



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada



RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT MARITIME M23A0169

IMPLOSION D'UN SUBMERSIBLE ET PERTES DE VIE

Submersible *Titan* et navire de marchandises *Polar Prince*
372 milles marins au sud-sud-est du cap Race (Terre-Neuve-et-
Labrador)
18 juin 2023

À PROPOS DE CE RAPPORT D'ENQUÊTE

Ce rapport est le résultat d'une enquête sur un événement de catégorie 2. Pour de plus amples renseignements, se référer à la Politique de classification des événements au www.bst.gc.ca.

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales.

CONDITIONS D'UTILISATION

Utilisation dans le cadre d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre

La *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* stipule que :

- 7(3) Les conclusions du Bureau ne peuvent s'interpréter comme attribuant ou déterminant les responsabilités civiles ou pénales.
- 7(4) Les conclusions du Bureau ne lient pas les parties à une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.

Par conséquent, les enquêtes du BST et les rapports qui en découlent ne sont pas créés pour être utilisés dans le contexte d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.

Avisez le BST par écrit si le présent rapport d'enquête est utilisé ou pourrait être utilisé dans le cadre d'une telle procédure.

Reproduction non commerciale

À moins d'avis contraire, vous pouvez reproduire le contenu du présent rapport d'enquête en totalité ou en partie à des fins non commerciales, dans un format quelconque, sans frais ni autre permission, à condition :

- de faire preuve de diligence raisonnable quant à la précision du contenu reproduit;
- de préciser le titre complet du contenu reproduit, ainsi que de stipuler que le Bureau de la sécurité des transports du Canada est l'auteur;
- de préciser qu'il s'agit d'une reproduction de la version disponible au [URL où le document original se trouve].

Reproduction commerciale

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu du présent rapport d'enquête, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite du BST.

Contenu faisant l'objet du droit d'auteur d'une tierce partie

Une partie du contenu du présent rapport d'enquête (notamment les images pour lesquelles une source autre que le BST est citée) fait l'objet du droit d'auteur d'une tierce partie et est protégée par la *Loi sur le droit d'auteur* et des ententes internationales. Pour des renseignements sur la propriété et les restrictions en matière des droits d'auteurs, veuillez communiquer avec le BST.

Citation

Bureau de la sécurité des transports du Canada, *Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M23A0169* (publié le 17 juin 2026).

Bureau de la sécurité des transports du Canada
200, promenade du Portage, 4^e étage
Gatineau QC K1A 1K8
819-994-3741; 1-800-387-3557
www.bst.gc.ca
communications@bst.gc.ca

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le Bureau de la sécurité des transports du Canada, 2026

Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M23A0169

N° de cat. TU3-12/23-0169F-PDF

ISBN 978-0-660-79474-7

Le présent rapport se trouve sur le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada à l'adresse www.bst.gc.ca

This report is also available in English.

Table des matières

1.0 Renseignements de base	14
1.1 Fiches techniques des navires.....	14
1.2 Description sommaire des navires.....	15
1.2.1 <i>Titan</i>	15
1.2.2 Système de mise à l'eau et de récupération du <i>Titan</i>	17
1.2.3 <i>Polar Prince</i>	18
1.3 Plongée à l'étude.....	19
1.3.1 Voyage vers le site de plongée et préparatifs de plongée.....	20
1.3.2 Descente du <i>Titan</i>	21
1.3.3 Événements après la perte de contact avec le <i>Titan</i>	23
1.4 Compétence relative à l'enquête sur l'accident.....	25
1.4.1 Déclaration des événements maritimes.....	26
1.5 Pertes de vie.....	26
1.6 Avaries.....	26
1.7 Conditions environnementales.....	26
1.8 Immatriculation et certification des navires.....	27
1.8.1 Représentant autorisé.....	28
1.8.2 <i>Titan</i>	28
1.8.3 <i>Polar Prince</i>	28
1.9 Brevets, certificats et expérience du personnel.....	29
1.9.1 <i>Titan</i>	30
1.9.2 <i>Polar Prince</i>	31
1.10 Description détaillée du <i>Titan</i> et de ses systèmes d'exploitation.....	31
1.10.1 Coque épaisse.....	31
1.10.2 Charpente extérieure.....	33
1.10.3 Systèmes informatiques.....	34
1.10.4 Système pour les descentes, les remontées et la flottabilité neutre.....	35
1.10.5 Aides à la navigation.....	36
1.10.6 Équipement de communication et de suivi.....	36
1.10.7 Cabine.....	37
1.10.8 Alimentation électrique.....	37
1.10.9 Système de surveillance des émissions acoustiques.....	38
1.10.10 Système de surveillance des contraintes.....	40
1.11 Description détaillée du système de mise à l'eau et de récupération.....	43
1.12 Conception, construction et mise à l'essai du <i>Titan</i>	43
1.12.1 Première construction (2013-2019).....	44
1.12.2 Deuxième construction du <i>Titan</i> (2020-2021).....	52
1.13 Coques épaisses en fibres de carbone.....	55
1.14 Données d'essai provenant du cylindre en fibres de carbone du <i>Titan</i>	58
1.15 Examen par le laboratoire du BST du morceau découpé du cylindre en fibres de carbone du <i>Titan</i>	58
1.16 Analyse de l'accumulation des dommages par le Laboratoire du BST.....	59

1.17	Documents d'OceanGate liés à l'exploitation du <i>Titan</i> en 2023	60
1.17.1	Manuel d'exploitation	61
1.17.2	Manuel de pilotage	61
1.17.3	Liste de vérification du directeur de mission	61
1.17.4	Plan d'exécution de projet pour 2023	62
1.17.5	Évaluation des risques liés aux opérations de plongée pour 2023	62
1.17.6	Manuel de santé et sécurité	63
1.17.7	Plan de communication pour les interventions en cas d'incident	63
1.17.8	Guide des employés d'OceanGate	63
1.17.9	Carnet de plongée et d'entretien	63
1.17.10	Documents faisant référence aux communications entre le <i>Titan</i> et l'équipe de soutien en surface pendant les plongées	64
1.17.11	Gestion des risques opérationnels	66
1.17.12	Plans de plongée	67
1.18	Procédures d'urgence du <i>Titan</i>	68
1.18.1	Personnes à contacter en cas d'urgence	69
1.19	Entretien et inspections du <i>Titan</i>	69
1.20	Navires de soutien	70
1.20.1	Affrètement du <i>Polar Prince</i>	71
1.20.2	Transport du <i>Titan</i> et du système de mise à l'eau et de récupération à destination et en provenance des sites de plongée	76
1.21	Saison d'exploitation 2023	78
1.21.1	Première mission	78
1.21.2	Deuxième mission	78
1.21.3	Troisième mission	78
1.21.4	Quatrième mission	79
1.21.5	Cinquième mission	79
1.22	Saisons d'exploitation précédentes avec le <i>Titan</i>	79
1.23	OceanGate	80
1.23.1	Culture d'entreprise	81
1.24	Contexte du secteur des submersibles	83
1.24.1	Plongées de submersibles vers le <i>Titanic</i>	83
1.25	Sécurité maritime à l'échelle internationale	84
1.25.1	Organisation maritime internationale	84
1.25.2	Demandes d'assistance en recherche et sauvetage	86
1.26	Lignes directrices et normes pour les submersibles	87
1.26.1	Organisation maritime internationale	87
1.26.2	Organisation internationale de normalisation	89
1.26.3	Sociétés de classification	90
1.26.4	Directives de l'industrie	92
1.27	Sécurité maritime au Canada	92
1.27.1	Transports Canada	92
1.28	Autres ministères du gouvernement du Canada concernés par les opérations des navires commerciaux	101
1.28.1	Affaires mondiales Canada	101

1.28.2	Ministère des Pêches et des Océans	102
1.28.3	Agence des services frontaliers du Canada	103
1.28.4	Centres des opérations de la sûreté maritime	103
1.28.5	Renseignements partagés entre Transports Canada et d'autres ministères	104
1.29	Gestion des risques.....	105
1.30	Construction sociale du risque pour la sécurité.....	105
1.30.1	Effets de la pensée de groupe sur la perception des risques.....	106
1.30.2	Rareté des ressources et compromis en matière de sécurité.....	107
1.30.3	Organisations à haute fiabilité et respect de l'expertise	108
1.30.4	Pouvoir et culture de sécurité.....	109
1.30.5	Biais de confirmation.....	110
1.31	Recommandation antérieure	110
1.31.1	Connaissance du rôle et du champ de responsabilités des représentants autorisés.....	110
1.32	Événements précédents.....	111
1.32.1	Événements sur des submersibles commerciaux ayant plongé vers le Titanic	111
1.32.2	Événements causant des pertes de vie à bord de submersibles commerciaux ailleurs dans le monde	112
1.33	Liste de surveillance du BST	112
1.34	Rapports de laboratoire du BST	113
2.0	Analyse	114
2.1	Implosion du submersible	114
2.1.1	Système de surveillance des contraintes	117
2.1.2	Système de surveillance des émissions acoustiques	118
2.1.3	Dommmages subis par le cylindre en fibres de carbone.....	119
2.2	Gestion des risques à OceanGate	121
2.2.1	Apports au processus de gestion des risques	121
2.2.2	Influence des dynamiques organisationnelles de pouvoir.....	122
2.2.3	Influence des facteurs sociaux et psychologiques.....	123
2.3	Surveillance des submersibles.....	124
2.4	Surveillance réglementaire des navires au Canada.....	125
2.5	Préparation aux interventions d'urgence.....	128
2.6	Pratiques de gestion de la sécurité pour un ou plusieurs groupes travaillant sur un navire.....	130
3.0	Faits établis	132
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	132
3.2	Faits établis quant aux risques	132
3.3	Autres faits établis.....	133
4.0	Mesures de sécurité	134
4.1	Mesures de sécurité prises	134
4.1.1	Bureau de la sécurité des transports du Canada.....	134
4.1.2	Transport Canada.....	134
4.2	Mesures de sécurité à prendre	134

4.2.1	Approche du Canada en matière de surveillance réglementaire.....	134
4.2.2	Renseignements partagés entre Transports Canada et d'autres ministères.	137
4.2.3	Surveillance des submersibles	138
4.2.4	Pratiques de gestion de la sécurité pour un ou plusieurs groupes travaillant sur un navire.....	141
5.0	Annexes.....	144
	Annexe A – Transcription mot pour mot des communications ayant eu lieu entre le <i>Titan</i> et l'équipe de soutien en surface pendant la descente du <i>Titan</i> lors de la plongée à l'étude	144
	Annexe B – Plongées effectuées par le <i>Titan</i> entre 2021 et l'événement à l'étude au site de l'épave du <i>Titanic</i> , dans les eaux canadiennes ou dans la zone économique exclusive du Canada	147
	Annexe C – Groupes de l'industrie fournissant des consignes applicables aux submersibles	149

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT MARITIME M23A0169

IMPLOSION D'UN SUBMERSIBLE ET PERTES DE VIE

Submersible *Titan* et navire de marchandises *Polar Prince*

372 milles marins au sud-sud-est du cap Race (Terre-Neuve-et-Labrador) 18 juin 2023

18 juin 2023

Classification de l'Organisation maritime internationale : Accident de mer très grave

Le Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) a enquêté sur cet événement dans le but de promouvoir la sécurité des transports. Le Bureau n'est pas habilité à attribuer ni à déterminer les responsabilités civiles ou pénales. **Le présent rapport n'est pas créé pour être utilisé dans le contexte d'une procédure judiciaire, disciplinaire ou autre.** Voir Conditions d'utilisation à la page 2. Les pronoms et les titres de poste masculins peuvent être utilisés pour désigner tous les genres afin de respecter la *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* (L.C. 1989, ch. 3).

