitative des événements d'accident plausibles amène à conclure que seuls quatre événements présentent un risque élevé ou moyen en raison, soit de leurs probabilités d'occurrence, soit de leurs possibles conséquences. Seuls ces accidents à risque élevé ou moyen sont évalués plus en détail dans cette étude (voir les sections 6 à 8).

Ainsi, les événements d'accident évalués dans l'évaluation quantitative du risque (EQR) sont les suivants :

- échouement;
- collision dans le fleuve;
- collision à quai (navire tiers qui entre en collision avec le méthanier à quai)
- défaillance du bras de déchargement.

Les détails de l'évaluation de la fréquence des accidents et l'analyse des conséquences sont donnés dans les sections suivantes.

RAPPORT TECHNIQUE

Risque élevé	Risque moyen	Risque faible
2. Échouement	1a. Collision dans le fleuve 1b. Collision à quai	3. Collision contre une structure fixe
	6. Déchargement	4. Dangers d'origine naturelle
		5. Fausses manœuvres
		7. Terrorisme
		8. Fuite de cuve (perte de confinement)
		9. Incendie à bord du méthanier
		10. Incendie à bord d'un navire adjacent
		11. Naufrage
		12. Emprisonnement dans les glaces
		13. Dérive d'hydrocarbures provenant d'un autre navire
		14. Autres – Effet domino

TABLEAU 5.1 – ÉVALUATION QUALITATIVE DU NIVEAU DE RISQUE DES DANGERS IDENTIFIÉS

Source : DNV/GDF (Hazid).

6. ÉVALUATION DES FRÉQUENCES

Le chapitre 6 présente les calculs de fréquence des accidents pour quatre types d'événements :

- Échouement (navire propulsé ou navire à la dérive);
- Collision dans le fleuve durant le trajet du navire, à l'aller ou au retour;
- Collision causée par un autre navire alors que le méthanier est à quai;
- Défaillance de l'amarrage ou du bras de déchargement alors que le méthanier est à quai.

On traite d'abord de l'échouement et des collisions dans le fleuve, puis des collisions à quai et de la défaillance du bras de déchargement. Dans le premier cas, on a séparé l'évaluation des fréquences selon qu'il y a présence ou non de glace sur l'eau.

6.1. Statistiques d'accidents relatives à l'échouement et aux collisions

Le tableau 6.1 présente la fréquence d'échouement et de collision pour les méthaniers et d'autres types de navires, d'après la base de données sur les accidents maritimes du Lloyds Register Fairplay (LRFP), la plus complète au monde. Le calcul de ces fréquences repose sur les données concernant :

- les méthaniers pour la période 1978-2002. Un sous-ensemble sur la période 1990-2002 a été considéré pour effectuer une comparaison avec les autres types de navire;
- les pétroliers à double coque de plus de 10 000 TPL entre 1990 et 2002;
- les navires porte-conteneurs de plus de 100 TJB entre 1990 et 2002;
- les transporteurs de produits chimiques de plus de 5 000 TPL entre 1990 et 2002.

Type d'accident	GNL (1978-2002)	GNL (1990-2002)	Pétroliers à double coque (1990-2002)	Porte-conteneurs (1990-2002)	Transporteurs de produits chimiques (1990-2002)	Valeur choisie Opérations GNL
Échouement	$5,7 \times 10^{-3}$	-	$6,5 \times 10^{-3}$	$8,6 \times 10^{-3}$	$8,4 \times 10^{-3}$	6×10^{-3}
Collision	$1,4 \times 10^{-2}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$9,1 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-2}$	$9,4 \times 10^{-3}$	1×10^{-2}
Total	$2,0 \times 10^{-2}$	$4,4 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-2}$

TABLEAU 6.1 – FRÉQUENCES ANNUELLES D'ÉCHOUEMENT ET DE COLLISION

Sources : Lloyds Register Fairplay (LRFP) et analyse de DNV.

RAPPORT TECHNIQUE

Les fréquences utilisées dans la présente analyse apparaissent dans la colonne « Valeur choisie – Opérations GNL » et sont une moyenne pondérée des autres fréquences. La figure 6.1 montre les périodes de retour dérivées des fréquences d'échouement et de collision.

À première vue, une fréquence d'échouement ou de collision de $1,6 \times 10^{-2}$, soit 1 fois tous les 62 ans par bateau, peut sembler assez élevée. Considérant une flotte mondiale de 170 méthaniers, cela signifie deux ou trois collisions ou échouements chaque année. Toutefois, la fréquence ne renseigne aucunement sur les conséquences de ces événements, au sujet desquelles l'historique des méthaniers nous apprend qu'elles demeurent très limitées. À titre de comparaison, 1 collision sur 14 avec un pétrolier entraîne une fuite de pétrole, tandis que seulement 1 échouement sur 60 cause un déversement de pétrole dans l'environnement.

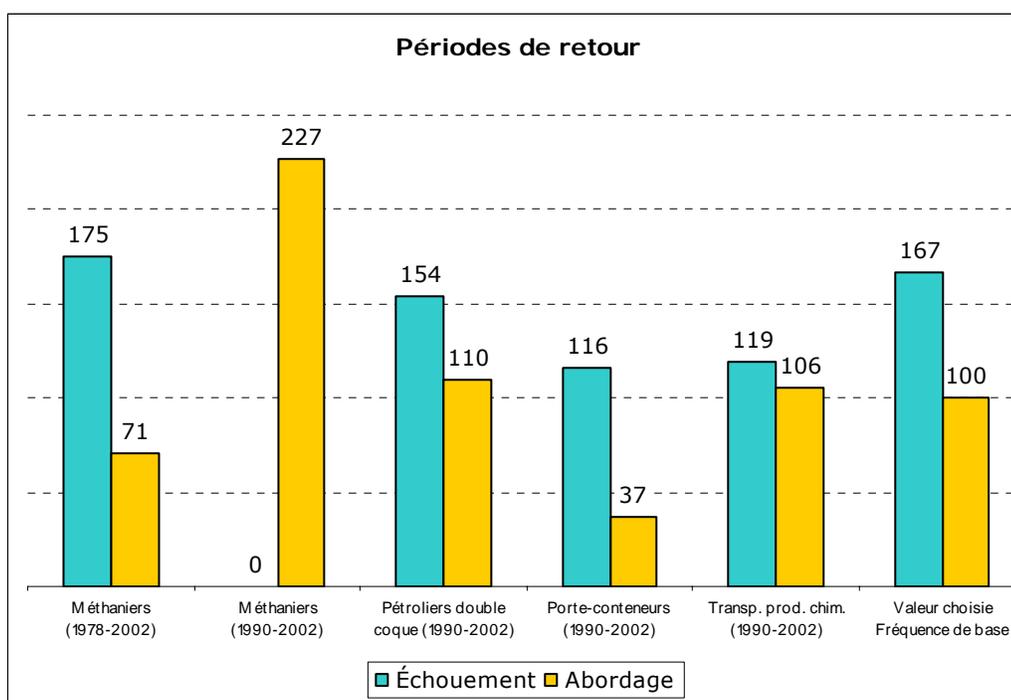


FIGURE 6.1 – PÉRIODE DE RETOUR DES ÉCHOUEMENTS ET DES COLLISIONS EN FONCTION DES TYPES DE NAVIRES CHOISIS

Sources : LRFP et analyse de DNV.

Les fréquences d'accident varient quelque peu selon le type de navire. Cette variation dépend de plusieurs facteurs : structures commerciales différentes, degré de conscience en matière de sécurité qui varie en fonction des activités et inégalité des compétences des équipages, pour n'en citer que quelques-uns. La manœuvrabilité change également d'un type de navire à l'autre, mais ne suffit pas à expliquer les différences observées entre les fréquences d'accident.

RAPPORT TECHNIQUE

Les statistiques du LRFP font état d'un nombre limité d'accidents impliquant des méthaniers dans la période 1990-2002. Cet ensemble de données s'avère donc trop limité pour constituer une base de calcul statistiquement valable. Bien que la fréquence calculée d'accidents de méthaniers entre 1978 et 2002 soit nettement plus élevée pour cette période, le nombre d'accidents dans cette période reste trop limité pour servir de base de calcul. On s'est donc servi des statistiques d'accidents concernant les autres types de navires comme base de comparaison afin d'éviter d'utiliser pour le calcul des fréquences d'accidents des valeurs trop élevées ou trop basses. La colonne de droite présente les fréquences d'accidents choisies pour réaliser la présente étude. Ces valeurs doivent être considérées comme une évaluation prudente. Les fréquences retenues ici serviront de point de départ à la modélisation des fréquences d'échouement et de collision relatives à une éventuelle circulation de méthaniers sur le Saint-Laurent.

6.2. Échouement

Selon les statistiques mondiales du LRFP, la fréquence d'échouement se situe à environ 6×10^{-3} par navire-année (en moyenne un accident tous les 167 ans). L'échouement est le résultat soit d'une erreur en matière de navigation (échouement d'un navire propulsé), soit d'une défaillance du système de propulsion ou de l'appareil à gouverner (échouement d'un navire à la dérive), la première s'avérant la cause dominante avec 80 % des accidents — toujours selon les statistiques mondiales. Toutefois, en ce qui concerne la navigation sur le Saint-Laurent, on s'attend à ce que les défaillances du système de propulsion ou de l'appareil à gouverner représentent un pourcentage plus important des échouements, car le chenal se trouve relativement proche du rivage dans sa dernière portion et qu'ainsi toute perte de propulsion ou de direction entraînerait un échouement dans un laps de temps restreint.

Dans les sections suivantes, on décrit le modèle retenu pour le calcul de la fréquence d'échouement, en tenant compte des facteurs qui influent de manière significative sur cette dernière.

6.2.1. MODÉLISATION DE LA FRÉQUENCE D'ÉCHOUEMENT

La fréquence d'échouement établie à partir du LRFP correspond à la fréquence moyenne d'échouement pour la flotte mondiale de méthaniers. Afin d'obtenir une fréquence spécifique au fleuve Saint-Laurent (entre le détroit de Cabot et Québec) et à la route d'approche des méthaniers vers le terminal projeté, la fréquence de base a été corrigée à l'aide de certains facteurs « locaux ». Puis, cette seconde fréquence adaptée a fait l'objet d'une comparaison avec les statistiques d'accidents pour le Saint-Laurent. Sur la base de cette comparaison, on a pu établir la fréquence d'échouement finale.

La probabilité d'échouement n'est pas répartie uniformément le long de la route maritime allant du détroit de Cabot à Québec. Dans la description faite par les pilotes, on fait mention de certains secteurs préoccupants ou « zones de risque » en ce qui a trait au risque

RAPPORT TECHNIQUE

d'échouement. On a par conséquent divisé le parcours en quatre tronçons et évalué la fréquence d'échouement séparément pour chacune. Le tronçon 5 comprend l'accostage et les opérations de déchargement, et n'est pas inclus dans le modèle. Le tronçon 4 correspond à l'approche finale du poste d'amarrage sous escorte des remorqueurs, et l'échouement est alors très peu probable. Pour une description précise de chaque tronçon, voir la section 3.3.

Au tableau 6.1, la fréquence d'échouement est de $6,0 \times 10^{-3}$ par navire-année. Cette fréquence est convertie en fréquence d'échouement moyenne par mille marin (NM) pour l'approche du navire au terminal méthanier. Le tableau 6.2 montre le calcul. On estime qu'un méthanier type se trouve en mer 65 % du temps et navigue à une vitesse moyenne de 17 nœuds, ce qui donne une distance totale parcourue de 96 798 NM. Il s'agit là du parcours moyen d'un méthanier selon les données mondiales. On suppose de plus qu'en moyenne le navire passe 10 % de son temps total en mer dans des zones côtières, où un échouement peut se produire. On obtient alors une fréquence d'échouement de $6,2 \times 10^{-7}$ par mille marin.

Fréquence d'échouement (mondiale)	$6,0 \times 10^{-3}$ par an
Distance parcourue	96 798 NM par an
Distance parcourue en zone côtière	10 %
Fréquence d'échouement	$6,2 \times 10^{-7}$ par NM et par an

TABLEAU 6.2 – FRÉQUENCE D'ÉCHOUEMENT MOYENNE PAR MILLE MARIN

Source : Analyse de DNV.

Dans les sections qui suivent, la fréquence d'échouement totale par tronçon de route se calcule en multipliant la fréquence d'échouement par NM par la distance de parcours dans chaque tronçon et par les facteurs de correction. On obtient ainsi une fréquence d'échouement spécifique au Saint-Laurent. La fréquence d'échouement se trouve ensuite séparée en échouement de navire propulsé et en échouement de navire à la dérive (panne ou perte de propulsion). On a ensuite procédé à d'autres évaluations qui tiennent compte ou non de la présence de glace.

6.2.2. ÉCHOUEMENT D'UN NAVIRE PROPULSÉ

On corrige la fréquence d'échouement d'un navire propulsé en fonction de la route d'accès au terminal (nombre de changements de cap, distance du rivage), des paramètres de conduite du navire (pilote, Services du trafic maritime) et des difficultés de navigation (visibilité, signalisation, courants, trafic). Le calcul s'effectue de la manière suivante :

$$F_{\text{échouement-tronçon } x} = F_{\text{base}} * D \text{ [NM]} * K_{\text{route}} * K_{\text{conduite}} * K_{\text{difficulté navigation}}$$

RAPPORT TECHNIQUE

F_{base}

F_{base} est la fréquence moyenne mondiale par NM, réduite de 20 % pour tenir compte du fait qu'environ 20 % de tous les échouements sont des échouements de navires à la dérive : $5,0 \times 10^{-7}$ ($6,2 \times 10^{-7} * 0,8$).

D [NM]

D [NM] est la distance en NM parcourue dans chacun des quatre tronçons de la route maritime à l'aller et au retour.

K_{route}

Le nombre de changements de cap (**K_{route}**) influence la fréquence d'échouement puisque le navigateur doit intervenir à chaque changement de direction pour ne pas que le navire s'échoue. Le caractère critique d'un changement de cap dépend de la distance du rivage et des hauts-fonds. De nombreux changements de cap, combinés au temps que cela prend pour se rendre compte de l'échec d'une manœuvre, font augmenter la fréquence d'échouement.

Voici l'évaluation faite de la route maritime en ce qui a trait au nombre de changements de cap :

Tronçon	Sans glace	K _{route}	Avec glace	K _{route}
1	Zone large et dégagée, peu de changements de direction et loin du rivage.	0,05	La route doit parfois se rapprocher de la rive (île d'Anticosti), davantage de changements de direction.	0,2
2	Quelques courbes difficiles.	1,1	Pas de modification particulière de la route.	1,1
3	Chenal étroit à l'endroit de la traverse du Nord.	1,3	Pas de modification particulière de la route.	1,3
4	Conditions normales.	1,0	Pas de modification particulière de la route.	1,0

K_{conduite}

L'emploi de pilotes possédant une bonne connaissance des conditions locales (**K_{conduite}**) a pour effet de réduire la fréquence d'échouement. La valeur mondiale tient compte de cet effet de réduction, car pratiquement tous les terminaux maritimes exigent l'emploi de pilotes. Toutefois, dans le cas du Saint-Laurent, les pilotes sont présents durant une très grande partie de la traversée. De plus, le modèle comporte des facteurs qui font augmenter

RAPPORT TECHNIQUE

la fréquence en raison des caractéristiques de la route et des difficultés de navigation. Bien que de telles conditions élèvent la fréquence d'échouement dans certains tronçons de la route comparativement à la moyenne mondiale, il convient de tenir compte de l'expertise locale et du savoir-faire particuliers des pilotes si on ne veut pas surestimer la fréquence d'échouement. Cette hypothèse se trouve d'ailleurs confirmée du fait que très peu d'accidents se sont produits sur la route étudiée en amont des Escoumins, où les pilotes montent à bord des navires. De plus, les Services du trafic maritime (STM) peuvent conseiller les navigateurs sur leur route et détecter les navires qui dévient de la route prévue. Cette surveillance externe ne s'avère cependant efficace que si on dispose de suffisamment de temps pour détecter les navires et communiquer l'information au personnel. Cette mesure n'a donc d'effet que si le navire se trouve assez loin de la rive.

Voici l'estimation réalisée pour la route maritime en ce qui a trait à la conduite du navire :

Tronçon	Sans glace	K_{conduite}	Avec glace	K_{conduite}
1	Aucun pilote à bord, conseils du STM.	0,9	Pas de changement particulier, pilote spécialisé.	0,9
2	Pilote à bord, conseils du STM.	0,8	Pas de changement particulier.	0,8
3	Pilote à bord.	0,9	Pas de changement particulier.	0,9
4	Pilote à bord et aide de remorqueurs.	0,2	Pas de changement particulier.	0,2

$K_{\text{difficulté navigation}}$

Le facteur touchant les difficultés de la navigation ($K_{\text{difficulté navigation}}$) tient compte de la visibilité, des courants, de la signalisation du chenal et du trafic maritime. Une mauvaise visibilité réduit la capacité du navigateur à s'orienter. Il dépend alors davantage de l'équipement de navigation électronique. On note que la visibilité sur le Saint-Laurent est mauvaise (inférieure à 1 km) 5 % du temps. Particulièrement à l'embouchure de la rivière Saguenay, il survient fréquemment du brouillard en été et les courants sont assez puissants pour dévier un navire de sa route. Une bonne signalisation du passage s'avère également importante pour que la navigation puisse se faire en toute sécurité. À la traverse du Nord, on enlève la plupart des bouées l'hiver en raison de la présence de glace. Les navires n'empruntent toutefois l'étroit chenal de la traverse du Nord que lorsque la visibilité est suffisante pour qu'on voit les feux d'alignement.

On utilise le même facteur pour un navire chargé que pour un navire sur ballast (pas de modification significative du tirant d'eau).

RAPPORT TECHNIQUE

Tronçon	Sans glace	K _{diff. nav.}	Avec glace	K _{diff. nav.}
1	Brouillard en été, pas de problème particulier de visibilité ou de courant, peu de trafic gênant.	0,8	Neige en hiver.	0,9
2	Probabilité plus élevée de brouillard, courants puissants et trafic de navires de plaisance.	1,2	De la neige mais pas de brouillard, glaces brisées dans le passage, moins de trafic.	1,2
3	Courants forts dans un chenal très étroit, non emprunté lorsque la visibilité est mauvaise, profondeur limitée par rapport au tirant d'eau.	1,2	De la neige, pas de brouillard, non emprunté lorsque la visibilité est mauvaise, moins de trafic, moins de signalisation (bouées).	1,2
4	Conditions normales.	1,0	Conditions normales.	1,0

Le tableau 6.3 présente, pour chacun des tronçons, le calcul effectué et la fréquence d'échouement globale d'un navire propulsé, pour chaque aller-retour au terminal.

Tronçon	F _{base}	Distance (aller - retour) [NM]	K _{route}		K _{conduite}		K _{diff. nav.}		Fréquence (par passage au terminal)	
			Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace
1	$5,0 \times 10^{-7}$	900	0,05	0,2	0,9	0,9	0,8	0,9	$1,6 \times 10^{-5}$	$7,2 \times 10^{-5}$
2	$5,0 \times 10^{-7}$	200	1,1	1,1	0,8	0,8	1,2	1,2	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$
3	$5,0 \times 10^{-7}$	32	1,3	1,3	0,9	0,9	1,2	1,2	$2,2 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$
4	$5,0 \times 10^{-7}$	8	1,0	1,0	0,2	0,2	1,0	1,0	$7,9 \times 10^{-7}$	$9,5 \times 10^{-7}$
Total									$1,4 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$

TABLEAU 6.3 – ESTIMATION DE LA FRÉQUENCE D'ÉCHOUEMENT D'UN NAVIRE PROPULSÉ

Source : Analyse de DNV.

Le terminal méthanier recevra 60 navires par année. On suppose que 45 d'entre eux navigueront en l'absence de glace sur le fleuve et que 15 rencontreront de la glace. La fréquence calculée pour chaque passage au terminal a été multipliée par le nombre de ces passages afin d'obtenir la fréquence d'échouement de navires propulsés par année :

$$[(1,4 \times 10^{-4}) * 45 + (2,0 \times 10^{-4}) * 15].$$

RAPPORT TECHNIQUE

La figure 6.2 montre la période de retour d'échouement pour un navire propulsé, à partir de la fréquence annuelle en tenant compte du nombre de passages.

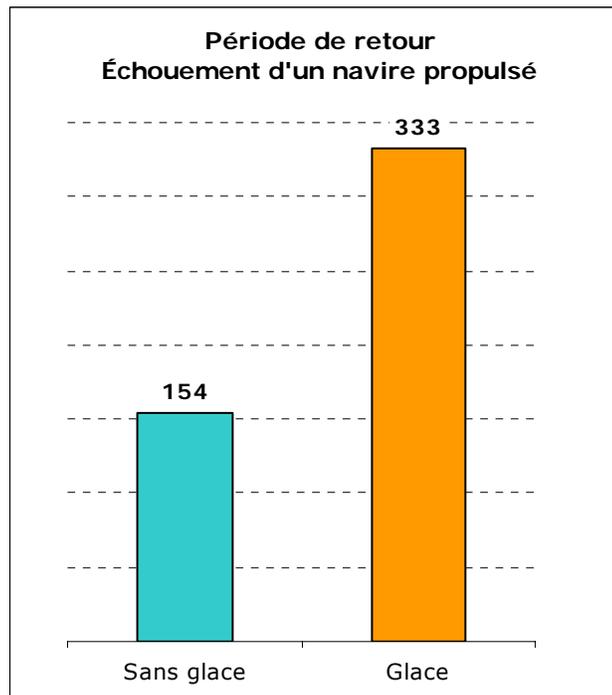


FIGURE 6.2 – PÉRIODES DE RETOUR D'ÉCHOUEMENT DES NAVIRES PROPULSÉS (NOMBRE D'ANNÉES)

6.2.3. ÉCHOUEMENT D'UN NAVIRE À LA DÉRIVE

L'échouement d'un navire à la dérive est le résultat d'une défaillance du système de propulsion ou de l'appareil à gouverner. Il est davantage probable que survienne une perte de propulsion lorsque le navire manœuvre à proximité de la jetée que lorsqu'il avance à vitesse constante. Ainsi, la perte de propulsion a plus de chances de se produire au moment des manœuvres d'accostage que durant l'approche. L'accostage se fait cependant en présence de remorqueurs, qui se trouvent à proximité du navire ou sont directement attachés à ce dernier et qui peuvent empêcher le navire d'aller s'échouer. La glace représente un autre facteur susceptible d'avoir un effet sur la propulsion ou sur la probabilité d'une panne. Elle peut bloquer, par exemple, la prise d'eau de refroidissement des machines et entraîner leur arrêt.

On estime à $1,3 \times 10^{-6}$ par NM la fréquence d'une défaillance du système de propulsion. La fréquence d'une défaillance de l'appareil à gouverner est très faible et on la considère comme négligeable dans le cadre de la présente étude (source : guide de sécurité produit par DNV). On obtient la fréquence d'échouement pour un navire à la dérive en multipliant la

RAPPORT TECHNIQUE

fréquence de défaillance de la propulsion par des facteurs de correction liés au redémarrage des moteurs (selon le mode de propulsion : vapeur ou diesel-électrique), à la dérive vers la côte, à l'assistance par des remorqueurs et à l'ancrage d'urgence. Le calcul se fait de la manière suivante :

$$F_{\text{échouement dérive-portion } x} = F_{\text{défaill. propulsion}} * D \text{ [NM]} * K_{\text{redémarrage moteurs}} * K_{\text{dérive côte}} * K_{\text{aide remorqueurs}} * K_{\text{mouillage urgence}}$$

F_{défaill. propulsion}

F_{défaill. propulsion} est la fréquence moyenne de défaillance du système de propulsion par NM, soit $1,3 \times 10^{-6}$.

D [NM]

D [NM] est la distance en milles marins (NM) parcourue dans chacun des tronçons de la route maritime, à l'aller et au retour.

K_{redémarrage moteurs}

K_{redémarrage moteurs} est la probabilité qu'on ne puisse redémarrer les moteurs. Cette probabilité est estimée à 0,5, à l'exception notable du tronçon 3, car on dispose à cet endroit (traverse du Nord) de très peu de temps pour effectuer un redémarrage.

K_{dérive côte}

Conjuguée aux directions du vent et du courant, la distance du rivage détermine si le navire va dériver vers la côte et à quelle vitesse. Voici l'estimation de ce facteur le long de la route maritime :

Tronçon	Sans glace	K _{dérive côte}	Avec glace	K _{dérive côte}
1	Zone très large, navire éloigné des côtes.	0,1	La route est parfois rapprochée de la rive nord.	0,2
2	Le navire passe plus près de la côte, mais le vent souffle souvent de la rive nord.	0,5	Mêmes conditions.	0,5
3	Le chenal de la traverse du Nord est très étroit; les navires toucheront toujours la rive.	1,0	Mêmes conditions.	1,0
4	Le navire se trouve relativement près des rives nord et sud, mais des remorqueurs l'assistent.	0,1	Mêmes conditions, avec l'influence de la glace.	0,2

RAPPORT TECHNIQUE

K_{aide remorqueurs}

Des remorqueurs sont à la disposition des navires entre le détroit de Cabot et Québec (voir la section 3.3.6). En cas de défaillance du système de propulsion, ils peuvent venir en aide au méthanier et l'empêcher de s'échouer. Les remorqueurs ont cependant besoin de temps pour se rendre jusqu'au navire. La distance entre le navire en détresse et les bases de remorqueurs de même que la disponibilité de ces derniers déterminent quelle est la probabilité que les remorqueurs ne puissent aider le navire.

L'estimation suivante a été réalisée en ce qui a trait à l'aide apportée par les remorqueurs :

Tronçon	Sans glace	K _{aide rem.}	Avec glace	K _{aide rem.}
1	Secteur très large, où le navire se trouve loin des remorqueurs les plus proches.	0,8	La probabilité d'échec augmente puisque la glace ralentira les remorqueurs.	0,9
2	Le navire est plus près des côtes, mais aussi plus près des bases de remorqueurs.	0,8	La probabilité d'échec augmente puisque la glace ralentira les remorqueurs.	0,9
3	Le chenal de la traverse du Nord est très étroit, aucun remorqueur ne pourrait atteindre le navire à temps.	1,0	Mêmes conditions.	1,0
4	Le navire se trouve relativement près des rives nord et sud, mais les remorqueurs du port le retiennent déjà solidement.	0,1	Mêmes conditions, avec l'influence de la glace.	0,2

K_{mouillage urgence}

Le mouillage d'urgence (**K_{mouillage urgence}**) a, dans de nombreux cas, évité l'échouement de navires à la dérive. Il faut toutefois que la profondeur de l'eau ne dépasse pas 100 m. De plus, la force des vagues et celle du vent déterminent la probabilité que le mouillage d'urgence arrive à stopper le navire. La distance de la côte représente aussi un facteur critique. Une plus grande distance alloue davantage de temps et permet plusieurs tentatives de mouillage. Un temps extrêmement froid augmente la probabilité que l'ancre ne puisse être jetée. Voici l'estimation qui a été faite de ce facteur le long de la route maritime :

RAPPORT TECHNIQUE

Tronçon	Sans glace	K _{mouill. urg.}	Avec glace	K _{mouill. urg.}
1	Secteur très large, beaucoup de temps avant d'atteindre la côte, mais grande profondeur.	0,4	La probabilité d'échec de l'ancrage augmente en raison de la basse température.	0,5
2	Le navire passe près de la rive, il y a toutefois de bonnes possibilités d'ancrage.	0,5	La probabilité d'échec de l'ancrage augmente en raison de la basse température.	0,6
3	Le chenal de la traverse du Nord est très étroit, pas assez de temps pour s'ancrer.	1,0	Mêmes conditions.	1,0
4	Le navire se trouve relativement près de la rive, peu de temps pour s'ancrer.	0,8	La probabilité d'échec de l'ancrage augmente en raison de la basse température.	0,9

Le tableau 6.4 résume les calculs effectués pour établir la fréquence d'échouement applicable à l'ensemble de la route des méthaniers.

Tronçon	F _{base}	Distance [NM]	K _{redé-marrage}	K _{dérive côte}		K _{aide rem.}		K _{mouillage urg.}		Fréquence (par passage au terminal)	
				Tous	Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace	Sans glace
1	1,3 x 10 ⁻⁶	900	0,5	0,1	0,2	0,8	0,9	0,4	0,5	1,9 x 10 ⁻⁵	5,4 x 10 ⁻⁵
2	1,3 x 10 ⁻⁶	200	0,5	0,5	0,5	0,8	0,9	0,5	0,6	2,7 x 10 ⁻⁵	3,6 x 10 ⁻⁵
3	1,3 x 10 ⁻⁶	32	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,3 x 10 ⁻⁵	4,3 x 10 ⁻⁵
4	1,3 x 10 ⁻⁶	8	0,5	0,1	0,2	0,1	0,2	0,8	0,9	4,3 x 10 ⁻⁸	1,9 x 10 ⁻⁷
Total										8,9x 10 ⁻⁵	1,3x 10 ⁻⁴

TABLEAU 6.4 – ESTIMATION DE LA FRÉQUENCE ANNUELLE D'ÉCHOUEMENT DES NAVIRES À LA DÉRIVE

Source : Analyse de DNV.

Le terminal accueillera environ 60 navires par année. On considère que 45 d'entre eux feront leur approche dans des conditions libres de glace et que les 15 autres rencontreront de la glace. On obtient la fréquence annuelle d'échouement pour les navires à la dérive en multipliant la fréquence d'échouement par passage au terminal par le nombre de navires

RAPPORT TECHNIQUE

$[(8,9 \times 10^{-5}) * 45 + (1,3 \times 10^{-4}) * 15]$. La figure 6.3 montre les périodes de retour d'échouement des navires à la dérive, à partir de la fréquence annuelle en tenant compte du nombre de passages..

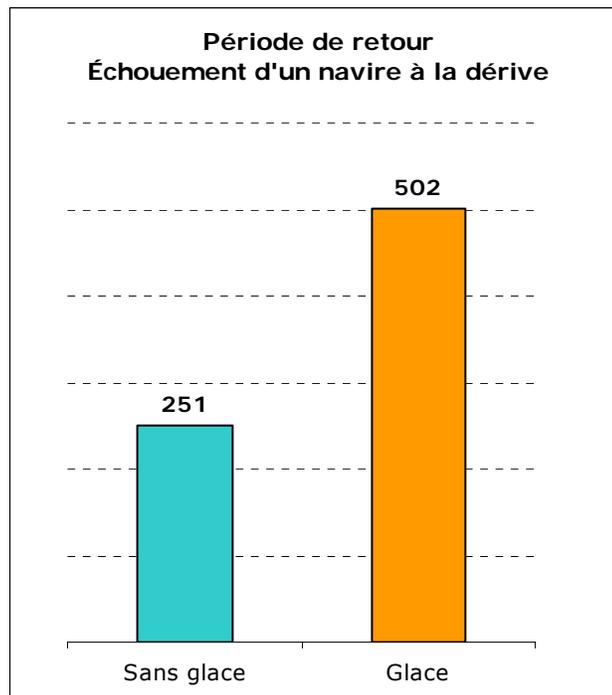


FIGURE 6.3 – PÉRIODE DE RETOUR D'ÉCHOUEMENT DES NAVIRES À LA DÉRIVE (NOMBRE D'ANNÉES)

Source : Analyse de DNV.

6.2.4. FRÉQUENCE D'ÉCHOUEMENT GLOBALE

La fréquence d'échouement globale est la somme de la fréquence d'échouement des navires à la dérive et de la fréquence d'échouement des navires propulsés, en présence ou non de glace. En supposant un nombre de 45 navires par année en l'absence de glace et de 15 navires en présence de glace, la fréquence d'échouement par année s'élève à $1,5 \times 10^{-2}$, ce qui correspond à une période de retour de 65 ans.

Les rapports d'incidents concernant la route maritime entre le détroit de Cabot et Québec pour la période 1990-2003 font état de 14 échouements. Si on retient que 2 500 navires annuellement empruntent le Saint-Laurent à l'aller et au retour, on obtient une fréquence d'échouement d'environ $6,2 \times 10^{-4}$ par navire. Pour 60 navires, comme dans le cas du terminal méthanier, c'est l'équivalent d'une fréquence de $3,7 \times 10^{-2}$ (période de retour de 27 ans).

RAPPORT TECHNIQUE

Bien que la fréquence d'échouement obtenue à partir des données d'incidents de la route détroit de Cabot-Québec ($3,7 \times 10^{-2}$) soit plus importante que la fréquence issue des statistiques mondiales ($1,6 \times 10^{-2}$), les données correspondent bien. La plupart des échouements qui surviennent dans le Saint-Laurent sont le fait de vraquiers. La cote de sécurité de ces navires est beaucoup moins élevée que celle des méthaniers. En conséquence, la présente étude retient la fréquence d'échouement calculée de $1,5 \times 10^{-2}$.

La figure 6.4 montre la période de retour d'échouement dans chacun des tronçons étudiés. La figure 6.5 superpose ces périodes sur une carte du Saint-Laurent. La plus faible période de retour se trouve dans le tronçon 2, des Escoumins à la traverse du Nord; c'est donc en cet endroit que la probabilité d'échouement est la plus grande.

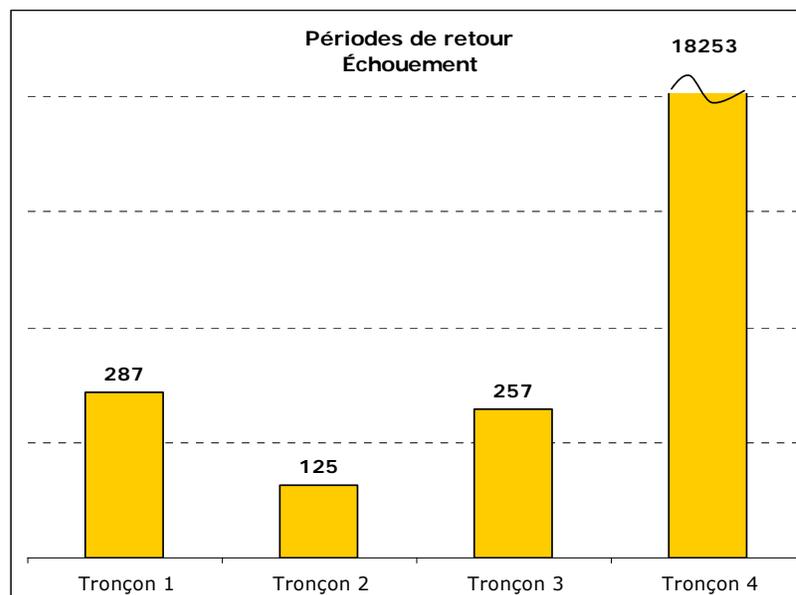


FIGURE 6.4 – PÉRIODES DE RETOUR D'ÉCHOUEMENT DANS LES TRONÇONS 1 À 4 (NOMBRE D'ANNÉES)

Source : Analyse de DNV.

RAPPORT TECHNIQUE

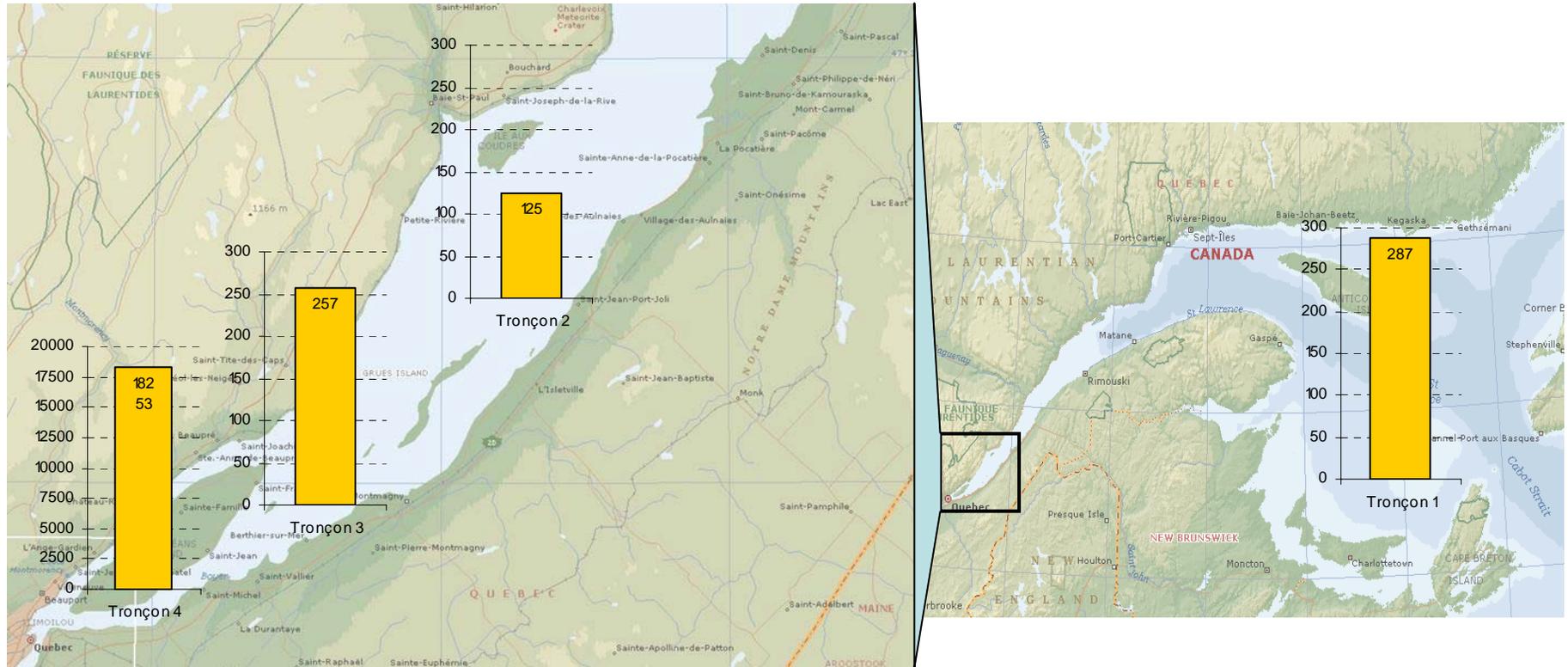


FIGURE 6.5 – PÉRIODES DE RETOUR D'ÉCHOUEMENT DANS LES TRONÇONS 1 À 4, REPORTÉES SUR UNE CARTE DE LA VOIE MARITIME DU SAINT-LAURENT

Source: Analyse DNV.