RÉSUMÉ

Le 18 juin 2023, le submersible *Titan*, avec 5 personnes à bord, effectuait une plongée vers l'épave du *Royal Mail Ship Titanic*, située à 372 milles marins au sud-sud-est du cap Race (Terre-Neuve-et-Labrador). Le *Titan* appartenait à la compagnie OceanGate¹, établie aux États-Unis. Le *Titan* était appuyé par un navire de marchandises canadien, le *Polar Prince*, qui servait à remorquer le *Titan* vers les sites de plongée et à l'en ramener, et servait de base aux opérations d'OceanGate. Pendant la descente du *Titan*, une équipe de soutien en surface d'OceanGate à bord du *Polar Prince* suivait la progression du *Titan* et maintenait les communications avec lui. Environ 1 heure et 45 minutes après que le *Titan* eut commencé sa descente, l'équipe de soutien en surface a perdu tout contact avec lui. Une opération de recherche et de sauvetage a été lancée plus tard dans la soirée. Le 22 juin, la U.S. Coast Guard a confirmé que l'épave du *Titan* avait été trouvée sur le fond de l'océan près du *Titanic*. Il n'y a eu aucun survivant.

La coque épaisse du *Titan* était constituée d'un cylindre en fibres de carbone fermé par un dôme en titane à chaque extrémité. L'utilisation de fibres de carbone pour construire la coque épaisse d'un submersible habité et conçu pour la plongée en eaux profondes est novatrice; les submersibles utilisés pour la plongée en eaux profondes sont généralement

¹ Le *Titan* appartenait à la compagnie OceanGate Inc., une société constituée selon les lois de l'État de Washington (États-Unis). Il était exploité par la filiale en propriété exclusive OceanGate Expeditions, Ltd, une entité des Bahamas.

construits en acier ou en titane. De plus, la coque épaisse est habituellement de forme sphérique, et non cylindrique, car il s'agit de la forme la plus adaptée pour résister à la pression externe et permettre une répartition uniforme des contraintes.

L'enquête a permis de déterminer que les propriétés réelles du cylindre en fibres de carbone du *Titan* n'ont jamais été validées afin de garantir leur conformité avec les valeurs théoriques utilisées dans le procédé de conception, et que la construction ainsi que les essais du *Titan* n'ont pas suivi les pratiques normales en ingénierie. Par conséquent, OceanGate ne savait pas pendant combien de temps la coque épaisse conserverait son intégrité structurelle après avoir été utilisée à plusieurs reprises pour des plongées à la profondeur à laquelle se trouve le *Titanic*.

Afin d'essayer d'atténuer ce problème, OceanGate avait mis au point 2 systèmes pour surveiller l'intégrité de la coque épaisse : un système de surveillance des contraintes et un système de surveillance des émissions acoustiques. Le système de surveillance des contraintes fournissait des données pour l'analyse après les plongées afin de relever les problèmes potentiels de la coque épaisse qui pourraient entraîner une défaillance pendant une plongée ultérieure. Cependant, l'analyse des données relatives aux contraintes par OceanGate manquait de constance et n'a pas conduit à la mise hors service de la coque épaisse avant sa défaillance. On comptait sur le système de surveillance des émissions acoustiques pour fournir un préavis suffisant pour que le submersible puisse remonter à la surface en cas de défaillance imminente de la coque. Toutefois, ce système n'avait pas été soumis à des essais pour démontrer qu'il fournirait systématiquement un préavis suffisant, et il n'a pas fonctionné comme prévu lors de l'événement à l'étude.

Les analyses effectuées par le Laboratoire du BST ont permis de déterminer que la résistance à la compression réduite du cylindre en fibres de carbone du *Titan*, ainsi que les défauts qui ont pu apparaître lors de la fabrication, de l'exploitation, de l'entreposage et du transport du *Titan*, ont probablement conduit à une défaillance progressive du cylindre, en raison d'une accumulation de dommages à chaque cycle de plongée, jusqu'à son implosion.

L'enquête a permis de révéler que la gestion des risques à OceanGate était entravée par la structure et la composition de la compagnie, de même que par l'influence des dynamiques de pouvoir et de facteurs sociaux et psychologiques. C'est pourquoi OceanGate n'a pas cerné ni atténué les principaux risques associés à l'intégrité structurelle du *Titan*. En outre, les enquêteurs ont examiné des enjeux liés à la surveillance des opérations des submersibles, l'état de préparation aux situations d'urgence pour les submersibles et la gestion de la sécurité en ce qui concerne les groupes travaillant sur un navire.

L'enquête a mis en évidence des lacunes de sécurité concernant la surveillance et les normes qui ont amené le Bureau à formuler 6 recommandations.

Approche du Canada en matière de surveillance réglementaire

Selon la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* (LMMC 2001), Transports Canada (TC) est responsable de la sécurité maritime, de la sécurité et de la protection de l'environnement en ce qui concerne les navires canadiens et étrangers exploités dans les eaux canadiennes. La surveillance réglementaire par TC assure une vérification indépendante de la sécurité de l'exploitation et de la conformité réglementaire de ces navires commerciaux au moyen d'inspections aux fins de certification obligatoire lorsque requise, soit de conformité à la réglementation.

La manière dont TC identifie les navires et en assure la surveillance varie selon qu'un navire est immatriculé au Canada ou à l'étranger et selon sa taille. Pour les navires commerciaux canadiens qui peuvent être exploités sans certificat et les navires étrangers en dessous des seuils internationaux de jauge brute (500 GT), la surveillance consiste en des « inspections fondées sur les risques » ou des visites de TC. TC peut inspecter ces navires sur la base de signalements soulevant des préoccupations ou sur la base de ses propres observations. Bien que TC savait que le *Titan* était exploité à partir de St. John's et qu'il était appuyé par des navires canadiens, il ignorait que le *Titan* n'était immatriculé auprès d'aucun État du pavillon. Le *Titan* n'a été soumis à aucune surveillance de la part de TC.

Cette situation n'est pas unique. En fait, au Canada, il est relativement fréquent que des navires ne fassent pas l'objet de surveillance par TC. L'enquête a révélé que le manque de surveillance réglementaire visant à relever les lacunes de sécurité a entraîné un risque accru pour les personnes participant aux opérations du *Titan*. Depuis 2015, le BST a déterminé qu'un manque similaire de surveillance réglementaire constituait un facteur dans plusieurs événements mettant en cause des bateaux de pêche non certifiés et non immatriculés² ainsi que des remorqueurs non certifiés³. Étant donné que les navires non certifiés, comme le *Titan*, ne sont souvent soumis à aucune surveillance réglementaire au Canada, le Bureau recommande que

le ministère des Transports définisse des critères et des priorités pour la surveillance fondée sur les risques des navires commerciaux canadiens qui n'ont pas l'obligation d'être certifiés, de sorte que ces critères et priorités permettent d'évaluer les risques posés par l'exploitation de ces navires et entraînent une surveillance supplémentaire.

Recommandation M26-02 du BST

Le Bureau recommande également que

² Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21A0315, M20A0160, M19A0090 et M16A0327 du BST.

³ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21P0030, M20P0230, M17P0244 et M15P0037 du BST.

le ministère des Transports définisse des critères et des priorités pour la surveillance fondée sur les risques des navires commerciaux non immatriculés ou non visés par les processus d'inspection du contrôle par l'État du port, et que ces critères et priorités permettent d'évaluer les risques posés par l'exploitation de ces navires et d'agir en conséquence.

Recommandation M26-03 du BST

Renseignements partagés entre Transport Canada et d'autres ministères

Compte tenu de la nature des opérations maritimes, les navires ainsi que les propriétaires et les exploitants de navires interagissent également avec des entités gouvernementales extérieures à TC, telles que l'Agence des services frontaliers du Canada (ASFC), Pêches et Océans Canada (MPO), les autorités provinciales et les autorités portuaires. Plusieurs ministères du gouvernement canadien, dont le MPO, ont eu des échanges avec OceanGate de 2019 jusqu'au moment de l'événement

Plus TC dispose de renseignements sur les activités d'un navire, mieux il est en mesure d'évaluer les risques et de déterminer le niveau de surveillance approprié. Des enquêtes antérieures⁴ ont mis en évidence des enjeux liés au partage de renseignements entre TC et les autres ministères. Cependant, TC n'a pas de processus pour obtenir et utiliser ces renseignements. Des progrès sont réalisés : en réponse à la recommandation⁵ du Bureau selon laquelle le ministère des Pêches et des Océans exige que tout navire canadien utilisé pour la pêche commerciale des ressources marines ait une immatriculation à jour et exacte auprès de TC, le MPO collabore plus étroitement avec TC et le nombre de navires immatriculés auprès de TC a augmenté.

L'enquête a permis d'établir que le partage de renseignements entre TC et d'autres ministères est limité, ce qui fait en sorte que TC manque des occasions d'accéder à des renseignements qui pourraient être utiles pour évaluer les risques dans les opérations de navires commerciales et déterminer le niveau approprié de surveillance. De tels renseignements provenant d'autres ministères peuvent permettre à TC d'agir et d'évaluer l'exploitation d'un navire à partir d'un port canadien et dans les eaux canadiennes. Par conséquent, le Bureau recommande que

⁴ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0160 du BST.