6.3. Collision dans le fleuve

Selon les statistiques mondiales du LRFP, la fréquence de collision dans le fleuve est d'environ 1×10^{-2} par navire-année, soit en moyenne un accident tous les 100 ans (voir la section 6.1).

La collision est la conséquence de problèmes de navigation sur l'un ou l'autre des bâtiments en cause. La densité de navires en un endroit constitue le principal facteur influençant la fréquence de collision. La probabilité de collision augmente en fonction du carré de la densité du trafic. D'autres facteurs ont également un effet sur la fréquence de collision : la qualité de l'équipage, la séparation du trafic et des conditions comme la visibilité, la présence à bord de pilotes ou les conseils des Services du trafic maritime (STM).

La présente section explique le modèle utilisé pour calculer la fréquence de collision, compte tenu des facteurs qui influent sur cette dernière de manière significative.

6.3.1. MODÉLISATION DE LA FRÉQUENCE DE COLLISION

La fréquence de collision établie à partir du LRFP correspond à la fréquence moyenne de collisions pour la flotte mondiale de méthaniers. Afin d'obtenir une fréquence spécifique au fleuve Saint-Laurent (entre le détroit de Cabot et Québec) et à la route d'approche des méthaniers vers le terminal projeté, la fréquence de base a été corrigée à l'aide de certains facteurs « locaux ». Puis, cette seconde fréquence adaptée a fait l'objet d'une comparaison avec les statistiques d'accidents pour le Saint-Laurent. Sur la base de cette comparaison, on a pu établir la fréquence de collision finale.

La probabilité de collision n'est toutefois pas répartie uniformément le long de la route. Dans la description faite par les pilotes de ce passage on mentionne certains secteurs préoccupants ou « zones de risque » en ce qui a trait au risque de collision. On a par conséquent divisé la route suivie en quatre tronçons et évalué la fréquence de collision séparément pour chacun, en produisant également une évaluation différente selon qu'il y a ou non de la glace. La présente section ne traite pas de la situation où un bâtiment entre en collision avec un navire amarré. Ce cas fait l'objet de la section 6.4.

La fréquence de collision de $1,0 \times 10^{-2}$ par navire-année donnée par le LRFP est convertie en fréquence moyenne de collision par mille marin (NM) pour l'approche du navire au terminal méthanier. Le tableau 6.5 ci-dessous montre le calcul. On estime qu'un méthanier type se trouve en mer 65 % du temps et qu'il navigue à une vitesse moyenne de 17 nœuds, ce qui donne une distance totale parcourue de 96 798 NM. On considère ensuite que les collisions qui ont lieu durant l'approche du port constituent 50 % de toutes les collisions, partout au monde, et qu'un navire passe 10 % de son temps total en mer pour effectuer l'approche vers le terminal. On obtient ainsi une fréquence de collision par mille marin et par année de $5,2 \times 10^{-7}$.

RAPPORT TECHNIQUE

Fréquence de collision (mondiale)	1,0 x 10 ⁻² par année
Distance parcourue	96 798 NM par année
Collision durant l'approche du port	50 %
Navigaton en zone côtière	10 %
Fréquence de collision (mondiale)	5,2 x 10⁻⁷ par NM et par année

TABLEAU 6.5 – FRÉQUENCE MOYENNE DE COLLISION PAR MILLE MARIN ET PAR ANNÉE

Source : Analyse de DNV.

La fréquence de collision totale se calcule en multipliant la fréquence de collision par NM par la distance parcourue dans chaque tronçon et par les facteurs de correction. On corrige ainsi la fréquence de collision en fonction de la densité du trafic, des paramètres de conduite du navire (pilotes, STM, séparation du trafic) et des difficultés de navigation (visibilité, signalisation et courants). Le calcul s'effectue selon la formule suivante :

$$F_{\text{collision tronçon x}} = F_{\text{base}} * D \text{ [NM]} * K_{\text{densité trafic}} * K_{\text{conduite}} * K_{\text{difficulté navigation}}$$

F_{base}

F_{base} est la fréquence de collision établie selon les statistiques mondiales : 5,2 x 10⁻⁷ par NM.

D [NM]

D [NM] est la distance en milles marins (NM) parcourue dans chacun des quatre tronçons à l'aller et au retour.

K_{densité trafic}

Comparativement à de nombreux ports internationaux et à d'autres secteurs très occupés, la densité du trafic (**K_{densité du trafic}**) sur le Saint-Laurent est faible. On s'attend à ce qu'un méthanier, au cours de son approche vers le terminal d'une durée d'un jour et demi, rencontre en moyenne dix autres navires. On évalue en outre que deux ou trois traversiers devraient se trouver à proximité du navire en cours d'approche. Si on la compare avec celle de l'industrie maritime mondiale, la densité du trafic est généralement faible sur le Saint-Laurent, en particulier dans le secteur aval de la route que suivront les méthaniers, où le passage est très large et n'est pas fréquenté par les bateaux de plaisance.

Les statistiques mondiales comptent beaucoup de collisions dans des secteurs portuaires à plus forte densité de trafic et incluent les collisions survenues durant les manœuvres. Durant la saison des glaces, la voie maritime rétrécit et force les navires à passer plus près les uns des autres. Cela entraîne une augmentation de la probabilité de collision, qui ne s'applique cependant que durant 25 % de l'année. Par contre, le trafic diminue en cette saison d'environ 50 %.

RAPPORT TECHNIQUE

L'estimation qui suit est fondée sur la description des conditions de navigation des divers tronçons de la route des méthaniers et sur les données relatives au trafic maritime présentées au chapitre 3.

Tronçon	Sans glace	$K_{\text{dens. trafic}}$	Avec glace	$K_{\text{dens. trafic}}$
1	Zone très large, faible densité de trafic en dépit du passage de traversiers, car le risque de collision ne concerne qu'une très faible distance en comparaison des 450 NM du tronçon.	0,1	La présence de glace oblige les navires à passer plus près les uns des autres. Réduction de 50 % du trafic.	0,2
2	Secteur relativement large mais plus congestionné, davantage de navires s'engagent dans le couloir de navigation, présence de bateaux de plaisance.	0,4	Moins de trafic, aucun bateau de plaisance, les navires suivent la même route qu'en été.	0,3
3	Le chenal de la traverse du Nord est très étroit et cela amène les navires à se croiser de près. Même si le trafic est en général faible, il s'agit d'une situation à risque élevé.	2,0	Mêmes conditions.	2,0
4	La densité du trafic est en général faible, mais les navires se côtoient d'assez près. Le méthanier est vulnérable au moment de la préparation et pendant les manœuvres d'accostage (basse vitesse).	1,0	Mêmes conditions.	1,0

 K_{conduite}

L'utilisation de pilotes possédant une bonne connaissance des conditions locales (K_{conduite}) a pour effet de réduire la fréquence de collision. La valeur mondiale tient compte de cet effet de réduction, car d'autres ports exigent aussi l'emploi de pilotes. Toutefois, dans le cas du Saint-Laurent, tous les navires étrangers doivent avoir un pilote à bord en amont des Escoumins. Une telle pratique facilite les communications entre navires et favorise l'application des mesures de sûreté au moment des rencontres.

Les traversiers n'ont pas de pilote à bord, mais les navigateurs possèdent une vaste expérience des conditions de la circulation locale. La séparation du trafic s'est avérée très efficace en d'autres parties du globe (par exemple, en Manche) en ce qui a trait à la réduction des collisions frontales.

RAPPORT TECHNIQUE

Voici l'estimation du facteur pour la route suivie par les méthaniers :

Tronçon	Sans glace	K_{conduite}	Avec glace	K_{conduite}
1	Pas de pilote à bord, mais les voies de navigation sont séparées.	0,6	Avisseur des glaces à bord.	0,6
2	Pilote à bord. Séparation du trafic, mais aussi circulation transversale et navires s'engageant dans la voie maritime principale.	0,7	Pilote à bord.	0,7
3	Pilote à bord (important pour tenir compte de l'effet des courants).	0,9	Pilote à bord.	0,9
4	Pilote à bord de tous les navires. Pas de séparation du trafic, mais les remorqueurs guident le navire à basse vitesse. Risque toutefois qu'un autre navire entre en collision avec le méthanier.	0,4	Pilote lamaneur à bord.	0,4

$K_{\text{difficulté navigation}}$

Une mauvaise visibilité réduit la capacité du navigateur à détecter les navires qui traversent le chenal ou qui viennent à sa rencontre. Il dépend alors davantage de l'équipement de navigation électronique. Le radar, en plus du système d'identification automatique des navires par transpondeurs, sert d'aide à la navigation lorsque la visibilité est mauvaise. Les statistiques démontrent par ailleurs que la fréquence de collision augmente de façon spectaculaire dans ces conditions. On note que la visibilité dans le Saint-Laurent en aval de Québec est mauvaise (inférieure à 1 km) 5 % du temps. En outre, les courants peuvent dévier un navire de sa route et entraîner une collision. On observe de forts courants, par exemple, à l'embouchure de la rivière Saguenay.

L'évaluation du facteur lié aux difficultés de la navigation ($K_{\text{difficulté navigation}}$) a été faite pour les différents tronçons de la route :

RAPPORT TECHNIQUE

Tronçon	Sans glace	K _{diff. nav.}	Avec glace	K _{diff. nav.}
1	Pas de difficultés particulières. Temps brumeux l'été.	1,0	La neige réduit la visibilité.	1,0
2	Passages restreints, forts courants et brouillard dense l'été à certains endroits.	1,3	Pas de brouillard, mais la neige réduit la visibilité.	1,3
3	Passage restreint, les effets des courants sur la route du navire revêtent une importance critique. En cas de mauvaise visibilité la traverse du Nord ne peut être empruntée.	1,2	Mêmes conditions.	1,2
4	Pas de difficultés particulières.	1,0	Pas de difficultés particulières.	1,0

Le tableau 6.6 montre le calcul effectué pour chaque tronçon de la route et la fréquence de collision globale par passage au terminal:

Tronçon	F _{base}	Distance [nm] Aller-retour	K _{densité trafic}		K _{conduite}		K _{difficulté navigation}		Fréquence de collision (par passage au terminal)	
			Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace	Sans glace	Avec glace
1	$5,2 \times 10^{-7}$	900	0,1	0,2	0,6	0,6	1,0	1,0	$2,8 \times 10^{-5}$	$5,6 \times 10^{-5}$
2	$5,2 \times 10^{-7}$	200	0,4	0,3	0,7	0,7	1,3	1,3	$3,8 \times 10^{-5}$	$2,8 \times 10^{-5}$
3	$5,2 \times 10^{-7}$	32	2,0	2,0	0,9	0,9	1,2	1,2	$3,6 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{-5}$
4	$5,2 \times 10^{-7}$	8	1,0	1,0	0,4	0,4	1,0	1,0	$1,6 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-6}$
Total									$1,0 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-4}$

TABLEAU 6.6 – ESTIMATION DE LA FRÉQUENCE DE COLLISION

Source : Analyse de DNV.

6.3.2. FRÉQUENCE TOTALE DE COLLISION

En supposant le passage d'un nombre de 45 navires par année en l'absence de glace et de 15 navires durant la saison des glaces, la fréquence de collision par année s'élève à $6,4 \times 10^{-3}$ ($= 45 \times 1,0 \times 10^{-4} + 15 \times 1,2 \times 10^{-4}$), ce qui correspond à une période de retour de 155 ans.

RAPPORT TECHNIQUE

Les statistiques d'accidents portant sur la route allant du détroit de Cabot à Québec ne rapportent qu'une seule collision. Considérant que 2 500 navires font l'aller-retour sur le Saint-Laurent chaque année, cela signifie une fréquence de collision d'environ $4,4 \times 10^{-5}$ par bâtiment ou, pour 60 navires comme dans le cas du terminal méthanier, une fréquence de $2,7 \times 10^{-3}$ (période de retour de 375 ans). Toutefois, la collision signalée s'est produite entre un pétrolier et un remorqueur durant les manœuvres d'accostage; cette donnée ne s'applique donc pas au type d'accident modélisé ici. Cela indique que la fréquence de collision serait inférieure à $2,7 \times 10^{-3}$ par an sur la route considérée.

Même si aucune collision ne s'est produite au cours de la dernière décennie, cela ne signifie pas que la fréquence de collision soit négligeable. Les statistiques ne portent en effet que sur neuf années d'exploitation de la voie maritime. La faible fréquence d'accident, combinée au passage de 2 500 navires par an, indique qu'il faut recourir à une plus longue période d'échantillonnage avant de conclure que la fréquence de collision est inférieure à $2,7 \times 10^{-3}$. Par ailleurs, les données montrent que la fréquence calculée à partir de la moyenne mondiale est trop élevée. On a donc rectifié l'estimation de $6,4 \times 10^{-3}$ de la fréquence de collision en lui appliquant un facteur de correction de 47 %, pour obtenir une fréquence de collision de $3,0 \times 10^{-3}$. Cette valeur équivaut à environ une collision tous les dix ans pour l'ensemble des navires circulant sur la voie maritime du Saint-Laurent. Si on ne considère que les méthaniers, on arrive à une période de retour de 330 années. La distribution de la fréquence de collision parmi les divers tronçons de la route demeure semblable à celle du modèle. Le tableau 6.7 présente les estimations finales des fréquences de collision, après correction des valeurs du tableau 6.6.

Tronçon	Fréquence de collision (par passage au terminal)	
	Sans glace	Avec glace
1	$1,3 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$
2	$1,8 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-5}$
3	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$
4	$7,8 \times 10^{-7}$	$7,8 \times 10^{-7}$
Total	$4,8 \times 10^{-5}$	$5,7 \times 10^{-5}$

TABLEAU 6.7 – ESTIMATIONS FINALES DES FRÉQUENCES DE COLLISION DANS LES TRONÇONS 1 À 4

Les deux figures ci-dessous présentent les périodes de retour correspondant à chacun des tronçons (fréquence de $4,8 \times 10^{-5} \times 45 + 5,7 \times 10^{-5} \times 15$). La plus longue période, celle pour laquelle la probabilité d'un accident est la plus basse, correspond au tronçon 4.

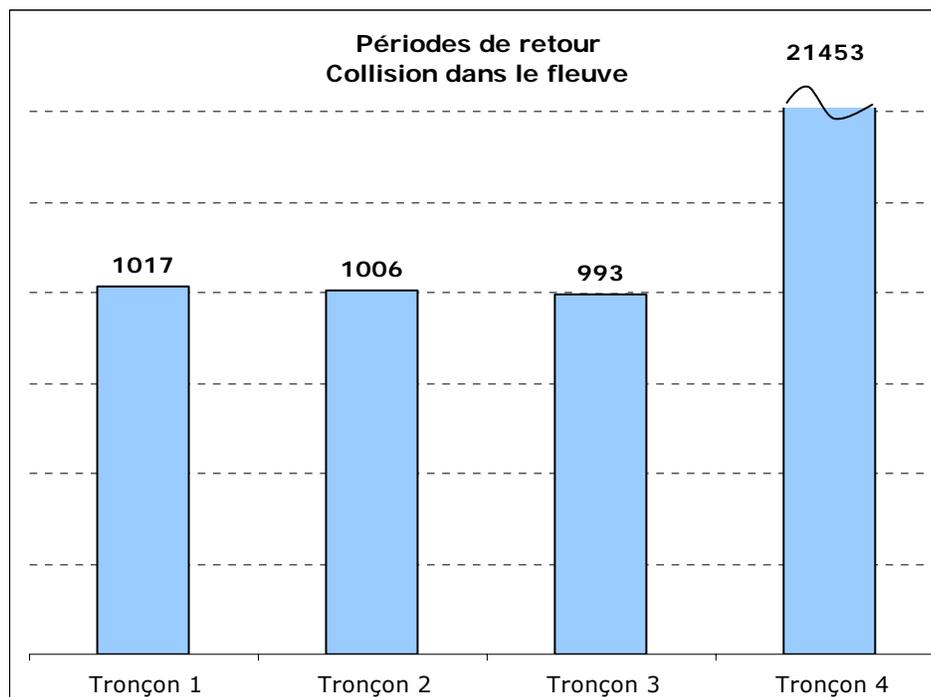


FIGURE 6.6 – PÉRIODES DE RETOUR DE COLLISION DANS LES TRONÇONS 1 À 4

Source : Analyse de DNV.

RAPPORT TECHNIQUE

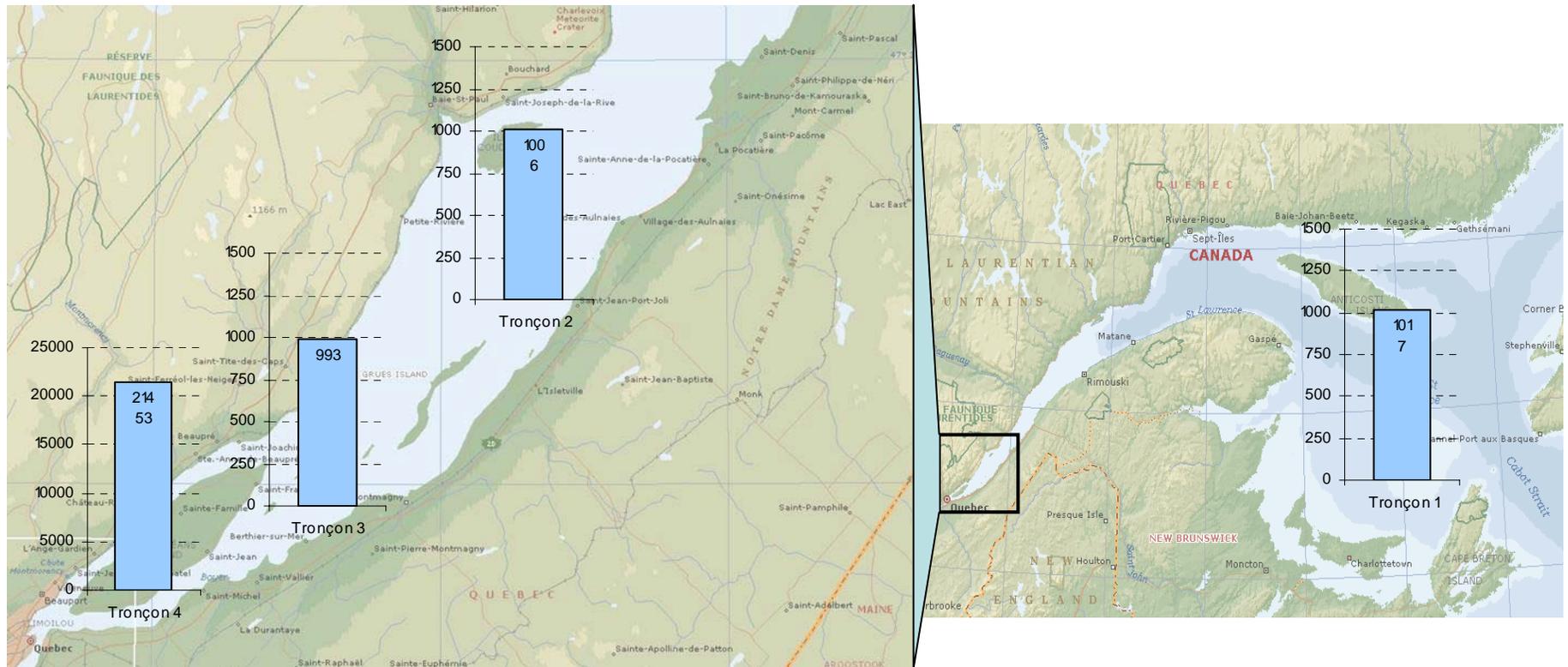


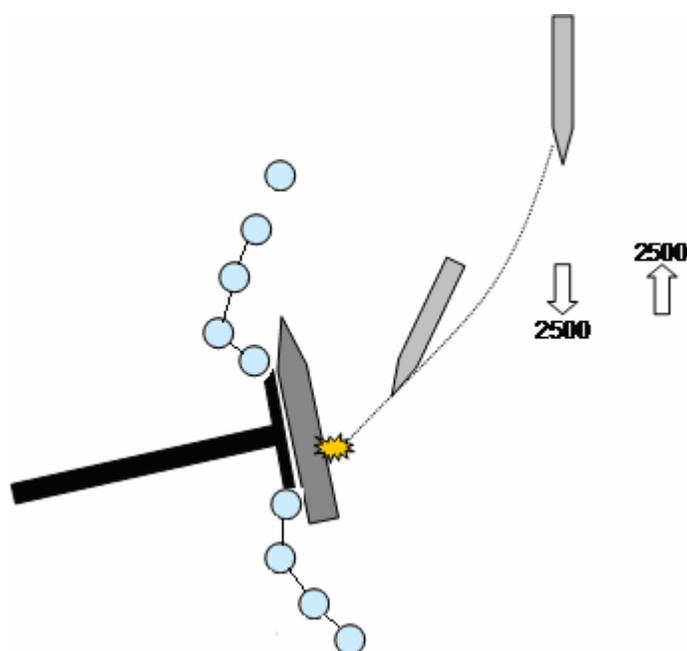
FIGURE 6.7 – PÉRIODES DE RETOUR DE COLLISION DANS LES TRONÇONS 1 À 4, REPORTÉES SUR UNE CARTE DU SAINT-LAURENT

Source : Analyse de DNV.

6.4. Navire heurté à la jetée

Lorsque le méthanier est amarré à la jetée, il est possible qu'un navire passant dans le chenal à proximité provoque une collision suite à une perte de propulsion ou de direction. La probabilité dépend du nombre de navires passant à proximité, de la largeur du passage et du nombre d'heures pendant lesquelles le méthanier est accosté à la jetée.

Le document produit par DNV et l'UK Health and Safety Executive /1/ comporte une évaluation de la probabilité de collision en fonction du type de port. Le tableau 6.8 présente les probabilités de collision.



Type de port	Nombre de collisions (par 10 ⁶ passages)
Fleuve étroit	42
Fleuve large / Estuaire étroit	9
Grand estuaire	4
Ouvert sur la mer	4

**TABLEAU 6.8 –
PROBABILITÉS DE
COLLISION**

Source : Étude de DNV, 1990, /1/.

FIGURE 6.8 – NAVIRE HEURTÉ À LA JETÉE

Voici les définitions des types de ports :

- Fleuve étroit : largeur moyenne inférieure à 0,5 km
- Fleuve large/estuaire étroit : largeur moyenne entre 0,5 et 2,5 km
- Estuaire large : plus de 2,5 km de largeur moyenne
- Ouvert sur la mer

La jetée du terminal Rabaska se situe dans une portion large du Saint Laurent (largeur de 1500 m entre les îlots d'Hydro-Québec) à un endroit où le chenal a environ 850 m de large à une profondeur de 15 m. Ainsi, avant que tout ajustement ne soit fait, la probabilité de collision dans un fleuve large a été utilisée pour l'étude, soit 9×10^{-6} par passage.

RAPPORT TECHNIQUE

Les données du Royaume-Uni sur les collisions /1/ concernent des ports à fort trafic où de nombreux navires sont amarrés les uns près des autres et où s'effectuent de fréquentes manœuvres. Pendant les manœuvres, un navire a plus de risques de subir une perte de propulsion et de se trouver à la dérive. Le terminal Rabaska diffère des terminaux d'où proviennent ces données, car aucun autre poste d'amarrage ne se trouve dans son voisinage immédiat. Afin de tenir compte de ce fait, on a appliqué un facteur de correction de 0,1 (réduction de 90 %) sur les données provenant du Royaume-Uni. On considère une telle évaluation comme prudente étant donné que les navires passeront du côté nord du fleuve, à l'opposé de la jetée.

De plus, les terminaux méthaniers font l'objet de plus d'attention et de précautions de la part des autres types de navires. Un facteur de correction de 0,5 a ainsi été appliqué (réduction de 50 %) pour prendre cela en compte.

Des cellules d'amarrage en béton, conçus pour protéger les méthaniers des glaces, vont aussi offrir une protection contre les collisions avec les navires qui arrivent avec un angle d'environ 20 degrés. Cette protection ne s'applique que dans le cas des navires qui descendent le fleuve. On a ainsi estimé à 0,9 (réduction de 10 %) le facteur de correction correspondant. Considérant qu'environ 5 000 navires passeront devant le terminal méthanier chaque année et que la durée moyenne à quai est de 24 heures, la fréquence de collision alors qu'un méthanier est amarré à la jetée est de :

$$F_{\text{collision}} = (9 \times 10^{-6}) * 0,1 * 0,5 * 0,9 * 24 \text{ h} / (365 * 24 \text{ h}) * 5 000 \\ = 5,6 \times 10^{-6} \text{ par méthanier amarré à la jetée}$$

Ainsi, pour un nombre de 60 méthaniers accostant chaque année au terminal, la fréquence de collision d'un navire avec un méthanier à quai est estimée à $3,3 \times 10^{-4}$, soit une collision tous les 3 030 ans. Le chapitre 7 traite des effets attendus d'une telle collision et des volumes de GNL déversés.

6.5. Défaillance de l'amarrage et des bras de déchargement

Les scénarios d'accident entraînant un relâchement de GNL en provenance d'un ou plusieurs bras de déchargement couvrent trois événements :

- 1) Défaillance du raccord de branchement d'un bras de déchargement
- 2) Défaillance de l'amarrage provoquant un mouvement excessif du méthanier et l'arrachage de bras de déchargement
- 3) Arrachage de bras de déchargement causé par la collision d'un autre navire

6.5.1. DÉFAILLANCE DU RACCORD DE BRANCHEMENT D'UN BRAS DE DÉCHARGEMENT

Les données de l'étude de DNV et de l'UK Health and Safety Executive /1/ comportent des statistiques sur les défaillances de bras de déchargement de GNL. La fréquence de défaillance est de 3×10^{-8} par heure. Avec une durée de 14 heures par déchargement et 60

RAPPORT TECHNIQUE

méthaniers par année, on obtient une fréquence de $2,5 \times 10^{-5}$ par an. Cette fréquence générique s'applique aux fuites de bras de déchargement provoquées par toutes les causes autres qu'une défaillance de l'amarrage ou une collision. La fréquence de fuite provoquée par une défaillance de l'amarrage ou une collision est précisée ci-dessous, étant donné que de tels scénarios d'accident sont plus spécifiques au site que les pannes générales d'équipements. Les conséquences et le volume des fuites en cas de défaillance de bras de déchargement sont évalués dans le chapitre 7.

$$F_{\text{bris/fuite bras de déchargement}} = (3 \times 10^{-8}) * 60 * 14 = 2,5 \times 10^{-5} \text{ par année.}$$

6.5.2. DÉFAILLANCE DE L'AMARRAGE ET ARRACHEMENT DES BRAS DE DÉCHARGEMENT

La défaillance de l'amarrage est définie comme une défaillance du système d'amarrage alors que le méthanier est à quai, due à des événements tels que :

- Des conditions météorologiques extrêmes (vent, courant, glace)
- Des vagues excessives provenant des navires passants dans le chenal
- Une défaillance de l'équipement d'amarrage

Si une défaillance du système d'amarrage se produit pendant un déchargement, les bras de déchargement pourraient se rompre et provoquer une fuite de GNL. Cependant, le terminal Rabaska dispose de mesures de prévention mises en place pour réduire la probabilité de ce type d'événement :

- Le réseau d'amarrage a été renforcé pour pouvoir résister à des conditions environnementales extrêmes et aux vagues produites par les navires passant dans le chenal.
- Un remorqueur est toujours présent pendant le déchargement pour intervenir en cas d'urgence et repositionner le navire à quai.
- Un équipement de mesure de tension des amarres contrôle les tensions trop hautes ou trop basses de chaque amarre.
- L'activation automatique du dispositif de déconnexion d'urgence des bras de déchargement (ERS). Le système est programmé pour entrer en action lorsque le méthanier amarré se déplace au-delà de certaines limites (alarme de position).

D'après l'étude JSP de DNV /2/, deux défaillances d'amarrage ont été répertoriées pour 49 600 escales. Il s'agit d'une moyenne des données sur les terminaux méthaniers. Pour qu'il y ait une rupture des bras de déchargement et qu'un déversement de GNL en résulte, les conditions suivantes doivent être remplies :

- L'alarme de position qui déclenche la fermeture d'urgence des vannes doit avoir une défaillance pendant le débranchement d'urgence. La probabilité est de 4 %.

RAPPORT TECHNIQUE

- L'équipement de mesure de tension des amarres doit avoir une défaillance. La probabilité est de 10 %.

La fréquence totale de défaillance d'amarrage par année, causant une rupture de bras de déchargement et une fuite de GNL, est alors estimée à :

$$\begin{aligned} F_{\text{défaillance amarrage et fuite de GNL}} &= 2/49\,600 * 60 * 0,04 * 0,10 \\ &= 9,7 \times 10^{-6} \text{ par année.} \end{aligned}$$

Le chapitre 7 traite des effets attendus d'une rupture des bras de déchargement ainsi que des volumes de GNL déversés en pareil cas.

6.5.3. RUPTURE D'UN BRAS DE DÉCHARGEMENT CAUSÉE PAR UNE COLLISION À QUAI

La fréquence de collision est estimée à $3,3 \times 10^{-4}$ par an dans la section 6.4. La probabilité que le navire provoquant la collision ait suffisamment d'énergie pour produire un bris de bras de déchargement est évaluée à 100%. La probabilité pour qu'une défaillance des vannes d'urgence à fermeture rapide se produise est de 4%. Par conséquent, la fréquence de bris de bras de déchargement avec fuite de GNL, provoquée par une collision est évaluée à :

$$\begin{aligned} F_{\text{collision à quai et fuite de GNL}} &= (3,3 \times 10^{-4}) * 0,04 \\ &= 1,3 \times 10^{-5} \text{ par année.} \end{aligned}$$

Le chapitre 7 traite des effets attendus d'une rupture des bras de déchargement et des volumes de GNL déversés.

7. ANALYSE DES CONSÉQUENCES

Ce chapitre présente l'analyse des conséquences pour les scénarios d'accident (voir le chapitre 5).

Au début de 2004, DNV a été mandaté par l'industrie mondiale du GNL pour fournir une évaluation indépendante, basée sur une modélisation réaliste /4/, des conséquences du déversement de volumes variables de GNL déterminés en fonction de scénarios maritimes plausibles. Les participants au projet comptaient entre autres ExxonMobil, Marathon, Shell et TransCanada PipeLines. Les résultats du projet conjoint (JSP, Joint Sponsor Project) ont été mis à contribution de façon générale dans la présente étude et en particulier pour l'analyse des conséquences des accidents. Les résultats issus du JSP ont été utilisés dans certaines parties de ce chapitre.

7.1. Scénarios de déversement accidentel – Aspects physiques des déversements de GNL

Il y a plusieurs conséquences possibles à un déversement d'hydrocarbures. En principe, seules certaines sont vraisemblables pour un type de déversement donné. Cela dépend de ce qu'on appelle le terme source (le scénario précis décrivant un déversement) et des conséquences jugées plausibles. Par exemple, une fuite de méthane sous pression à haute température est un événement fort différent d'un déversement de méthane liquide à une température cryogénique.

Un déversement provenant d'une cuve de GNL peut être à l'origine de plusieurs situations très dangereuses. La discussion qui suit met en évidence les phénomènes jugés pertinents liés aux rejets de GNL. DNV est d'avis que le principal phénomène devant être modélisé est celui qui est présenté à la figure 7.1. Les justifications de ce choix font l'objet des sections qui suivent. On y décrit la suite probable des événements consécutifs à une fuite d'une cuve de GNL.

7.1.1. FUITE DE GNL NON PRESSURISÉ – PHASE 1

Le GNL est stocké dans le méthanier à sa température d'ébullition atmosphérique (environ – 162 °C) à l'intérieur d'une cuve intégrée (type membrane) ou d'une cuve sphérique (type Moss). Tous les gaz d'évaporation sont recueillis et, sur la plupart des méthaniers, ils sont utilisés comme source d'énergie pour le navire. Les soupapes de surpression sont réglées afin de ne permettre qu'une très faible pression nette positive.

La plupart des scénarios de fuite à partir d'un réservoir de GNL se produisent à la pression atmosphérique, à laquelle s'ajoute la pression hydrostatique de GNL (c'est-à-dire, la colonne liquide statique au-dessus du point de fuite). Cela implique qu'il n'y a pas de vaporisation instantanée de GNL en gaz due à une chute de pression lors d'une fuite, le changement de phase est provoqué par un transfert rapide de chaleur et par évaporation.

RAPPORT TECHNIQUE

Dans le cas de petites fuites de GNL situées en hauteur, la majeure partie du GNL se vaporisera par transfert de chaleur avec l'air avant d'atteindre l'eau. Dans le cas des très gros déversements dont on traite ici, l'air ne peut apporter suffisamment de chaleur pour assurer l'évaporation d'une portion appréciable du GNL et l'essentiel du déversement aboutira probablement dans la nappe ou à la surface de l'eau. Les fuites sous la surface de l'eau constituent un cas spécial qui est traité plus loin. DNV est d'avis que de telles fuites provoquent une faible pression positive à l'intérieur d'une cuve, suffisante pour actionner les soupapes de surpression mais insuffisante pour menacer l'intégrité d'une cuve.

7.1.2. FORMATION DE LA NAPPE LIQUIDE – PHASE 2

Les fuites de GNL sont soumises à plusieurs processus physiques simultanés, dont la formation d'une nappe de liquide, la dispersion et l'évaporation.

La formation d'une nappe de liquide à partir de liquides cryogéniques en ébullition est un processus dynamique au cours duquel le débit d'arrivée du GNL, l'étalement gravitationnel, les effets tensio-actifs, le transfert de chaleur et l'évaporation sont équilibrés.

RAPPORT TECHNIQUE

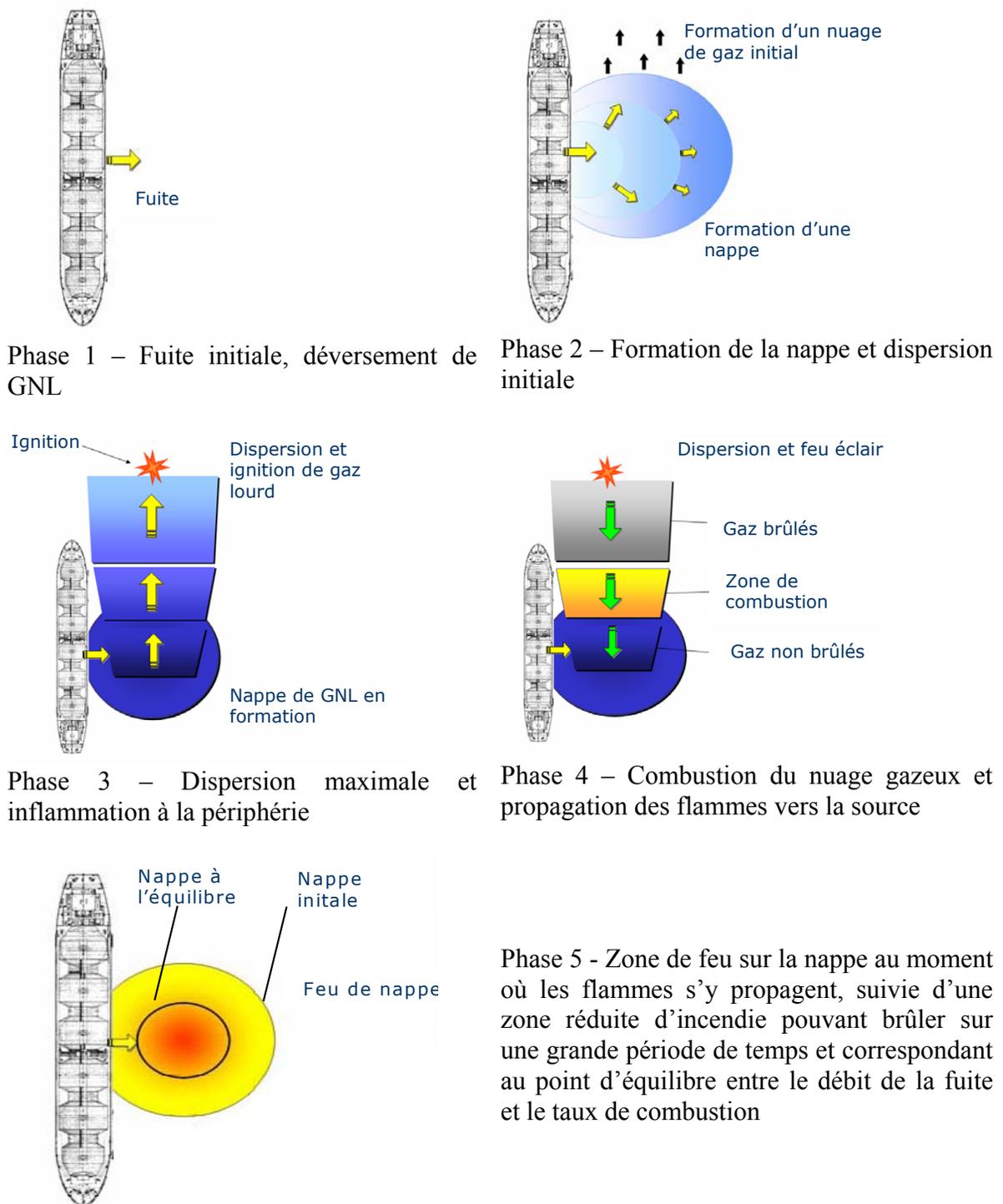


FIGURE 7.1 – CONSÉQUENCES D’UN DÉVERSEMENT DE GNL D’UN MÉTHANIER

RAPPORT TECHNIQUE

7.1.3. TRANSITION RAPIDE DE PHASE (TRP)

Il s'agit d'une transition de phase physique extrêmement rapide qui transforme le GNL liquide en vapeur, principalement parce qu'il est submergé dans l'eau. Cette transition peut provoquer de petites mais violentes explosions localisées, qui ne peuvent que provoquer de faibles surpressions à plus grande distance. La possibilité d'une transition rapide de phase (TRP) est limitée aux zones de mélange entre le GNL et l'eau. A notre avis, en se basant sur les travaux de Nedelka /5/, l'intensité de l'explosion serait de beaucoup inférieure à celle d'une détonation (qui implique des vitesses supersoniques) et l'explosion serait plutôt équivalente à une onde de pression limitée au maximum à la vitesse sonique. Une telle explosion n'a que peu de chances de causer des dommages aux grands éléments structurels d'un navire. Aucune modélisation spécifique de TRP n'a été menée étant donné la faible probabilité pour une TRP d'aggraver la situation à la suite d'un déversement important.



FIGURE 7.2 – EXEMPLE DE TRANSITION RAPIDE DE PHASE (TRP)

7.1.4. DISPERSION – PHASE 3

Le méthane gazeux (ainsi que possiblement d'autres hydrocarbures plus lourds) qui s'évapore de la nappe de GNL forme un gaz dense à cause de sa très faible température (initialement -162 °C). De plus, la condensation de la vapeur d'eau de l'atmosphère peut faire augmenter sa densité.

Au fur et à mesure que le vent disperse le nuage de gaz, celui-ci s'étend à cause des effets de gravité (densité) et il se mélange à l'air à cause de la turbulence atmosphérique (caractérisée par une mesure de stabilité). Le transfert de chaleur avec l'air et l'eau, et la ré-évaporation de vapeur d'eau condensée influent aussi ce processus de mélange.

RAPPORT TECHNIQUE

Le nuage atteint finalement un point de densité neutre. À ce moment, les propriétés de gaz dense ont moins d'importance et le processus de dispersion est dominé par la turbulence atmosphérique.

Un nuage de vapeurs de GNL devient flottant, c'est-à-dire plus léger que l'air, parce que le méthane est beaucoup plus léger que l'air (masses molaires de 14 et 29 respectivement). Cependant la très basse température et la présence d'hydrocarbures plus lourds réduisent la flottabilité initiale du nuage, et celui-ci se dilue suffisamment avant de devenir plus léger que l'air, ne posant donc plus alors un risque d'inflammation.

7.1.5. FEU ÉCLAIR – PHASE 4

Un nuage de méthane (et de tout autre hydrocarbure présent) qui se disperse devient inflammable partout où sa concentration est plus élevée que la limite inférieure d'inflammabilité (LII, 5 % pour le gaz naturel) et inférieure à la limite supérieure d'inflammabilité (LSI, 15 % pour le gaz naturel).

La plupart des nuages qui sont enflammés le sont à leur périphérie lorsque, durant la dispersion, le nuage rencontre une forte source d'inflammation (p. ex., flamme nue, moteur à combustion interne, étincelles).

Si un nuage s'enflamme, il s'effectue un « retour de flamme » ou feu éclair à travers toute sa masse inflammable (c'est-à-dire la portion à l'intérieur de l'étendue du nuage comprise entre la LSI et la LII). Le nuage brûlera ensuite à la limite de la LSI jusqu'à ce que l'hydrocarbure soit entièrement consommé. Le retour de flamme se fera presque toujours jusqu'à la source et la nappe s'enflammera. Le méthane froid chargé d'humidité condensée est toutefois peu inflammable et des expériences (par exemple, Mizner et Eyre /6/) ont montré que plusieurs nuages s'éteignent d'eux-mêmes. La présente évaluation présuppose que le feu ne s'éteint pas et qu'il se propage rapidement jusqu'à la nappe.

Les feux éclairs se déplacent à diverses vitesses à travers les nuages inflammables. Plusieurs facteurs influent sur la vitesse de propagation d'un feu éclair : la vitesse intrinsèque de flamme de la substance, la concentration (vitesse maximale à la concentration stœchiométrique, vitesse moins élevée aux concentrations correspondantes aux LII et LSI), la température, la vapeur d'eau condensée, le degré de turbulence et la présence de zones congestionnées ou d'obstacles qui peuvent augmenter la turbulence. La plupart des feux éclairs survenant dans des endroits non confinés se propagent à des vitesses relativement faibles, de l'ordre de 10 à 20 m/s, et on a relevé des cas d'inflammation de GNL où les flammes ne pouvaient progresser face à un vent de 5 m/s /6/. Cette faible vitesse est probablement due à celle du front de flammes, à la limite supérieure d'inflammabilité (LSI) où la vitesse de flamme est la moins élevée. Pour créer une surpression causant des dommages, le front de flammes devrait atteindre une vitesse de l'ordre de 200 m/s. Dans une situation où il ne se trouve pas d'obstacles, comme c'est le cas pour un nuage se formant au-dessus de l'eau, le confinement nécessaire à cela n'existe pas.

RAPPORT TECHNIQUE

La plupart feux éclairs se propageront donc jusqu'à la source à une vitesse relativement basse et brûleront la substance inflammable à un rythme faible, tout en émettant un rayonnement d'une puissance limitée. La majorité de l'énergie thermique sera absorbée par les gaz de combustion qui s'élèveront au-dessus du nuage. Plusieurs feux éclairs se sont produits à l'occasion d'accidents industriels dans des raffineries ou des usines de produits chimiques. Leurs conséquences sont très bien modélisées en ce qui a trait à l'étendue de la zone limite inférieure d'inflammabilité alors que le nuage se propage. Il s'agit d'une situation très grave pour une personne ou une petite embarcation se trouvant coincée à l'intérieur du nuage inflammable, mais on a rarement observé un impact significatif en dehors de la zone d'inflammabilité.

7.1.6. FEU DE NAPPE – PHASE 5

Si du GNL est déversé près d'une source d'inflammation, le gaz qui s'évapore et se mélange à l'air dans des proportions permettant la combustion, s'enflammera au dessus de la nappe de GNL. Les feux éclairs peuvent aussi provoquer des feux de nappe. Les feux de nappe de GNL génèrent un rayonnement thermique important. En revanche, les grands incendies de GNL ont tendance à produire de la fumée. Cette fumée absorbe une fraction importante des radiations thermiques et réduit le rayonnement vers l'extérieur. Il faut aussi tenir compte du fait qu'une nappe de GNL qui s'étend peut avoir une faible épaisseur. Sous l'effet conjugué de l'évaporation et de la combustion, le feu de nappe verra sa superficie diminuer jusqu'à une taille correspondant à la situation d'équilibre entre le débit de la fuite et le taux de combustion. Le diamètre maximum de la nappe est atteint au début de l'accident. Après un certain temps mesuré en secondes, la nappe va atteindre une situation d'équilibre avec un diamètre plus petit, correspondant approximativement à 43-48% de la superficie maximale de la nappe. La partie extérieure, de faible épaisseur, de la nappe va se consumer en quelques secondes avant que la flamme atteigne la portion centrale de la nappe. Il est alors difficile de différencier cette rapide combustion du feu éclair qui l'a déclenchée. La nappe à l'équilibre est un phénomène très différent d'un feu éclair et va générer un fort rayonnement thermique

7.1.7. BOULE DE FEU ET BLEVE (PEU PROBABLE)

Les boules de feu constituent un processus de combustion très rapide qui est souvent provoqué par un BLEVE (Boiling liquid expanding vapour explosion), un phénomène qui est uniquement associé aux liquides pressurisés. Lorsque ces liquides sont relâchés, ils se vaporisent instantanément et se détendent (souvent jusqu'à 500 fois leur volume initial), ce qui produit des vitesses et des turbulences extrêmes. Le front de flamme se déplace ensuite rapidement à travers l'ensemble de l'enveloppe inflammable. Comme ces déversements n'entraînent souvent que peu d'air, la boule de feu brûle sur toute la surface de l'enveloppe, ce qui pousse la masse inflammable vers le haut et produit de grandes quantités de chaleur durant une période allant habituellement de 20 à 40 secondes.

RAPPORT TECHNIQUE

Les boules de feu sont également possibles lorsque de grandes quantités de gaz sont relâchées, mais elles produisent beaucoup moins de chaleur qu'un BLEVE et exigent des conditions particulières de grande turbulence, peu probables en cas de déversement de GNL à l'air libre.

Étant donné la faible vitesse des flammes, les conditions permettant la création d'une boule de feu dans l'enveloppe inflammable d'un nuage ne sont pas réunies.

Pour que se produise un BLEVE, il faut en général qu'un contenant pressurisé de gaz liquéfié (p. ex., propane ou butane) soit mis en contact avec un incendie externe. Le feu vaporise alors une partie du contenu, mais les soupapes de surpression protègent la cuve contre une pression excessive. Après un certain temps, toutefois, de 15 à 30 minutes, la portion supérieure du réservoir qui n'est pas protégée par le liquide est chauffée par les flammes. Le gaz ne peut refroidir le métal du réservoir comme le fait un liquide. Sous l'effet de la chaleur, le métal s'affaiblit jusqu'au point où même la pression normale maintenue par les soupapes de surpression est suffisante pour le rompre. À ce moment, le contenu pressurisé est relâché soudainement et une partie se vaporise. Comme le taux de détente de liquide à vapeur est souvent de plus de 300, l'expansion s'accompagne d'une grande turbulence. Si cette masse s'enflamme, on obtient un BLEVE. Le terme « explosion » n'est pas approprié pour décrire le phénomène, dans la mesure où celui-ci a des conséquences essentiellement thermiques. Un réservoir de GNL n'est pas conçu pour être pressurisé; même quand il est exposé à un feu de source extérieure, il ne peut accumuler une pression suffisante pour produire un BLEVE important. De plus, 30 ou 40 minutes d'exposition, même avec un contact thermique parfait, ne sont pas suffisantes pour augmenter la température du GNL au point qu'il produise une augmentation de pression. L'isolation thermique du réservoir peut offrir une certaine protection, mais comme elle n'est pas cotée pour sa résistance au feu on doit considérer qu'elle sera détruite. À ce moment, la partie supérieure du réservoir de GNL est susceptible de céder, avec pour conséquence la naissance d'un feu de nappe à côté du toit du réservoir.

DNV estime que de l'eau projetée par des lances à incendie installées sur des remorqueurs pourrait offrir une certaine protection contre la rupture du réservoir, sans garantie de succès toutefois. Un feu de nappe d'envergure risquerait donc de se déclarer dans le réservoir.

De temps à autre, des incendies se déclenchent dans de grands réservoirs de mazout et durent jusqu'à un ou deux jours. Le liquide dans le réservoir protège le métal de la cloison : le feu brûle avec intensité à la surface sans endommager le réservoir. Ainsi, des remorqueurs-incendie projetant de l'eau sur les parois d'un réservoir en feu afin de les refroidir pourraient contribuer à protéger ce réservoir et les réservoirs avoisinants.

7.1.8. EXPLOSION DU NUAGE DE VAPEUR (PEU PROBABLE)

Une explosion d'un nuage de vapeur peut survenir lorsqu'une grande masse inflammable de vapeur d'hydrocarbure est enflammée dans un espace entièrement ou partiellement clos. La combustion thermodynamique d'un mélange stœchiométrique d'hydrocarbure dans l'air fera augmenter de 8 fois le volume des produits de combustion par rapport aux réactifs. Cela est

RAPPORT TECHNIQUE

principalement dû à la température élevée des gaz de combustion et partiellement dû à l'accroissement du nombre de moles de gaz. Dans un espace clos (p. ex., une boîte fermée), la pression finale maximale serait de 8 bars (environ 120 psi). Dans un espace ouvert à l'extérieur, il n'y a pas de confinement et des expériences /6/ ont démontré que le méthane brûlera relativement lentement avec principalement une expansion verticale des gaz. Mizner et Eyre /6/ rapportent des vitesses de propagation des flammes de l'ordre de 10 à 12 m/s et, dans certains cas, de seulement 5 m/s.

On a noté une importante exception à ce scénario, d'abord lors de l'explosion de l'usine Nypro de Flixborough, au Royaume-Uni (1974), puis dans d'autres explosions comme celle de l'usine Phillips de Pasadena, aux États-Unis (1989) et sur différentes plateformes de forage en mer. Ces cas ont en commun la formation d'un grand nuage d'hydrocarbures inflammables se dispersant dans un espace partiellement confiné. De tels espaces se forment au sein, par exemple, des installations très serrées des raffineries ou dans des sections partiellement fermées des plateformes de forage. Ce confinement partiel provoque une accélération du front de flammes jusqu'à la vitesse de 200 m/s ou plus, nécessaire pour créer une surpression susceptible de causer des dommages.

Autre exception importante, l'entrée de gaz inflammable dans un immeuble (par exemple, par le système de ventilation forcée). Si le gaz prend feu à l'intérieur, l'expansion de son volume par un facteur de huit est suffisante pour causer un certain type d'explosion. Il ne s'agit pas d'une onde de choc comme celle produite par une détonation ou une déflagration, mais plutôt le résultat d'une expansion de volume ne pouvant trouver un chemin facile pour se dissiper. La pression peut alors, comme cela se produit parfois, soulever la toiture ou faire éclater les murs. Une façon efficace d'éviter cette situation consiste à fermer portes et fenêtres et à stopper la ventilation de l'immeuble, qui peut alors offrir une bonne protection aux occupants puisque très peu de gaz pourra alors y pénétrer. Si le gaz à l'extérieur s'enflamme, les flammes contourneront l'immeuble plutôt que de le traverser. Le phénomène se produit à l'intérieur du nuage et ne cause pas de pression à l'extérieur de son enveloppe inflammable.

Pour toutes ces raisons, DNV rejette la possibilité d'une explosion d'un nuage gazeux découlant de fuites de méthane gazeux à l'air libre, comme celles provenant de déversements de GNL à partir de méthaniers. Un grand nuage de gaz se répandant dans un endroit où se trouvent des maisons et des immeubles peut bien entendu mener à une telle situation, mais cette possibilité est évaluée par le modèle général de dispersion des nuages gazeux.

RAPPORT TECHNIQUE

7.1.9. CONCLUSION RELATIVE AUX PHÉNOMÈNES À MODÉLISER

DNV estime que les phases décrites ci-dessous constituent les éléments clés de la modélisation (voir la figure 7.1).

Phase 1 Déversement	Un déversement de GNL au-dessus ou au-dessous de la ligne de flottaison est possible, que ce soit à la suite d'un accident ou d'un acte terroriste.
Phase 2 Nappe de GNL	Le déversement produira une grande nappe de surface constituée de GNL en forte ébullition.
Phase 2 Transition rapide de phase	Dans certains cas de déversement, la fuite sera accompagnée d'une transition rapide de phase (TRP) du GNL pouvant occasionner une surpression localisée, mais insuffisante pour créer des dommages à grande distance. Dans l'espace immédiat du navire, la surpression devrait être trop faible pour entraîner des dommages structurels additionnels sérieux en comparaison avec ceux qui ont causé le déversement.
Phase 3 Dispersion sous forme de vapeur dense	La nappe de GNL en ébullition produira un nuage gazeux, par nature plus léger que l'air, mais sa densité initiale sera néanmoins plus élevée, étant donné la basse température et la condensation de l'humidité atmosphérique. Ce nuage se dispersera dans la direction du vent. L'élévation du nuage, en raison de sa densité plus faible que celle de l'air, est théoriquement possible, mais elle ne pourra se produire avant que la composition du nuage se trouve sous sa limite inférieure d'inflammabilité (LII). Par conséquent, le nuage restera proche de la surface de l'eau durant toute sa phase inflammable.
Phase 4 Feu éclair	Le nuage inflammable peut s'enflammer à la périphérie, ce qui provoquerait un feu éclair. Dans ce cas, les flammes se propageront vers la source à une vitesse relativement faible (moins de 20 m/s), sans création de surpression et avec un taux de combustion insuffisant pour créer une boule de feu. Le principal danger pour les personnes et les biens se trouvera donc à l'intérieur de la zone d'inflammabilité. L'impact thermique pour les personnes et les biens à l'extérieur de l'enveloppe inflammable ne devrait pas représenter de danger important.
Phase 5 Feu de nappe	La nappe de GNL s'enflamme suite à un feu éclair et brûle jusqu'à l'épuisement du combustible contenu dans la nappe et de celui qui provient de la fuite. Il est vraisemblable qu'une nappe mince suite à l'étalement gravitationnel du déversement de GNL ne pourra pas maintenir le taux de combustion pendant longtemps et le diamètre de la nappe diminuera rapidement pour atteindre une taille à l'équilibre entre l'arrivée de nouveau combustible et le taux de combustion. En s'étalant, le GNL peut former une nappe de seulement 1 mm d'épaisseur. Le taux de combustion par minute est plusieurs fois supérieur à cette quantité et, dans le cas d'une grande nappe, la force gravitationnelle est insuffisante pour amener assez de GNL à la périphérie pour remplacer celui qui est brûlé.
Autres conséquences	Aucune condition ne permet la création d'une boule de feu, un BLEVE ou l'explosion d'un nuage gazeux.

RAPPORT TECHNIQUE

Les risques importants sont donc associés à la dispersion du méthane gazeux, jusqu'à ce qu'il atteigne sa LII. En cas d'inflammation à la périphérie, un feu éclair peut survenir et mettre en danger toute personne se trouvant à l'intérieur de l'enveloppe inflammable. Un feu de nappe se formera près de la fuite à la suite de ce feu éclair, mais son diamètre sera inférieur à celui de la nappe initiale.

7.2. Dommages à la coque et dimensions de la brèche – Déversement de GNL

Au moment d'établir la taille probable d'une brèche, il est important de se rappeler qu'aucun déversement important d'un chargement de GNL n'est jamais survenu. Par conséquent, ce qui suit ne constitue pas une étude définitive sur la taille des brèches, mais plutôt un jugement professionnel sur la dimension maximale plausible d'une brèche produite par un échouement ou une collision.

Ce jugement professionnel est celui du Joint Sponsor Project 2004 (JSP), réalisé par un groupe de 23 spécialistes reconnus comptant des architectes navals, des officiers de marine, des experts en analyse de risque, des ingénieurs en classification maritime, des spécialistes en structure ainsi que des ingénieurs en mécanique et en sécurité. Une séance HAZID a été tenue avec ces personnes. L'équipe a dressé la liste des accidents possibles et a, entre autres, déterminé la dimension des brèches en résultant. Seules les conclusions relatives aux dimensions probables des brèches sont rapportées ici.

Estimation de la dimension de la brèche

(i) Dimension de la brèche – Échouement ou collision

L'estimation des dimensions des brèches résultant d'un échouement ou d'une collision se révèle complexe, car la structure des méthaniers offre plusieurs niveaux de protection. En général, quatre ou cinq barrières physiques doivent être traversées pour qu'il y ait déversement du chargement. Paik et coll. /10/ ayant publié des travaux sur les collisions basent leur réflexion sur un scénario où il y a intrusion dans le réservoir de GNL. Dans les faits, un réservoir de GNL peut absorber une forte déformation avant de se rompre. Le matériau avec lequel il est construit est conçu pour rester ductile à une température de – 162 °C. On ne remplit pas la cuve à capacité (il est plein à 96-97 % à l'arrivée), ce qui laisse un espace de plus de 800 m³ pour les gaz. Tant que la cuve du méthanier n'est pas pleine de liquide et que sa structure peut se déformer, il y a de fortes chances pour qu'elle reste étanche, puisque la vitesse de déformation est relativement basse. L'échouement du *El Paso Paul Kayser* à Gibraltar (1979) causa des déformations importantes à la coque, mais les autres éléments de protection limitèrent la déformation de la cuve à membrane à environ 1 m, sans aucune fuite. L'équipe chargée de déterminer les risques a jugé qu'un orifice de 250 mm serait plausible dans le cas d'une perforation, et c'est justement une des dimensions utilisées pour la modélisation. Les autres dimensions retenues après l'HAZID l'ont été à la suite de discussions avec des experts compétents.

RAPPORT TECHNIQUE

M. Bo Cerup Simonsen, spécialiste en chef des structures chez DNV, s'est basé sur son jugement pour évaluer la dimension probable des brèches. On note parmi ses qualifications : chef du groupe d'hydrodynamique et de structure de DNV, docteur en génie mécanique, professeur agrégé à l'Université technique du Danemark, co-organisateur en 2001 de la 2^e Conférence internationale sur les collisions et l'échouement, codéveloppeur au Massachusetts Institute of Technology (MIT) d'un modèle sur les collisions utilisé aux États-Unis et auteur de plus de 50 articles techniques sur le sujet des collisions et de l'échouement. Sverre Vålsgard, un de ses collègues dans le groupe d'hydrodynamique et de structure, qui possède également une bonne expertise en collisions et en échouements, a participé à l'exercice.

L'opinion de M. Simonsen s'appuie sur les données statistiques relatives aux collisions et à l'échouement fournies dans le guide de conception pour les nouveaux navires-citernes de l'OMI /11/. Comme ce document ne couvre pas tous les types de navires, il s'est basé sur son jugement pour évaluer les dimensions probables des brèches. L'information statistique sur les dommages est non dimensionnelle par rapport à la taille du navire principal et la quantité de données effectives sur les dommages ne permet pas une analyse détaillée et précise, comme celle qu'on obtient avec la méthode des éléments finis. Selon DNV, seules des expériences concrètes pourraient donner des dimensions de brèches réalistes; les modèles sont tous fondés sur de multiples hypothèses et il en découle de grandes incertitudes. L'approche utilisée ici est donc considérée comme une évaluation approximative de l'étendue des dommages possibles.

On pose comme hypothèse que la distance entre la coque extérieure et la cuve de GNL est de 2 m, que sa capacité de déformation est de 3 m et qu'un enfoncement de moins de 5 m ne cause pas de fuite. Sur la base de ces hypothèses, les données statistiques montrent que seulement 10 % des collisions et des échouements produisent des avaries causant une fuite. Dans le cas des événements menant à une fuite, la probabilité d'obtenir une brèche entre 0 et 1 500 mm est pratiquement égale pour toutes les dimensions comprises dans l'intervalle. La dimension moyenne de l'orifice par lequel se ferait le déversement est donc de 750 mm.

Le JSP a retenu une dimension de 750 mm comme étant le maximum plausible dans le cas d'un échouement ou d'une collision.

(ii) Dimension de la brèche – Acte terroriste

L'analyse quantitative ne couvre pas les actes terroristes. Durant la réunion HAZID, le risque terroriste a été jugé faible et la probabilité d'un tel événement est difficile à évaluer. Le JSP a retenu une dimension de 1 500 mm comme étant le maximum plausible dans le cas d'un acte terroriste. Les conséquences d'un tel événement sont cependant étudiées dans ce rapport.

RAPPORT TECHNIQUE

Déversement de GNL à la suite d'une défaillance du bras de déchargement

Le scénario relatif au bras de déchargement présuppose une défaillance complète du bras et du dispositif de déconnexion d'urgence (PERC). Il suppose de plus qu'il existe un système de coupure automatique de l'arrivée de GNL en cas de rupture. Ce scénario produit un déversement bien supérieur à celui que donnerait l'analyse de données statistiques. Le chargement de GNL se déverse par trois bras de déchargement à un débit d'environ 12 000 m³/h. Il s'agit là d'une estimation prudente. On établit la durée à 1 minute afin de prendre en considération le temps de réaction du système de coupure automatique et le délai d'intervention de l'équipage.

Résumé – Évaluation de la dimension de la brèche et du déversement de GNL

Les dimensions et les déversements plausibles pour les scénarios considérés dans le présent projet sont indiqués ci-dessous :

Événement	Diamètre de l'orifice ou débit de déversement	Endroit
Collision ou échouement mineur	250 mm	Au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison
Collision ou échouement majeur	750 mm	Au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison
Brèche crédible maximum (acte terroriste)	1500 mm	Au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison
Opérations – bras de déchargement	12 000 m ³ /h	À la jetée, au-dessus de la ligne de flottaison

TABLEAU 7.1 – DIMENSIONS DE L'ORIFICE ET SCÉNARIO DE DÉVERSEMENT

7.3. Déversement de GNL et évaluation de la dispersion

On présente ici l'évaluation d'un déversement provenant d'un mauvais fonctionnement des bras de déchargement ou de dommages à la coque. Dans un premier temps, on présente les calculs généraux pour un déversement provenant de brèches des trois tailles retenues, puis une analyse de la sensibilité du modèle de déversement de GNL pour le méthanier. Dans un deuxième temps sont exposés les calculs du modèle PHAST relatifs aux temps de dispersion pour des déversements au-dessus et au-dessous de la ligne de flottaison.

7.3.1. CALCULS DE DÉBIT DE FUITE

Le tableau 7.1 regroupe les cas simulés. On a pris en considération la hauteur de la colonne liquide de GNL et la dimension de la brèche pour les déversements survenant au-dessus de

RAPPORT TECHNIQUE

la ligne de flottaison ainsi que la pression de retour de l'eau et celle du GNL pour les brèches sous la ligne de flottaison.

En utilisant les résultats issus de la séance du projet JSP mentionnée plus haut, à laquelle participaient certains des plus grands experts mondiaux en GNL, on observe que le réservoir modélisé présente des débits de déversement similaires dans le cas des cuves sphériques comme dans celui des cuves à membrane. Les résultats relatifs aux cuves à membrane ont donc été utilisés pour l'analyse.

En ce qui concerne les risques d'incendie, la quantité de combustible déversée durant les dix premières minutes détermine la zone de danger maximale. Les dimensions utilisées sont celles d'un méthanier type de grande capacité : largeur de 34,5 m, longueur de 32,3 m, hauteur de 24,6 m (pour une capacité de 27 450 m³) et remplissage à 98%.

Les brèches par lesquelles s'échappe le GNL peuvent être modélisées en utilisant un orifice circulaire de taille équivalente. La description de la taille et de la forme des orifices est inexacte, mais la simplification consistant à remplacer un trou de dimensions données par un orifice circulaire est utilisée dans pratiquement toutes les évaluations de cette nature. Un orifice circulaire dont le diamètre correspond à la plus grande dimension d'une brèche donnée aura un débit de déversement plus élevé que toute autre forme de brèche. On présume également dans cette analyse que l'objet ayant causé la brèche est immédiatement retiré. Dans la réalité, en cas d'abordage, les navires restent souvent encastés l'un dans l'autre, ce qui réduit la taille effective de l'orifice par lequel le déversement se produit. Les calculs restent donc prudents à cet égard et leurs résultats demeurent valides pour des déversements provenant de plus grands réservoirs.

La méthode usuelle de calcul du déversement fait appel à l'équation de Bernoulli. PHAST utilise une variante de cette équation, modifiée pour tenir compte avec précision d'un déversement constitué de deux phases relâchées sous pression (comme des gaz de pétrole liquéfiés). L'équation représente bien le cas des liquides à leur point d'ébullition atmosphérique (comme le GNL).

Deux scénarios sont modélisés :

1. Déversement au-dessus de la ligne de flottaison.
2. Déversement au-dessous de la ligne de flottaison.

La figure 7.3 les illustre sous forme de diagramme.

RAPPORT TECHNIQUE

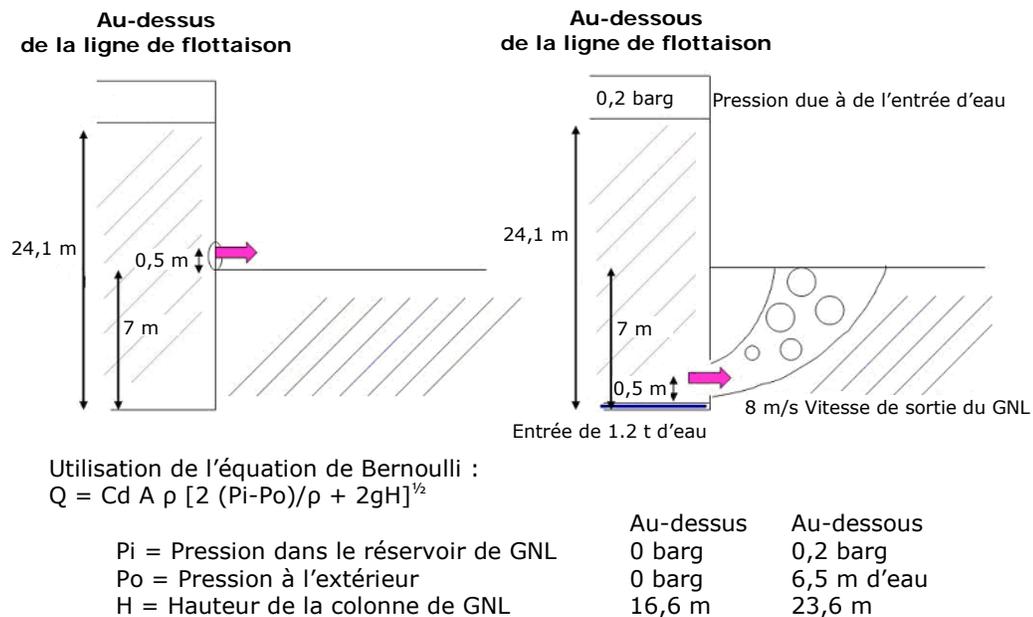


FIGURE 7.3 – SCÉNARIOS DE DÉVERSEMENT DE GNL AU-DESSUS ET AU-DESSOUS DE LA LIGNE DE FLOTTAISON

Déversement au-dessus de la ligne de flottaison

Le déversement au-dessus de la ligne de flottaison est un cas relativement simple. On présume que la cuve est pleine, que la ligne de flottaison se situe à 11 m du fond du navire, que l'épaisseur de la double coque est de 2 m et que l'espace additionnel pour l'isolant ou d'autres éléments est de 2 m également. Ce total de 4 m est proche de la distance mesurée par DNV sur un navire et de peu supérieure à la distance minimale. Cela donne un débit de déversement calculé plus élevé qui correspond à une approche prudente. La figure 7.3 en présente un dessin simplifié.

Le centre de l'orifice se trouve à 500 mm au-dessus du niveau de l'eau. L'équation de Bernoulli est donnée plus bas. Dans ce scénario, il n'y a pas de pression de vapeur nette (la pression dans la zone de vapeur est égale à la pression atmosphérique) et la seule force agissant sur le liquide est celle de la colonne liquide statique, soit 16,5 m de GNL.

$$Q = C_d A \rho [2 (P_i - P_o) / \rho + 2gH]^{1/2}$$

où :

Cd est le coefficient d'écoulement (0,6) pour une brèche aux bords nets (une brèche aux bords enfoncés aura probablement un coefficient inférieur).

A est la surface de la brèche.

RAPPORT TECHNIQUE

- ρ est la masse volumique du GNL (425 kg/m^3).
- P_i est la pression dans la cuve de GNL (0 barg).
- P_o est la pression à l'extérieur de la brèche (0 barg).
- H est la colonne de GNL ($24,1 \text{ m} - 7,0 \text{ m} - 0,5 \text{ m} = 16,6 \text{ m}$).

En utilisant la formule et les données relatives à la cuve, on obtient les valeurs suivantes pour les débits de déversement. Elles indiquent que près de 70 % du chargement serait perdu, pour chacune des tailles sélectionnées, aux débits respectifs maximaux de 226, de 2 030 et de 8 130 kg/s. Le déversement se produirait pendant respectivement 19 h, 2,2 h et 0,54 h, compte tenu d'un débit moyen égal à la moitié du débit initial. Une cuve sphérique pourrait prendre plus de temps à se vider étant donné sa géométrie.

	Perforation crédible	Brèche maximum crédible (événement accidentel)	Brèche maximum crédible (acte terroriste)
Diamètre	250 mm	750 mm	1 500 mm
Surface de l'orifice	0,049 m ²	0,44 m ²	1,77 m ²
Débit initial	226 kg/s	2 030 kg/s	8 130 kg/s
Durée du déversement	19 h	2,2 h	0,54 h
Vitesse du fluide à la sortie de la brèche	10,8 m/s	10,8 m/s	10,8 m/s
Pourcentage du chargement perdu	69 %	69 %	69 %

TABLEAU 7.2 – DÉBITS DE DÉVERSEMENT CALCULÉS POUR LES BRÈCHES AU-DESSUS DE LA LIGNE DE FLOTTAISON

Déversement sous la ligne de flottaison

Dans le cas d'un déversement sous la ligne de flottaison, on doit tenir compte de l'interaction avec l'eau. DNV envisage deux situations. Il peut s'agir soit d'une collision endommageant le flanc du navire, soit d'un échouement causant des dégâts sous le bâtiment. Fay /12/ montre en exemple le cas théorique d'une brèche verticale dans le flanc d'un méthanier d'où le GNL s'échappe par le haut alors que l'eau pénètre par le bas, en raison de la différence de densité entre les liquides.

Pour DNV, ce phénomène se produira seulement au début du déversement, puisque l'entrée en ébullition du GNL au contact de l'eau créera rapidement une pression positive dans la cuve et une vitesse d'expulsion du GNL suffisante pour bloquer l'entrée d'eau additionnelle. Une pression de 0,2 barg (3 psig) est suffisante pour imprimer une vitesse d'expulsion de 9 m/s au GNL et cela suffit aussi pour empêcher toute infiltration d'eau supplémentaire. Une

RAPPORT TECHNIQUE

infiltration d'eau de l'ordre de 1 ou 2 t suffit à provoquer cette montée de pression. Par la suite, alors que le débit de déversement diminue, de l'eau pourra à nouveau pénétrer dans la cuve, causant une nouvelle ébullition avec pour résultat de stopper encore une fois l'entrée d'eau. Globalement, ce phénomène permet un déversement presque stable, pratiquement jusqu'à la fin.

La cuve intégrée d'un méthanier (type membrane), entourée de sa structure isolante et de la coque du navire, peut probablement supporter une faible pression positive. Une cuve sphérique (type Moss) est quant à elle apte à supporter une pression positive plus grande. Dans les deux cas, le système de protection contre les surpressions sera activé, ce qui abaissera la pression dans la cuve; si cela permet l'entrée d'eau, l'ébullition qui en résulte fera augmenter la pression de même que le débit de déversement jusqu'à ce que l'entrée d'eau soit de nouveau bloquée. Éventuellement, tout le chargement peut être perdu, à moins que le débit ne soit assez faible pour qu'on ait le temps de mettre en sécurité le chargement en le pompant, comme cela a été fait pour le *El Paso Paul Kayser* en 1979.

Si la brèche est située au fond du navire (échouement), la colonne statique de GNL et les densités relatives des deux liquides ne permettront pas l'entrée de l'eau, l'effet de la gravité s'y opposant. Il y aura par contre pressurisation de la cuve, car le transfert de chaleur entre l'eau et le GNL entraînera une hausse suffisante de la pression et de l'écoulement de GNL pour éviter toute infiltration d'eau additionnelle. De grandes quantités de GNL seront déversées, du même ordre que pour une fuite sur le flanc, et là aussi tout le chargement risque d'être perdu.