⁵ Recommandation M22-01 du BST, Exigence d'immatriculation des navires auprès de Transports Canada avant l'émission d'un permis de pêche par Pêches et Océans Canada (mars 2025), à l'adresse <https://www.tsb.gc.ca/fra/recommandations-recommendations/marine/2022/rec-m2201.html> (dernière consultation le 20 mai 2026).

le ministère des Transports établit des processus afin d'obtenir de la part des autres ministères gouvernementaux des renseignements sur les opérations des navires commerciaux de sorte qu'il puisse évaluer les risques de ces opérations et d'agir en conséquence.

Recommandation M26-04 du BST

Surveillance des submersibles

Un exploitant de submersible peut en obtenir la surveillance en demandant sa classification auprès d'une société de classification ou en le faisant immatriculer auprès d'un État du pavillon qui assure la surveillance des submersibles. Certains pays, dont les Bahamas, les îles Caïmans et le Japon, exigent que les submersibles soient classifiés auprès d'une société de classification. D'autres pays disposent de cadres réglementaires qui couvrent l'exploitation des submersibles. Certains pays, comme le Canada, ont une réglementation limitée ou inexistante.

L'Organisation maritime internationale (OMI) a fourni des directives relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation des submersibles transportant des passagers (circulaire MSC/Circ. 981)⁶. Toutefois, ces directives ne sont pas intégrées dans des conventions ou des codes internationaux. Par conséquent, elles sont uniquement contraignantes au niveau national, lorsqu'un État membre les a intégrées dans sa propre réglementation. En l'absence de norme internationale obligatoire pour les submersibles, la surveillance des opérations des submersibles dépend majoritairement des exigences individuelles des États du pavillon, et la sécurité repose en grande partie sur l'initiative volontaire des propriétaires et des exploitants, ce qui augmente le risque pour les personnes, les navires et l'environnement. TC représente le Canada en tant qu'État membre de l'OMI et peut préconiser des changements liés à la sécurité. Par conséquent, le Bureau recommande que

le ministère des Transports préconise à l'Organisation maritime internationale d'intégrer dans les conventions ou codes internationaux les directives contenues dans la circulaire 981 du Comité de la sécurité maritime.

Recommandation M26-05 du BST

Au Canada, les submersibles sont inclus dans la définition d'un navire figurant dans la LMMC 2001 et sont donc soumis à la même surveillance réglementaire que les autres navires. Cependant, il n'existe pas de réglementation de portée générale ou spécifique au Canada régissant la construction ou l'exploitation de submersibles habités, bien qu'il existe un règlement concernant l'équipage.

⁶ Organisation maritime internationale, *MSC/Circ. 981 – Directives relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation des engins submersibles à passagers* (29 janvier 2001).

En 2004, des préoccupations ont été soulevées concernant les opérations de submersibles à passagers dans la réserve forestière et faunique de Haliburton, à Haliburton (Ontario). En réponse, TC a créé une politique sur les submersibles à passagers canadiens qui est entrée en vigueur en 2005⁷. L'objectif de cette politique était de mettre en œuvre les directives de l'OMI relatives aux submersibles transportant des passagers (MSC/Circ. 981). En avril 2026, TC a publié le Bulletin de la sécurité des navires (BSN) 03/2026 : Exigences relatives aux engins submersibles transportant des passagers utilisés dans les eaux canadiennes. Le BSN définit une approche pour la surveillance des submersibles par le Ministère, en s'appuyant sur des instruments et des normes qui existaient à l'époque où le *Titan* était exploité, et ajoute des exigences de signalement pour les opérations de plongée.

La mise en œuvre de la circulaire MSC/Circ. 981 par l'intermédiaire de la politique de TC sur les submersibles à passagers et la publication des exigences nouvelles et existantes dans le BSN 03/2026 représentent deux avancées dans la bonne direction. Cependant, les BSN et les politiques visent à orienter les pratiques sans être contraignants. Rien n'indique clairement que ces mesures réduiront les risques liés à l'exploitation d'un navire comme le *Titan* dans le futur. En l'absence de surveillance obligatoire d'opérations similaires, s'appliquant à tous les submersibles habités, le risque sous-jacent demeure. Par conséquent, le Bureau recommande que

le ministère des Transports exige que tous les submersibles habités, immatriculés au Canada, étant exploités avec un navire d'accompagnement canadien, ou étant exploités dans les eaux canadiennes ou dans la zone économique exclusive du Canada, se conforment aux exigences de la circulaire 981 du Comité de sécurité maritime de l'Organisation maritime internationale.

Recommandation M26-06 du BST

Pratiques de gestion de la sécurité pour un ou plusieurs groupes travaillant sur un navire

Certains types d'opérations peuvent entraîner la participation d'un ou plusieurs groupes à bord d'un navire. Dans les opérations où un ou plusieurs groupes travaillent à bord, des interactions sont à prévoir entre le système de gestion de la sécurité (SGS) du navire et les différents systèmes utilisés par d'autres groupes pour assurer la sécurité. La compagnie qui exploitait le *Polar Prince*, Horizon Maritime Services Ltd., avait un plan d'intervention d'urgence qui indiquait que les exigences particulières des clients en matière d'intervention d'urgence devaient être abordées dans un document de liaison et dans un plan d'intervention d'urgence conjoint. En général, des documents de liaison sont établis pour clarifier la manière dont les opérations, notamment les interventions d'urgence, seront coordonnées et dont la sécurité sera gérée. Les documents de liaison sont courants dans certaines

⁷ Transports Canada, Volet I – Politique : Engin submersible transportant des passagers, 2005.

industries, comme l'industrie pétrolière et gazière⁸. Pour des opérations comme celles menées par le *Polar Prince* et OceanGate, il n'existait aucune exigence externe prévoyant l'élaboration d'un document de liaison.

Lorsqu'un ou plusieurs groupes travaillent à bord d'un navire qui ne dispose pas des lignes directrices exhaustives fournies par un document de liaison afin d'intégrer la gestion de la sécurité entre leurs opérations et celles du navire, il existe un risque que les opérations soient menées sans les mesures de protection nécessaires. Par conséquent, le Bureau recommande que

le ministère des Transports veille à ce que, lorsqu'un ou plusieurs groupes travaillent à bord d'un navire canadien ou d'un navire auquel s'applique la *Loi sur le cabotage*, les principes de gestion de la sécurité soient entièrement intégrés à leurs opérations ainsi qu'à celles du navire, notamment par l'utilisation d'un document de liaison, afin de clarifier la coordination des opérations et la gestion de la sécurité.

Recommandation M26-07 du BST

⁸ L'International Association of Oil & Gas Producers fournit des consignes sur les documents de liaison (<https://www.iogp.org/bookstore/product/guide-to-preparing-hse-plans-and-bridging-documents-supplement-to-report-423/>, dernière consultation le 12 mai 2026). L'industrie pétrolière et gazière canadienne suit généralement les consignes établies par l'International Association of Oil & Gas Producers. En Norvège et aux Pays-Bas, il existe des exigences relatives aux documents de liaison dans l'industrie pétrolière et gazière en milieu extracôtier.

1.0 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Fiches techniques des navires

Tableau 1. Fiches techniques du Titan, du système de mise à l'eau et de récupération du Titan et du Polar Prince

Nom du navire	Titan	Système de mise à l'eau et de récupération du Titan	Polar Prince
Pavillon	Aucun	Aucun	Canada
Port d'immatriculation	Aucun	Aucun	St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador)
Numéro officiel	Aucun	Aucun	310141
Numéro de l'Organisation maritime internationale	Aucun	Aucun	5329566
Type	Submersible	Système de mise à l'eau et de récupération	Navire de marchandises générales
Jauge brute	Pas évaluée officiellement	Pas évaluée officiellement	2062
Poids	9,525 tonnes	14,515 tonnes	s/o
Longueur	6,70 m	11,6 m	69,07 m
Largeur	2,80 m	5,0 m	14,63 m
Profondeur	2,50 m	2,3 m	6,40 m
Année de construction*	2018 (1 ^{re} construction) 2020 (2 ^e construction)	2018	1959
Propulsion	4 propulseurs électriques, d'une puissance de 7,5 kW chacun	Aucun	4 moteurs diesel-électriques générant 3820 kW et alimentant 2 moteurs électriques entraînant 2 hélices à pas fixe
Équipage	2	Aucun	17
Passagers	3	Aucun	24 (y compris les 5 personnes participant à la plongée)

Propriétaire	OceanGate**	OceanGate	Miawpukek Horizon Maritime Services Ltd.
Représentant autorisé***	Aucun	Aucun	Miawpukek Horizon Maritime Services Ltd.
Compagnie de gestion	OceanGate	OceanGate	Horizon Maritime Services Ltd.
Société de classification	Aucun	Aucun	DNV
Autorité de délivrance de la documentation internationale de gestion de la sécurité	Aucun	Aucun	DNV

* Dans ce tableau, « Année de construction » désigne la date à laquelle la quille du navire a été posée, c'est-à-dire le début de la construction.

** OceanGate était composée d'un certain nombre d'entités, dont au moins 2 compagnies américaines, une société bahamienne et une fondation à but non lucratif.