L'équation de Bernoulli présente pour ce cas une pression de colonne positive étant donné la pression de 0,2 barg dans la cuve et la hauteur de colonne supérieure de GNL. Ces deux facteurs ont tendance à augmenter le débit de GNL, alors que la pression de retour de l'eau sous la ligne de flottaison tend à le diminuer. Le résultat net de ces effets contraires est une réduction du débit de déversement.

$$Q = C_d A \rho [2 (P_i - P_o) / \rho + 2gH]^{1/2}$$

où :

- ρ est la masse volumique du GNL (425 kg/m³).
- P_i est la pression dans la cuve de GNL (0,2 barg).
- P_o est la pression à l'extérieur de la brèche (0,63 barg).
- H est la hauteur de la colonne de GNL (24,1 m – 0,5 m = 23,6 m).

En utilisant l'équation de Bernoulli et les données relatives à la cuve, on obtient les valeurs suivantes pour les débits de déversement. Elles indiquent que la totalité du chargement serait perdue, pour chacune des tailles d'orifice sélectionnées, aux débits respectifs maximaux de 200, 1 800 et 7 220 kg/s. Le déversement se produirait pendant respectivement plus de 30 heures, plus de 3 heures et plus de 0,8 heures, compte tenu d'un débit moyen égal à la moitié du débit initial. Ici aussi, une cuve sphérique pourrait prendre plus de temps à se vider, étant donné sa géométrie.

RAPPORT TECHNIQUE

	Perforation crédible	Brèche maximum crédible (événement accidentel)	Brèche maximum crédible (acte terroriste)
Diamètre	250 mm	750 mm	1 500 mm
Surface de l'orifice	0,049 m ²	0,44 m ²	1,77 m ²
Débit initial	200 kg/s	1 800 kg/s	7 220 kg/s
Durée du déversement	30 h et plus	3 h et plus	0,8 h et plus
Vitesse du fluide à la sortie de la brèche	9,7 m/s	9,7 m/s	9,7 m/s
Pourcentage du chargement perdu	100 %	100 %	100 %

TABLEAU 7.3 – DÉBITS DE DÉVERSEMENT CALCULÉS POUR LES BRÈCHES SOUS LA LIGNE DE FLOTTAISON

Il est à noter que les calculs deviennent plus complexes lorsque la pression de la colonne de GNL approche celle de l'eau. Comme cela n'a pas d'impact sur l'évaluation du risque maximal, cet aspect n'a pas été analysé en détail.

7.3.2. ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Plusieurs hypothèses, sous forme de questions, ont été prises en considération durant l'analyse des déversements.

Qu'arrive-t-il si de l'eau pénètre par une brèche située au-dessus du niveau de l'eau et que le navire gîte du côté de la fuite ?

Cela transformerait la situation en un cas de déversement sous la ligne de flottaison et le comportement du déversement s'accorderait avec ce scénario. L'entrée d'eau augmenterait la pression interne et stopperait l'infiltration d'eau additionnelle. Le déversement se trouverait donc être un cas médian entre les deux scénarios, le cas avec déversement au-dessus de la ligne de flottaison produisant le débit le plus élevé.

Qu'arrive-t-il si une transition rapide de phase (TRP) se produit entre le point d'où le GNL s'échappe et la surface de l'eau ?

Une TRP est possible quand du GNL est relâché sous la surface. Cela crée une onde de pression dont l'effet à distance peut être exprimé par son équivalent en TNT. Les cas d'ondes de pression discutés dans la documentation spécialisée se rapportent à de petits déversements (par exemple, un déversement instantané de 9 m³). Le déversement dont on

RAPPORT TECHNIQUE

traite pourrait être de 4 m³/s sur une période plus longue. Un déversement de 9 m³ équivaut à 4,2 kg de TNT.

Bien qu'on puisse trouver une équivalence avec le TNT (selon un calcul de routine) pour l'onde de pression à grande distance, il ne se produit pas de détonation ni de combustion. Une TRP ne peut créer d'onde supersonique. Au pire, le phénomène pourrait produire une onde se propageant à la vitesse du son, mais en réalité elle se propagerait probablement beaucoup moins vite. Donc, à courte distance, dans la zone de sécurité du méthancier, l'effet ne sera pas aussi destructeur que celui d'une détonation de TNT. Comme la TRP suppose que du GNL se retrouve sous l'eau, DNV estime probable que l'essentiel de la pression se dissipe en direction de la surface plutôt que vers le bas et la source de GNL, comme cela pourrait se produire dans le cas d'une détonation. Les éventuels dommages causés s'en trouveraient de beaucoup diminués. De plus, si le navire donne de la bande, il présentera une surface de coque intacte à la TRP plutôt qu'une partie endommagée et plus vulnérable.

Qu'arrive-t-il si de l'eau pénètre dans l'espace compris entre la coque et la cuve de GNL?

L'entrée d'eau dans cet espace n'a pas été prise en considération dans la conception de stabilité du navire. Par conséquent, une grande quantité d'eau le fera gîter. Plus grave encore, l'eau pourrait s'infiltrer dans l'isolant et apporter de la chaleur à la cuve. Dans ce cas, une cuve sphérique peut avoir un comportement différent de celui d'une cuve à membrane.

On trouve des cofferdams (compartiments étanches) et des structures de coque entre les cuves, que ces derniers soient de type sphérique ou à membrane. Comme ces structures sont étanches, les dommages causés dans la zone d'une cuve ne devraient pas avoir d'effet sur les autres zones des cuves, les cofferdams étant très solides.

Les cuves à membrane sont isolées par des granules de perlite entassées dans des compartiments de contreplaqué. Il s'agit d'un matériau inerte qui perd toutefois sa capacité isolante s'il est mouillé. Il peut alors geler et devenir conducteur de chaleur, ce qui permettrait l'entrée de chaleur dans la cuve, quoique à un taux modéré. L'isolation gelée permet le transfert de chaleur par conduction, mais, avec une épaisseur d'environ 0,53 m, elle représente un mécanisme de transfert de chaleur bien moins efficace que la convection directe avec l'eau.

Les cuves sphériques sont recouvertes d'une isolation en plastique sur toute leur surface. L'isolant n'est pas à l'épreuve du feu mais devrait résister à l'immersion. Comme on ne l'a pas conçu pour l'immersion à grande profondeur, il est possible qu'il se détache sous l'effet de la force de flottaison, une éventualité cependant peu probable dans le cas d'une immersion modérée. L'isolant est très dense, puisqu'il doit réduire l'évaporation à moins de 0,15 % du contenu par jour, bien que la cuve soit à -162 °C et que de l'air presque à la température ambiante se trouve de l'autre côté de l'isolant.

RAPPORT TECHNIQUE

Une solution, si l'entrée d'eau n'est pas trop importante, consisterait à remplir les ballasts de l'autre côté afin de provoquer la gîte du navire et de faire émerger la brèche. L'eau non congelée se trouvant déjà à l'intérieur peut être évacuée par les pompes de cale, mais à un débit relativement lent.

Qu'arrive-t-il si deux cuves sont touchées?

DNV a examiné les plans de méthaniers de 125 000 m³, de types Moss et membrane, et mesuré la distance entre les cuves.

Dans le cas des cuves à membrane, elles sont séparées, d'une part, par leur isolation propre et, d'autre part, par les cofferdams. Le cofferdam a une épaisseur de 2,2 m et on compte 1 m d'isolation de chaque côté, ce qui donne une distance totale de 4,2 m entre les parois de chaque cuve. En posant comme hypothèse une brèche s'enfonçant sur une profondeur maximale de 2,9 m, il n'est pas possible d'induire suffisamment de déformation sur les deux cuves pour en provoquer la rupture. La probabilité de toucher le cofferdam avec précision est faible, puisqu'il ne fait que 2,2 m, alors que la cuve et son isolation font 36 m (34 m + 1 m + 1 m). La probabilité de heurter le cofferdam entre deux cuves n'est donc que 2,2/36, soit 0,06. La probabilité de produire une brèche de la taille maximale est déjà très faible. Si on ajoute à cela une chance de seulement 6 % de toucher un endroit précis, la possibilité d'une collision à un endroit spécifique devient pratiquement nulle et le scénario n'est pas plausible. De toute façon, même si cet accident survenait, les deux cuves ne seraient pas percées. Des modifications de la taille du navire n'auraient pas d'impact significatif sur ces conclusions.

Dans le cas des cuves sphériques, deux cuves adjacentes sont séparées par une cloison structurelle de la coque, la jupe de support de la sphère et l'isolation. La distance la plus faible qui les sépare se trouve là où la sphère est la plus large, soit au milieu. À ce point, la distance entre les cuves est de 2,7 m, mais cette mesure se fait à une hauteur de 11 m au-dessus de la ligne de flottaison, une hauteur peu probable pour une collision importante. À la ligne de flottaison, la distance qui sépare les cuves monte à 6,8 m, et elle est encore plus grande sous la ligne de flottaison.

La probabilité de perforer deux cuves sphériques est donc extrêmement mince. Ce scénario n'est pas plausible.

Qu'arrive-t-il si le GNL altère la structure du navire ?

Un aspect important à considérer est celui de l'effet du froid (-162 °C) lorsque du GNL se répand sur les structures du navire à la suite d'une collision, d'un échouement ou d'un acte terroriste. Les cuves de GNL et leurs tuyauteries sont conçues pour supporter de telles températures sans devenir fragiles.

La fragilisation est une caractéristique que présentent plusieurs métaux communs lorsqu'on les refroidit sous leur température normale d'utilisation. On la mesure par le test de Charpy. Dans de telles conditions, les métaux peuvent perdre leur ductilité et se rompre bien avant

RAPPORT TECHNIQUE

d'atteindre les limites de leur résistance structurelle normale. Les cuves de GNL sont faites d'acier inoxydable ou d'aluminium, deux métaux réagissant bien au froid. La structure du navire, par contre, est construite en acier doux normal. Ce matériau présente de mauvaises caractéristiques de fragilisation aux environs de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ et au-dessous. Une fuite de GNL touchant ces éléments structurels en quantité suffisante pour en refroidir une portion importante pourrait causer une défaillance structurelle localisée. Un facteur susceptible de diminuer les risques est l'entrée d'eau en grande quantité dans le même espace, à la suite d'une collision ou d'un échouement, car l'eau protège le métal du froid. Les structures du navire présentent également une certaine redondance, de telle sorte que le bris d'un élément peut être compensé par une structure voisine non touchée qui accepte la redistribution des charges. Il est difficile d'estimer comment tous ces facteurs interagissent, mais on peut s'attendre à des dommages structurels secondaires, se produisant lentement.

Une question qui reste sans réponse concerne la réaction du navire à un très grand déversement touchant plusieurs de ses éléments structurels. DNV juge que le navire s'enfoncerait et que les cuves entreraient en contact avec l'eau à travers l'isolation. L'eau gèlerait rapidement et cela réduirait l'importance de tout transfert de chaleur ultérieur. On ne sait si cette situation conduirait au naufrage du navire, cette question mérite davantage de recherches. Une solution serait de vider les cuves adjacentes et les ballasts afin d'augmenter la flottabilité du navire. Bien qu'on ne puisse transférer le chargement de GNL en toute sécurité durant un déversement, on peut transférer le contenu des ballasts. On peut également améliorer les conditions du déversement en faisant gîter le navire à l'aide des ballasts. Les mesures précises à exécuter demandent beaucoup de réflexion et de préparation de la part de l'armateur, de la société de classification et de l'autorité portuaire.

7.3.3. CALCUL DE LA DISPERSION

Caractéristiques des rejets de gaz dans l'atmosphère

Comme il ne s'est jamais produit de rupture catastrophique de la coque d'un méthanier ni du système de confinement de la cargaison, il n'existe pas de données d'accident sur lesquelles baser la construction de scénarios d'événements consécutifs à l'émission de grandes quantités de gaz naturel dans l'atmosphère. Cependant, le comportement du méthane déversé a fait l'objet d'études détaillées à la lumière d'importantes expériences qui faisaient appel à des rejets contrôlés. On comprend donc bien les conséquences de ce type de fuite et il est possible de les prévoir à l'aide de la modélisation mathématique, dont les limites de tolérance permettent une interprétation fiable dans des circonstances données.

À la suite d'un déversement de gaz liquéfié, un nuage se forme et se déplace horizontalement à partir du point de rejet sous l'effet des vents dominants. Le nuage se compose des gaz contenus dans le GNL, de vapeur d'eau condensée (ce qui lui donne l'apparence caractéristique d'un nuage blanc) et d'air. En se mélangeant avec l'air, le nuage devient en grande partie inflammable. Des volumes inflammables faits de gaz et d'air continueront à se former tant que durera le rejet de GNL.

RAPPORT TECHNIQUE

À mesure qu'il s'éloigne de la source de déversement, le nuage se réchauffe, devenant de moins en moins dense. Parvenu à la température ambiante, le nuage commence à flotter et se disperse verticalement. Le méthane pur est plus léger que l'air à $-107\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais c'est la température du nuage en entier — et non seulement celle du méthane — qui détermine son comportement. Les autres composants doivent eux aussi se réchauffer avant qu'une dispersion verticale puisse s'ensuivre. Durant ce temps, le nuage continue de se disperser surtout horizontalement, prenant une forme similaire à celle d'un panache allongé.

En pratique, la géométrie et le comportement d'un nuage de gaz dépendent des caractéristiques du déversement. Le volume de GNL déversé est sans conteste le plus important des déterminants. Par la suite, la forme et le comportement du nuage sont définis par le débit auquel s'écoule le gaz liquide. La dispersion, dans chaque cas particulier, sera aussi fortement influencée par les propriétés du vent, la stabilité atmosphérique, la température ambiante et l'humidité relative. Le relief et la rugosité de la surface au-dessus de laquelle se déplace le nuage auront un effet important sur les particularités de la dispersion. Quand l'air présente une température élevée, le gaz se disperse plus vite verticalement que lorsqu'il fait plus froid. De forts vents encourageront également la dispersion rapide du gaz, quoiqu'ils puissent aussi accélérer le transport des parties inflammables du nuage de gaz vers des zones comportant des risques d'inflammation.

Lorsque le déversement cesse d'alimenter en gaz « frais » le nuage, ce dernier continue de se disperser dans l'atmosphère jusqu'à devenir entièrement dilué, à une concentration plus basse que la limite inférieure d'inflammabilité du méthane. Privé de son caractère inflammable, il ne présente plus aucun danger. La figure 7.4 montre un schéma simplifié d'un nuage de gaz.

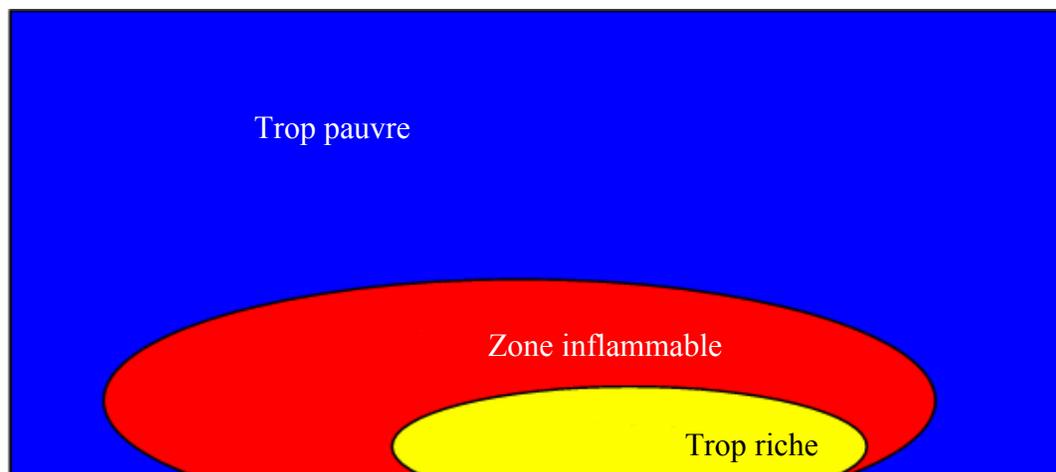


FIGURE 7.4 – REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE D'UN NUAGE DE DISPERSION

RAPPORT TECHNIQUE

La méthode utilisée pour prévoir le comportement des nuages de gaz est bien établie. Elle comporte deux phases d'analyse. D'abord il faut faire une évaluation réaliste du déversement (rejet ou fuite) maximal plausible (voir la section 7.3.1). On procède ensuite à la modélisation du nuage de gaz formé en se servant de valeurs représentatives en ce qui a trait à la température de l'air, aux forces du vent et à la stabilité atmosphérique à l'endroit considéré. À partir de cette analyse il est possible de prévoir avec une précision suffisante le scénario le plus probable découlant du rejet de gaz dans l'atmosphère.

Calculs effectués avec PHAST

En plus des cas de déversements par une brèche, DNV a calculé la dispersion faisant suite à un rejet accidentel occasionné par les opérations à la jetée (12 000 m³/h pendant une minute).

Les résultats obtenus pour la dispersion proviennent des calculs effectués par DNV en 2004 dans le cadre du projet conjoint JSP /2/. Le logiciel PHAST a servi aux calculs de dispersion. Le tableau qui suit fait la liste des principaux paramètres utilisés pour les calculs.

RAPPORT TECHNIQUE

Paramètres influant sur la dispersion	Valeur	Remarques
Classe de stabilité et vitesse du vent (m/s) (voir les notes a et b)	F 2,0 m/s D 3,0m/s D 5,0m/s	Le pire des scénarios (F/2) et deux autres, plus probables (D/3 ou D/5). Le RMP de l'EPA recommande d'utiliser F/1,5 et D/3 respectivement pour le pire des scénarios et un autre scénario.
Rugosité de la surface (mm)	0,3	Représentatif pour l'eau. Normalement de 0,1-0,6 pour la surface de l'eau. À noter que la rugosité de surface est un facteur de modélisation dont la dimension est celle d'une longueur, il ne s'agit pas d'une mesure physique de l'amplitude des perturbations ondulatoires (eau ou vagues).
Température atmosphérique (°C)	20	Valeur moyenne des conditions climatiques chaudes et froides ²
Température de l'eau (°C)	20	Valeur moyenne des conditions climatiques chaudes et froides ²
Humidité relative (%)	70	Représentative de l'océan.
Flux de chaleur solaire (W/m ² s)	500	Représentatif des conditions climatiques ² .
Temps d'intégration (s)	18,7	Pour les concentrations instantanées dans PHAST.

TABLEAU 7.4 – PRINCIPAUX PARAMÈTRES DE MODÉLISATION DE LA DISPERSION (PHAST)

Notes:

- Classe de stabilité D : Stabilité neutre. La plus commune des stabilités atmosphériques. Se produit lorsqu'il y a peu de soleil et beaucoup de vent, ou la nuit lorsque c'est nuageux et qu'il vente. Niveaux de turbulence normaux et pas d'inversion atmosphérique.
Classe de stabilité F : Atmosphère stable. Peut se produire lorsque la vitesse du vent est faible. Niveaux de turbulence moindres dans l'atmosphère que pour la classe de stabilité D. Inversion atmosphérique.
- On a modélisé le GNL comme étant un mélange de 94 % de méthane et de 6 % d'éthane, car cela donne une distance de dispersion plus grande (donc une évaluation plus prudente) que pour du méthane pur. Les rejets au-dessus de la mer ont été modélisés en tant que jets horizontaux de liquide, et les rejets sous-marins ont été modélisés comme des jets verticaux de liquide. Pour ce qui est des rejets sous la ligne de flottaison, on a considéré que le transfert thermique avait un effet minimal sur la dispersion sous l'eau et on a modélisé le déversement comme un écoulement de liquide.

² Les calculs de dispersion effectués dans le cadre du projet JSP l'ont été pour des régions au climat plus chaud que le Québec. Une analyse de sensibilité montre cependant que les longueurs de dispersion calculées pour ces conditions climatiques peuvent s'appliquer à celles du Québec.

RAPPORT TECHNIQUE

L'évaporation du GNL sur l'eau n'est pas du tout idéale, avec possiblement des transitions rapides de phase. Il se peut aussi qu'il y ait formation de glace. Ces phénomènes se neutralisent, tendant respectivement à faire augmenter et diminuer le taux d'évaporation. DNV utilise dans PHAST la méthode qui correspond le plus aux expériences d'évaporation de GNL sur l'eau. Elle suppose ainsi qu'il n'y aura pas formation de glace sous le GNL (en raison des courants des grandes masses d'eau, de l'agitation thermique, etc.). Cet estimation est plus prudente, car le transfert de chaleur et, en conséquence, l'évaporation seraient moindres si de la glace se formait.

Le tableau 7.5 montre les résultats des calculs de dispersion du projet JSP.

Scénario de déversement	Conditions atmosphériques D 5 m/s	Conditions atmosphériques D 3 m/s	Conditions atmosphériques F 2 m/s
Au-dessus de la ligne de flottaison			
Brèche de 250 mm	390 m	410 m	790 m
Brèche de 750 mm	990 m	1 010 m	1 500 m
Brèche de 1 500 mm (attentat terroriste)	1 900 m	1 900 m	3 200 m
Au-dessous de la ligne de flottaison			
Brèche de 250 mm	320 m	340 m	450 m
Brèche de 750 mm	890 m	900 m	1 000 m
Brèche de 1 500 mm (attentat terroriste)	1 800 m	1 700 m	3 100 m
Bras de déchargement			
12 000 m ³ /h * 1 min	700 m		

**TABLEAU 7.5 – DISTANCE À LA LIMITE D'INFLAMMABILITÉ ESTIMÉE PAR PHAST
(GNL COMPOSÉ À 94 % DE MÉTHANE ET À 6 % D'ÉTHANE)**

Les calculs de dispersion pour les scénarios liés au méthanier à quai dans l'étude du terminal méthanier sont faits en prenant l'hypothèse d'une dispersion sur terre, alors que les calculs présentés dans le tableau 7.5 sont fait sur l'eau. En général, les distances de dispersion sont différentes entre la terre et l'eau. Ceci explique les différences entre les résultants de l'étude terrestre et le tableau 7.5.

Pour la modélisation des arbres d'événement (voir chapitre suivant), les distances de dispersion utilisées sont 1 000 m pour la brèche de 250 mm et 2 000 m pour la brèche de 750 mm. Ceci donne des distances d'impact prudentes dans l'éventualité d'un déversement de GNL.

RAPPORT TECHNIQUE

Le cas d'une brèche de 1500 mm n'est pas pris en compte dans l'évaluation du risque étant donné que cela correspond à un événement terroriste et que dans ce cas, l'inflammation immédiate des vapeurs de GNL est quasi-certaine.

7.3.4. RÉSULTATS – FEU DE NAPPE

La présente section fournit quelques résultats des calculs effectués à l'aide de PHAST pour modéliser les feux de nappe. Le modèle PHAST reconnaît qu'il produit une évaluation prudente du diamètre de la nappe. Le taux de combustion utilisé sur l'eau est de 2,5 fois le taux utilisé sur terre, qui est de 0,141 kg/m²s. En multipliant par 2,5 et en divisant par 425 kg/m³, on obtient un taux de combustion de 0,8 mm/s. Selon DNV, le feu de nappe ne peut s'entretenir de lui-même à son diamètre maximal d'évaporation avec une épaisseur de GNL de 1 mm brûlant à 0,8 mm/s.

Afin d'illustrer l'impact maximal aux environs d'un feu de nappe, trois scénarios ont été définis:

- Perforation accidentelle de 250 mm dans une cuve;
- brèche de 750 mm : scénario maximum crédible pour des causes accidentelles;
- brèche de 1 500 mm : Scénario maximum crédible causé par un acte terroriste.

Les trois tableaux qui suivent montrent les résultats obtenus en ce qui concerne la taille maximale de la nappe et la taille qu'elle prend lorsque s'établit un équilibre entre le débit de la fuite et le taux de combustion. La taille maximale est atteinte au début de l'accident. Après un certain temps mesuré en secondes, la nappe se réduit et se maintient à l'équilibre avec une dimension plus petite. Cette dimension correspond à approximativement 43-48% de la superficie maximale de la nappe.

Les seuils de rayonnement suivants sont utilisés:

- 37,5 kW/m² : Niveau de rayonnement thermique conduisant au décès immédiat des personnes exposées. Inflammation spontanée du bois.
- 12,5 kW/m² : Niveau de rayonnement thermique conduisant à une douleur extrême en moins de 20 secondes.
- 5 kW/m² : Il est toujours possible de fuir ou de trouver un abri. Niveau de rayonnement thermique conduisant à des brûlures du second degré après une minute 30 secondes.

RAPPORT TECHNIQUE

Scénario	Résultats
Déversement provenant d'une cuve d'un méthanier - Scénario crédible de perforation d'une cuve: Diamètre de la brèche : 250 mm Vitesse maximum de combustion : 1 086 kg/s Vitesse de combustion à l'équilibre : 218 kg/s GNL déversé à la surface de l'eau Conditions météo pour le calcul du rayonnement et de la dispersion : Vitesse du vent : 3 m/s (condition de vent prédominante) Classe de stabilité : D Longueur de rugosité : 18,3 cm Humidité : 70 % Température : 4 °C	Nappe initiale* : Rayon maximum de la nappe : 63 m À 1 m au-dessus du sol : Distance à 37,5 kW/m ² : 128 m Distance à 12,5 kW/m ² : 244 m Distance à 5 kW/m ² : 359 m Nappe à l'équilibre : Rayon de la nappe à l'équilibre : 29 m Distance à 37,5 kW/m ² : 71 m Distance à 12,5 kW/m ² : 134 m Distance à 5 kW/m ² : 194 m

* NB : la nappe initiale va se réduire en quelques secondes pour devenir une nappe à l'équilibre.

TABLEAU 7.6 - DÉVERSEMENT PROVENANT D'UNE CUVE D'UN MÉTHANIER – BRÈCHE DE 250 MM DE DIAMÈTRE

Scénario	Résultats
Déversement provenant d'une cuve d'un méthanier - Scénario maximum crédible de DNV pour des causes accidentelles : Diamètre de la brèche : 750 mm Vitesse maximum de combustion : 10 000 kg/s Vitesse de combustion à l'équilibre : 2 030 kg/s GNL déversé à la surface de l'eau Conditions météo pour le calcul du rayonnement et de la dispersion: Vitesse du vent : 3 m/s (condition de vent prédominante) Classe de stabilité : D Longueur de rugosité : 18,3 cm Humidité : 70 % Température : 4 °C	Nappe initiale* : Rayon maximum de la nappe : 100 m À 1 m au-dessus du sol : Distance à 37,5 kW/m ² : 310 m Distance à 12,5 kW/m ² : 585 m Distance à 5 kW/m ² : 870 m Nappe à l'équilibre : Rayon de la nappe à l'équilibre : 43 m Distance à 37,5 kW/m ² : 170 m Distance à 12,5 kW/m ² : 310 m Distance à 5 kW/m ² : 450 m

* NB : la nappe initiale va se réduire en quelques secondes pour devenir une nappe à l'équilibre.

TABLEAU 7.7 – DÉVERSEMENT PROVENANT D'UNE CUVE D'UN MÉTHANIER – BRÈCHE DE 750 MM DE DIAMÈTRE

RAPPORT TECHNIQUE

Scénario	Résultats
<p>Déversement provenant d'une cuve d'un méthanier - Scénario maximum crédible de DNV causé par un acte terroriste :</p> <p>Diamètre de la brèche : 1 500 mm Vitesse maximum de combustion : 43 000 kg/s Vitesse de combustion à l'équilibre : 8 130 kg/s GNL déversé à la surface de l'eau</p> <p>Conditions météo pour le calcul du rayonnement et de la dispersion :</p> <p>Vitesse du vent : 3 m/s (condition de vent prédominante) Classe de stabilité : D Longueur de rugosité : 18,3 cm Humidité : 70 % Température : 4 °C</p>	<p>Nappe initiale* :</p> <p>Rayon maximum de la nappe : 200 m À 1 m au-dessus du sol : Distance à 37,5 kW/m² : 540 m Distance à 12,5 kW/m² : 1 000 m Distance à 5 kW/m² : 1 500 m</p> <p>Nappe à l'équilibre :</p> <p>Rayon de la nappe à l'équilibre : 86 m Distance à 37,5 kW/m² : 280 m Distance à 12,5 kW/m² : 540 m Distance à 5 kW/m² : 790 m</p>

* NB : la nappe initiale va se réduire en quelques secondes pour devenir une nappe à l'équilibre.

TABLEAU 7.8 - DÉVERSEMENT PROVENANT D'UNE CUVE D'UN MÉTHANIER – BRÈCHE DE 1 500 MM DE DIAMÈTRE

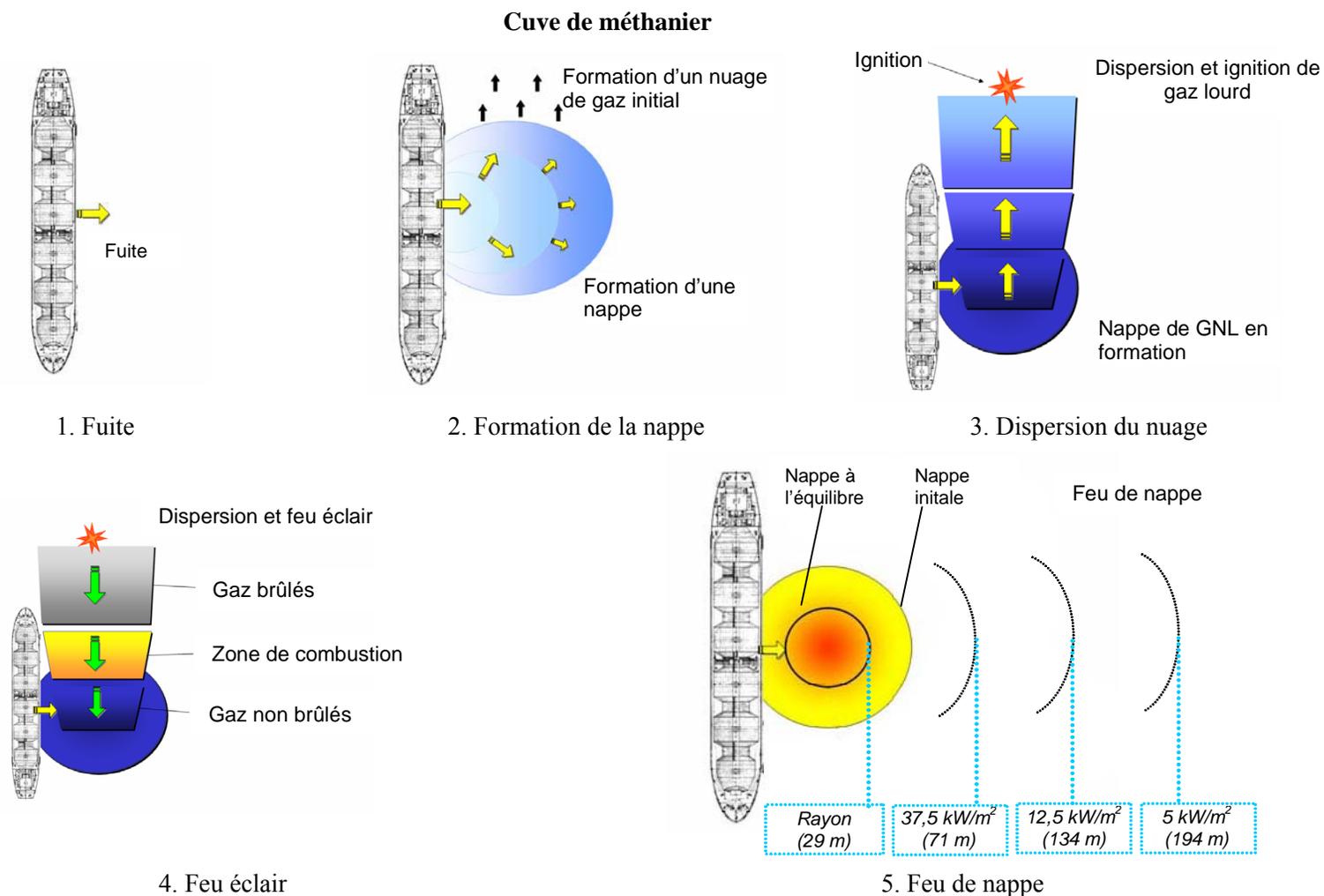


FIGURE 7.5 – DÉVERSEMENT PROVENANT D’UNE CUVE D’UN MÉTHANIER – BRÈCHE DE 250 MM DE DIAMÈTRE – NAPPE À L’ÉQUILIBRE

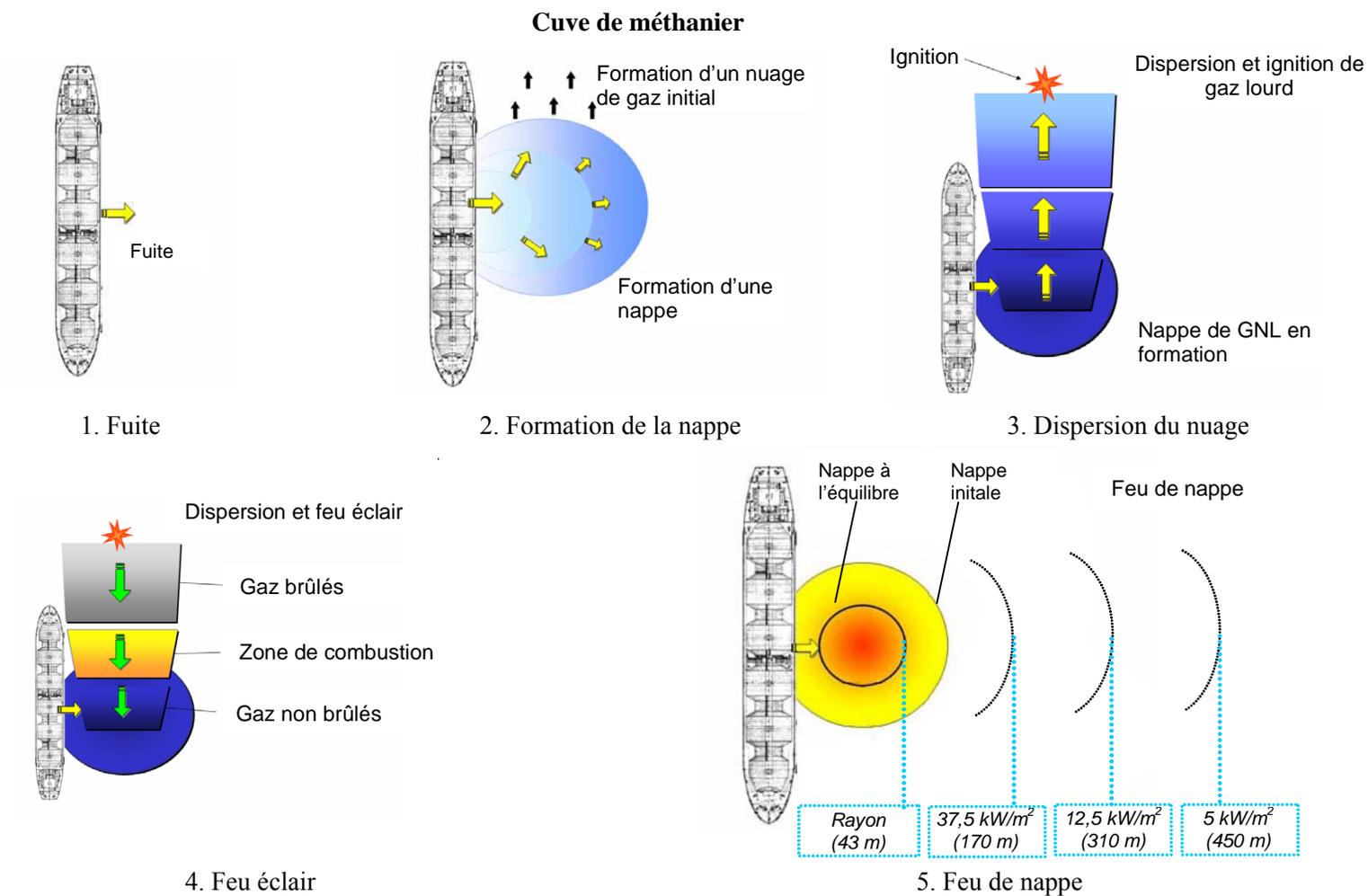


FIGURE 7.6 – DÉVERSEMENT PROVENANT D'UNE CUVE D'UN MÉTHANIER – BRÈCHE DE 750 MM DE DIAMÈTRE – NAPPE À L'ÉQUILIBRE

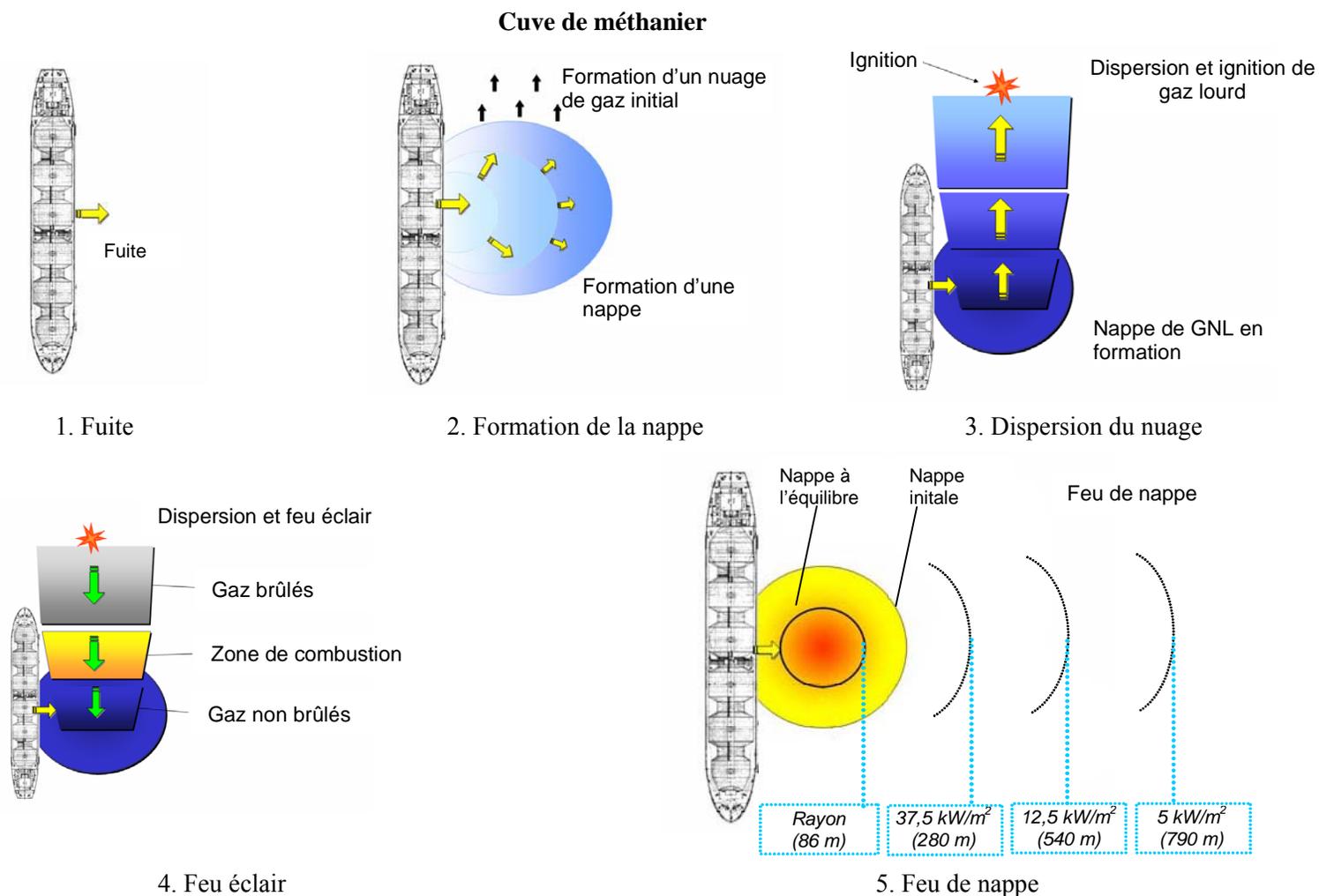


FIGURE 7.7 – DÉVERSEMENT PROVENANT D'UNE CUVE D'UN MÉTHANIER – BRÈCHE DE 1500 MM DE DIAMÈTRE – NAPPE À L'ÉQUILIBRE

RAPPORT TECHNIQUE

La portion périphérique de la nappe initiale, plus mince, brûlera en à peine quelques secondes, juste avant que les flammes ne progressent vers l'arrière, et il serait bien difficile de faire la différence entre cette courte combustion et le feu éclair qui la précède. Le feu de nappe, une fois à l'équilibre, sera très différent du feu éclair et il engendrera une grande quantité de rayonnement thermique.