*** Voir la section 1.8.1 pour une explication du terme «représentant autorisé».

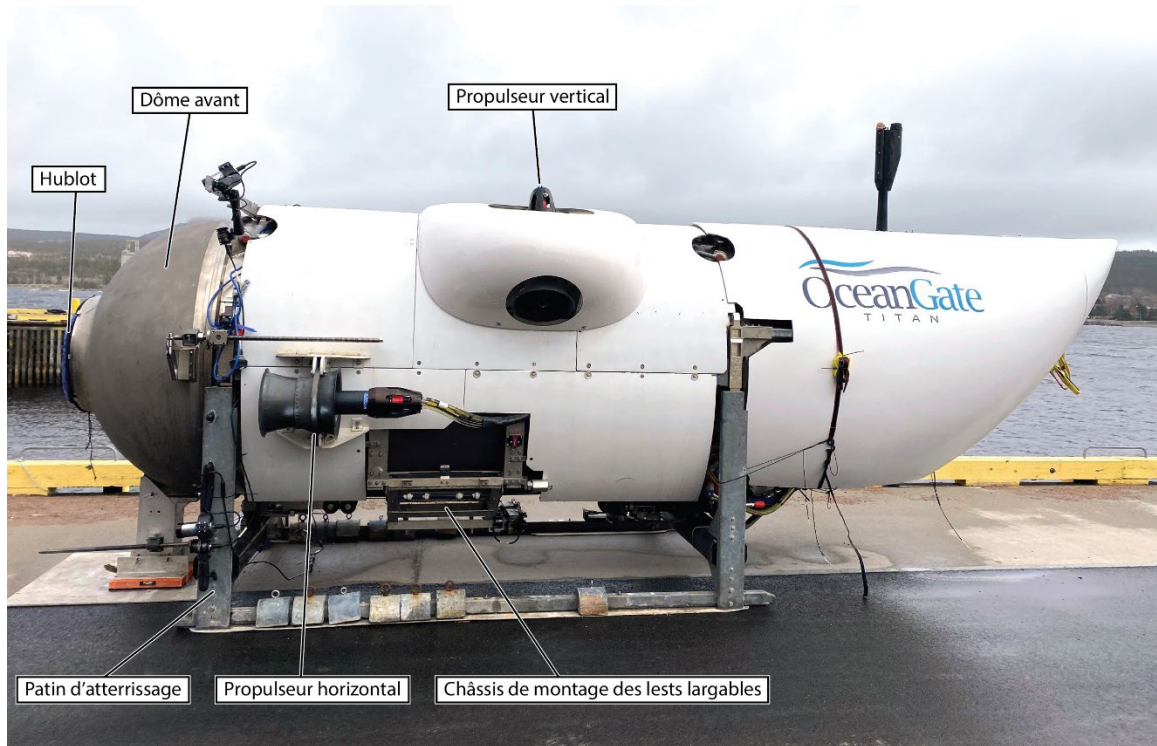
1.2 Description sommaire des navires

1.2.1 *Titan*

Le *Titan* était un submersible en fibres de carbone et en titane utilisé pour la plongée en eaux profondes (figure 1). Il a été conçu et construit par OceanGate aux États-Unis. Le *Titan* a été construit à l'origine en 2018 (la 1^{re} construction). Cependant, en 2019, des dommages ont été trouvés sur le cylindre en fibres de carbone qui formait la section centrale de la coque épaisse⁹ et OceanGate a commencé à reconstruire le submersible en 2020, achevant les travaux en 2021 (la 2^e construction). Sauf indication contraire, toutes les mentions ultérieures du *Titan* qui sont faites dans le présent rapport concernent la 2^e construction.

⁹ Une coque de haute pression est [traduction] « l'enceinte de pression d'un submersible qui fournit aux occupants humains un habitat résistant à la pression ». (Source : American Bureau of Shipping, « Rules for Building and Classing Underwater Vehicles, Systems and Hyperbaric Facilities » 2025, p. 30).

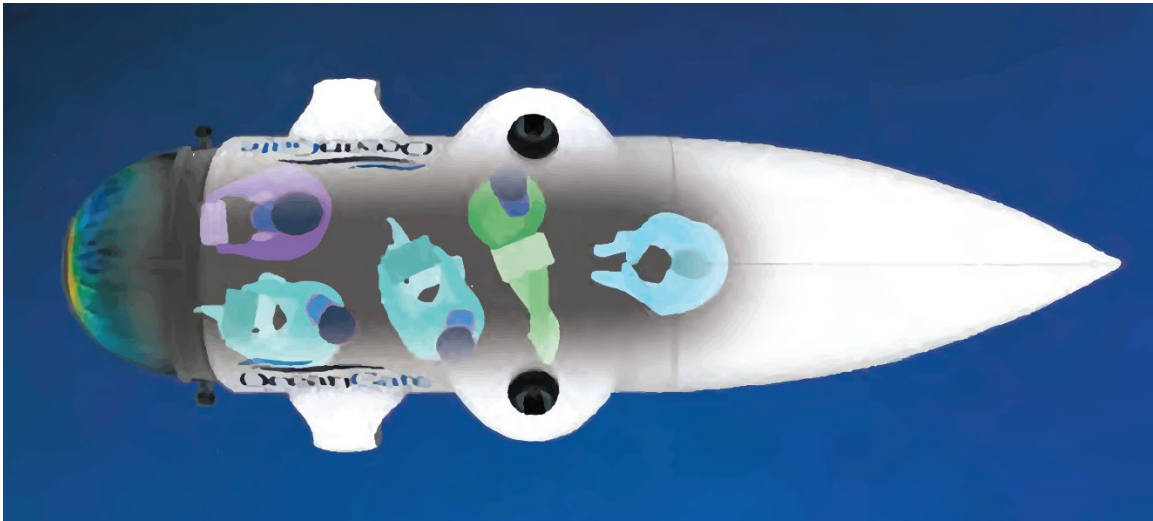
Figure 1. Le submersible Titan en mai 2023 (Source : tierce partie, avec permission)



Le cylindre qui formait la section centrale de la coque épaisse était fabriqué à partir d'un matériau composite en fibres de carbone et en résine époxy. Un revêtement protecteur disponible sur le marché avait été pulvérisé sur le cylindre, puis le cylindre avait été recouvert d'une coque en fibres de verre. Deux dômes hémisphériques en titane étaient fixés à chaque extrémité du cylindre. Le dôme arrière était entouré d'une charpente de queue recouverte par la coque en fibres de verre. Le dôme avant était muni d'un hublot en acrylique. Le dôme avant pouvait être boulonné et déboulonné de l'extérieur du submersible afin de donner accès à la cabine; il s'agissait pour les occupants du seul moyen d'entrer dans le submersible et d'en sortir. Le dôme arrière était fixé de manière permanente au cylindre.

Le submersible pouvait descendre, remonter et maintenir une flottabilité neutre à l'aide d'un système qui intégrait des poids et une vessie de ballast à commande pneumatique. Le submersible n'était pas relié à un navire de soutien en surface et pouvait naviguer de manière autonome à l'aide de propulseurs. La cabine du *Titan* était conçue pour accueillir jusqu'à 5 personnes (figure 2).

Figure 2. Vue en plongée de la cabine du Titan (Source : OceanGate)



La cabine disposait d'un système de survie interne composé de bouteilles d'oxygène contenant suffisamment d'oxygène pour environ 96 heures pour 5 personnes, ainsi que d'un système d'épuration de CO₂ pour le même nombre de personnes. La cabine contenait également l'équipement de navigation et de surveillance destiné aux divers systèmes du *Titan*.

Le *Titan* disposait de 2 systèmes de communication et de suivi acoustiques. Le système principal avait été installé en 2023. Le 2^e système était un système plus ancien qui avait été utilisé au cours des années précédentes et qui était toujours installé sur le *Titan*. La fonction de communication du système principal permettait au *Titan* d'échanger des messages texte avec l'équipe de soutien en surface pendant une plongée, tandis que sa fonction de suivi transmettait automatiquement des renseignements sur la vitesse, le cap et la position (profondeur et coordonnées) du *Titan* à l'équipe de soutien en surface.

Une description plus détaillée du *Titan* figure à la section 1.10.

1.2.2 Système de mise à l'eau et de récupération du *Titan*

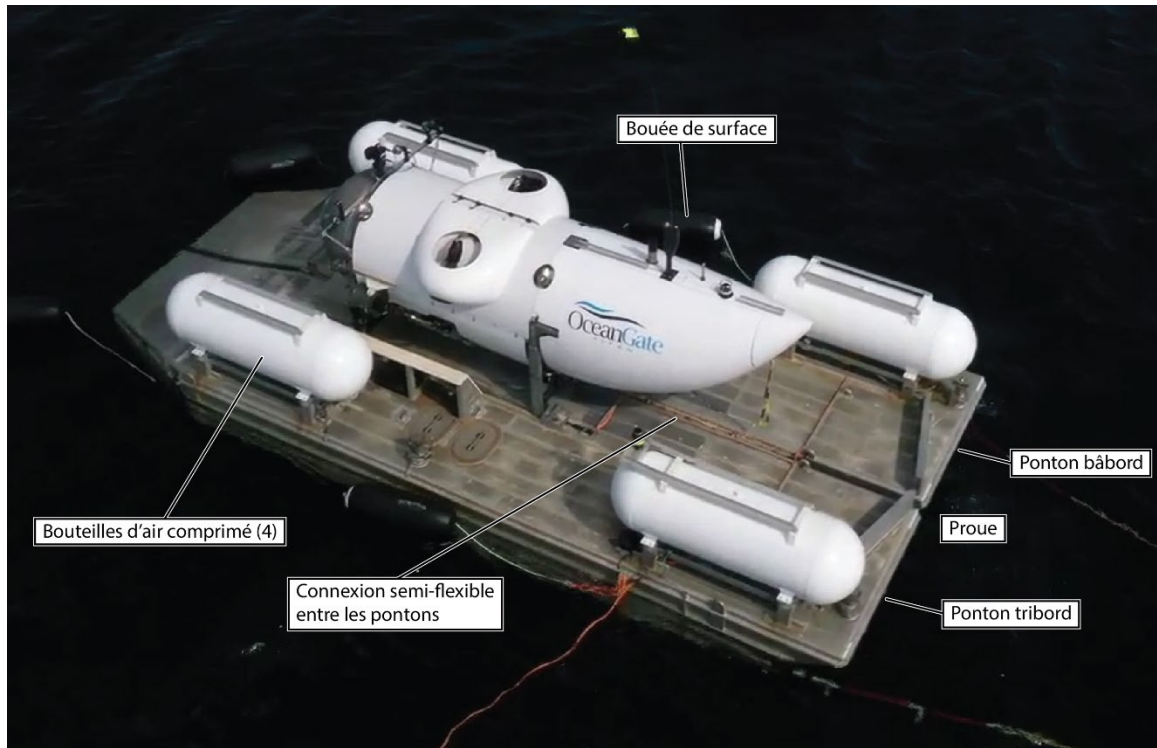
Le *Titan* disposait d'un système de mise à l'eau et de récupération (LARS) (figure 3) conçu sur mesure qui avait été construit en 2018 par un entrepreneur pour le compte d'OceanGate. Le LARS faisait partie intégrante de la mise à l'eau et de la récupération du submersible. En 2023, le LARS était également utilisé comme plate-forme de remorquage pour transporter le *Titan* vers les sites de plongée et en revenir.

Le LARS se composait de 2 pontons en aluminium soudé reliés par une connexion semi-flexible. Chaque ponton comportait 2 citernes de ballast intérieures. Pendant la mise à l'eau, les citernes pouvaient être remplies d'eau afin de submerger le LARS et de permettre au *Titan* de se détacher sous l'eau. Le LARS était équipé de 4 bouées qui permettaient de marquer son emplacement lorsqu'il était sous l'eau.

Le LARS était équipé de 4 bouteilles de propane qui avaient été réaffectées au stockage d'air comprimé. Lorsque le LARS était immergé, il était possible d'envoyer de l'air comprimé dans les citernes internes du LARS, déplaçant l'eau et provoquant la remontée du LARS à la surface.

Une description plus détaillée du LARS figure à la section 1.11.