Le tableau 7.9 présente les zones de danger thermique jusqu'à 5 kW/m². Un tel flux de chaleur présente de graves dangers pour les personnes non protégées qui ne peuvent trouver d'abri dans les 90 secondes suivant l'incident. On trouve ci-dessous le rayon du feu de nappe à l'équilibre et les distances de rayonnement thermique pour les trois cas de déversement (perforation de 250 mm, accident avec brèche de 750 mm et attentat terroriste avec brèche de 1 500 mm). Les distances de rayonnement thermique sont trop faibles pour constituer un risque de décès d'un tiers le long de la route des méthaniers compte tenu des distances entre la route de navigation et la rive.

Taille de la nappe	Brèche de 250 mm	Brèche de 750 mm	Brèche de 1 500 mm
Rayon du feu de nappe à l'équilibre	29 m	43 m	86 m
Portée du danger thermique	194 m	450 m	790 m

Rayonnement de 5 kW/m² et vent de 3 m/s; portée mesurée à partir du centre de la nappe

TABLEAU 7.9 – DISTANCES DU RAYONNEMENT THERMIQUE POUR LES PIRES SCÉNARIOS DE DÉVERSEMENT AU-DESSUS DE LA LIGNE DE FLOTTAISON

Note : Il s'agit là d'estimations prudentes étant donné que le feu de nappe produira plus de fumées que ce qu'on a supposé dans la modélisation (feu davantage lumineux).

7.4. Arbre d'événements – Échouement

On s'est servi de la méthode de l'arbre d'événements pour évaluer les risques associés à un échouement. On commence un tel arbre par l'événement sommet, qui est ici l'échouement. De nombreux facteurs peuvent influencer le déroulement des événements et produire divers scénarios (événements finaux). La présente étude a pris en compte les facteurs les plus déterminants, qui composent les branches de l'arbre d'événements.

Pour chacune de ces branches, on évalue la probabilité qu'un événement en particulier se produise. L'estimation de ces probabilités est notamment fondée sur l'analyse des conséquences et sur les conditions météorologiques et environnementales. L'issue éventuelle de chacune des branches de l'arbre d'événements constitue un événement final. On a évalué séparément les scénarios correspondant à chaque événement final, au regard des possibilités de décès de tierces personnes, se trouvant à terre. Les paragraphes qui suivent traitent des probabilités estimées pour l'arbre d'événements.

RAPPORT TECHNIQUE

Navire chargé, heurté dans la zone où se trouve sa cargaison

Seuls les navires chargés sont susceptibles de laisser échapper du GNL. Les méthaniers ne sont chargés que lorsqu'ils se dirigent vers le terminal, c'est-à-dire 50 % du temps.

La plupart des échouements causent des dommages à la partie avant du navire. Selon les statistiques /3/, approximativement 70 % des échouements endommagent la zone où se trouve la cargaison du méthanier.

En conséquence, 35 % ($0,5 \times 0,7$) des échouements correspondent au cas d'un méthanier chargé et heurté dans sa zone de cargaison.

Navire sur ballast ou heurté ailleurs que dans sa zone de cargaison

Le méthanier navigue sur ballast 50 % du temps et 30 % des échouements ne causent aucun dommage aux zones où se trouve la cargaison. Il s'agit de branches « mortes », ou sans issue, de l'arbre d'événements qui ne contribuent ni à une augmentation ni à une diminution du profil de risque. Ainsi, 65 % du temps ($1 - 0,35$), le navire sera sur ballast ou heurté ailleurs que dans sa zone de cargaison.

Fond meuble et fond rocheux

Le fond du Saint-Laurent se compose en certains endroits de bancs de sable et en d'autres, de roche. On suppose une répartition égale entre ces deux types de fond : 50 % meuble et 50 % dur.

Probabilités de dommages à la coque

Le pire des scénarios d'échouement sur fond meuble se traduit par une rupture de la coque. Cela crée une entrée d'eau dans l'espace interstitiel, un réchauffement local possible de la cargaison de GNL, l'évaporation du gaz et son rejet dans l'atmosphère.

D'après les statistiques du LRFP, environ 70 % des échouements sont des accidents bénins (sans conséquences graves) où il ne se produit aucune entrée d'eau. Aux fins de la présente étude, on a considéré qu'il n'y avait pas d'entrée d'eau dans 90 % des échouements sur fond meuble ni dans 50 % des échouements sur fond rocheux.

RAPPORT TECHNIQUE

Échouements (données LRFP)	Sans conséquences graves	Total	Proportion d'échouement sans conséquences graves
Transporteurs de produits chimiques	$5,10 \times 10^{-3}$	$8,40 \times 10^{-3}$	61 %
Pétroliers à double coque	$4,20 \times 10^{-3}$	$6,50 \times 10^{-3}$	65 %
Porte-conteneurs	$6,10 \times 10^{-3}$	$8,60 \times 10^{-3}$	71 %
Méthaniers	$4,00 \times 10^{-3}$	$5,70 \times 10^{-3}$	70 %
Moyenne	—	—	67 %

TABLEAU 7.10 – CONSÉQUENCES DES ÉCHOUEMENTS SELON LES DONNÉES DU LRFP

Source : Analyse de DNV.

Pour ce qui est des échouements sur des fonds rocheux, l'étendue des dommages est évaluée à partir des courbes de probabilité de pénétration verticale de l'OMI. On divise la pénétration par la hauteur du navire. Le tableau qui suit résume les probabilités de dommages et leur étendue.

Lieu d'échouement	Dommages bénins	Rupture de la coque extérieure	Brèche d'une cuve de GNL	
			petite 250 mm	grande 750 mm
Fond meuble	90 %	10 %	0 %	0 %
Fond rocheux	50 %	40 %	6 %	4 %

TABLEAU 7.11 – PROBABILITÉS DE DOMMAGES À LA COQUE EN CAS D'ÉCHOUEMENT

On s'est servi de ces valeurs pour l'arbre d'événements, sauf en ce qui concerne le tronçon 4 de la route maritime, à proximité du terminal. À cet endroit, les navires réduisent leur vitesse à 2-7 nœuds et la probabilité d'une brèche dans les réservoirs de GNL en cas d'échouement devient alors nulle.

Inflammation instantanée

Pour que le nuage de gaz puisse se propager vers la côte, il ne doit pas s'enflammer tout de suite après le déversement. La probabilité d'inflammation instantanée est estimée à 10 %, car la rupture survient sous l'eau.

RAPPORT TECHNIQUE

Propagation vers la côte

Pour que le nuage de gaz représente un danger potentiel, il doit se propager vers des régions peuplées. La probabilité que cela se produise repose sur l'information donnée par la rose des vents (voir l'annexe 5) et sur la distance à laquelle le gaz se répand. Cette probabilité varie selon les tronçons de la route des méthaniers en raison des différences dans les statistiques de direction des vents et dans les densités de population.

Inflammation retardée

On estime à 50 % la probabilité d'une inflammation retardée d'un nuage de gaz dans une zone peuplée.

Densité de population

La densité de population varie le long la route maritime allant du détroit de Cabot jusqu'au terminal méthanier. On a évalué cette densité de population en se basant sur *l'Atlas du Canada* en ligne /7/ (voir l'annexe 7 pour les cartes de densité de population). Les données ont ensuite servi à la modélisation de l'arbre d'événements afin d'estimer le nombre de victimes en cas d'inflammation du nuage. Des cartes de la région ont permis de déterminer la distance des maisons et des bâtiments à proximité du terminal.

La densité de population se classe en trois groupes : faible, moyenne et élevée, qui correspondent respectivement à 20, à 200 et à 1 000 personnes par kilomètre carré. Pour les tronçons 1 et 2, seuls des zones avec une faible densité de population se rencontrent le long de la route du méthanier. La seule possibilité qu'un nuage de gaz atteigne une zone de densité de population moyenne correspond à un accident, près du terminal, qui produirait un nuage de gaz capable de se propager à une grande distance.

7.5. Arbre d'événements – Collisions

On s'est servi de la méthode de l'arbre d'événements (voir la section 7.4) pour évaluer les risques associés aux collisions.

Pour chacune des branches, on évalue la probabilité qu'un événement en particulier se produise. L'estimation de ces probabilités est notamment fondée sur l'analyse des conséquences, sur les données relatives au trafic et aux navires de même que sur les conditions météorologiques et environnementales. Les paragraphes qui suivent traitent des probabilités estimées pour l'arbre d'événements.

RAPPORT TECHNIQUE

7.5.1. COLLISIONS SUSCEPTIBLES D'ENTRAÎNER UN DÉVERSEMENT DE GNL**Méthanier chargé**

Les méthaniers sont chargés uniquement lorsqu'ils se dirigent vers le terminal. On utilise donc un facteur de réduction de 50 %.

Autre navire heurté par un méthanier

Dans la situation où le méthanier heurte par l'étrave un autre navire on considère qu'il n'y a de dommage qu'à la proue; aucun dommage n'est alors causé aux réservoirs de GNL ni aux ballasts. La probabilité qu'un méthanier heurte de l'avant un autre navire est estimée à 50 %.

Méthanier heurté dans sa zone de cargaison

Selon l'étude relative au projet HARDER /3/, les probabilités relatives à l'endroit de la collision sont réparties presque uniformément sur toute la longueur du navire. La cargaison occupe environ 70 % de la longueur totale d'un méthanier type de grande capacité. La probabilité que la zone de cargaison soit touchée est donc fixée à 70 %.

Les facteurs de réduction suivants ont été combinés dans l'arbre d'événements pour plus de simplicité. La probabilité qu'un navire soit chargé et heurté par un autre bâtiment dans la zone où se trouve sa cargaison est la suivante :

$$P = 0,5 \times 0,5 \times 0,7 = 0,175 \text{ ou } 17,5 \%$$

En conséquence, seulement 17,5 % des collisions risquent de causer un déversement de GNL.

7.5.2. COLLISIONS AVEC UN NAVIRE – TRAFIC TRAVERSIER ET CONTREBORDIER

Le nombre de navires empruntant chaque année la voie maritime est de 2 500 dans chaque sens. L'approche du détroit de Cabot au terminal dure 1 jour et demi, soit environ une journée dans le tronçon 1 et 12 heures dans les tronçons 2 à 4. Par conséquent, un méthanier au cours de son approche rencontrera en moyenne 10 navires, si ces derniers passent tous non loin du méthanier.

Les traversiers font environ 6 200 voyages par année. Toutefois, les traversées n'ont pas toutes lieu alors qu'un méthanier passe dans les environs. On fait une estimation prudente en considérant qu'une collision est possible si le méthanier se trouve à 5 NM ou moins de la route du traversier. Cela signifie que le méthanier est exposé à un trafic transversal pendant 10 NM chaque fois qu'il croise une route de traversier. Le tronçon 1 comporte trois de ces traversées, ce qui donne 30 NM d'exposition. En supposant que le méthanier avance à une vitesse moyenne de 15 nœuds, il se trouve exposé au trafic transversal 2 h par passage. Si on pose que les traversées sont réparties également durant la journée et durant toute l'année, le

RAPPORT TECHNIQUE

nombre de traversiers passant non loin d'un méthanier au cours de son déplacement vers le terminal est de 1,4 dans le tronçon 1.

Ainsi, dans le tronçon 1, les collisions entre navires circulant sur la même route représentent 84 % des collisions possibles, tandis que 16 % des collisions surviennent avec des navires empruntant une route transversale. Le même calcul appliqué au tronçon 2 donne 94 % de collisions longitudinalement et 6 % transversalement. Dans les tronçons 3 et 4, il n'y a pas de traversiers et les collisions entre navires sur une même route représentent 100 % des collisions (voir le tableau 7.12).

	POURCENTAGE DE COLLISIONS	
	Contrebordier (Navires sur la même route)	Traversiers (Navires sur des routes qui se croisent)
Tronçon 1	84 %	16 %
Tronçon 2	94 %	6 %
Tronçon 3	100 %	0
Tronçon 4	100 %	0

TABLEAU 7.12 – RÉPARTITION DES COLLISIONS SELON LES ROUTES DES NAVIRES DANS LES TRONÇONS 1 À 4

Domages à la coque

En cas de collision, certains facteurs déterminants influencent la façon dont se comportera la coque du navire heurté : taille du navire, vitesse, solidité de l'étrave et angle de collision. Selon la distribution statistique de la taille des navires sur le Saint-Laurent, la plupart se situent entre 10 000 et 50 000 TPL. On peut avancer que ces chiffres sont représentatifs de la moyenne mondiale.

Il n'y a pas de limite de vitesse sur le Saint-Laurent, mais les navires ralentissent généralement leur vitesse aux environs du passage de l'Île-aux-Coudres afin de réduire les vibrations et de diminuer l'accroupissement. La vitesse se trouve encore réduite au niveau de la traverse du Nord, elle demeure toutefois, en moyenne, de l'ordre de 10 à 15 nœuds. Les navires avancent à pleine vitesse en aval du passage de l'île-aux-Coudres. Cette plage de vitesses peut également être considérée comme représentative de la moyenne mondiale.

La base de données du LRFP sur les accidents maritimes sépare les accidents graves et les naufrages des accidents bénins. Dans ces derniers cas, il ne s'est produit aucune entrée d'eau. On utilise ces données pour quantifier la probabilité que se produisent uniquement des dommages sans conséquences graves à la coque en cas de collision. Le tableau 7.13 présente les données d'accidents pour quatre types de navires. En moyenne, 77 % de toutes les collisions n'endommagent la coque que de façon négligeable.

RAPPORT TECHNIQUE

Collisions (données LRFP)	Sans conséquences graves	Total	Proportion de collision sans conséquences
Transporteurs de produits chimiques	$7,50 \times 10^{-3}$	$9,40 \times 10^{-3}$	80 %
Pétroliers à double coque	$6,50 \times 10^{-3}$	$9,10 \times 10^{-3}$	71 %
Porte-conteneurs	$2,40 \times 10^{-2}$	$2,70 \times 10^{-2}$	89 %
Méthaniers	$2,90 \times 10^{-3}$	$4,40 \times 10^{-3}$	66 %
Moyenne	—	—	77 %

TABLEAU 7.13 – CONSÉQUENCES DES COLLISIONS ENTRE NAVIRES SELON LE LRFP

Ces données ont servi à estimer la probabilité que la collision produise des dommages importants. Dans le tableau 7.14, on a séparé les conséquences d'une collision se produisant le long d'une même route de celles d'une collision avec un navire sur une route transversale. De façon générale, les collisions avec un navire suivant la même route se font avec un angle d'impact beaucoup plus faible que les collisions transversales et les probabilités de dommages diffèrent. La moyenne pondérée est fondée sur les valeurs statistiques.

Dans les cas où la collision entraîne une rupture de la coque, on calcule les probabilités que se produisent les conséquences suivantes :

- rupture de la coque extérieure, mais pas de la cuve de GNL;
- brèche de 250 mm dans le réservoir de GNL;
- brèche de 750 mm dans le réservoir de GNL.

Le calcul des probabilités de dommages à la coque est basé sur les données du projet Harder /3/. Ces dernières fournissent de l'information sur la largeur, la hauteur et la profondeur de pénétration pour des accidents qui ont causé une entrée d'eau (c'est-à-dire une rupture de la coque extérieure). La base de données comporte 187 enregistrements au sujet de brèches causées par des collisions. Le tableau 7.14 présente les probabilités résultantes de dommages à la coque pour les collisions longitudinales et les collisions transversales.

RAPPORT TECHNIQUE

Collision	Dommages bénins	Rupture de la coque extérieure	Brèche d'une cuve de GNL	
			petite 250 mm	grande 750 mm
Longitudinale (même route)	81 %	10 %	5 %	4 %
Transversale (ex : croisement de la route d'un traversier)	61 %	25 %	8 %	6 %

TABLEAU 7.14 – PROBABILITÉS DE DOMMAGES À LA COQUE À LA SUITE D'UNE COLLISION ENTRE NAVIRES

7.5.3. INFLAMMATION, PROPAGATION

Inflammation instantanée

Pour que le nuage de gaz se propage vers la côte, il ne doit pas s'enflammer tout de suite après le déversement. La probabilité d'inflammation instantanée est estimée à 90 %, car une collision majeure libère de l'énergie et produit des étincelles lorsque les coques s'entrechoquent.

Propagation vers la côte

Pour que le nuage de gaz représente un danger potentiel, il doit se propager vers la côte. La probabilité que cela se produise repose sur l'information donnée par la rose des vents (voir l'annexe 5) et sur la distance à laquelle le gaz se répand. Cette probabilité varie selon les tronçons de la route maritime en raison des différences dans les statistiques de direction des vents et dans la distance d'éloignement de la rive. En ce qui concerne le tronçon 1, la distance du rivage est de plus de 3 km et même le plus gros des déversements ne pourrait atteindre la côte, pas même en conditions calmes (F 2 m/s).

Inflammation retardée

On estime à 50 % la probabilité d'une inflammation retardée d'un nuage de gaz dans une zone peuplée.

7.5.4. DENSITÉ DE POPULATION

La densité de population varie entre le détroit de Cabot et le terminal méthanier. On a évalué cette densité de population en s'appuyant sur *l'Atlas du Canada* en ligne /7/ (voir l'annexe 7 pour les cartes de densité de population). Les données ont ensuite servi à la modélisation de l'arbre d'événements afin d'estimer le nombre de victimes en cas d'inflammation du nuage (voir aussi les explications données pour l'échouement).

7.6. Méthanier heurté à la jetée

Dans ce cas, on utilise pour la modélisation le même arbre d'événements que pour les collisions, car on estime que le méthanier n'est chargé que 50 % du temps qu'il passe à la jetée. La distribution des dommages est la même que pour les collisions entre deux navires empruntant une route semblable. En effet, le fleuve mesure environ 2 km de largeur au droit du terminal et il est très peu probable qu'un navire dévie accidentellement pour venir heurter le méthanier à angle ouvert.

7.7. Défaillance de l'amarrage et des bras de déchargement

Défaillance des bras de déchargement

Dans le chapitre 6, on a estimé à $2,5 \times 10^{-5}$ par an la fréquence de défaillance des bras de déchargement. Dans la majorité des cas de déversement, la stricte défaillance de l'équipement ne cause que des fuites mineures qui ne présentent aucun danger pour le public. La probabilité d'un déversement majeur causé par une défaillance de l'équipement est donc fixée à 1 %. On évalue qu'une fuite majeure dure 1 minute, le GNL s'écoulant à 12 000 m³/h. Il s'agit là d'une estimation prudente : on suppose que les trois bras de déchargement se brisent en même temps, alors que vraisemblablement une défaillance technique ne se produirait que sur l'un des bras. On considère que la probabilité de dispersion vers des zones peuplées est négligeable en raison de la distance entre l'appontement et le rivage qui est d'au moins 500 m. En conséquence, la probabilité qu'un nuage de gaz atteigne un secteur habité est elle aussi jugée négligeable. De plus, on notera que les vents dominants sont parallèles au fleuve.

Défaillance de l'amarrage

On estime qu'une défaillance de l'amarrage entraîne un déversement de 12 000 m³/h de GNL durant 1 minute. On utilise le même arbre d'événements que pour l'analyse d'une défaillance de l'équipement causant une fuite importante aux bras de déchargement. Comme dans le cas de la défaillance des bras de déchargement, aucun nuage de gaz ne risque d'atteindre une zone peuplée.

Défaillance des bras de déchargement causée par une collision

Il a été établi qu'une défaillance des bras de déchargement causée par une collision à la jetée et un mauvais fonctionnement des vannes à fermeture rapide entraîne un déversement de 12 000 m³/h de GNL durant 1 minute. On se sert du même arbre d'événements que pour l'analyse d'une défaillance de l'équipement causant une fuite importante aux bras de déchargement. De la même façon qu'avec les situations précédentes, aucun nuage de gaz ne risque d'atteindre une zone peuplée.

8. ÉVALUATION DU RISQUE

Ce chapitre traite de l'évaluation du risque lié au transport de GNL par méthaniers sur le Saint-Laurent, du détroit de Cabot jusqu'au terminal projeté, près de Ville-Guay. Cette évaluation est fondée sur un trafic maritime annuel de 60 navires se rendant au terminal. Elle porte sur quatre scénarios (voir la section 5.4) présentant un risque moyen ou élevé selon l'étude de risque qualitative :

- collision dans le fleuve entre le méthanier et un autre navire;
- échouement;
- collision à la jetée (un autre navire heurte le méthanier à la jetée);
- défaillance d'un bras de déchargement.

Le risque de décès a été évalué en se basant sur les fréquences de déversement de GNL (voir chapitre 6), les distances de dispersion du nuage de vapeurs (voir chapitre 7), la probabilité d'inflammation d'un nuage et la distribution de la densité de population le long de la route du méthanier.

Du fait de la distance entre le méthanier et le rivage tout le long de la route maritime, un feu de nappe ne représente pas un risque de décès pour les tierces parties. En conséquence, les feux de nappes ne sont pas pris en compte dans la quantification du risque.

La quantification du risque suit les trois étapes suivantes pour chaque tronçon. Les risques de chaque tronçon sont résumés pour évaluer le risque total pour l'ensemble de la route maritime.

- La fréquence de brèche d'une cuve et le déversement de GNL sont quantifiées en utilisant les arbres d'événement;
- Les distances de dispersion pour une taille de brèche donnée sont calculées. Combinées avec la distance entre le navire et les zones peuplées et avec la direction du vent, la probabilité que le nuage atteigne la rive et la zone couverte par le nuage sont calculées;
- La densité de population dans la zone potentiellement couverte par le nuage est calculée à partir de l'Atlas du Canada /7/.

L'évaluation du risque est faite en tenant compte de la probabilité et des niveaux de gravité des événements, présentés aux deux tableaux suivants.

RAPPORT TECHNIQUE

Niveau de probabilité	Fréquence indicative (par an)	Description	Période de retour (années)
A	10^{-2}	Possible Occurrence assez probable pendant la durée de vie de l'installation	100
B	10^{-3} à 10^{-4}	Rare Occurrence peu probable pendant la durée de vie de l'installation	1 000 à 10 000
C	10^{-5}	Très rare Tellement rare que la situation ne devrait pas se rencontrer	100 000
D	10^{-6}	Extrêmement improbable Ne se produira probablement jamais	1 million
E	10^{-7} et moins	Négligeable Négligeable, très faible probabilité	10 millions

TABLEAU 8.1 – NIVEAUX DE PROBABILITÉ D'ACCIDENT

Niveau de gravité	Conséquences indicatives	Description
1	Aucun décès	Mineure
2	De un à quelques décès	Majeure
3	Plusieurs décès	Critique
4	Nombreux décès	Catastrophique

TABLEAU 8.2 – NIVEAUX DE GRAVITÉ DES ACCIDENTS

On évalue le risque posé par chaque scénario d'accident en se fondant sur les évaluations des fréquences (voir le chapitre 6) et sur l'analyse des conséquences (voir le chapitre 7). Les résultats sont présentés dans la matrice de risque montrée à la figure 8.1. L'axe horizontal (abscisse) correspond à la gravité ou à la conséquence d'un accident, tandis que l'axe vertical (ordonnée) correspond à la vraisemblance d'un accident.

La figure 8.1 montre la matrice résultante. Suit une description détaillée des différents scénarios (collision dans le fleuve, échouement et collision à quai).

RAPPORT TECHNIQUE

		GRAVITÉ			
		1 Mineure	2 Majeure	3 Critique	4 Catastrophique
PROBABILITÉ	A Une occurrence tous les 100 ans	Échouement (sans fuite)		Risque inacceptable	
	B Une occurrence tous les 1 000 à 10 000 ans	Collision à quai (sans fuite) Collision (sans fuite)			
	C Une occurrence tous les 100 000 ans	Défaillance bras de décharg. (Avec fuite)	Échouement (Avec fuite - ZFP)		
	D Une occurrence tous les 1 000 000 années			Risque acceptable si ALARP	
	E Une occurrence tous les 10 000 000 années	Risque négligeable		Échouement (Avec fuite - ZMP) Collision à quai (Avec fuite)	Collision (Avec fuite)

ZFP : Zone faiblement peuplée

ZMP : Zone moyennement peuplée

FIGURE 8.1 – MATRICE DE RISQUE

RAPPORT TECHNIQUE

8.1. Descriptions détaillées des scénarios

Pour chaque scénario d'accident, le risque total pour tous les tronçons est placé dans la matrice de risque. Les résultats distinguent l'accident sans fuite de GNL et l'accident avec fuite de GNL (petite ou grande brèche) et le feu de nuage ultérieur.

8.1.1. COLLISION DANS LE FLEUVE

En se référant à la matrice de risque présentée à la figure 8.1 (qui est reprise de façon schématique ci-contre), on observe les faits suivants en ce qui concerne les collisions dans le fleuve :

	1	2	3	4
A				
B	X			
C				
D				
E		X	X	X

- Une collision est peu probable pendant la durée d'exploitation du terminal, puisque la période de retour s'élève à 330 ans (case B1 dans la matrice de risque : Collision sans déversement de GNL).
- Le risque d'une collision conduisant à un déversement suivi d'un feu de nuage et causant des décès est négligeable, car la période de retour est de 7 millions d'années (cases E2, E3 et E4 dans la matrice de risque : Collision avec déversement de GNL et décès).

Les principaux facteurs qui contribuent à un faible niveau de risque sont les suivants :

- La densité de trafic dans le Saint-Laurent est faible, avec 10 rencontres de navire de commerce par jour pendant l'aller à partir des Escoumins.
- Les collisions entre des navires empruntant la même route que le méthanier ont moins de potentiel de dommage de la coque que les collisions entre des navires venant de directions différentes.
- Le méthanier ne rencontre des navires pouvant croiser sa route que dans les tronçons 1 et 2, avec une fréquence plus faible que celle des navires empruntant la même route.
- Le trajet du méthanier est principalement loin du rivage. De ce fait, la dispersion potentielle d'un nuage de vapeurs de GNL n'atteindra pas la rive dans la plupart des cas.

L'historique des accidents mettant en cause des méthaniers confirme le faible risque de collision. La plupart des collisions sont des heurts avec les remorqueurs plutôt que de véritables collisions avec d'autres navires. Aucune n'a conduit à un déversement de GNL.

Il est important de noter que le risque subi par les populations est calculé pour la totalité du trajet du méthanier dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. Pour une personne située à un endroit donné sur la rive, le risque est bien plus faible. Ce n'est donc que durant une petite partie du parcours des méthaniers qu'une personne située en un endroit précis est exposée au risque.

RAPPORT TECHNIQUE

8.1.2. ÉCHOUEMENT

En ce qui concerne le risque d'échouement, reporté dans la matrice ci-contre, on constate les faits suivants :

	1	2	3	4
A	X			
B				
C		X		
D				
E			X	

- Un échouement est assez probable pendant la durée d'exploitation du terminal (50 ans ou moins) puisque la période de retour est de 65 ans. Cela ne signifie qu'un échouement se produira d'ici 65 ans, mais plutôt que la probabilité d'occurrence est de 65 ans (case A1 dans la matrice de risque : Risque d'échouement, mais aucun déversement de GNL).
- Le risque d'un échouement conduisant à un déversement suivi d'un feu de nuage et causant des décès se situe dans la zone ALARP avec une période de retour de 13 000 ans (case C2 dans la matrice de risque : Risque d'échouement avec fuite de GNL dans une zone peu peuplée).
- Le risque d'un échouement conduisant à un déversement suivi d'un feu de nuage et causant plusieurs décès est négligeable, avec une fréquence d'occurrence de 1 fois tous les 77 millions d'années (case E3 dans la matrice de risque : Risque d'échouement avec grande fuite de GNL dans une zone moyennement peuplée).

Voici les principaux facteurs qui influent sur le risque d'échouement :

- Il existe un risque d'échouement sur toute la longueur de la route menant au terminal (570 NM). Cela conduit à une fréquence d'échouement relativement élevée.
- On estime à 50 % la probabilité que l'échouement se produise sur un fond rocheux (par opposition à un fond sableux ou vaseux), ce qui pourrait causer des dommages aux cuves.
- Le bâtiment navigue à grande vitesse sur la route maritime. La vitesse à l'approche du terminal est toutefois faible et le risque de brèche dans les réservoirs est réduit de façon appréciable. Le risque de déversement de GNL est ainsi beaucoup plus faible à proximité du terminal et, en pratique, presque nul.
- Même si la densité de population est faible, il y a des secteurs peuplés le long du parcours du méthanier.
- Les calculs relatifs à l'échouement sont très prudents, car on a considéré que 1 échouement sur 10 causant des dommages dans la zone de chargement ouvrirait une brèche dans la coque interne. Il s'agit d'une valeur très élevée pour un grand méthanier à double coque.

Il est important de noter que le risque est calculé pour la totalité du trajet du méthanier dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent. Pour une personne située à un endroit donné sur la rive, le risque est bien plus faible, car le méthanier ne se trouve à proximité de cet endroit que pendant une durée limitée.

RAPPORT TECHNIQUE

8.1.3. COLLISION À QUAÏ

Le risque de collision à quai est reporté dans la matrice schématisée ci-contre. On en retient les éléments suivants :

	1	2	3	4
A				
B	X			
C				
D				
E				X

- Une collision à quai est peu susceptible de se produire au cours de la durée d'exploitation du terminal, car la période de retour s'élève à 3 030 ans (case B1 dans la matrice de risque : Collision à quai sans fuite de GNL);
- Le risque d'une collision à quai conduisant à un déversement suivi d'un feu de nuage et causant des décès est négligeable, avec une fréquence d'occurrence de 1 fois tous les 9 millions d'années (case E3 dans la matrice de risque : Collision avec déversement de GNL et décès).

Voici les principaux facteurs qui influent sur le risque de collision à quai sont :

- Le nombre de navires passant à proximité de la jetée est faible (entre 6 par jours en hiver à 17 par jour en été).
- Il n'y a pas d'autres appontements à proximité de l'appontement méthanier.
- Le poste d'amarrage est situé dans une portion rectiligne du fleuve et le trafic tiers est canalisé parallèlement au quai. La probabilité qu'un navire heurte le méthanier avec un angle proche de la perpendiculaire est donc très faible.
- L'appontement est situé loin du rivage (500 m).

8.1.4. DÉFAILLANCE DES BRAS DE DÉCHARGEMENT

Le risque de défaillance des bras de déchargement est reporté dans la matrice schématisée ci-contre. On en retient les éléments suivants :

	1	2	3	4
A				
B				
C	X			
D				
E				

- Une défaillance des bras de déchargement accompagnée d'une fuite de GNL est si peu probable qu'un tel événement ne se produira vraisemblablement pas au cours de la durée d'exploitation du terminal. La période de récurrence s'élève à 20 800 ans;
- Une défaillance des bras de déchargement est évaluée comme posant un risque négligeable pour des tierces parties du fait de la distance de 500 m entre l'appontement et le rivage.

La défaillance des bras de déchargement peut être causée par une des trois événements suivants :

- Une défaillance de l'équipement lui-même;
- Une défaillance de l'amarrage, qui entraîne un écart du méthanier et qui conduit à l'arrachement des bras de déchargement;

RAPPORT TECHNIQUE

- L'arrachement ou le bris des bras de déchargement, causé par un navire heurtant le méthanier à la jetée.

La plupart des incidents impliquent des bras de déchargement ne conduira à aucun déversement de GNL, grâce au système d'arrêt d'urgence et aux alarmes de position. Dans le cas d'un déversement, il est fort probable que le débit de fuite sera inférieur au débit de 12 000 m³/h utilisé dans cette évaluation, débit qui correspond aux trois bras à leur débit maximum pendant une minute.

8.2. Résumé de l'évaluation des risques

L'analyse de risques conclut que l'échouement constitue l'accident le plus probable en ce qui concerne les opérations maritimes. Cette conclusion est en accord avec les données historiques, puisque en 40 ans et 40 000 voyages il y a eu deux échouements importants (*El Paso Paul Kaiser* et *LNG Taurus*), mais aucune collision sérieuse mettant en cause un méthanier ni aucune perte de cargaison.

Le niveau de risque de chaque scénario est acceptable. Certains scénarios qui sont situés dans la zone ALARP, bien qu'acceptables, peuvent voir leur niveau de risque réduit par des mesures de sécurité supplémentaires, qui sont présentées dans le chapitre suivant.

Ces mesures de sécurité n'ont pas été prises en considération pour la réalisation de cette étude de sécurité maritime. La mise en œuvre de ces mesures permettra de réduire le risque. Ainsi, par exemple, un trafic à sens unique dans la traverse du Nord et l'accompagnement par un remorqueur d'escorte entraînera une forte réduction de la probabilité d'échouement dans ce tronçon.

9. MESURES OPÉRATIONNELLES DE SÉCURITÉ PROPOSÉES PAR RABASKA

Les mesures de réduction du risque sont des mesures ou des procédures visant à réduire la fréquence ou la probabilité d'occurrence d'un accident, les conséquences potentielles, soit les deux.