Figure 3. Le système de mise à l'eau et de récupération du Titan en mai 2023 (Source : OceanGate, avec annotations du BST)



1.2.3 *Polar Prince*

Le *Polar Prince* (figure 4) est un navire de marchandises générales battant pavillon canadien. Il est normalement affrété à des fins diverses, y compris des voyages éducatifs, la réalisation de documentaires et le soutien de divers types d'expéditions, comme celles menées par OceanGate. Au moment de l'événement, le *Polar Prince* appartenait à Miawpukek Horizon Maritime Services Ltd. et était géré et exploité par Horizon Maritime Services Ltd.

OceanGate a affrété le *Polar Prince* pour la première fois en mars 2023. Au cours des années précédentes, OceanGate avait affrété un autre navire, le *Horizon Arctic*, lui aussi géré par Horizon Maritime Services Ltd.

Plus de détails sur le *Polar Prince* et le *Horizon Arctic* figurent à la section 1.20.

Figure 4. Le Polar Prince (Source : BST)



1.3 Plongée à l'étude

La plongée à l'étude du 18 juin était la première plongée du *Titan* vers le *Titanic*¹⁰ en 2023. Cette plongée avait pour but d'atteindre l'épave, à environ 3800 m de profondeur¹¹. Le *Titan* avait déjà effectué des plongées vers le *Titanic* en 2021 et 2022. Lors de ces précédentes plongées, la descente avait pris au *Titan* environ 2,5 heures. La durée prévue de l'ensemble de la plongée à l'étude était de 11 heures et 15 minutes au total. Cinq personnes devaient participer à la plongée : le pilote du *Titan*, qui était le président-directeur général (PDG) d'OceanGate; le copilote, qui était un expert en exploration des fonds sous-marins et du *Titanic*; et 3 passagers, que OceanGate qualifiait de spécialistes de mission¹².

¹⁰ Le *Titanic* se trouve à la limite du plateau continental étendu du Canada, au-delà de la limite des 200 milles marins de la zone économique exclusive du Canada.

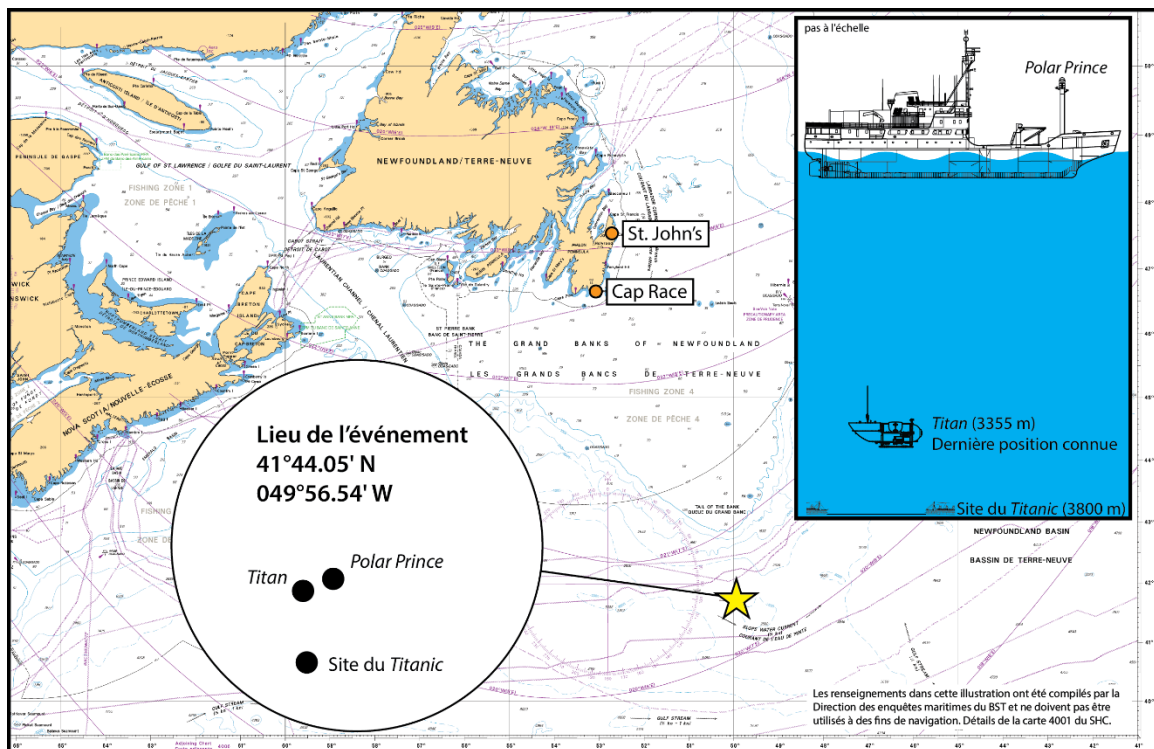
¹¹ La profondeur du fond océanique autour du *Titanic* varie légèrement. Une mesure de 3800 m est généralement utilisée dans le rapport pour exprimer la profondeur approximative du fond océanique là où se trouve la proue du *Titanic*. OceanGate utilisait une mesure de 3840 m pour enregistrer les plongées qui atteignaient le fond marin à l'emplacement du *Titanic*. Dans certains cas, le rapport utilise la mesure de 3840 m d'OceanGate.

¹² OceanGate employait le terme « mission » pour désigner la série de plongées qui avaient lieu entre le départ et le retour au port, et le terme « mission specialist » [spécialiste de mission] pour désigner les passagers qui participaient ou attendaient de participer à une plongée. Ces passagers avaient la possibilité de participer à certaines tâches liées aux plongées, comme le nettoyage ou l'organisation des zones d'entreposage d'OceanGate ou la récupération d'outils et d'équipement divers sous la supervision d'employés d'OceanGate. Le terme « passager du *Titan* » est employé dans le présent rapport pour désigner ces passagers. Reportez-vous à la section 1.20.1.1 pour obtenir plus de détails.

1.3.1 Voyage vers le site de plongée et préparatifs de plongée

Le 16 juin à 9 h¹³, le *Polar Prince* a quitté St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) pour se rendre sur le site de l'épave du *Titanic* (figure 5), en remorquant le *Titan* sur le LARS. Au total, 41 personnes se trouvaient à bord du *Polar Prince* : 24 personnes associées à OceanGate et 17 membres d'équipage du *Polar Prince*. La distance entre St. John's et le site de l'épave était d'environ 425 milles marins, et le *Polar Prince*, remorquant le *Titan* sur le LARS, est arrivé à 4 h le 18 juin. À l'arrivée, le temps sur le site de l'épave était nuageux avec un peu de brouillard. Le vent soufflait du sud-est à une vitesse de 11 à 16 nœuds, et l'état de la mer était de 0,5 à 1,5 m.

Figure 5. Carte montrant le lieu de l'événement, avec des images en médaillon montrant les emplacements du *Titanic*, du *Titan* et du *Polar Prince* (Source de l'image principale : Service hydrographique du Canada, carte 4001, avec annotations du BST. Source des images en médaillon : BST)



À 5 h 34, OceanGate a tenu une réunion d'information afin de donner un aperçu du plan de la plongée à venir. À 5 h 45, les 5 personnes embarquant sur le *Titan*, ainsi que leurs effets personnels, ont été pesés afin qu'OceanGate puisse calculer le poids nécessaire à la descente du submersible. De 6 h à 8 h, OceanGate a utilisé des bateaux pneumatiques à coque rigide (RIB) pour transférer le pilote du *Titan*, le copilote et d'autres membres du personnel d'OceanGate vers le LARS, qui restait relié au *Polar Prince* par une aussière de remorquage. Pour la descente, le personnel d'OceanGate a équipé le *Titan* de 4 lingots de plomb pesant au total 85,5 kg, ainsi que de 2 lests largables pesant au total 27,3 kg. Il a aussi commencé les vérifications et les préparatifs pour la plongée.

¹³ Les heures sont exprimées en heure avancée de Terre-Neuve (temps universel coordonné moins 2,5 heures).

Vers 8 h, les 3 passagers ont été transférés du *Polar Prince* au LARS. Les 5 personnes étaient à bord du *Titan* à 8 h 20. À 8 h 24, le personnel d'OceanGate présent sur le LARS a fermé le dôme avant du *Titan*, l'a boulonné et a utilisé une clé dynamométrique pour serrer les boulons. À ce stade, l'équipage et les passagers du *Titan* étaient enfermés dans la cabine, et le submersible utilisait son système de survie interne. De l'intérieur du *Titan*, le pilote et le copilote du *Titan* ont continué à effectuer des vérifications et des préparatifs pour la plongée, et le personnel d'OceanGate a fait de même à partir du LARS. À 8 h 59, tout le personnel d'OceanGate a fait une pause prévue de 5 minutes des opérations afin d'évaluer l'état d'avancement et la sécurité des opérations jusqu'à présent.

À 9 h 04, des plongeurs d'OceanGate ont commencé à remplir d'eau les citernes de ballast du LARS afin de le submerger. À 9 h 05, le LARS et le *Titan* étaient submergés. À 9 h 14, des plongeurs ont détaché le *Titan* du LARS, et le *Titan* a commencé sa descente. À 9 h 16, le LARS est remonté à la surface.

Parmi les 19 personnes associées à OceanGate restées à bord du *Polar Prince*, certaines faisaient partie d'une équipe de soutien en surface chargée de communiquer avec le *Titan*, de le soutenir et de le suivre pendant la plongée. D'autres attendaient de faire une plongée ultérieure en tant que passagers du *Titan* ou étaient des membres de la famille de ces passagers.

1.3.2 Descente du *Titan*

Pendant la descente du *Titan*, son équipage et l'équipe de soutien en surface d'OceanGate ont échangé une série de messages texte à l'aide du système principal de communication et de suivi acoustiques.

À 9 h 19, 5 minutes après le début de la descente du *Titan*, l'ordinateur de l'équipe de soutien en surface a commencé à suivre la position du *Titan* à l'aide du système principal de communication et de suivi acoustiques¹⁴. L'équipe de soutien en surface a également reçu le 1^{er} message texte transmis par l'équipage du *Titan*¹⁵. L'équipe de soutien en surface a répondu par un message indiquant qu'elle suivait le submersible. L'équipage du *Titan* a ensuite transmis un message indiquant qu'il franchissait 235 m en descente. À 9 h 23,

¹⁴ Ce système suivait le *Titan* et transmettait automatiquement sa position toutes les 7,896 secondes en moyenne à l'ordinateur utilisé par l'équipe de soutien en surface, sauf pendant les 200 derniers mètres de la plongée, où l'intervalle de transmission était en moyenne de 6 secondes.