Ces mesures de réduction du risque concernent la navigation, les manœuvres de mise à quai et d'appareillage, et les opérations à quai. Il est important de noter que c'est le méthanier qui va s'intégrer dans le trafic commercial existant, les mesures présentées ci-dessous vont avoir un impact pour le méthanier mais pas pour le trafic commercial existant. Par exemple, c'est le méthanier qui attendra d'avoir le champ libre avant de franchir le tournant de l'Île-aux-Coudres.

9.1. Golfe du Saint-Laurent

Dans le golfe du Saint-Laurent, les navires méthaniers adopteront une distance de croisement avec les autres navires d'au moins 1 mille marin. En cas de mauvaise visibilité cette distance sera portée à 3 milles marins.

Durant la saison des glaces, un aviseur des glaces est embarqué pour le transit du Golfe du St Laurent (du détroit de Cabot aux Escoumins). Un quart machine sera effectif lorsque le navire sera dans les glaces.

9.2. Estuaire du Saint-Laurent

Deux pilotes embarquent aux Escoumins. En accord avec le centre de régulation du trafic maritime, les pilotes, de passerelle à passerelle, assurent la gestion du trafic.

Le quart à la machine est effectif pendant tout le séjour du méthanier à l'Ouest des Escoumins.

Selon les dispositions prises par les autorités canadiennes, les traversiers coupent la route du méthanier généralement sur son arrière en lui communiquant ses intentions.

Les distances de croisement avec les navires allant en sens inverse ainsi que celles avec les navires rattrapant ou rattrapés seront fonction de la vitesse de rapprochement des navires.

- Si la vitesse de rapprochement est supérieure à 35 nœuds (cas de routes directement opposées), la distance de croisement est d'au moins 0,75 mille.
- Pour une vitesse de rapprochement entre 25 et 35 nœuds, la distance de croisement est d'au moins 0,5 mille.

RAPPORT TECHNIQUE

- Si la vitesse de rapprochement est inférieure à 25 nœuds (cas de routes directement opposées ou bien d'un dépassement), la distance de croisement est d'au moins 0,25 mille.

Dans les endroits resserrés du personnel se tiendra prêt à mouiller les ancres si nécessaire.

Aucun croisement ne sera effectué dans le passage de l'île-aux-Coudres.

9.3. Traverse du Nord

Le transit de la Traverse du Nord se fait à sens unique pour le méthanier qui conserve une distance d'au moins 2 milles avec le navire qui le précède. Le navire qui le suit conserve une distance de 5 milles avec le méthanier.

En cas de visibilité inférieure à 1 mille ou si la vitesse du vent est supérieure à 35 nœuds, le transit de la Traverse du Nord sera reporté en attendant de meilleures conditions météorologiques. A la montée le méthanier sera dirigé vers une zone d'attente ou de mouillage, à la descente le méthanier attend à quai avant d'appareiller.

Pour transiter dans la Traverse du Nord, le méthanier adaptera sa vitesse en fonction du dégagement sous la quille donné par la Garde Côtière Canadienne en prenant une marge de manœuvrabilité supplémentaire de 0,5 mètre.

A la montée, un remorqueur d'escorte accompagne le méthanier durant le transit de la traverse du nord jusqu'à la mise à quai.

9.4. Chenal des Grands Voiliers et zone de manœuvres

Le pilote lamaneur embarque et débarque à proximité de Port St Laurent de l'Île d'Orléans

Les manœuvres sont annulées si la vitesse du vent dépasse 25 nœuds ou si la visibilité est inférieure à 1 mille. Une zone d'attente pour quelques heures est aménagée au Sud - Ouest du récif de l'Île Madame

A l'arrivée, les remorqueurs sont pris avant le passage des Îlots d'Hydro-Québec et au départ ils sont largués après le passage des Îlots d'Hydro-Québec.

Selon les conditions de marée et de vent, 3 à 4 remorqueurs sont utilisés pour les manœuvres d'accostage (dont le remorqueur d'escorte) et 2 à 3 remorqueurs pour l'appareillage.

La zone de manœuvre est au minimum large de 850 m entre isobathes de 15 m et se prolonge le long du fleuve afin que le méthanier puisse attendre la voie libre avant d'éviter.

9.5. Poste d'amarrage

Le plan d'amarrage du méthanier est calculé en fonction des conditions locales de vent, de vagues et de courant. Il est augmenté en hiver en présence de glaces bien que le poste d'amarrage dispose de caissons de protection et qu'il n'y ait pas de glace mise sous pression aux environs du quai.

Le pilote lamaneur reste à bord et un remorqueur équipé pour la lutte contre l'incendie reste à proximité du méthanier durant toute la durée de l'escale. Ces dispositions sont prises pour autoriser un départ d'urgence si nécessaire. Il n'y a pas de seuils météorologiques nécessitant de faire appareiller le méthanier car le poste à quai est bien abrité et orienté par rapport aux vents. De plus, des départs d'urgence potentiels ne seraient ni limités ni gênés par des conditions externes tels que les marées, les courants ou des situations de compression par la glace.

Les plaisanciers et excursionnistes ne doivent pas s'approcher à moins de 50 m du poste d'amarrage (avec ou sans méthanier à quai).

Les petites embarcations et kayakistes peuvent passer sous le pont sur chevalets avec précaution.

Les opérations de transbordement de la cargaison sont arrêtées en cas d'orage à moins de 5000 m ou pour un vent dépassant une limite fixées par le fabricant des bras (typiquement 35 nœuds ou plus).

10. PRÉPARATION AUX SITUATIONS D'URGENCE POUR LES MÉTHANIERES

Un plan commun de sécurité navire/terminal sera établi pour chaque méthanier. Ce plan développe les points de contrôle (liste de vérification de sécurité) imposés par la réglementation internationale et nationale (TERMPOL TP743F). Il permet d'assurer une connaissance réciproque (navire/terminal) des données techniques, des procédures opérationnelles et d'urgence.

Le plan commun de sécurité comporte les éléments suivants :

- fiches de contrôle navire/terre, procédures et consignes permanentes. Ce document réglementaire définit les conditions d'exploitation importantes lors des déchargements. Ce document est signé par les responsables du terminal méthanier et du navire. Il comprend des fiches de procédure d'exploitation lors des opérations de déchargement (communications navire-terre, manutention de la cargaison, arrêt d'urgence,...);
- plan commun d'urgence. Ce plan commun d'urgence définit les moyens à mettre en œuvre et les actions à entreprendre par le navire méthanier et le terminal dans les différents cas d'incident répertoriés lorsque le navire est à quai ou dans le chenal d'accès. Il comprend :
 - le plan d'urgence précisant les risques, les actions à entreprendre et les moyens de lutte à mettre en œuvre, les circuits d'alerte et les limites de responsabilité, le cadre et la fréquence des exercices de sécurité;
 - des fiches d'alerte « terminal » précisant les actions à engager par le terminal selon le type d'incident;
 - des fiches d'alerte « navire » précisant les actions à engager par le navire selon le type d'incident.

Ce plan commun d'urgence est fait en lien avec le plan d'urgence du terminal méthanier. Le plan d'urgence sera disponible 6 mois avant la fin des travaux de construction du terminal méthanier.

Sommaire type de plan commun d'urgence

Un sommaire type de plan d'urgence pour le méthanier est donné ci-dessous.

1. introduction et objectifs;
2. organisation et responsabilités de la planification d'urgence :
 - à bord du méthanier;
 - interface terre - navire;

RAPPORT TECHNIQUE

- ressources externes;
3. scénarios d'urgence et planification des urgences traitant des points suivants :
- manutention, déversement de la cargaison;
 - arrêt d'urgence des opérations de transfert de la cargaison;
 - feu & explosion;
 - système de surveillance des opérations;
 - communications terre – navire;
 - dangers d'origine électrique;
 - systèmes de détection et d'alarme;
 - abandon du navire;
 - homme à la mer;
 - déversement de mazout (soutage);
 - déversement de ballast au port;
 - échouement, collision;
 - perte de gouverne;
4. ressources d'intervention d'urgence :
- équipements du navire;
 - équipements et systèmes de sécurité;
 - rôles d'équipage et fonctions sécurité à bord;
5. évacuation, exercices et formation de sécurité :
- exercices d'évacuation et de situation d'urgence – procédures générales et information;
 - planification des exercices de préparation aux situations d'urgence;
 - sûreté – planification des exercices;
 - formation aux urgences à bord du navire;
6. mise à jour du plan d'urgence, audits;
7. procédures d'inspection, d'essais (équipements de sauvetage, matériels pour les situations d'urgence, équipements "SOLAS").

11. RÉFÉRENCES

- /1/ "Reduction of LNG operator error and equipment failure rates", Topical Report April 20, 1990, Study performed by DNV for UK Health and Safety Executive.
- /2/ DNV Joint Sponsor project, Reference to Eagle Lyon Pope assessment of Lloyds List and SIGGTO data for 1964-1996 with 49600 port calls.
- /3/ HARDER - "Harmonization of rules and design rationale" - is a research project being undertaken by a consortium of European industrial, research and academic institutions. DNV is co-ordinator. Thorough study of the "probabilistic" approach to assessing a vessel's damage stability.
- /4/ *LNG marine Release Consequence Assessment for Joint Sponsor project*, July 2004, Project number 70004197, Det Norske Veritas (U.S.A.), Inc.
- /5/ Nedelka, D.; V. Sauter, J. Goavic, R. Ohba (2003). Last developments in Rapid Phase Transition Knowledge and Modelling Techniques. 2003 OTC Offshore Conference. OTC 15228.
- /6/ Mizner, G.A., and J.A. Eyer, *Radiation from Liquefied Gas Fires on Water*, Comb. Sci. Techn. 35, pp. 33 (1983).
- /7/ <http://atlas.gc.ca/site/english/index.html>
- /8/ *LNG Operations in Port Areas* - SIGTTO (The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators).
- /9/ Ministère de l'Environnement du Québec – Direction des évaluations environnementales. "Guide – Analyse de risques d'accidents technologiques majeurs". Juin 2002.
- /10/ Paik, J.K1 ; I.H. Choe ; A. K. Thayamballi (2001). On accidental limit state design of spherical type LNG carrier structures against ship collisions. International collision and grounding of ships conference. Copenhagen.
- /11/ IMO (1993). International Code for construction & equipment of ships carrying liquefied gases in bulk (IGC). Third edition, London, United Kingdom.
- /12/ *Model of spills and fires from LNG and oil tankers*, Dr. James Fay (2002)
- /13/ DNV Joint Sponsor project, CCPS Conference Orlando, June 2004.
- /14/ Construction of a LNG receiving terminal on the St. Lawrence. Pre-feasibility of the jetty component of the project. ROCHE. February 2004.
- /15/ IMO (International Maritime Organisation, UN) maritime Safety Committee (MSC) 72/16, Skjong and Eknes, 2001 and 2002.
- /16/ Paul Croteau et associés inc., 2003. Study of ice conditions at selected sites on the St. Lawrence River for the location of a LNG marine terminal. Projet 0117
- /17/ Properties of LNG, Don Juckett, US Department of Energy, February 12, 2002 LNG

RAPPORT TECHNIQUE

workshop, Solomons, MD.

/18/ Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST). Rapports d'enquête.

/19/ Base de données LRFP (Lloyds Register Fairplay) ; Analyse DNV

/20/ GNL Safety and Security, University of Houston Law Center, Institute for Energy, Law & Enterprise, octobre 2003

RAPPORT TECHNIQUE

Autres références relatives à l'exploitation de méthaniers

Comme on peut le lire dans la présente étude, la SIGTTO (Society of International Gas Tanker and Terminal Operators), l'OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) et l'ICS (International Chamber of Shipping ou CIMM, Chambre internationale de la marine marchande) sont de grandes organisations, avec l'OMI bien sûr, vouées aux questions de sûreté et de fiabilité d'exploitation des navires et des terminaux méthaniers. Ensemble, elles ont publié certains guides très importants, largement reconnus comme diffuseurs de bonnes pratiques au sein de l'industrie.

N°	Auteur	Publication	Date
1	SIGTTO	Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals 2nd edition	1996
2	SIGTTO	Guidelines for Ship to Shore Access for Gas Carriers	1993
3	SIGTTO	Recommendations for the Installation of Cargo Strainers on LNG Carriers	1984
4	SIGTTO	Emergency Shut-Down of Liquefied Gas Cargo Transfer	1987
5	SIGTTO	Cargo Fire fighting on Liquefied Gas Carriers	1986
6	SIGTTO	Guidelines for Hazard Analysis as an Aid to Management of Safe Operations	1992
7	SIGTTO	Guidelines for the Alleviation of Excessive Surge Pressures on ESD	1987
8	SIGTTO	Hydrates in LPG Cargoes	1984
9	SIGTTO	Review of LPG Cargo Quantity Calculations 2nd edition	1997
10	SIGTTO	Information Paper No.5: Ship/Shore Interface Communications 2nd edition	1997
11	SIGTTO	Information Paper No.6: Report on Gas Sampling Procedures	1988
12	SIGTTO	Guidelines for Automatic Cargo Tank Overfill Protection Aboard Gas Carriers	1993
13	OCIMF	Safety Guide for Terminals Handling Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk	1993
14	OCIMF	Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs	1994
15	OCIMF	Effective Mooring	1989
16	OCIMF	Mooring Equipment Guidelines 2nd edition	1997
17	OCIMF	Recommendations for Manifolds for Refrigerated Liquefied Gas Carriers for Cargoes from 0°C to - 104°C	1994
18	OCIMF	Recommendations for Manifolds for Refrigerated Liquefied Natural Gas (LNG)	1994
19	OCIMF & SIGTTO	Prediction of Wind Loads on Large Liquefied Gas Carriers	1985

RAPPORT TECHNIQUE

20	OCIMF & SIGTTO	Inspection Guidelines for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk	1998
21	OCIMF & SIGTTO	Ship Information Questionnaire for Gas Carriers 2nd edition	1998
22	OCIMF	Marine Terminal Survey Guidelines	1995
23	ICS	Tanker Safety Guide (Liquefied Gas) 2nd edition	1995
24	ICS	Safety In Liquefied Gas Tankers	1980
25	ICS, OCIMF & SIGTTO	Guide to Contingency Planning for the Gas Carrier Alongside and Within Port Limits 2nd edition	1999
26	ICS, OCIMF & SIGTTO	Contingency Planning and Crew Response Guide for Gas Carrier Damage at Sea and in Port Approaches 2nd edition	1999
27	ICS, OCIMF & SIGTTO	Guide to Contingency Planning for Marine Terminals Handling Liquefied Gases in Bulk	1989
28	ICS, OCIMF & IAPH	International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT) 4th edition	1996
29	IMO	International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)	1993
30	IMO	Ship/Shore Safety Check List - appendix A ISGOTT & appendix 9 ICS Tanker Safety Guide	1996
31	IMO	SOLAS Consolidated Edition	1997
32	OCIMF	Design and Construction Specification for Marine Loading Arms 3rd edition	1999
33	SIGTTO	An Introduction to the Design and Maintenance of Cargo System Pressure Relief Valves on Board Gas Carriers	1998
34	ICS	Bridge Procedures Guide 3rd edition	1998
35	SIGTTO	Safety in Liquefied Gas Marine Transportation and Terminal Operations	2000
36	SIGTTO	Safe Havens for Disabled Gas Carriers	2003
37	SIGTTO	Port Information for LNG Export and Import Terminals - 4th edition	2000
38	SIGTTO	LNG Operations in Port Areas	2003
39	SIGTTO	Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals - 3rd edition	2000

ANNEXE

1

DONNÉES SUR LE TRAFIC MARITIME

DONNÉES SUR LE TRAFIC MARITIME ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC

CIRCULATION MARITIME DANS LE DÉTROIT DE CABOT EN MONTANT, PAR TYPE DE NAVIRE	
Type de navire	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
Barge	0
Garde-côte	40
Bateau de pêche	87
Remorqueur	83
Navire marchand, cargaison sèche	3 296
Navire à passagers	64
Navire à usage spécialisé	14
Pétrolier	930
Total	4 514

CIRCULATION MARITIME DANS LE DÉTROIT DE CABOT EN DESCENDANT, PAR TYPE DE NAVIRE	
Type de navire	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
Barge	0
Garde-côte	44
Bateau de pêche	84
Remorqueur	86
Navire marchand, cargaison sèche	3 372
Navire à passagers	83
Navire à usage spécialisé	14
Pétrolier	939
Total	4 622

CIRCULATION MARITIME AU DROIT DE MATANE ET DE BAIE COMEAU EN MONTANT, PAR TYPE DE NAVIRE	
Type de navire	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
Barge	4
Garde-côte	94
Bateau de pêche	0
Remorqueur	153
Navire marchand, cargaison sèche	3 791
Navire à passagers	136
Navire à usage spécialisé	39
Pétrolier	825
Total	5 042

CIRCULATION MARITIME AU DROIT DE MATANE ET DE BAIE COMEAU EN DESCENDANT, PAR TYPE DE NAVIRE	
Type de navire	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
Barge	2
Garde-côte	100
Bateau de pêche	3
Remorqueur	156
Navire marchand, cargaison sèche	3 805
Navire à passagers	140
Navire à usage spécialisé	42
Pétrolier	820
Total	5 065

CIRCULATION MARITIME SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT EN MONTANT, PAR TYPE DE NAVIRE	
Type de navire	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
Barge	16
Garde-côte	157
Bateau de pêche	0
Remorqueur	197
Navire marchand, cargaison sèche	3 380
Navire à passagers	299
Navire à usage spécialisé	46
Pétrolier	884
Total	4 979

CIRCULATION MARITIME SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT EN DESCENDANT, PAR TYPE DE NAVIRE	
Type de navire	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
Barge	17
Garde-côte	161
Bateau de pêche	0
Remorqueur	191
Navire marchand, cargaison sèche	3 396
Navire à passagers	293
Navire à usage spécialisé	48
Pétrolier	878
Total	4 984

CIRCULATION DE TRAVERSISERS ENTRE LE DÉTROIT DE CABOT ET QUÉBEC	
Route de traversier	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
Port aux Basques–North Sydney	1 500*
Matane–Baie-Comeau–Godbout	4 953
Rivière-du-Loup–Saint-Siméon	3 600*
Rimouski-Forestville	2 007
Trois-Pistoles–Les Escoumins	592
L'Isle-aux-Coudres–Saint-Joseph-de-la-Rive	22 000*
Total	34 652

* Estimation basée sur les horaires des traversiers

CIRCULATION MARITIME DANS LE DÉTROIT DE CABOT EN MONTANT, PAR CAPACITÉ DE NAVIRE	
Tonnage de port en lourd	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
0 – 4 999	373
5 000 – 9 999	566
10 000 – 19 999	1 088
20 000 – 49 999	1 726
50 000 et plus	770
Total	4 523

CIRCULATION MARITIME DANS LE DÉTROIT DE CABOT EN DESCENDANT, PAR CAPACITÉ DE NAVIRE	
Tonnage de port en lourd	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
0 – 5 000	416
5 000 – 9 999	579
10 000 – 19 999	1 085
20 000 – 49 999	1 757
50 000 et plus	798
Total	4 635

CIRCULATION MARITIME AU DROIT DE MATANE ET DE BAIE COMEAU EN MONTANT, PAR CAPACITÉ DE NAVIRE	
Tonnage de port en lourd	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
0 – 5 000	636
5 000 – 9 999	546
10 000 – 19 999	860
20 000 – 49 999	2 592
50 000 et plus	474
Total	5 108

CIRCULATION MARITIME AU DROIT DE MATANE ET DE BAIE COMEAU EN DESCENDANT, PAR CAPACITÉ DE NAVIRE	
Tonnage de port en lourd	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
0 – 5 000	652
5 000 – 9 999	546
10 000 – 19 999	861
20 000 – 49 999	2 601
50 000 et plus	475
Total	5 135

CIRCULATION MARITIME SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT EN MONTANT, PAR CAPACITÉ DE NAVIRE	
Tonnage de port en lourd	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
0 – 5 000	865
5 000 – 9 999	523
10 000 – 19 999	841
20 000 – 49 999	2 441
50 000 et plus	391
Total	5 061

CIRCULATION MARITIME SUR LE FLEUVE SAINT-LAURENT EN DESCENDANT, PAR CAPACITÉ DE NAVIRE	
Tonnage de port en lourd	Trafic total de juin 2002 à juin 2004
0 – 5 000	863
5 000 – 9 999	522
10 000 – 19 999	842
20 000 – 49 999	2 448
50 000 et plus	390
Total	5 065

ANNEXE

2

ITINÉRAIRES DES TRAVERSIERS

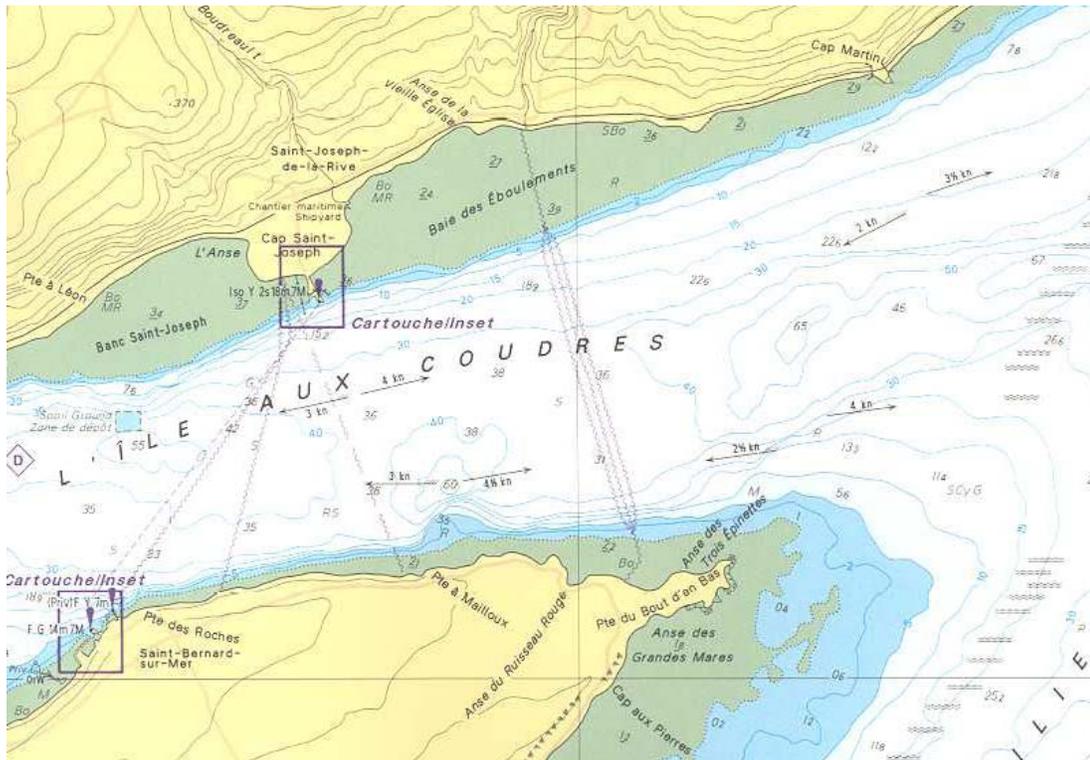


FIGURE 1 - ITINÉRAIRES DE TRAVERSISERS ENTRE L'ISLE-AUX-COUDRES ET SAINT-JOSEPH-DE-LA-RIVE

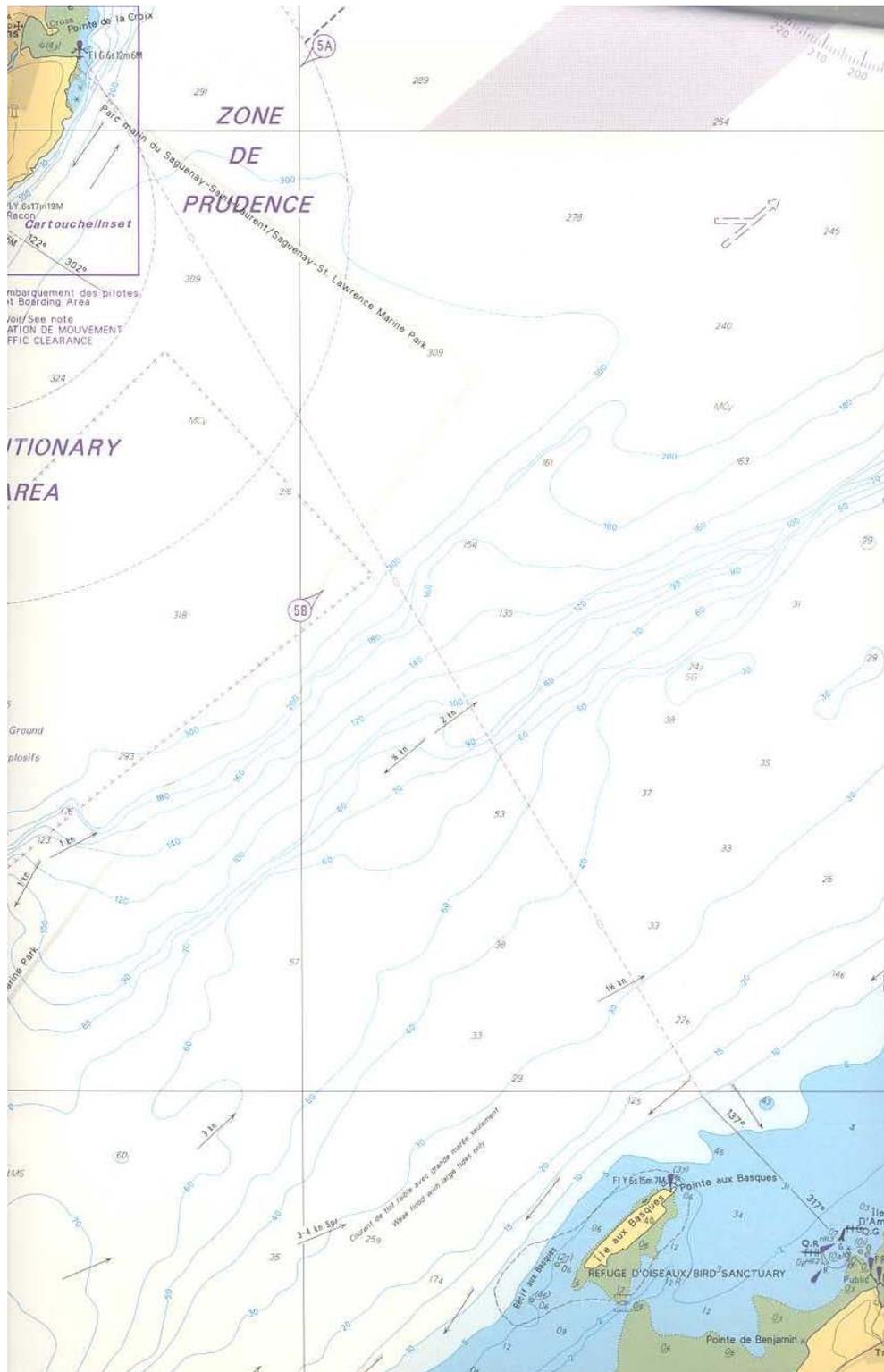


FIGURE 2 - ITINÉRAIRES DE TRAVERSIERS ENTRE TROIS-PISTOLES ET LES ESCOUMINS

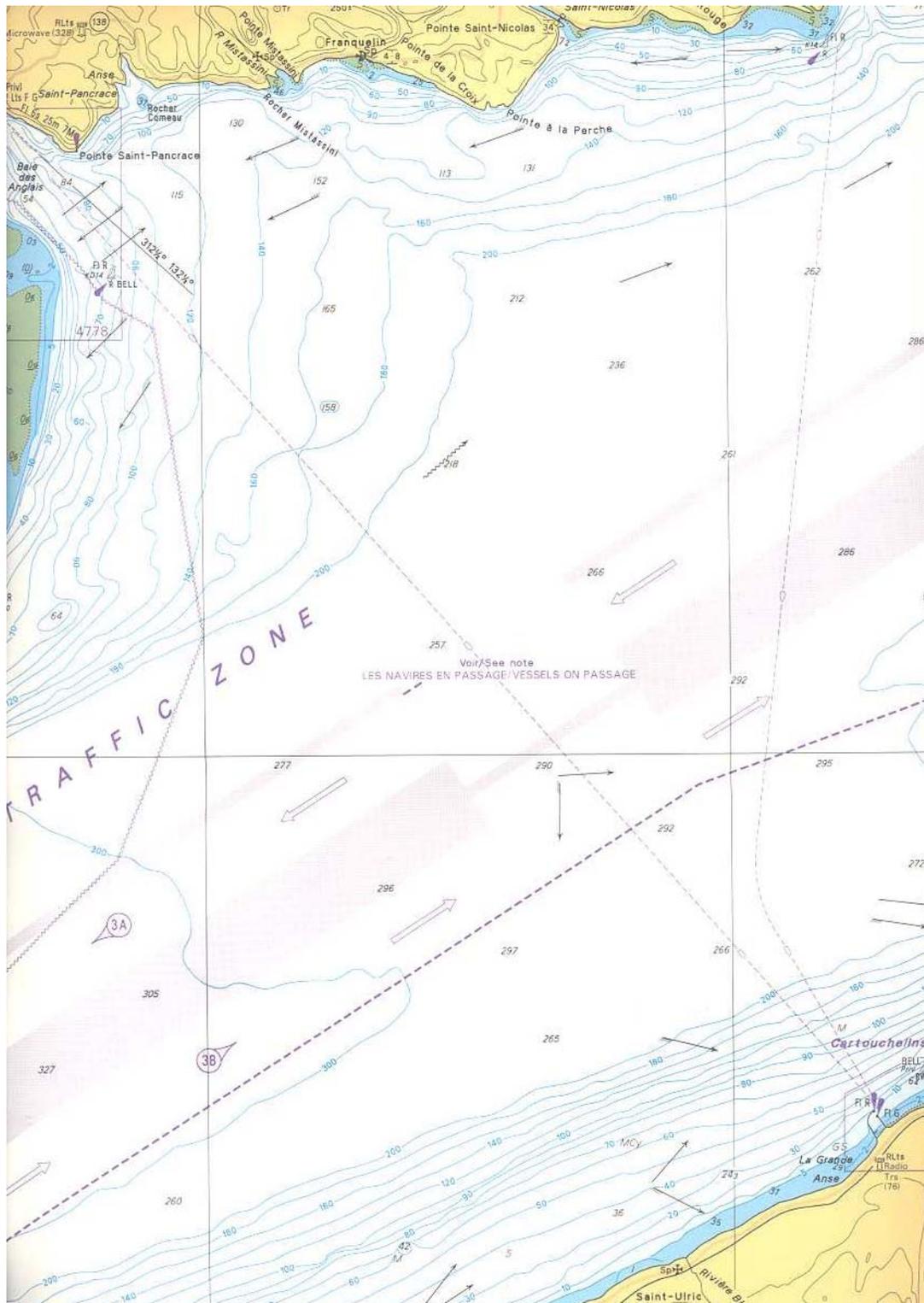


FIGURE 4 – ITINÉRAIRES DE TRAVERSERS ENTRE MATANE, BAIE-COMEAU ET GODBOUT

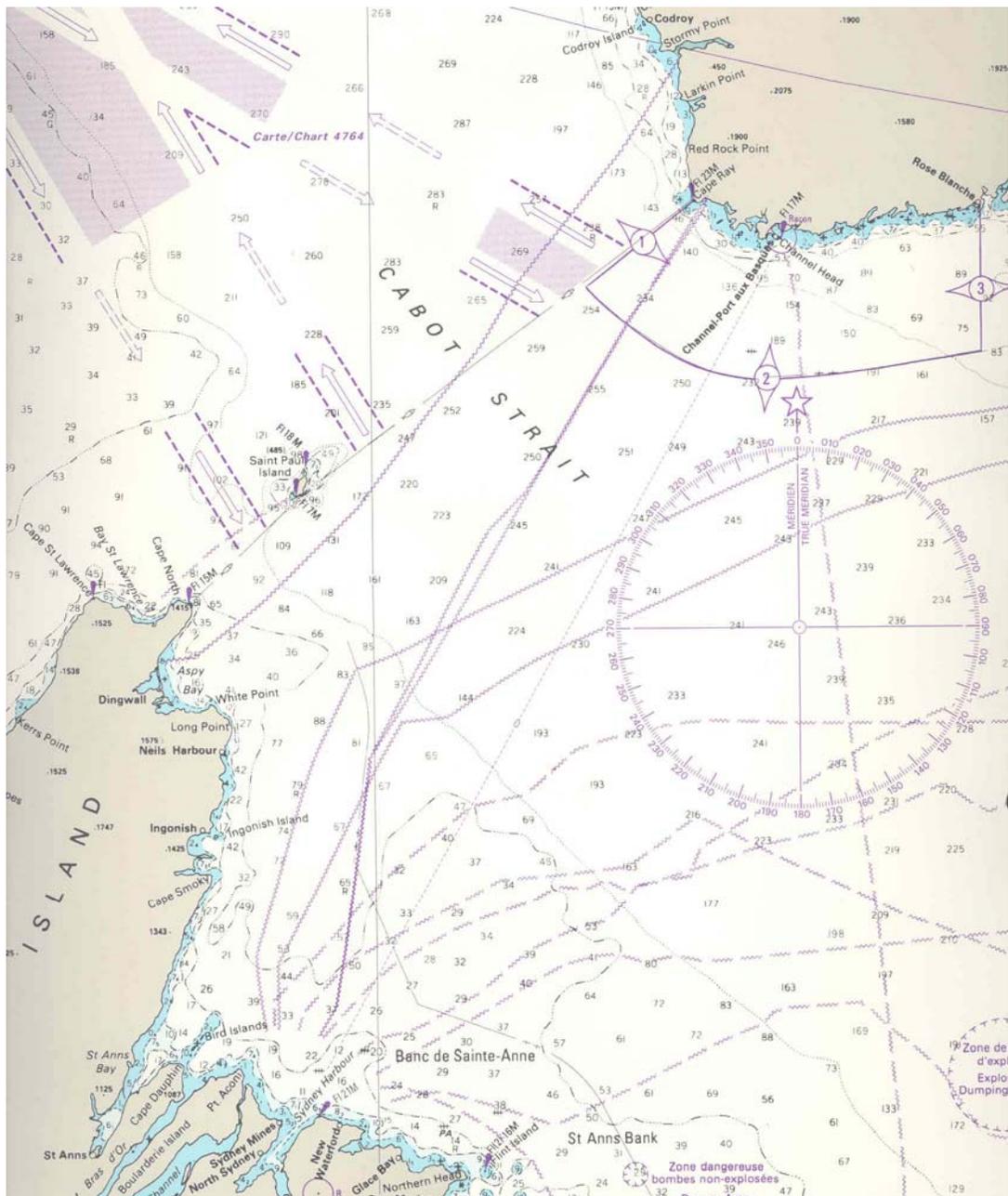


FIGURE 5 – ITINÉRAIRES DE TRAVERSIERS ENTRE PORT AUX BASQUES, ARGENTIA ET NORTH SYDNEY

ANNEXE

3

INCIDENTS SURVENUS SUR DES MÉTHANIERES DANS LE MONDE
ENTIER, 1964 À 2004

ACCIDENTS DE MÉTHANIER DANS LE MONDE ENTIER

AN	EMPLACEMENT	CAUSE DE DÉ-FAILLANCE	DÉTAILS	RÉF.
1965	---	Transfert de cargaison	de Fractures sur le pont d'un méthanier, fuite de petites quantités de GNL. <i>Navire : Jules Verne.</i>	[5]
1965	Canvey Island, UK	Transfert de cargaison	de Un blessé pendant des opérations de déchargement, fuite de petites quantités de GNL.	[5]
1965	---	Transfert de cargaison	de Une fuite de petites quantités de GNL sur une vanne cause des fractures sur le pont du méthanier.	[5]
1969	Alaska, É.-U.	Ballotement du transport	Un ballotement violent du GNL dans la cuve d'un méthanier en route vers l'Alaska a provoqué le détachement d'un chemin de câbles. Ceci a alors endommagé la membrane de la cuve, conduisant à une fuite de petites quantités de GNL dans l'espace primaire. Aucun incendie ni explosion n'a été signalé. <i>Navire : Polar Alaska</i>	[1]
1971	Everett, Boston Mass. US	Défaillance mécanique	Un méthanier a eu une fuite de gaz sur une cuve à cause d'un mauvais ajustement du dôme avec la membrane. <i>Navire : Descartes</i>	[1]
1971	La Spezia, Italie	Basculement de couches après déchargement	Du GNL était maintenu depuis des mois sur un navire avant d'être déchargé. L'évaporation a conduit à rendre le liquide plus chaud et plus dense. Emplissage par le fond du réservoir 50 000 m ³ . 18 heures après le remplissage, un basculement de couches a entraîné une pression 1,42 fois supérieure à la pression maximum de conception. Le GNL a été mis à l'évent pendant plus de trois heures. Nota : le basculement de couche ne s'est pas produit dans la cuve du méthanier mais dans le réservoir à terre	[1]
1974	Everett, Boston Mass. US	Transfert de cargaison	de Une fuite de petites quantités de GNL sur une vanne cause des fractures sur le pont du méthanier.	[5]
1976	Canvey Island, UK	Pétrolier entrant en collision avec un quai méthanier	Le gouvernail d'un pétrolier de 2 500 tonnes est tombé en panne. Par la suite, le pétrolier est venu heurter la jetée GNL pour ne s'arrêter qu'à quelques mètres d'une canalisation de GNL de grand diamètre. Vent de 38 nœuds au cours de l'incident.	[1]
1977		Transfert de cargaison	de Débordement d'une cuve, fuite de petites quantités de GNL. <i>Navire : Aquarius</i>	[5]
1979	Everett, Boston Mass. US	Transfert de cargaison	de Un méthanier construit en 1974 (87 600 m ³), chargé de GNL. Fuite de GNL sur des tôles d'acier du pont pendant un déchargement. <i>Navire : Pollenger, ex Challenger.</i>	[3]
1979	Gibraltar	Échouement	Un méthanier construit en 1975 (125 000 m ³) s'est échoué au détroit de Gibraltar. Il a été par la suite remis à flot et remorqué jusqu'au port pour décharger sa cargaison. Le navire a été mis en cale sèche, où une inspection a révélé des dommages importants, mais sans fuite de GNL. <i>Navire : El Paso Paul Kaiser</i>	[3]
1979	---	Défaillance d'une vanne pendant un chargement	Une fuite de petites quantités de GNL sur une vanne cause des fractures sur le pont du méthanier. <i>Navire : Mostefa Ben Boulaid.</i>	[5]

AN	EMPLACEMENT	CAUSE DE DÉ-FAILLANCE	DÉTAILS	RÉF.
1980	Arzew, Algérie	Orage	Deux canalisations transportant du GNL de l'usine/stockage de liquéfaction à l'appontement se sont fracturées pendant un orage en déversant du GNL dans le port. Du pétrole brut s'est également déversé quand la canalisation reliant les réservoirs à la bouée de chargement offshore s'est rompue.	[1]
1980	En approche du port de Tobata, Japon	Échouement	Échouement pendant une tempête conduisant à des dommages importants du fond du navire et à l'entrée d'eau dans les ballasts. La cuve interne reste intacte. <i>Navire : LNG Taurus</i>	
1980	En route de l'Indonésie au Japon	Défaillance mécanique	L'arbre s'est déplacé contre le safran pendant un voyage. Rupture de l'extrémité de l'arbre. Le navire est conduit dans un port abrité pour effectuer avec succès un transfert navire/navire de la cargaison dans un autre méthanier. <i>Navire : LNG Libra.</i>	[5]
1982	Bontang, Indonésie	Transfert de cargaison	Un méthanier s'écarte de la jetée alors qu'il était déjà raccordé. Ni le transfert de la cargaison, ni la mise en froid n'avaient commencé, mais du gaz passait dans le bras gaz pour le purger. Coups de vent de 80 km/h. Des dommages matériels au manifold de raccordement ont nécessité des réparations à Singapour.	[6]
1982	---	Conditions météos	Des conditions météorologiques difficiles conduisent à des dommages sur les structures du dôme d'une cuve et sur le pont. Dommages sur une cloison longitudinale des ballasts.	[6]
1983	---	Machine	Turbines principales et auxiliaires endommagées.	[6]
1983	---	Machine	Découverte simultanée de dommages sur le safran et de fissures dans la zone des dômes des cuves. Réparations effectuées.	[6]
1983	---	Conditions météos	Des conditions météorologiques difficiles conduisent à des fractures dans la zone des dômes des cuves. Dommages au safran.	[6]
1983	---	Machine	Perte d'étanchéité au tube étambot (arbre porte hélice)	[6]
1984	Cale sèche	Machine	Feu pendant la réparation du navire. Dommages sur 25 m ² de l'isolant de la cuve sphérique n°3.	[6]
1984	---	Transfert de cargaison	La défaillance d'une pompe provoque une seconde défaillance. Le rotor d'aspiration de la pompe se brise. Des fragments de métal percent la membrane en Invar. Situation maîtrisée en suivant les procédures du fabricant.	[6]
1984	---	tranche cargaison	Pont principal fracturé dans la zone du dôme de la cuve No 5 à cause d'une surpression dans l'espace inter-barrière rempli de gaz inerte. Les vannes pilotées des soupapes de surpression n'ont pas fonctionné.	[6]
1984	---	Conditions météos	Différentes fractures sous le pont et dans les ballasts attribuées au mauvais temps (fatigue).	[6]
1984	---	Machine	Tubes d'évaporation bâbord et tribord au niveau du plancher de la chaudière endommagés. Les tubes du plancher et de la cloison arrière sont remplacés.	[6]
1985	Lumut, Malaisie	Défaillance mécanique	Le méthanier éprouvait des problèmes de gouverne à Lumut. Le navire a été remorqué à Yokohama et réparé.	[4]
1985	---	Transfert de cargaison	Bris sur un rotor d'aspiration de pompe pendant un déchargement, la membrane Invar est percée.	[6]

AN	EMPLACEMENT	CAUSE DE DÉ-FAILLANCE	DÉTAILS	RÉF.
1985	Barcelona, Espagne	Transfert de cargaison	Une mise en ligne incorrecte de vannes provoque l'envoi de GNL d'une cuve du navire à une autre cuve, conduisant à un débordement. Des petites quantités de GNL ont débordé par l'événement de la cuve et se sont répandues sur le pont du navire, provoquant la fracture des constructions en acier.	[4]
1985	---	Navigation	Dommages sur bâbord avant lors d'une collision avec un autre navire. Navire chargé de 56 500 tonnes de GNL au moment de la collision. <i>Navire : Ramdane Abane.</i>	[6]
1989	Skikda Algérie	Conditions météorologiques	Un méthanier a rompu ses amarres en raison d'un vent fort (160 km/h). Pendant le chargement du GNL, le navire s'est écarté du quai entraînant la rupture des 4 bras de chargement. Une fuite d'une petite quantité de GNL s'est produite, conduisant à des fractures du pont du navire. Pas de dommage sur les cuves. <i>Navire : Tellier.</i>	[2]
1989	---	Machinery	Défaillance de la pompe principale de circulation d'eau de réfrigération.	[6]
1990	En mer	Fatigue	Les fractures de fatigue dans la coque intérieure près du pli No 1 (jonction du ballast latéral et de la double coque) ont provoqué l'entrée d'eau de ballast dans l'espace d'isolation entre la coque intérieure et la membrane secondaire du réservoir n° 3. <i>Navire : Bachir Chihani.</i>	[4]
1991	---	Machine	Dommages sur un turbo-alternateur.	[6]
1992	Pyong taek, South Korea	Navigation	Légers dommages sur l'hélice suite à un contact avec une bouée à Pyong Taek. Réparations permanentes reportées.	[6]
1993	Marseille	Cale sèche	Navire dans la cale sèche n°9 à Marseille, un feu s'est déclaré dans un bâtiment du port. Dommages considérables au méthanier. Le navire est enlevé du port de Marseille et remorqué jusqu'à Hambourg pour réparation.	[6]
1993	Hamburg	Cale sèche	Tandis que le navire était en remis en état, après un incendie dans un bâtiment du port, un autre feu s'est déclaré dans la salle des machines, pendant que le navire était à quai dans un autre port trois mois plus tard. Deux personnes blessées.	[6]
1993	Détroit de Singapour	Navigation	Heurt du côté bâbord pendant le franchissement du détroit de Singapour. Réservoirs de soute pénétrés.	[6]
1996	Everett, Boston Mass. US	Feu à bord	Incendie d'origine électrique sur un méthanier (125 600 m ³) dans la salle principale des machines, alors que le méthanier est à quai au terminal de Distrigas. L'équipage éteint l'incendie, le transfert de la cargaison reprend à un plus faible débit. <i>Navire : Mostefa Ben Boulaid.</i>	[1,2]
1996	Au large de Gênes	Essais en mer, Machine	Incendie mineur dans la salle des machines. Considéré comme le résultat d'une fuite de carburant diesel sur une surface chaude. Le feu a été maîtrisé avec des extincteurs portables, quand le système principal d'injection de CO ₂ a été déclenché manuellement. Pendant des essais en mer. <i>Navire : LNG Portovenere.</i>	[6]
1997	Sakai Senboku, Japon	Collision avec une structure fixe	Un méthanier (126 000 m ³ construit en 1978) a subi des dommages au contact d'un duc-d'Albe d'amarrage à l'appontement Harnasaki ; ni fuite ni dommage au système de cargaison. <i>Navire : LNG Capricorn.</i>	[1,2]

AN	EMPLACEMENT	CAUSE DE DÉFAILLANCE	DÉTAILS	RÉF.
1997	Sud du Japon	Collision	Un méthanier (127 600 m ³ , construit en 1989) est entré en collision avec un bateau de pêche à 400 m du phare Shiono Misaki; dommages à bâbord et au bastingage. Ni entrée d'eau, ni fuite de combustible. <i>Navire : Northwest Swift.</i>	[2]
1998	France	Cale sèche	Un navire en cale sèche en France a réparé des fractures à proximité du dôme d'une cuve.	[6]
1998	Sud de la mer de Chine	Machine	Un navire a reporté une panne générale électrique pendant un voyage. Le navire se trouvait à 200 milles de la terre la plus proche quand cette panne s'est produite. Une équipe de réparation équipée de pièces de rechange a été expédiée au navire. Le navire a repris son voyage 4 jours plus tard.	[6]
1999	Bintulu, Malaisie	Piraterie	Alors ancré, des pirates abordent le navire et dérobent des provisions.	[6]
1999	Point Fortin, Trinidad	Collision avec une structure fixe	Un méthanier (71 500 m ³ construit en 1969) a eu une panne de propulsion en arrivant à l'appontement d'Atlantic LNG. L'appontement pétrolier voisin (Petrotrin) a été heurté, endommagé et fermé pendant 2 semaines. Ni pollution, ni blessé. <i>Navire : Methane Polar</i>	[1,2]
1999	En mer, au large des côtes des USA	Machine	Problème d'arbre porte hélice pendant un voyage de Trinidad à Boston. Le navire a dérivé pendant plusieurs jours avant d'être remorqué jusqu'à Boston, où la cargaison a été déchargée. Le navire a ensuite été conduit dans le chantier naval de Newport News pour réparation.	[6]
2000	Nagasaki, Japon	Cale sèche	Le feu a pris sur de l'isolant et des feuilles de vinyle pendant des réparations sur le dôme de la cuve n°3. Le feu a rapidement été maîtrisé.	[6]
2000	Au large de Pusan, Corée du Sud	Navigation	Un méthanier est rentré en collision du côté tribord avec un vraquier, dans le brouillard, pendant un transit vers une inspection en cale sèche programmée. Dommages à des tôles du réservoir de ballast 1.	[6]
2000	Singapore	Cale sèche	Un incendie s'est déclaré dans l'isolation d'une des cuves, alors que le méthanier était en cale sèche pour une remise en état majeure. Bien que le feu ait été rapidement maîtrisé, un ouvrier du chantier naval est décédé. <i>Navire : Hoegh Galleon.</i>	[6]
2001	Côte ouest espagnole	Propulsion	Perte de machine pendant un voyage entre l'Algérie et la France (Montoir). Un remorqueur éloigne le navire de la côte. Les machines sont remises en marche le 26 janvier et le voyage reprend jusqu'à Montoir. <i>Navire : Ramdane Abane.</i>	[6]
2001	En mer au large des côtes algériennes	Collision, Navigation	Pendant un voyage sur ballast entre Barcelone et l'Algérie, collision avec un vraquier (17356 TJB).Le vraquier a eu des dommages aux cabines tribord au dessus de la ligne de flottaison. Trois personnes hospitalisées et un décès. Le méthanier a eu une brèche de 3 mètres sur la proue. <i>Navire : Methane Polar</i>	[4,6]
2001	Le Pirée, Grèce	Cale sèche	Salle des machines inondée après une erreur de manœuvre sur la vanne d'entrée du condenseur qui était déconnectée des réseaux de tuyauterie interne.	[6]
2001	Everett, Boston Mass. US	Transfert de cargaison	Petites fuites de GNL suite à une surpression d'une cuve, conduisant à un certain nombre de fissures sur le pont du navire. La cuve interne est intacte et aucun autre dommage n'est rapporté. Pas de blessé. Le déchargement s'achève de manière satisfaisante. Trois mois de réparation.	[6]

AN	EMPLACEMENT	CAUSE DE DÉ-FAILLANCE	DÉTAILS	RÉF.
2002	Gibraltar	Navigation	Un méthanier a été heurté par un sous-marin nucléaire qui remontait en immersion périscopique. La coque a été perforée sur 10 m au-dessous de la ligne de flottaison. Entrée d'eau de mer dans la zone sèche du double fond. Pas de déversement ni de dommage au système de cargaison.	[4]
2003	Côte algérienne	Défaillance mécanique	Panne de propulsion du méthanier.	[4]
2003	Bahamas	Défaillance mécanique	Panne de propulsion du méthanier.	[4]
2004	En mer	Vent	Domage aux joints d'étanchéité du tube étambot (arbre porte hélice) lors du typhon Maemi.	[4]
2004	En mer	Incendie	Incendie dans le transformateur. Escale à Durban pour obtenir de l'équipement pour les réparations.	[4]

Sources de l'examen des accidents :

- [1] The Major Hazard Incidents Data Service Database (MHIDAS), UK Health and Safety Executive (base tenue à jour par AEA Technology plc.)
- [2] Hazardous Cargo Bulletin, (divers)
- [3] Incident Probabilities on Liquid Gas Ships, UK Health and Safety Executive, AEA/CS/HSE R1014, 1994
- [4] Base de données Lloyds Register Fairplay (LRFP)
- [5] LNG safety and security, Université de Houston, IELE
- [6] Rapports d'accidents du SIGTTO

ANNEXE

4

ÉVÉNEMENTS DE TRANSPORT MARITIME, DÉTROIT DE CABOT -
QUÉBEC, 1994-2002

ÉVÉNEMENTS DE TRANSPORT MARITIME, DÉTROIT DE CABOT - QUÉBEC, 1994-2002

2002

Aucun incident enquêté dans la zone pertinente en 2002.

2001

29 septembre 2001 — Voie d'eau importante à bord du dragueur de pétoncles *Alex B. I* au large de Havre-Saint-Pierre (Québec)

Vers 10h, le 29 septembre 2001, alors que le bateau de pêche *Alex B. I* draguait le pétoncle par beau temps au large de Havre-Saint-Pierre, on s'est rendu compte qu'il y avait de l'eau dans le compartiment moteur. L'envahissement avait inondé tous les compartiments de la cambuse jusqu'aux emménagements. On a mis en marche quatre pompes d'assèchement mais le débit de l'eau était supérieur à la capacité de refoulement des pompes.

La drague à pétoncles a été hissée à bord et le bateau a mis le cap sur Havre-Saint-Pierre, le port le plus proche. À environ un demi-mille marin du quai, le moteur de propulsion a calé. Un autre bateau de pêche, le *Andy C*, a répondu à un appel à l'aide. Le *Alex B. I* fut alors remorqué à bon port. On a utilisé des pompes portatives pour assécher le bateau. Pendant que le bateau était échoué le long du quai à marée basse, on a observé une perforation de la coque sous la ligne de flottaison du côté bâbord à la hauteur de la cambuse.

29 juillet 2001 — Échouement du porte-conteneurs *Cast Privilege* au large de l'Île Saint-Ours sur le fleuve Saint-Laurent (Québec)

Le *Cast Privilege*, sous la direction d'un pilote, naviguait par beau temps sur le fleuve Saint-Laurent en direction du terminal Cast à Montréal (Québec). À 23 h 41, pendant un changement de route sur tribord à proximité de l'Île Saint-Ours, le navire a subi une panne de courant. Par conséquent, le navire a fait une embardée sur tribord et s'est échoué à l'extérieur du chenal. L'alimentation électrique a été rétablie en dix minutes et le navire s'est déséchoué peu après sans l'aide d'un remorqueur. Personne n'a été blessé; aucune pollution n'a été signalée à la suite de cet événement.

2000

18 octobre 2000 — Échouement vraquier « FOSSNES » au large du cap Martin dans le fleuve Saint-Laurent

Le 18 octobre 2000, le vraquier norvégien *Fossnes* remonte le fleuve Saint-Laurent en direction de Sarnia (Ontario) par temps clair et sous la conduite d'un pilote.

Vers la fin de la matinée, le timonier annonce à l'officier de quart que la barre ne répond plus. Le gouvernail s'est immobilisé à droite. On ordonne l'allure en arrière toute et on jette

les deux ancres. Le navire continue à se déplacer sur son erre avant et s'échoue peu de temps après au large du cap Martin.

En soirée, le navire est renfloué avec l'assistance d'un remorqueur. Le *Fossnes* continue son voyage et accoste dans le port de Québec. Une inspection de la coque a révélé qu'un des ballasts était perforé. L'accident n'a pas fait de pollution.

11 avril 2000 — Panne de la machine principale du transporteur de marchandises diverses « MILLENIUM YAMA » sur le Fleuve Saint-Laurent

Le 11 avril 2000, le *Millenium Yama* remontait le fleuve Saint-Laurent. À la hauteur de Godbout (Qc), le navire a subi une panne majeure de la machine principale. L'arrêt soudain de la machine a occasionné un début d'incendie. On a rapidement éteint le feu, mais il a été impossible de remettre la machine en marche. Au cours de la soirée, le navire a été remorqué jusqu'à Baie-Comeau (Qc) par le remorqueur *Pointe Comeau*. Deux jours plus tard, le navire a été remorqué jusqu'au port de Québec pour être réparé.

1999

9 novembre 1999 — Échouement et perte totale du vraquier « ALCOR » dans la Traverse du Nord, sur le fleuve Saint-Laurent ET la quasi-collision subséquente entre le navire-citerne « ETERNITY » et le porte-conteneurs « CANMAR PRIDE »

Le 9 novembre 1999, le vraquier chargé *Alcor* remontait le fleuve Saint-Laurent en direction de Trois-Rivières (Québec) sous la conduite d'un pilote. À 14 h 44, au cours d'un changement de route sur tribord, le navire s'est échoué près de la pointe est de l'Île d'Orléans. Une opération de renflouement tentée le lendemain soir a permis de dégager le navire pendant quelque temps, mais le navire s'est échoué de nouveau non loin de l'endroit où il s'était échoué la première fois. Le *Alcor* a subi d'importantes avaries à la coque, à peu près au milieu du navire, à cause des contraintes de flexion qui se sont exercées sur la coque pendant les cycles de basse mer successifs.

La coque endommagée a été réparée de façon temporaire, et environ la moitié de la cargaison a été transbordée sur de plus petits bâtiments. Le 5 décembre 1999, le *Alcor* a été renfloué et amené au port de Québec (Québec). Le navire a été déclaré une perte totale.

Pendant que le *Alcor* était en train d'être renfloué et plus tard, lorsque des remorqueurs l'aidaient à remonter le fleuve, la partie de la Traverse du Nord du fleuve avait été fermée. En raison de cette fermeture spéciale, plusieurs navires descendant se sont retrouvés au mouillage en amont de ce secteur. Après la réouverture du chenal, plusieurs navires ont voulu quitter leur mouillage en même temps. Pendant cette période, deux navires ont failli entrer en collision : le navire-citerne *Eternity* qui faisait route, et le porte-conteneurs *Canmar Pride* qui était au mouillage.

25 septembre 1999 — Chute par-dessus bord d'un pilote au moment où il débarquait du porte-conteneurs « CANMAR VALOUR » en approche de la station de pilotage de Les Escoumins (Québec)

Le 25 septembre 1999, le *Canmar Valour* approche de la station de pilotage de Les Escoumins (Québec) pour débarquer le pilote avant de reprendre la mer. Au moment de s'engager dans l'échelle de pilote arrimée sur le *Canmar Valour*, le pilote perd pied et tombe à l'eau.

Le pilote reste quelque huit minutes dans l'eau avant d'être récupéré par l'équipage du bateau-pilote *Charlevoix*.

24 septembre 1999 — Échouement du paquebot « NORWEGIAN SKY » au large de l'Île Rouge, dans le fleuve Saint-Laurent (Québec)

Le paquebot *Norwegian Sky* faisait un voyage entre Québec (Québec) et Halifax (Nouvelle-Écosse). Le voyage comprenait une croisière sur la rivière Saguenay. En revenant à l'embouchure de la rivière Saguenay, on a observé des baleines dans le fleuve Saint-Laurent vers 11 h 30 heure locale. Pour prolonger la période d'observation des baleines dans le fleuve Saint-Laurent, on a fait une manœuvre d'évitage au navire, mais celui-ci s'est échoué sur les bancs de l'Île Rouge avant la fin de la manœuvre. Le navire a subi des avaries importantes, mais on a jugé que la pollution était mineure. L'accident n'a pas fait de blessés.

16 juillet 1999 — Échouement du transporteur de produits « SUNNY BLOSSOM » à l'entrée du chenal de Cornwall, Voie maritime du Saint-Laurent

Le « SUNNY BLOSSOM » montait à Cornwall par temps clair et de jour, sous la conduite d'un apprenti-pilote et en présence d'un pilote dans la timonerie, quand il s'est échoué au sud du chenal de Cornwall, en amont de la bouée DCB. Deux jours plus tard, avec l'assistance de deux remorqueurs, le navire a été renfloué et conduit au quai de Cornwall. Le navire n'a pas subi d'avaries et il n'y a pas eu de pollution.

1998

24 décembre 1998 — Échouement du navire-citerne pour produits pétroliers et chimiques « JADE STAR » à l'entrée du port de Gaspé (Québec)

C'est durant la nuit et par temps dégagé que le navire-citerne « JADE STAR » s'est échoué sur les petits fonds situés au sud-est de la presqu'île de Penouille, sur la rive nord du port de Gaspé. Le « JADE STAR » a été allégé par son navire jumeau le « DIAMOND STAR » et remis à flot avec l'aide du remorqueur « ATLANTIC SPRUCE » deux jours plus tard. Aucune avarie apparente ni pollution n'ont été signalées.

27 novembre 1998 — Envahissement et naufrage du dragueur à pétoncles « BRIER MIST » au large de Rimouski (Québec)

Le 27 novembre 1998, lors de la traversée entre Les Escoumins et Rimouski (Québec) par gros temps, le capitaine du dragueur à pétoncles « BRIER MIST » a avisé les Services de communications et de trafic maritimes qu'il croyait que la cale et le coqueron arrière prenaient l'eau et que les pompes ne suffisaient pas à évacuer l'eau. Vers 15 h, le bateau a sombré à environ 10 milles marins de Rimouski. Malgré les opérations de recherche et sauvetage, on n'a trouvé aucune trace de l'épave ni de trois des cinq membres de l'équipage. Les deux victimes repêchées s'étaient noyées.

2 août 1998 — Échouement vraquier « FEDERAL FRASER » Lévis (Québec)

Le 2 août 1998, le vraquier panaméen *Federal Fraser* faisait escale au port de Québec pour décharger des plaques d'acier au chantier maritime. Alors qu'il amorçait son approche finale vers le quai Murphy sous la conduite d'un pilote de port, le navire, qui était assisté d'un

remorqueur, s'est échoué sur un haut-fond de sable au sud-est de sa route pendant la pleine mer.

16 janvier 1998 — Rupture et naufrage Vraquier « FLARE » Déroit de Cabot

Le 16 janvier 1998, pendant la traversée de Rotterdam aux Pays-Bas à Montréal (Québec), par gros temps, le « FLARE » se trouvait à environ 45 milles au sud-ouest des Îles de Saint-Pierre-et-Miquelon quand il s'est brisé en deux, après quoi la section arrière a coulé en 30 minutes. La section avant a coulé quatre jours plus tard au large des côtes de la Nouvelle-Écosse, du côté ouest du banc Banquereau. Vingt et un membres de l'équipage ont péri et quatre ont survécu. Le mazout qui s'est échappé de la section arrière engloutie n'a pu être récupéré et s'est dispersé sur une grande superficie, causant de la pollution.

1997

9 juin 1997 - Envahissement et chavirement Bateau de recherche sur les pêches « MARSOUIN » Rivière-du-Loup (Québec)

Le matin du 9 juin 1997, pendant qu'il faisait marche arrière pour aller accoster au ponton d'une marina, le « MARSOUIN », à bord duquel se trouvaient trois personnes, a embarqué des paquets de mer à l'arrière, a donné de la bande sur tribord et a chaviré. Le navire a continué de flotter après le chavirement, et ses trois occupants ont refait surface, se sont agrippés à la coque renversée et ont rapidement été repêchés indemnes.

16 mars 1997 - Naufrage du bateau de pêche « GILBERT D. » au large des Îles de la Madeleine (Québec)

Le 16 mars 1997, le début de la saison de chasse aux phoques a été marqué par le naufrage du « GILBERT D. » lorsque ce dernier a été coincé par les glaces au cours de la nuit. Les huit membres de l'équipage ont été transbordés sur un autre bateau pour être ensuite ramenés à terre, sains et saufs, par hélicoptère.

1996

Les 23-24-25 et 26 décembre 1996 – Panne du vraquier « PINE ISLANDS » dans le golfe du Saint-Laurent

Le 23 décembre 1996, par suite d'une série d'ennuis mécaniques, le vraquier bélizien «PINE ISLANDS», à l'état lège, était à la dérive à l'est de l'Île d'Anticosti (Québec). Compte tenu des forts vents qui soufflaient dans le secteur, on a fait appel à un remorqueur au cas où le navire serait drossé vers la côte et que l'équipage forcé d'abandonner le navire. Le remorqueur est arrivé sur les lieux le 26 décembre, et pendant une accalmie, il réussit à s'approcher du vraquier et à le prendre en remorque vers Sydney (Nouvelle-Écosse). Le 28 décembre, le navire arrive à bon port sans que l'équipage n'ait eu à l'abandonner.

14 décembre 1996 - Échouement « FEDERAL CALUMET » au départ du quai d'Uniformet Port-Cartier (Québec)

Le 14 décembre 1996, le «FEDERAL CALUMET» se déplaçait pour se rendre du quai d'Uniforêt à un mouillage où il devait attendre que le temps s'améliore pour terminer son chargement. Avec un pilote à bord et l'assistance de deux remorqueurs, le navire a appareillé vers 12 h 25. Les remorqueurs devaient placer rapidement le navire sur un cap à l'est pour lui permettre de faire face à la lame et à la houle. Une grosse mer confuse et des coups de vent du nord-est ont empêché le remorqueur arrière d'effectuer la manœuvre prévue, et le navire a été drossé vers le sud. Vers 12 h 31, on a remarqué que le navire ne semblait plus se déplacer, ni obéir à la machine ni aux remorqueurs. On a constaté que le navire s'était échoué au droit du double-fond n° 3 de tribord. Les remorqueurs l'ont maintenu dans la même position jusqu'à ce que la marée montante le remette à flot vers 14 h. Le navire s'est ensuite rendu, par ses propres moyens, à Sept-Îles (Québec) pour évaluation et réparation des avaries.

6 décembre 1996 - Échouement du vraquier chargé «YPAPADI » Gaspé (Québec)

Le «YPAPADI» est arrivé à l'entrée du port de Gaspé (Québec) dans l'après-midi du 6 décembre 1996. Bien que le pilotage soit facultatif dans ce port, les propriétaires avaient demandé aux agents de Montréal (Québec) de fournir un pilote au navire pour entrer dans le port. Le sous-agent à Gaspé n'a pas réussi à retenir les services d'une personne possédant de l'expérience dans le domaine du pilotage, et un des représentants du sous-agent est monté à bord du «YPAPADI» pour guider le capitaine vers le poste d'accostage. À cause d'un manque de communication entre cette personne et le capitaine, chacun croyait que c'était l'autre qui avait la conduite du navire. En approchant du poste d'accostage, à une position où il faut procéder à un changement de route important, ni l'un ni l'autre n'a donné l'ordre approprié au timonier, et le bâtiment s'est échoué du côté nord du port. Le «YPAPADI» a été renfloué une semaine plus tard. Le navire n'a pas subi d'avaries et il n'y a pas eu de pollution.

7 novembre 1996 - Perte partielle d'une pontée de bois Chaland « OCEAN HAULER » Carleton (Québec)

Le 7 novembre 1996, le «OCEAN HAULER» était amarré côté tribord contre le quai à Carleton (Québec) pour le déchargement d'une cargaison de bois de pâte qui se faisait principalement par le côté tribord du chaland. Le chaland a pris de la gîte sur bâbord, et environ 400 cordes de bois à pâte ont glissé du côté bâbord de la pontée pour tomber à l'eau. Le chaland s'est redressé, puis s'est incliné rapidement sur tribord alors que 400 cordes supplémentaires ont glissé du pont et se sont déversées sur le quai. Personne n'a été blessé et il n'y a pas eu de pollution.

22 août 1996 - Abordage entre le remorqueur « BROCHU » et le pétrolier « JADE STAR » à Port-Cartier (Québec)

Après avoir débarqué un pilote à bord du «JADE STAR» qui s'apprêtait à entrer à Port-Cartier, le remorqueur «BROCHU» s'est dirigé à l'avant du pétrolier pour prendre la vérine de la remorque. Durant cette manœuvre, l'étrave du pétrolier a heurté l'arrière tribord du «BROCHU» causant des avaries au bordé. Au moment de l'accident, un apprenti-capitaine était aux commandes du remorqueur.

24 juillet 1996 - Heurt par le traversier-rails « GEORGES ALEXANDRE LEBEL » à l'entrée du port de Matane (Québec)

Le 24 juillet 1996, le traversier-rails «GEORGES ALEXANDRE LEBEL», chargé de 2 505 tonnes métriques de marchandises diverses en provenance de Baie-Comeau (Québec), faisait route en direction du port de Matane (Québec). Au cours des manoeuvres d'approche par visibilité réduite dans les atterrages du port de Matane, le «GEORGES ALEXANDRE LEBEL» a heurté le musoir de la jetée ouest. Une fois à l'intérieur du port, le navire a accosté sans incident.

L'arbre porte-hélice, l'hélice, la mèche et le gouvernail sur le côté tribord ont été gauchis. L'accident n'a fait ni blessé ni pollution.

9 juillet 1996 - Accident mortel mettant en cause une dépanneuse à bord du traversier « CAMILLE MARCOUX » Terminal de Baie-Comeau (Québec)

Le 9 juillet 1996, le traversier canadien «CAMILLE MARCOUX» était accosté à l'embarcadère-débarcadère de Baie-Comeau (Québec). Pendant les dernières étapes du chargement des véhicules sur le pont-garage, une dépanneuse remorquant une bétonnière s'est engagée sur le tablier qui mène au pont-garage. Après avoir garé la bétonnière, la dépanneuse a fait marche arrière en direction de l'embarcadère-débarcadère et a heurté un piéton qui circulait lui aussi sur le tablier de l'embarcadère-débarcadère, dos à la dépanneuse.

20 juin 1996 - Chavirement de cinq kayaks de mer affrétés dans le havre du Bic (Québec)

Le 20 juin 1996, un groupe composé de six kayakistes novices qui prenaient place dans cinq kayaks et d'un guide dans un sixième kayak a quitté le quai de la marina du Bic pour se diriger vers la plage de l'anse aux Bouleaux à l'extrémité ouest du havre du Bic. La distance à parcourir était d'environ 1,5 mille. En cours de route, un vent du nord-est s'est levé et a fait chavirer tous les kayaks, sauf celui du guide, qui a réussi à se rendre à la terre ferme pour demander de l'aide par téléphone. Il en a profité pour emmener un des kayakistes avec lui. Entre-temps, les autres kayakistes ont réussi à se rendre vers la côte d'eux-mêmes avant qu'on leur ait porté secours. Personne n'a été grièvement blessé par suite de cet événement.

29 mai 1996 - Renversement d'un camion à bord du traversier « L'HÉRITAGE I » au cours de la traversée Trois-Pistoles / Les Escoumins (Québec)

Dans la matinée du 29 mai 1996, le traversier «L'HÉRITAGE I» effectuait un voyage régulier. Alors qu'il se trouvait à environ quatre milles au nord-ouest de l'Île aux Basques (Québec), le navire a rencontré une vague plus grosse que les autres. Un camion stationné sur le pont des véhicules à l'avant du navire a brisé ses attaches puis s'est renversé. L'accident n'a fait aucun blessé, mais une petite quantité de gazole provenant du réservoir du camion s'est déversée. De la fumée s'est dégagée du système de réfrigération du camion, ce qui a fait craindre un incendie. Les dommages ont été mineurs.

27 avril 1996 - Chavirement du bateau de pêche « STÉPHANE P II » au large de Gascons, Baie des Chaleurs (Québec)

Le 27 avril 1996, le «STÉPHANE P II», chargé de casiers à homard en pontée, a appareillé du havre de Gascons (Québec) avec trois personnes à bord en direction des lieux de pêche. Peu après son départ, le bateau s'est vu confronté à une mer houleuse. Le bateau a été heurté par une vague plus grosse que les autres et a chaviré soudainement. Les deux membres de l'équipage ont perdu la vie, mais le troisième occupant, qui prenait part au voyage comme invité, s'en est sorti indemne.

17 février 1996 - Échouement du traversier « JOSEPH SAVARD » au large de Saint-Joseph-de-la-Rive (Québec)

Le 17 février 1996, à 15 h 2, le «JOSEPH SAVARD» quitte le quai de l'Île aux Coudres (Québec) à destination de Saint-Joseph-de-la-Rive (Québec). La première partie de la traversée s'effectue sans incident. À quelques centaines de mètres de sa destination, le navire entre dans un banc de glace en mouvement. Quelques minutes plus tard, le traversier s'immobilise dans un floe de glace à la dérive et le courant de flot dresse celui-ci vers la côte en quelques minutes, et le navire s'échoue avant d'avoir pu se dégager du floe de glace. L'événement n'a fait ni blessé ni pollution.

20 janvier 1996 - Échouement du vraquier « MANYAS 1 » au large de Pointe-des-Monts (Québec)

Le 19 janvier 1996, le «MANYAS 1» faisait route à destination de Baie-Comeau (Québec) lorsque, vers 21 h, le navire a été coincé par les glaces à quelque 3,7 milles marins au sud-ouest de Pointe-des-Monts. Le navire a demandé l'assistance d'un brise-glace auprès de la Garde côtière canadienne. Au cours de la nuit, de forts vents du sud-ouest ont dressé le navire vers la côte. À 4 h 38, le navire s'est échoué à proximité du phare de Pointe-des-Monts avant que le brise-glace n'ait pu lui venir en aide. Le navire a subi des avaries; toutefois, l'accident n'a fait ni blessé ni pollution.

1995

18 octobre 1995 - Découverte d'une voie d'eau à bord du vraquier «DORADO» dans la baie de Sept-Îles, fleuve Saint-Laurent (Québec) <

Le 7 septembre 1995, le vraquier cyproïte «DORADO» a appareillé de Sepetiba, Brésil, chargé de minerai de fer, à destination de Contrecoeur (Québec). Dans les jours qui ont suivi, l'équipage a découvert une voie d'eau dans un ballast. À deux reprises, on a effectué des réparations sommaires pour colmater la voie d'eau, mais l'équipage n'a pas réussi à aveugler cette dernière.

Après avoir déchargé sa cargaison à Contrecoeur le 30 septembre 1995, le navire s'est rendu à Port-Cartier (Québec) où il a pris un chargement de 28 500 tonnes métriques de grains. Le 18 octobre, les autorités canadiennes ont procédé à une inspection de la coque du «DORADO» qui a confirmé la présence d'une voie d'eau.

1^{er} mai 1995 - Chavirement du navire de service «VÉZINA NO. 1» au Port de Québec (Québec)

Le 1^{er} mai 1995, le navire de service «VÉZINA NO. 1» prenait part aux opérations de remorquage du «CAVALIER MAXIM» et assistait le «SERVICE BOAT II». L'équipage du «VÉZINA NO. 1», qui était en position sur la hanche bâbord du «CAVALIER MAXIM», a frappé l'œil de la remorque sur l'unique bitte de remorque placée au centre du pont arrière. Au cours des opérations de remorquage en direction du bassin Louise, l'opérateur du «VÉZINA NO. 1» a tenté de virer son bateau de 180 degrés sur la gauche en vue de se laisser traîner par l'arrière. Alors qu'il exécutait cette manœuvre, le «VÉZINA NO. 1» a été engagé par sa remorque sur le côté tribord et n'a pas réussi à se redresser. À cause de cela et de

l'inertie du train de remorque, le «VÉZINA NO. 1» a été envahi par les hauts et a chaviré. L'opérateur n'a pas réussi à sortir de la timonerie et il a perdu la vie.