¹⁵ Toutes les transmissions de données (tant les messages que les renseignements de suivi) sont fondées sur l'heure à laquelle elles ont été envoyées ou reçues par l'ordinateur de l'équipe de soutien en surface. Il y avait un délai d'environ 2,2 secondes entre le moment où les données étaient transmises par le *Titan* et celui où elles étaient reçues par l'ordinateur de l'équipe de soutien en surface. Ce délai s'expliquait par le fait que les données se déplaçaient à la vitesse du son dans l'eau.

Certains des messages transmis étaient incomplets ou comportaient des fautes de frappe qui rendaient leur signification peu claire. Pour établir la chronologie des faits qui suit, le BST a donc dû interpréter les messages dans une certaine mesure en fonction du contexte dans lequel ils avaient été envoyés. Une transcription mot pour mot des messages transmis pendant la descente du submersible figure à l'annexe A.

l'équipe de soutien en surface a reçu de l'équipage du *Titan* un message indiquant que le 2^e système de communication et de suivi acoustiques ne fonctionnait pas¹⁶.

À 9 h 28, l'équipe de soutien en surface a envoyé au submersible un message indiquant qu'elle pouvait voir le *Titan* descendre à une vitesse de 33 m par minute sur son écran, et l'équipage du *Titan* a accusé réception. À 9 h 31, l'équipe de soutien en surface a envoyé un message indiquant qu'elle pouvait voir le *Titan* à 680 m sur son écran. L'équipage du *Titan* a confirmé et indiqué qu'il avait de la difficulté à saisir le décalage de position¹⁷. Un message ultérieur de l'équipage du *Titan* était incomplet, mais semblait demander à l'équipe de soutien en surface de saisir le décalage de position.

Entre 9 h 35 et 9 h 53, l'équipe de soutien en surface et l'équipage du *Titan* ont communiqué entre elles au sujet de la charge utile de plongée¹⁸ et de la profondeur du *Titan* pendant sa descente. À 9 h 53, l'équipe de soutien en surface a demandé à l'équipage du *Titan* s'il pouvait voir le *Polar Prince* sur son écran. L'équipe de soutien en surface a continué à envoyer ce message jusqu'à 10 h 10 sans recevoir de réponse.

À 10 h 10, l'équipe de soutien en surface a déclaré qu'elle avait besoin de meilleures communications de la part de l'équipage du *Titan*. À 10 h 11, l'équipe de soutien en surface a reçu de l'équipage du *Titan* une réponse confirmant le message et indiquant que le système de communication avait cessé de fonctionner temporairement. À 10 h 12, l'équipe de soutien en surface a de nouveau demandé à l'équipage du *Titan* s'il pouvait voir le *Polar Prince* sur son écran. À 10 h 14, l'équipage du *Titan* a répondu par l'affirmative et a indiqué qu'il n'y avait plus de problème. L'équipe de soutien en surface a accusé réception de ce message.

À 10 h 23, il y a eu un échange entre l'équipage du *Titan* et l'équipe de soutien en surface à propos de la position du *Titan* par rapport à la proue du *Polar Prince*. À 10 h 27, l'équipe de soutien en surface a envoyé un message indiquant que la puissance du signal de son système de communication et de suivi était forte et demandant si l'équipage du *Titan* pouvait voir le *Polar Prince* sur son écran.

À 10 h 29, l'équipage du *Titan* a envoyé un message demandant si le *Polar Prince* se trouvait au-dessus de la proue du *Titanic*. L'équipage du *Titan* a également indiqué la puissance du signal de son système. À 10 h 30, l'équipe de soutien en surface a déclaré que le *Polar Prince* ne se trouvait pas au-dessus de la proue, mais qu'il s'y dirigeait. L'équipe de soutien en surface a ensuite indiqué à l'équipage du *Titan* que la position du *Titan* sur le système de suivi variait considérablement à chaque transmission.

¹⁶ On ignore pourquoi ce système ne fonctionnait pas.

¹⁷ Le *Titan* établissait sa position dans l'eau à des fins de navigation par rapport à la position du *Polar Prince*. Le décalage de position permettait de calibrer correctement la position du *Titan* par rapport au GPS du navire.

¹⁸ La charge utile de plongée désigne le poids des personnes et de leurs effets personnels à l'intérieur du *Titan*.

À 10 h 47 min 26,903 s, alors que le submersible se trouvait à 3350 m, un message de l'équipage du *Titan* est apparu sur l'ordinateur de l'équipe de soutien en surface, indiquant qu'il avait largué les deux lests largables¹⁹. À ce moment-là, le submersible se trouvait à environ 500 m du fond marin. Selon les procédures d'OceanGate, le largage des lests largables pendant une descente normale devait être effectué lorsque le submersible se trouvait plus près du fond marin²⁰.

À 10 h 47 min 32,066 s, l'ordinateur de l'équipe de soutien en surface a reçu la dernière mise à jour automatique de la position du système de suivi, indiquant que le *Titan* se trouvait à une profondeur de 3355 m (figure 5). À 10 h 47 min 34,522 s, un bruit fort, pouvant être qualifié de bruit sourd ou de détonation, a résonné à travers la coque du *Polar Prince*. Le son a été enregistré par une caméra vidéo à bord du *Polar Prince*. Compte tenu du délai de transmission des données, on a calculé que le son avait été généré à 10 h 47 min 32,3 s, soit environ 2,2 secondes avant d'être enregistré par la caméra vidéo du *Polar Prince*. Cela concorde avec le temps qu'il aurait fallu à l'énergie acoustique pour franchir la distance à partir du lieu où le BST a calculé que le *Titan* avait subi sa défaillance catastrophique.

Un enregistreur acoustique sous-marin américain amarré à environ 1448 km du *Titan* a capté un bruit fort dans l'océan environ 16 minutes après que le bruit eut été enregistré à bord du *Polar Prince*, ce qui concorde avec le temps qu'il aurait fallu à l'énergie acoustique pour franchir la distance à partir du lieu où le BST a calculé que le *Titan* avait subi sa défaillance catastrophique.

1.3.3 Événements après la perte de contact avec le *Titan*

L'équipe de soutien en surface a continué à envoyer des messages à l'aide du système de communications acoustiques, déclarant qu'elle avait perdu la trace du submersible. Elle a continué à tenter de rétablir la communication, mais n'a reçu aucune réponse. Elle a également tenté de communiquer avec le *Titan* à l'aide du 2^e système de communication et de suivi acoustiques, même si celui-ci ne fonctionnait pas auparavant, sans toutefois connaître plus de succès.

¹⁹ Le BST a examiné les images prises par caméra vidéo à bord du *Polar Prince*, qui montraient notamment l'ordinateur utilisé par l'équipe d'accompagnement en surface pour communiquer avec le *Titan*. Les images montraient que le message était apparu à l'écran de l'ordinateur à ce moment-là. L'équipe d'accompagnement en surface a pris connaissance du message peu après son affichage à l'écran de l'ordinateur.

²⁰ Les procédures d'OceanGate indiquaient que le pilote devait utiliser les propulseurs verticaux lorsque le *Titan* se trouvait à une distance de 50 à 75 m du fond marin afin d'estimer le poids à larguer pour atteindre une flottabilité neutre. Les lests largables devaient ensuite être largués un à la fois jusqu'à ce que le *Titan* atteigne une flottabilité neutre juste au-dessus du fond marin. (OceanGate, « Titan Crewed Submersible Operations Manual », Launch Tow and Recovery Procedures, p. 32.) Dans la pratique, certains pilotes du *Titan* commençaient à utiliser la poussée verticale pour ralentir la descente du *Titan* lorsqu'ils se trouvaient à environ 200 m du fond marin.

OceanGate avait mis en place une procédure exigeant que le submersible refasse surface en cas de perte de communications de plus de 1 heure entre le *Titan* et l'équipe de soutien en surface, OceanGate avait également établi un protocole à suivre par l'équipe de soutien en surface, qui prévoyait des vérifications des communications pendant qu'elle attendait que le submersible refasse surface.

D'après la dernière position reçue du *Titan* pour cette plongée, le temps de remontée estimé était d'environ 3 heures et 13 minutes (à 15 h). Une fois que le temps de remontée estimé était écoulé, le protocole exigeait que le navire d'accompagnement effectue une recherche en surface pendant 3 heures afin de localiser le submersible. Si le submersible n'était pas localisé dans les 3 heures (d'ici 18 h), le protocole exigeait que le personnel d'OceanGate demande une assistance extérieure.

Conformément au protocole, l'équipe de soutien en surface d'OceanGate a commencé à attendre de recevoir une communication du *Titan*. Pendant ce temps, elle a envoyé des messages à 15 minutes, 30 minutes et 45 minutes, comme l'exigeait le protocole. Elle a également envoyé plusieurs autres messages pour tenter de rétablir la communication. Au bout de 1 heure, la communication n'avait toujours pas été rétablie. L'équipe de soutien en surface a commencé à attendre que le submersible refasse surface pendant 3 heures et 13 minutes, comme l'exigeait le protocole. Elle a également continué à envoyer des messages en cherchant à rétablir la communication. À 15 h, n'ayant reçu aucune communication du *Titan*, le *Polar Prince* a commencé les 3 h de recherches en surface.

À 16 h 34, alors que les recherches en surface se poursuivaient, le capitaine du *Polar Prince* a appelé l'équipe d'urgence à terre de Horizon Maritime Services Ltd.²¹ et l'a avisée de la situation. À 18 h, les recherches en surface n'avaient pas révélé de signe du submersible. L'équipe de soutien en surface d'OceanGate a continué à tenter de rétablir la communication avec le submersible tout en appelant les personnes-ressources d'OceanGate et l'équipe d'urgence à terre de Horizon Maritime Services Ltd.

À 18 h 30, l'équipe d'urgence à terre de Horizon Maritime Services Ltd. a été mobilisée et son plan d'intervention d'urgence a été mis en œuvre²². À 18 h 55, le capitaine du *Polar Prince* a appelé le Centre conjoint de coordination de sauvetage (CCCOS) de Halifax pour signaler la situation. Le CCCOS a transféré l'appel au Centre de coordination de sauvetage (CCOS) de Boston (Massachusetts), aux États-Unis, car la dernière position connue du *Titan*

²¹ L'équipe d'urgence à terre de Horizon Maritime Services Ltd. était composée de personnes qui remplissaient les rôles suivants : chef de l'équipe d'intervention d'urgence, soutien en matière de sécurité et de conformité, liaison avec les clients, soutien technique, gestion des plus proches parents et réponses aux parents, soutien logistique, réception du bureau, sécurité interne, relations avec les médias et secrétaire.