21 janvier 1995 - Échouement du pétrolier «FIFI» sur les battures de Manicouagan (Québec)

Le 21 janvier 1995, le «FIFI» était à la dérive dans la baie Comeau (Québec) en attente de pilotes pour remonter le Saint-Laurent. On se référait au radar et à une carte à petite échelle pour contrôler la position du navire. Le courant a drossé le navire sur les battures de Manicouagan (Québec).

1994

25 novembre 1994 - Échouement du navire-citerne canadien «DIAMOND STAR» Port de Québec (Québec)

Pendant les manœuvres d'évitage du navire-citerne «DIAMOND STAR» en prévision d'une approche l'arrière en premier et d'un amarrage côté bâbord contre le quai au poste d'amarrage intérieur du quai de la raffinerie Ultramar à Lévis (Québec), le navire s'est échoué sur la rive sud, à environ 125 m de l'extrémité du quai. Le navire était sous la conduite d'un pilote de port et assisté d'un remorqueur. Le navire-citerne à double coque a subi des avaries mineures, mais l'accident n'a fait aucune pollution.

4 novembre 1994 - Perte de toute la puissance du bord - Cargo «PAL WIND» sur le golfe du Saint-Laurent

Après avoir traversé le détroit de Cabot, le «PAL WIND» entrait dans le golfe du Saint-Laurent lorsqu'il s'est trouvé désemparé par suite d'une panne de moteur et de courant. Après plusieurs tentatives en vue de passer une remorque dans des conditions météorologiques difficiles, le navire a été remorqué jusqu'à Sept-Îles (Québec), où il est arrivé le 11 novembre 1994. Le «PAL WIND» a subi des avaries mineures pendant le remorquage. Il n'y a eu aucune pollution.

23 septembre 1994 - Échouement du vraquier «ALGOLAKE» dans la Traverse du Nord fleuve Saint-Laurent (Québec)

Le 23 septembre 1994, vers 2 h 20 HAE, le vraquier auto-déchargeur «ALGOLAKE» faisait route sur le fleuve Saint-Laurent à destination de Détroit (États-Unis) avec un chargement de minerai de fer. Le navire filait une vitesse fond d'environ 8,5 nœuds. Quelques secondes après être passé à une distance d'environ 23 mètres de la bouée K108, le navire a vibré pendant quelques minutes et puis s'est échoué à environ un demi-mille en amont de la bouée K108. Le «ALGOLAKE» a subi des avaries à la coque, mais on n'a signalé aucun blessé ni aucune pollution par suite de cet accident.

29 juin 1994 - Naufrage du remorqueur «J MANIC» sur le fleuve Saint-Laurent au large du cap du Cormoran (Québec)

À 17 h HAE le 29 juin 1994, le remorqueur «J MANIC», avec le chaland «BASSE CÔTE» à sa remorque, a appareillé de Sept-Îles (Québec), à destination du lac Monger sur la Basse Côte Nord du Saint-Laurent.

À 22 h 35, le capitaine a remarqué que l'avant semblait être anormalement haut sur l'eau. Une inspection du pont arrière a révélé que la partie arrière du pont principal était submergée au droit du compartiment de l'appareil à gouverner. On a ouvert l'écouillon du magasin et on a constaté que le compartiment était envahi jusqu'au niveau de l'hiloire. L'installation de pompage n'a pas suffi à la tâche, de sorte qu'à 22 h 57, on a lancé un message d'urgence par radiotéléphone. L'équipage a été rassemblé sur le pont des embarcations et tous les membres de l'équipage sont montés à bord de l'embarcation de sauvetage. Le navire s'était enfoncé jusqu'au niveau du pont des embarcations lorsque l'équipage de huit personnes s'est éloigné à la rame à bord de l'embarcation. Les vents étaient légers et il y avait une mer d'un mètre. Vers 23 h 24, le remorqueur, toujours relié au chaland «BASSE CÔTE», qui lui n'était pas endommagé, a coulé par 200 mètres de profondeur.

À 1 h 23 le 30 juin, le «WESTERN BRIDGE» a signalé qu'il avait recueilli les naufragés. À 3 h 27, ces derniers ont été transférés à bord du «LOUISBOURG», navire du ministère des Pêches et Océans, qui est arrivé à Sept-Îles à 7 h. L'accident n'a fait aucune victime. À 7 h 15, le remorqueur «POINTE SEPT ÎLES» s'est amarré bord à bord avec le chaland «BASSE CÔTE», à la position 5004,5'N par 06532,8'W. L'équipage a attaché le câble de remorque d'urgence du chaland au remorqueur et, à 9 h 40, le «POINTE SEPT ÎLES» est reparti en direction de Sept-Îles. À 15 h 30, le «BASSE CÔTE» a été amarré à la section no 1 du quai de la Iron Ore Company à Sept-Îles.

ANNEXE

5

DONNÉES SUR LE VENT

Mois	Indicateurs clés du vent par mois	Station météorologique Lauzon (Lévis) 1991-2002
Janvier	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	SO (23 %) 20 km/h 1,45 % 0
Février	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	SO (24 %) 22 km/h 1,56 % 0
Mars	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	NE (24 %) 24 km/h 2,50 % 0,01 %
Avril	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	NE (32 %) 20 km/h 1,30 % 0
Mai	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	NE (22 %) 22 km/h 1,87 % 0
Juin	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	SO (19 %) 22 km/h 0,76 % 0
Juillet	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	SO (21%) 22 km/h 0,20 % 0
Août	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	O (22%) 20 km/h 0,32 % 0
Septembre	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	O (22%) 20 km/h 0,43 % 0
Octobre	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	SO (23%) 20 km/h 0,93 % 0
Novembre	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	O (22%) 22 km/h 1,15 % 0,04 %
Décembre	Direction dominante (fréq.) : Vitesse moyenne corrigée : Fréq. vent > 25 nœuds (46 km/h) : Fréq. vent > 40 nœuds (74 km/h) :	O (21%) 21 km/h 1,43 % 0,01 %
	Résumé de l'année :	>25 nœuds (46 km/h) : 0,95 % / 3 jours >40 nœuds (74 km/h) : 0,01 %

Source : Environnement Canada – Tableaux climatologiques du Saint-Laurent, 1994. Université Laval, données d'Environnement Canada

ROSES DES VENTS

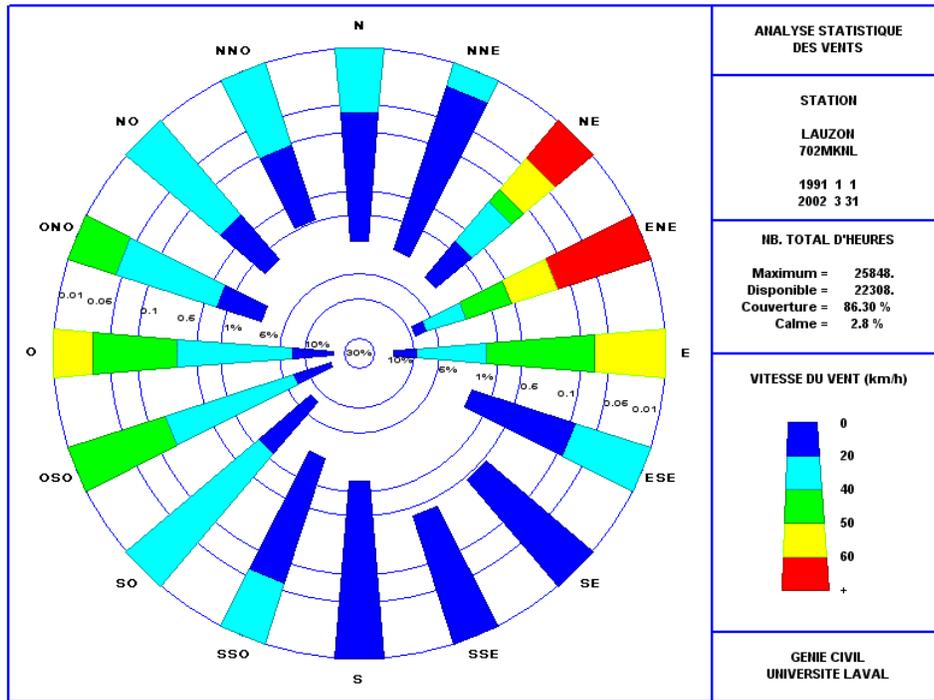


FIGURE 6 - STATION LAUZON - HIVER

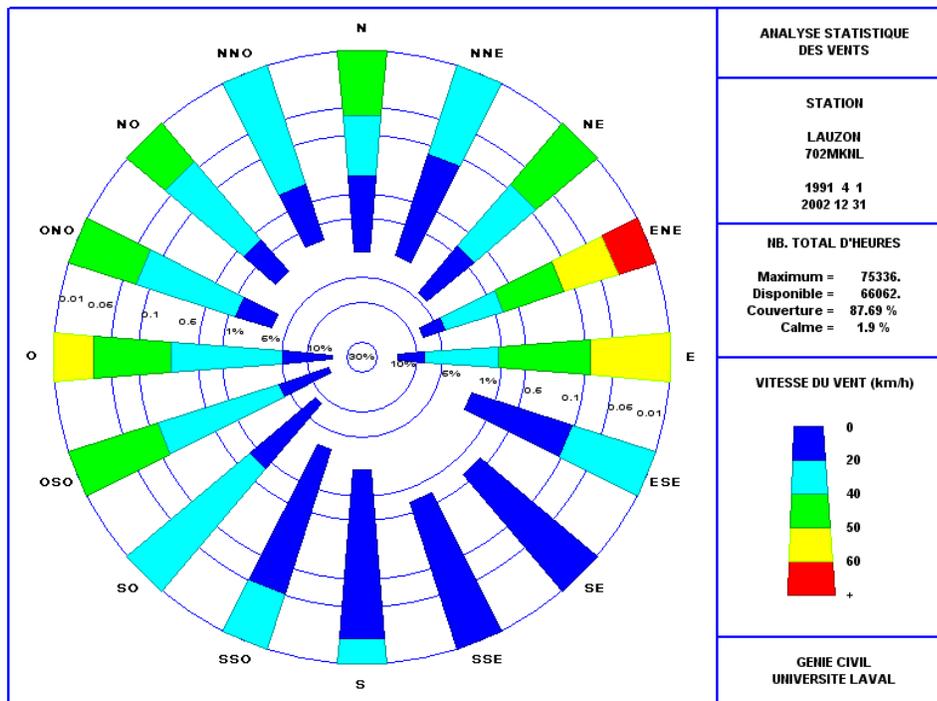


FIGURE 7 - STATION LAUZON - ÉTÉ

ANNEXE

6

FICHES HAZID

Danger 1 : Échouement

Description	Échouement d'un méthanier. L'estuaire du Saint-Laurent est une zone bien plus restreinte pour le transit que le golfe et il aura généralement un plus fort potentiel d'incidents d'échouement. Toutefois, le pilote qui connaît bien les diverses routes de navigation et le mode de circulation sera à bord des Escoumins à la jetée. Cela réduira la probabilité d'échouement.	
Tronçon	<p>Tronçon 1 : L'échouement n'est pas envisagé pour le tronçon 1.</p> <p>Tronçon 2 : Les forts courants à l'île Rouge (embouchure du Saguenay) et à l'île aux Coudres peuvent immobiliser totalement le navire ou le désemperer, et celui-ci peut finalement s'échouer.</p> <p>Tronçon 3 : Échouement potentiel dans la traverse du Nord, où la profondeur n'est que de 12,5 m aux plus basses mers et où le courant fort provient de l'île d'Orléans.</p> <p>Tronçon 4 : L'échouement au cours des manœuvres est possible, mais en raison de la faible vitesse un impact important sera très peu vraisemblable.</p>	
Cause	<p>Manœuvre d'urgence ; tentative d'éviter la collision avec d'autres navires (trafic dense et autres navires pas toujours pilotés).</p> <p>Intempéries, brouillard, marées, courants forts, mer, glace</p> <p>Perturbation ou confusion au cours d'un changement de commandement (à la station d'embarquement des pilotes)</p> <p>Obstacles cachés, y compris épaves de navire et conteneurs perdus</p> <p>Perte de propulsion, perte de la capacité de navigation</p> <p>Facteurs humains</p>	
Conséquence	<p>Rupture de la coque extérieure, entrée d'eau dans les ballasts.</p> <p>Le pire des scénarios serait la pénétration de la double coque, qui se traduirait par la rupture du confinement à paroi double, entraînant un rejet accidentel de GNL en mer. Un nuage de vapeur pourrait éventuellement toucher la population à terre. Toutefois, la rupture de l'intégrité d'une cuve due à l'échouement est peu vraisemblable (voir l'historique des méthaniers, les événements concernant les méthaniers <i>LNG Taurus</i> et <i>El Paso Paul Kayser</i> et la conclusion du rapport Sandia)]</p>	
Mesures de protection	Manœuvre d'urgence	<p>Le méthanier est équipé de systèmes de navigation avancés comme le DGPS, le radar et les systèmes de communication.</p> <p>La zone de prudence est surveillée de près par la station de pilotage, qui utilise les Services du trafic maritime (STM) pour contrôler le trafic des navires dans le secteur.</p> <p>Le méthanier a une double coque.</p> <p>La tranche cargaison du méthanier est divisée en quatre ou cinq compartiments.</p> <p>Un système de décharge de pression (mise à l'air libre) est monté sur chacune des cuves de GNL du navire.</p>

	Intempéries, brouillard, marées, courants forts, mer	Des limites opérationnelles seront définies et devront être respectées, comme par exemple des restrictions selon la vitesse du vent. Pilote de glace en hiver à bord du méthanier.
	Perturbation, confusion	Échange d'information préalable à l'arrivée entre le commandant et la station de pilotage par radio.
	Obstacles cachés	La zone de prudence est une zone très bien connue. Il existe une bonne documentation de la zone et les incidents passés sont bien connus.
	Perte de puissance, perte de capacité de navigation	Source d'alimentation en électricité redondante. Méthanier contrôlé par des remorqueurs. Machine bicom bustible et système permettant d'utiliser les deux carburants simultanément.
Évaluation qualitative des risques	Probabilité : Moyenne Conséquences : Moyennes	

Danger 2 : Collision avec un autre navire

Description	Le méthanier partage le canal de navigation avec d'autres navires. Les navires sont généralement les suivants : portes-conteneurs, vraquiers, navires-citernes, traversiers, bateaux de pêche et bateaux de plaisance.
Tronçon	<p>Tronçon 1 : La zone de prudence a généralement un trafic dense. Les navires sont de diverses dimensions. Ils se déplacent dans des directions différentes à des vitesses variées. Une attention particulière est portée au dispositif de séparation du trafic (DST) au détroit d'Honguedo et à la pointe des Monts.</p> <p>Tronçon 2 : Tous les navires transitent selon la même direction, ce qui réduit donc la probabilité d'une collision latérale avec les navires à faible déplacement en particulier, comme les traversiers. Un pilote est à bord du navire jusqu'à l'appontement méthanier. Les forts courants, les passages étroits et la vitesse restreinte réduiront toutefois la manœuvrabilité et il y a une possibilité de collisions, spécialement aux environs de Trois-Pistoles, de l'île Rouge, de l'embouchure du Saguenay et de Saint Siméon.</p> <p>Tronçon 3 : Possibilité de collision dans la traverse du Nord en cas de croisement avec le trafic en raison de forts courants.</p> <p>Tronçon 4 : Une collision est possible lors des manœuvres, vraisemblablement sur le côté du navire.</p>
Cause	<p>Manque de communication.</p> <p>Erreur humaine.</p> <p>Perte de puissance, perte de capacité de navigation.</p> <p>Intempéries, brouillard, mauvaise visibilité.</p>

Conséquence	<p>La collision du méthanier avec un autre navire pourrait créer des dommages graves à la proue du méthanier, mais on estime qu'il est improbable que cela crée une perte de confinement du GNL.</p> <p>En cas d'impact latéral d'un navire à fort déplacement, comme un pétrolier ou un vraquier, la rupture des cuves est probable.</p> <p>Il risque également d'y avoir un incendie si le méthanier entre en collision avec un autre navire contenant des hydrocarbures ou une barge de pétrole brut.</p>	
Mesures de protection	Trafic intense de navires	<p>Le méthanier est équipé de systèmes de navigation avancés comme le DGPS, le radar et les systèmes de communication.</p> <p>La zone de prudence est surveillée de près par la station de pilotage, qui utilise les STM pour contrôler le trafic des navires dans le secteur.</p> <p>La Garde côtière canadienne (GCC) effectue l'inspection (ou même l'escorte) du méthanier dans cette zone. Mise en œuvre de la zone de déplacement sécuritaire autour du navire, dimensionnée conformément à la vitesse relative entre les navires qui se rencontrent.</p> <p>La cloison d'abordage (dans la zone de la proue) est obligatoire sur tous les méthaniers.</p> <p>Un système d'extincteurs à jets multiples est installé sur le méthanier pour empêcher l'incendie de se répandre. De la mousse ou de l'eau d'incendie seraient normalement disponibles sur un autre navire (transportant des hydrocarbures).</p> <p>Des remorqueurs seront utilisés pour les manœuvres du méthanier (tronçon 4), et le méthanier remorqué attendra qu'un autre navire passe avant de manœuvrer. L'aide du remorqueur réduit toute possibilité que le méthanier provoque ou subisse un impact. Le méthanier ne devrait pas rencontrer d'autre trafic dans la traverse du Nord (tronçon 3 : trafic à sens unique) et la zone de déplacement en toute sécurité devrait être établie entre le méthanier et le navire derrière lui et devant lui.</p>
	Erreur humaine	Échange d'information avant l'arrivée entre le commandant et la station de pilotage, par radio.
	Perte de puissance	<p>Source d'alimentation redondante et deux moteurs de propulsion.</p> <p>Machine bicom bustible et système permettant d'utiliser les deux carburants simultanément.</p>
	Intempéries, brouillard, mauvaise visibilité	<p>Les critères météorologiques définis devront être suivis, comme les restrictions liées à la vitesse du vent.</p> <p>Pilote à bord du méthanier.</p>
Scénarios types d'évaluation des risques	Cargos entrant en collision avec un méthanier en raison d'erreurs humaines ou de problèmes de visibilité. Toutefois, les vitesses sont insuffisantes pour créer suffisamment d'énergie et entraîner une perte de confinement du GNL.	

Évaluation qualitative du risque	<p>Probabilité : faible, moyenne</p> <p>Conséquences : faibles pour tronçon 1 ; moyennes pour tronçons 2 à 4</p>
---	--

Danger 3 : Heurt d'une structure fixe par le méthanier ou collision à quai

Description	<p>Méthanier entrant en collision avec des objets comme des navires ancrés, des supports de ponts, des jetées, ou encore de la glace ou un iceberg. Le pilote, qui connaît très bien les divers obstacles, sera à bord tout le long de la route maritime. Cela réduira la probabilité de collision.</p>	
Tronçon	<p>Tronçons 1 à 3 : Aucun obstacle fixe dans la zone.</p> <p>Tronçon 4 : Le méthanier peut entrer en collision avec les îlots d'Hydro-Québec près de la jetée. Le méthanier peut également heurter la jetée elle-même.</p> <p>D'autres navires peuvent entrer en collision avec la jetée ou le méthanier à quai.</p>	
Cause	<p>Passages étroits, zones de prudence</p> <p>Erreur humaine.</p> <p>Perte de puissance, perte de capacité de navigation.</p> <p>Intempéries, brouillard, vision nocturne.</p>	
Conséquence	<p>La collision avec l'un des îlots d'Hydro-Québec risque d'endommager la proue du méthanier; toutefois, des dommages aux cuves de GNL sont improbables.</p> <p>La collision avec les bouées et autres objets flottants ne risque pas d'endommager gravement la coque. La collision de l'appontement du terminal par un méthanier ou un navire tiers n'a que des conséquences commerciales.</p> <p>Si un méthanier à quai est heurté par un navire tiers, cela peut entraîner la rupture de l'intégrité des cuves de GNL.</p>	
Mesures de protection	Passages étroits, zones de prudence	<p>Le méthanier est équipé de systèmes de navigation avancés comme le DGPS, le radar et les systèmes de communication.</p> <p>La zone de prudence est surveillée de près par la station de pilotage, qui utilise les STM pour contrôler le trafic des navires dans le secteur.</p> <p>Mise en œuvre de la zone de sécurité autour du navire à quai.</p> <p>Le remorqueur doit être en attente et le pilote doit rester à bord tant que le méthanier est à quai.</p> <p>Jetée située sur une partie rectiligne du fleuve pour empêcher un navire tiers de faire cap sur la jetée en passant à proximité.</p> <p>Une cloison d'abordage (dans la zone de la proue) est obligatoire sur tous les méthaniers.</p> <p>Le méthanier sera pris en charge par les remorqueurs avant de passer les îlots d'Hydro-Québec</p>
	Erreur humaine	<p>Échange d'information préalable à l'arrivée entre le commandant et la station de pilotage par radio.</p>

	Perte de puissance	Source d'alimentation redondante et deux moteurs de direction. Machine bicombustible et système permettant d'utiliser les deux carburants simultanément. Remorqueurs
	Intempéries, brouillard, vision nocturne	Les critères météorologiques définis devront être suivis, comme les restrictions dues à la vitesse du vent. Pilote à bord du méthanier en permanence le long du quai.
Scénarios d'évaluation types des risques	Aucun scénario particulier autre que celui d'un méthanier qui heurte un objet fixe quelque part le long de la route. Perte de gouverne d'autres navires passant près de la jetée – les pilotes sont en contact et le remorqueur en attente pour aider ce navire.	

Danger 4 : Naufrage

Description	Défaillance structurale de la coque du méthanier celui-ci finit par chavirer et sombrer. Arrive généralement par temps extrême. Attribuable à des causes autres que la collision, l'échouement, etc.
Tronçon	Tous.
Cause	Défaut de matériau, fatigue, forces environnementales extrêmes, corrosion.
Conséquence	Peut se traduire à la longue par une perte de confinement de la cargaison.
Mesures de protection	Entretien et contrôle du méthanier. Sur le fleuve, forces environnementales extrêmes limitées par rapport aux conditions de haute mer. La zone de cargaison du méthanier comprend quatre ou cinq compartiments.
Scénario d'évaluation type des risques	Défaillance structurale de la coque ; le navire finit par chavirer ou faire naufrage. Le scénario devrait se produire au bout d'un certain temps ; l'évacuation du personnel et le déchargement du navire sont possibles.
Évaluation qualitative des risques	Probabilité : faible Conséquence : faible

Danger 5 : Fuite d'une cuve, perte de confinement

Description	Le chargement et le déchargement relativement fréquents des cuves, en plus du ballonnement dû aux forces environnementales au cours du fonctionnement normal pourraient endommager les cuves ou en compromettre l'intégrité structurale.
Tronçon	Tous.
Cause	Défaut de matériau, fatigue, forces environnementales extrêmes, corrosion.
Conséquence	Perte de confinement du GNL, accumulation de GNL dans les espaces inter-parois se traduisant par la fragilisation de l'acier. Grand rejet de GNL en mer.

Mesures de protection	Barrière de confinement double. Système de détection des fuites installé entre les deux membranes. Conception adéquate des cuves de GNL selon la pratique courante (code IGC). Entretien et contrôle du méthanier.
Scénario d'évaluation type des risques	Défaillance structurale entraînant la rupture complète d'une cuve. Importante fuite de GNL se traduisant par la fragilisation de la coque et le chavirement du méthanier.
Évaluation qualitative des risques	Probabilité : faible (aucun incident pour toute la flotte de méthaniers en 40 ans de transport de GNL). Conséquence : faible

Danger 6 : Incendie dans la salle des machines

Description	Incendie ou explosion dans la salle des machines du méthanier. Propagation possible au carburant.
Tronçon	Tous.
Cause	Fuite ou rupture du circuit d'alimentation en carburant.
Conséquence	Perte de puissance, perte de direction, décès potentiels. Propagation potentielle aux cabines et aux cuves du méthanier. Déversement de soutes ayant un impact environnemental.
Mesures de protection	Alimentation redondante des moteurs de direction. Machine bicom bustible et système permettant d'utiliser les deux carburants simultanément. Extinction de l'incendie dans la salle des machines. Les cabines et la salle des machines sont séparées par des cloisons étanches. Les cuves de GNL se trouvent éloignés de la salle des machines, aussi la probabilité de propagation est faible. Généralement, très peu d'incendies de la salle des machines se propagent aux cabines et à la cargaison. Réservoir de carburant à double coque.
Scénario d'évaluation type des risques	Fuite de carburant dans la salle des machines entraînant une explosion et un incendie. Impact limité à la zone de la salle des machines.
Évaluation qualitative des risques	Probabilité : faible Conséquence : faible

Danger 7 : Terrorisme

Description	Terrorisme, sabotage.
Tronçon	Tous.
Cause	N/A
Conséquence	Perte de confinement de GNL, important rejet de GNL à la mer, incendie, dommages au navire, impact possible pour l'équipage du méthanier et le public.
Mesures de protection	Plan de sûreté du navire et du terminal. (Voir les directives CCG/USCG sur la sûreté du port, SOLAS XI-2/ISPS code et autres règlements portant sur les questions de sécurité.)
Scénario d'évaluation type des risques	Aucun scénario type.

Danger 8 : Incendie sur un navire situé à proximité du méthanier

Description	Incendie sur un navire voisin du méthanier.
Tronçon	Tous.
Cause	Incendie de la salle des machines ou de la zone de cargaison sur un autre navire.
Conséquence	Méthanier se rapprochent d'un navire en feu. Propagation possible de l'incendie au méthanier.
Mesures de protection	La zone de prudence est surveillée de près par la station de pilotage, qui utilise les STM pour contrôler le trafic des navires dans le secteur et qui communique avec les pilotes et les commandants sur les divers navires. Système d'extincteurs à jets multiples sur le méthanier.
Scénario type d'évaluation des risques	Incendie sur le navire en amont du méthanier. Le chenal est obstrué. Surveiller la collision avec le méthanier ; il n'y a toutefois pas de propagation de l'incendie.
Évaluation qualitative des risques	Probabilité : faible. Conséquence : faible

ANNEXE

7

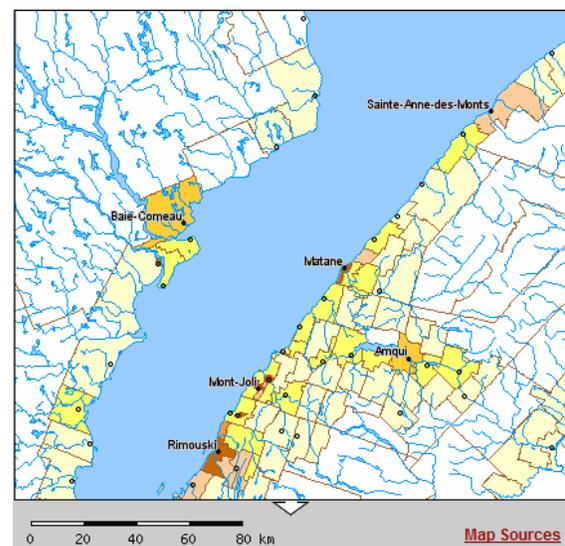
DONNÉES SUR LA POPULATION

DONNÉES SUR LA POPULATION

Les données sur la population sont tirées de la carte de l'Atlas du Canada en ligne [référence 7], qui donne la densité de population par subdivisions de recensement en 2001. Les cartes présentées ci-dessous illustrent la densité de population le long de la route suivie par les méthaniers, du détroit de Cabot au terminal projeté.



FIGURE 8: CATÉGORIES DE DENSITÉ DE POPULATION



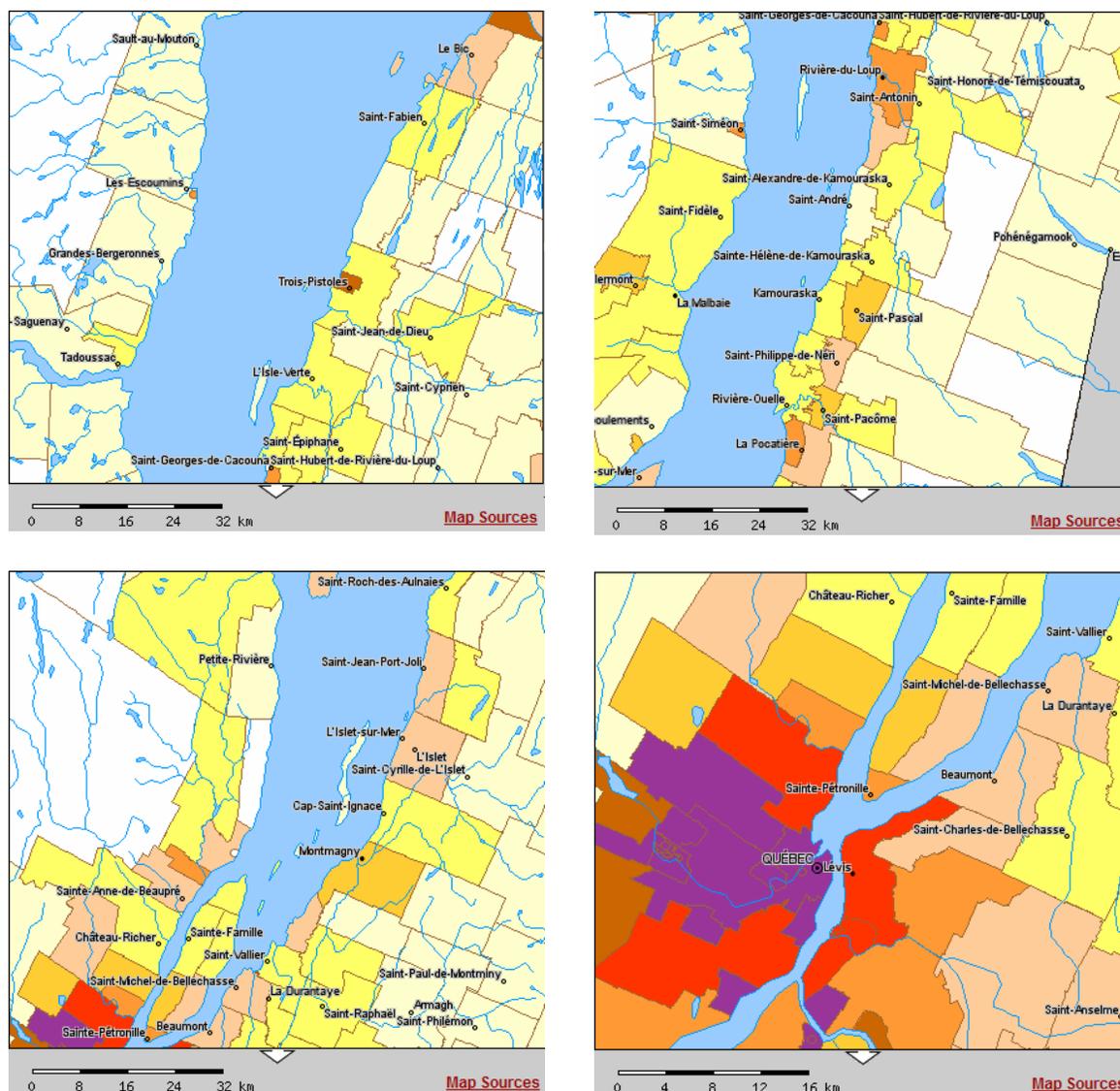


FIGURE 9 – DENSITÉ DE POPULATION LE LONG DE LA ROUTE SUIVIE PAR LES MÉTHANIERS

Note : La densité de population à Lévis est principalement située dans la partie ouest du comté. La densité à proximité du terminal projeté est comparable à celle de Beaumont.

ANNEXE

8

ARBRES D'ÉVÉNEMENT - EXEMPLES

Tronçon : 2

Fréquence

Fuite/brèche d'une cuve	Petite brèche	Inflammation instantanée			Fréquence		
1.40E-04	0.60	0.10			8.42E-06		
		Pas d'infl. instantanée		Dispersion vers des zones peuplées	Inflammation retardée	2.27E-05	
		0.90	0.600	0.50			
				Pas d'inflammation	0.50	2.27E-05	
				Pas de dispersion vers des zones peuplées		3.03E-05	
			0.400				
	Grande brèche	0.40	Inflammation instantanée			5.62E-06	
			Pas d'infl. instantanée		Dispersion vers des zones peuplées	Inflammation retardée	1.52E-05
			0.90	0.600	0.50		
					Pas d'inflammation	0.50	1.52E-05
		Pas de dispersion vers des zones peuplées		2.02E-05			
	0.400						
Total					1.40E-04		

COLLISION DANS LE FLEUVE**Tronçon : 2****Fréquence**

Fréquence de collision	Heurté par un navire, impact dans la zone de cargaison, navire chargé	Collision pendant un croisement	Fuite/brèche d'une cuve	Fréquence	
9.94E-04	1.74E-04	0.06	Fuite/brèche d'une cuve	1.46E-06	
			Dommage à la coque (pas de fuite)	2.61E-06	
			Dommages mineurs	6.37E-06	
			Collision de navires empruntant la même route	1.47E-05	
			Dommage à la coque (pas de fuite)	1.64E-05	
			Dommages mineurs	1.32E-04	
	8.20E-04	Autres scénarios	0.94	Dommage significatif	8.20E-05
				Dommage moyen	8.20E-05
				Dommage mineur	6.56E-04
				Total	9.94E-04

Collision pendant un croisement

Tronçon : 2

Fréquence

Fuite/brèche d'une cuve 1.46E-06	Petite brèche 0.571	Inflammation instantanée			7.52E-07
		Pas d'infl. instantanée			
		0.10	Dispersion vers des zones peuplées	Inflammation retardée	
		0.003	0.50	1.25E-10	
	Pas de dispersion vers des zones peuplées			0.50	1.25E-10
	0.997				
	Grande brèche 0.429	Inflammation instantanée			5.64E-07
		Pas d'infl. instantanée			
		0.10	Dispersion vers des zones peuplées	Inflammation retardée	
		0.032	0.50	1.00E-09	
Pas de dispersion vers des zones peuplées			0.50	9.02E-10	
0.968					6.06E-08
Total				1.46E-06	

Collision de navires empruntant la même route		Tronçon : 2			Fréquence	
Fuite/brèche d'une cuve 1.47E-05	Petite brèche 0.556	Inflammation instantanée			7.36E-06	
		0.90				
		Pas d'infl. instantanée 0.10	Dispersion vers des zones peuplées		Inflammation retardée	1.23E-09
			0.003		0.50	
			Pas d'inflammation 0.50	1.23E-09		
			Pas de dispersion vers des zones peuplées 0.997		8.15E-07	
	Grande brèche 0.444	Inflammation instantanée			5.89E-06	
		0.90				
		Pas d'infl. instantanée 0.10	Dispersion vers des zones peuplées		Inflammation retardée	1.05E-08
			0.032		0.50	
			Pas d'inflammation 0.50	9.42E-09		
		Pas de dispersion vers des zones peuplées 0.968		6.33E-07		
Total				1.47E-05		

COLLISION À QUAI

Tronçon : 5

Fréquence de collision à quai	Impact dans la zone cargaison	Méthanier chargé	Fuite/brèche d'une cuve	Fréquence
3.30E-04	0.5	0.50	0.09	7.43E-06
			Dommmage à la coque (pas de fuite)	8.25E-06
			0.10	
			Dommmages mineurs	6.68E-05
			0.81	
		Méthanier sur ballast		8.25E-05
		0.50		
	Impact en dehors de la zone cargaison			1.65E-04
	0.5			
			Total	3.30E-04

Tronçon : 5

Fréquence

Fuite/brèche d'une cuve					Fréquence		
7.43E-06	Petite brèche 0.556	Inflammation instantanée			0.900	3.71E-06	
		Pas d'infl. instantanée 0.10	Dispersion vers des zones peuplées		Inflammation retardée	0.50	6.19E-08
					Pas d'inflammation	0.50	6.19E-08
			Pas de dispersion vers des zones peuplées			0.700	2.89E-07
	Grande brèche 0.444	Inflammation instantanée			0.90	2.97E-06	
		Pas d'infl. instantanée 0.10	Dispersion vers des zones peuplées		Inflammation retardée	0.50	4.95E-08
					Pas d'inflammation	0.50	4.46E-08
			Pas de dispersion vers des zones peuplées			0.700	2.31E-07
Total				7.42E-06			

DÉFAILLANCE DES BRAS DE DÉCHARGEMENT

					Fréquence
Défaillance des bras	Fuite majeure	Pas d'infl. instantanée	Dispersion vers des zones peuplées	Inflammation retardée	
2.50E-05	0.01	0.9	0	0.5	0.00E+00
Défaillance de l'amarrage		Pas d'infl. instantanée	Dispersion vers des zones peuplées	Inflammation retardée	
9.68E-06	1	0.9	0	0.5	0.00E+00
Défaillance suite à collision	Défaillance ESD	Pas d'infl. instantanée	Dispersion vers des zones peuplées	Inflammation retardée	
1.30E-05	0.05	0.9	0	0.5	0.00E+00
4.77E-05					0.00E+00