²² Le plan d'intervention d'urgence fournissait des instructions pour gérer les situations d'urgence sur les biens de Horizon Maritime Services Ltd. et décrivait les ressources internes et externes nécessaires pour gérer des situations d'urgence de diverses ampleurs. Le plan d'intervention d'urgence indiquait que les exigences particulières des clients en matière d'intervention d'urgence devaient être prises en compte dans un document-relais et dans le plan d'intervention d'urgence conjoint correspondant. Aucun document de liaison n'avait été établi avec OceanGate (voir la section 1.20.1.4 pour plus de détails).

se trouvait dans la zone d'intervention de recherche et sauvetage (SAR) de ce CCOS. Pendant ce temps, le personnel de soutien d'OceanGate avait appelé diverses organisations disposant de véhicules téléguidés (VTG) afin d'en obtenir un sur place pour effectuer des recherches sous-marines.

Au cours des 82 heures et 45 minutes qui ont suivi, une opération SAR internationale s'est déroulée²³. L'International Submarine Escape and Rescue Liaison Office²⁴ a demandé à tous les navires équipés de VTG qui se trouvaient à proximité de se rendre sur le lieu de l'événement. Le navire poseur de canalisations *Deep Energy*, équipé d'un VTG, a répondu à l'appel et s'est mis en route vers le lieu de l'événement, avec une heure d'arrivée prévue de 6 h 30 le 20 juin, soit 46 heures et 6 minutes après le début de la plongée du *Titan*. Entre-temps, OceanGate a communiqué avec une compagnie afin de mobiliser un VTG à partir du Royaume-Uni, tandis que la U.S. Navy a commencé à mobiliser un autre VTG à partir de Buffalo (New York), aux États-Unis.

Le *Deep Energy* est arrivé sur les lieux à 6 h 06 le 20 juin et a tenté d'utiliser son VTG pour atteindre le fond marin, mais le VTG était incapable de fonctionner à ces profondeurs et a été endommagé lors de la tentative. Le 21 juin à 4 h 50, le VTG mobilisé par la U.S. Navy a été chargé à bord du *Horizon Arctic* à St. John's. Ce navire est arrivé sur les lieux à 5 h 40 le 22 juin, et le VTG a été déployé. Il s'était alors écoulé 93 heures et 16 minutes depuis que le *Titan* avait commencé sa plongée.

Vers 10 h 40, le VTG a découvert le dôme avant et la partie arrière du *Titan* sur le fond marin. Par la suite, le dôme arrière a été découvert sur le fond marin. La U.S. Coast Guard a indiqué que la zone de débris constituait une preuve concluante de la perte catastrophique du submersible. L'opération de recherche et sauvetage a donc été décommandée. Les efforts pour chercher des débris ont été poursuivis.

Au total, l'intervention SAR a mobilisé 11 navires et 4 aéronefs, qui ont fouillé environ 12 000 milles marins carrés d'océan.

1.4 Compétence relative à l'enquête sur l'accident

Le *Code de normes internationales et pratiques recommandées applicables à une enquête de sécurité sur un accident de mer ou un incident de mer* (Code pour les enquêtes sur les accidents), qui a été élaboré par l'Organisation maritime internationale (OMI), énonce les responsabilités des administrations des États du pavillon dans la conduite d'enquêtes sur des accidents maritimes²⁵. Le Canada s'acquitte de ses obligations en vertu du Code pour les

²³ Au Canada, les ressources SAR ne sont pas équipées pour les sauvetages sous-marins.

²⁴ L'International Submarine Escape and Rescue Liaison Office est une organisation militaire qui facilite les interventions internationales en cas de détresse de sous-marins dans le but de sauver des vies en mer.

²⁵ Organisation maritime internationale, *Code de normes internationales et pratiques recommandées applicables à une enquête de sécurité sur un accident de mer ou un incident de mer* (Code pour les enquêtes sur les accidents), 2008.

enquêtes sur les accidents par le moyen de la *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* (Loi sur le BCEATST).

(2) La présente loi s'applique à tout accident maritime survenu en territoire canadien. Elle s'applique de plus à tout accident maritime survenu en tout autre lieu — y compris la zone visée au paragraphe (3) — lorsque soit une autorité compétente a présenté une demande d'enquête au Canada, soit est en cause un navire immatriculé ou muni d'un permis au Canada, soit un témoin de l'accident, habile à témoigner, ou une personne en possession de renseignements concernant un facteur possible de celui-ci arrive ou est trouvé quelque part au Canada²⁶.

1.4.1 Déclaration des événements maritimes

En tant que navire canadien, le *Polar Prince* était tenu d'informer dès que possible les autorités maritimes des accidents maritimes, au sens de la *Loi sur le BCEATST*, quel que soit l'endroit où il était en activité. Au Canada, un submersible est considéré comme un navire en vertu de la *Loi sur le BCEATST* et est soumis aux mêmes exigences de signalement que les autres types de navires.

Le BST a été avisé de la disparition du *Titan* par l'équipe d'urgence à terre de Horizon Maritime Services Ltd. à 3 h 39 le 19 juin.

1.5 Pertes de vie

Les 5 personnes dans le submersible ont été mortellement blessées.

1.6 Avaries

La coque épaisse du *Titan* a subi une défaillance catastrophique. Après que le VTG mobilisé par la U.S. Navy eut localisé les débris, la U.S. Coast Guard, aidée de la U.S. Navy, a pu récupérer une partie des débris. La U.S. Coast Guard est retournée sur les lieux en septembre 2023 et a récupéré d'autres débris. Les débris n'ont pas tous été récupérés.

Les inspections des débris à l'aide du VTG ont montré que les dômes en titane étaient intacts, que le hublot avait été projeté vers l'extérieur et que le cylindre en fibres de carbone s'était séparé en de nombreux morceaux de tailles variables.

L'observation des débris récupérés a montré que la bague de retenue du hublot était déformée d'une manière indiquant que le hublot a été projeté vers l'extérieur. Le hublot n'a pas été retrouvé.

1.7 Conditions environnementales

À sa dernière profondeur connue de 3355 m, le *Titan* était soumis à une pression hydrostatique estimée à 33,587 MPa. C'est l'équivalent d'une pression de 342,49 kg par cm².

²⁶ Gouvernement du Canada, *Loi sur le Bureau canadien d'enquête sur les accidents de transport et de la sécurité des transports* (modifiée le 2 septembre 2022), article 2.

En surface, au moment de l'événement, la température de l'air était de 20,3 °C, le vent soufflait du sud-ouest à 16 nœuds, et il y avait de la houle d'une hauteur de 1,2 m provenant du sud-est. La pression barométrique était de 1013,3, et la visibilité était dégagée sur 4 milles marins.

1.8 Immatriculation et certification des navires

La Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM) exige que chaque navire soit immatriculé dans un seul État et batte pavillon de cet État²⁷. Cela permet d'établir de quelle compétence le navire relève lorsqu'il se trouve en haute mer. Chaque État a le droit de fixer ses propres conditions pour l'octroi de la nationalité, l'immatriculation et l'utilisation de son pavillon. Bien qu'il soit généralement entendu que le terme « navire » a une application large, il n'est pas défini plus précisément dans la CNUDM.

La législation canadienne utilise principalement le terme « bâtiment » plutôt que « navire ». Au Canada, la définition d'un bâtiment est généralement uniforme dans toute la législation maritime fédérale. Aux termes de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, la définition d'un bâtiment est la suivante :

Navire, bateau ou embarcation conçu, utilisé ou utilisable — exclusivement ou non — pour la navigation sur l'eau, au-dessous ou légèrement au-dessus de celle-ci, indépendamment de son mode de propulsion ou de l'absence de propulsion ou du fait qu'il est encore en construction. Sont exclus de la présente définition les objets flottants des catégories prévues par règlement²⁸.

La *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* exige que les bâtiments canadiens, où qu'ils soient, et les bâtiments situés dans les eaux canadiennes ou dans la zone économique exclusive (ZEE) du Canada soient immatriculés au Canada si le bâtiment « a) n'est pas une embarcation de plaisance; b) appartient uniquement à des personnes qualifiées; c) n'est pas immatriculé, enregistré ou autrement inscrit dans un État étranger »^{29,30}. Au Canada, la responsabilité d'immatriculer les bâtiments incombe aux propriétaires des bâtiments.

²⁷ Nations Unies, *Convention des Nations Unies sur le droit de la mer*, partie VII : Haute mer, article 92 : Condition juridique des navires, paragraphe 1, à l'adresse https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_f.pdf (dernière consultation le 28 avril 2026).

²⁸ Gouvernement du Canada, *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* (modifiée le 22 juin 2023), article 2.

²⁹ Ibid., article 46. Certains bâtiments sont exemptés, tels que ceux dont la puissance est inférieure à 7,5 kW, les bâtiments à voile d'une longueur maximale de 8,5 m, les embarcations à propulsion humaine, etc.

³⁰ La *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* définit une embarcation de plaisance comme « [t]out bâtiment utilisé pour le plaisir et qui ne transporte pas de passagers ainsi que les bâtiments des catégories prévues par règlement. » Elle définit également une personne qualifiée comme « a) [s]oit un citoyen canadien ou un résident permanent au sens du paragraphe 2(1) de la *Loi sur l'immigration et la protection des réfugiés*; b) soit une personne morale constituée en société en vertu des lois du Canada ou d'une province. » (Ibid., article 2.)

La CNUDM exige que les États du pavillon tiennent des registres des navires et exerce un contrôle sur les questions administratives, techniques et sociales touchant ces navires³¹.

Un propriétaire de navire a le droit de choisir sous quel pavillon immatriculer un navire.

1.8.1 Représentant autorisé

La *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* définit ce qu'est un représentant autorisé à l'égard d'un bâtiment canadien et d'un bâtiment étranger. Dans le cas d'un bâtiment canadien, le représentant autorisé est une « personne responsable [...] chargée [...] d'agir à l'égard de toute question relative au bâtiment dont aucune autre personne n'est responsable au titre de [la présente Loi] »³². Dans le cas d'un bâtiment étranger, le représentant autorisé est le capitaine³³.

1.8.2 *Titan*

Le *Titan* et le LARS n'étaient immatriculés dans aucun pays, ce qui signifie qu'aucun des deux n'avait de représentant autorisé désigné. Ils n'étaient pas non plus certifiés par une autorité maritime ou une société de classification³⁴.

OceanGate avait amorcé un processus d'immatriculation de la 1^{re} construction du *Titan* aux Bahamas le 1^{er} août 2019. La Bahamas Maritime Authority a établi des règlements exigeant que les submersibles transportant des personnes soient immatriculés, classés et conformes à la réglementation nationale. Ces exigences sont résumées dans un avis aux navigateurs qui est accessible en ligne³⁵. La Bahamas Maritime Authority a informé OceanGate de ces exigences, et OceanGate n'a plus cherché à obtenir une immatriculation aux Bahamas.

1.8.3 *Polar Prince*

Le *Polar Prince* était immatriculé au Canada en tant que navire de marchandises générales et détenait tous les certificats nécessaires pour effectuer des voyages intérieurs et illimités et transporter jusqu'à 12 passagers. Le *Polar Prince* avait un système de gestion de la sécurité (SGS) conforme au Code international de gestion de la sécurité (Code ISM). Le *Polar*

³¹ Nations Unies, *Convention des Nations Unies sur le droit de la mer*, partie VII : Haute mer, article 94 : Obligations de l'État du pavillon, paragraphe 1, à l'adresse https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_f.pdf (dernière consultation le 28 avril 2026).

³² Gouvernement du Canada, *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* (modifiée le 22 juin 2023), paragraphe 14(1).

³³ Ibid., article 2.

³⁴ Voir la section 1.26.3 pour de plus amples renseignements sur les sociétés de classification.

³⁵ The Bahamas Maritime Authority, « Marine Notice 74 – Manned Submersible Craft » (17 mai 2021), à l'adresse <https://www.bahamasmaritime.com/wp-content/uploads/2021/05/MN074-Manned-Submersible-Craft.pdf> (dernière consultation le 29 avril 2026).

Prince détenait un certificat de gestion de la sécurité délivré par DNV, tandis que Horizon Maritime Services Ltd. détenait un document de conformité délivré par DNV.

1.9 Brevets, certificats et expérience du personnel

Les gens de mer qui travaillent à bord de bâtiments commerciaux effectuant des voyages internationaux sont assujettis à la Convention internationale sur les normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (Convention STCW) dans presque tous les pays. La Convention STCW établit les exigences de base en matière de formation, de certification et de veille pour les gens de mer; elle ne fournit cependant pas de lignes directrices particulières concernant la formation et la certification des personnes qui travaillent à bord de submersibles commerciaux.

L'OMI a publié une circulaire fournissant aux exploitants de submersibles des lignes directrices sur la formation et la certification. La section 1.26.1 fournit plus de détails sur la circulaire de l'OMI.

Certains pays, dont le Canada, ont élaboré des exigences en matière de formation et de certification pour les submersibles transportant des passagers. Au Canada, les certificats exigés pour exploiter un submersible à passagers sont énoncés dans le *Règlement sur le personnel maritime* (RPM). Le RPM s'applique aux bâtiments canadiens et aux bâtiments étrangers dans les eaux canadiennes.

Tout candidat à un visa d'engin submersible transportant des passagers en vertu du RPM doit détenir ce qui suit :

- Un brevet de capitaine, d'officier de pont ou d'officier mécanicien valable pour le bâtiment et l'itinéraire
- Un certificat de plongeur à des fins commerciales reconnu par la province
- Un certificat de secourisme élémentaire en mer
- Une attestation de formation donnée par le constructeur du bâtiment à l'égard duquel le visa est demandé ou par le mandataire du représentant autorisé du bâtiment si ce mandataire a été formé par le constructeur³⁶

Depuis l'introduction du visa d'engin submersible transportant des passagers au Canada, le 13 juillet 2005, aucun n'a été délivré.

Le RPM précise également les exigences applicables au personnel technique des submersibles transportant des passagers qui sont équipés de moteurs à combustion interne ou de systèmes de propulsion électrique d'une puissance d'au moins 75 kW et d'au plus 750 kW³⁷. Le Règlement prévoit que dans le cas de submersibles transportant des passagers

³⁶ Transports Canada, *Règlement sur le personnel maritime* (modifié le 20 décembre 2023), paragraphe 176(1).

³⁷ Ibid., paragraphe 263(2).

qui ne sont pas tenus d'avoir à bord un mécanicien, « le représentant autorisé doit confier l'entretien des machines de l'engin à un technicien accrédité à cette fin par le fabricant »³⁸.

Le RPM ne contient aucune exigence de certification en ce qui concerne le personnel exploitant des submersibles ne transportant pas de passagers.

1.9.1 *Titan*

Le pilote du submersible était le PDG d'OceanGate. Il était le PDG d'OceanGate depuis sa fondation en 2009. Il détenait un baccalauréat ès sciences en génie aérospatial et une maîtrise en administration des affaires. Il avait commencé sa carrière dans l'aviation, d'abord comme premier officier sur les avions DC-8, puis comme ingénieur d'essai en vol. Avant de fonder OceanGate, il avait siégé au conseil d'administration d'une compagnie de développement de sonars et été président d'une compagnie fabriquant des appareils téléguidés. Après avoir fondé OceanGate, il s'était intéressé à tous les aspects de la compagnie, dont les ressources humaines, les finances, les opérations ainsi que la conception et la construction de submersibles. Il avait également supervisé les décisions relatives aux opérations, au financement et à la conception technique des submersibles de la compagnie. Il avait encadré la conception du *Titan* et l'avait piloté lors de nombreuses plongées précédentes, y compris les plongées vers le *Titanic* réalisées en 2021 et 2022. Il était titulaire d'un titre de compétence de marin marchand (*Master of 25 GRT [Gross Register Tons] Upon Inland Waters*) délivré par la U.S. Coast Guard, qu'il avait obtenu le 16 mars 2020.

Le copilote était un expert de l'exploration des fonds sous-marins et du *Titanic*. Avant l'événement à l'étude, il avait effectué 37 plongées vers le *Titanic*, y compris des plongées précédentes à bord du *Titan*. Il avait servi pendant 22 ans dans la Marine française en tant que pilote de sous-marin, plongeur démineur et plongeur en eaux profondes. Il avait ensuite travaillé pour un institut français de recherche maritime, où il avait été responsable de superviser les engins d'exploration des fonds sous-marins lors des premières expéditions vers le *Titanic*. En 2023, il occupait le poste de directeur de la recherche sous-marine pour RMS Titanic, Inc., une compagnie qui récupère des artefacts du *Titanic*. Il n'agissait pas en cette qualité lors de la plongée à l'étude.

Plusieurs autres personnes associées à OceanGate sont restées à bord du *Polar Prince* pendant la plongée à l'étude. Il s'agissait d'employés d'OceanGate, de passagers du *Titan* et de membres de la famille des passagers. Certains passagers du *Titan* avaient déjà pris part à des voyages avec OceanGate et participaient à cette expédition à titre de bénévoles. Les employés d'OceanGate occupaient divers rôles et changeaient parfois de rôle. Parmi ces rôles, on trouvait ceux de conducteur de RIB, de plongeur, de pilote de submersible, de copilote de submersible, d'opérateur de LARS et de personnel de soutien.

³⁸ Ibid., paragraphe 263(4).

Au sein de son équipe de soutien en surface, OceanGate disposait d'un groupe central chargé de superviser les plongées, de communiquer avec le *Titan* et de le suivre pendant les plongées. Ce groupe central était composé d'un directeur de mission, d'une personne de soutien au directeur de mission, d'une personne chargée des communications et du suivi ainsi que de 2 personnes de soutien aux communications et au suivi. Les rôles associés à ces postes étaient généralement répartis à tour de rôle entre les employés d'expérience d'OceanGate.

1.9.2 **Polar Prince**

Le capitaine du *Polar Prince* détenait un brevet de capitaine depuis 2014. Il avait commencé à agir comme capitaine sur le *Polar Prince* le 12 avril 2023. Le capitaine du *Polar Prince* ne possédait aucune expérience antérieure des opérations de submersible.

L'équipage de Horizon Maritime Services Ltd. à bord du *Polar Prince* détenait les certificats canadiens appropriés pour les voyages et les opérations du navire.

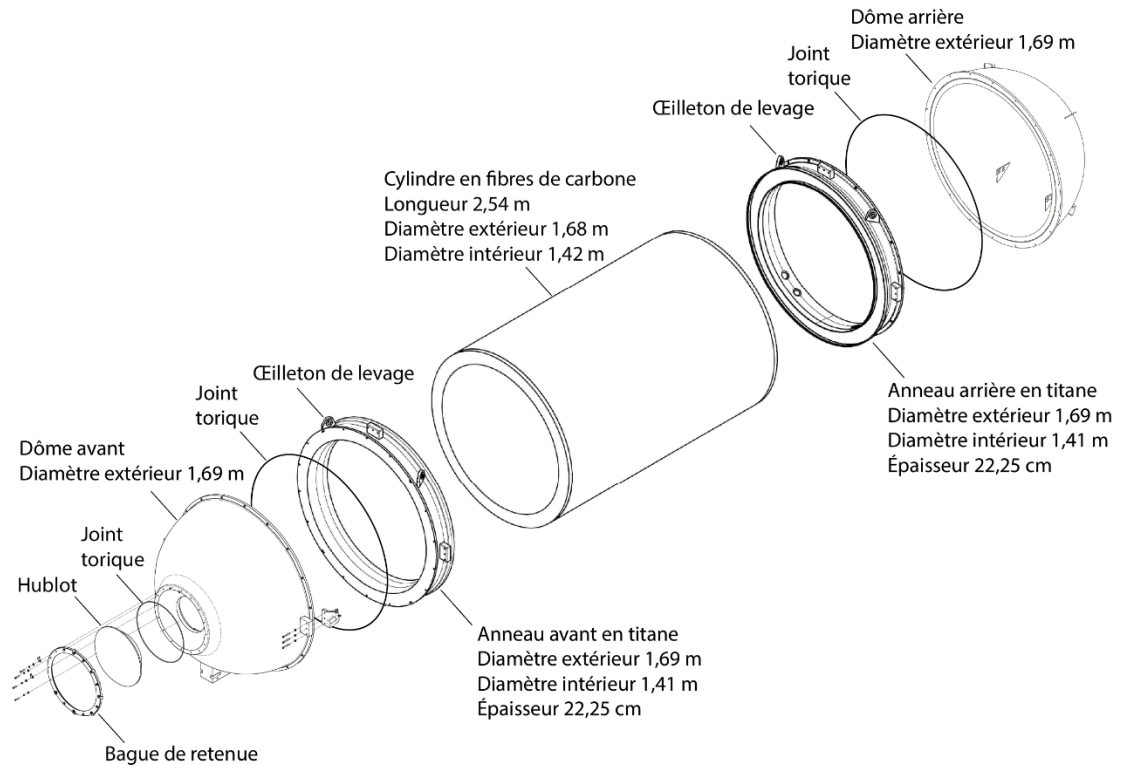
1.10 **Description détaillée du *Titan* et de ses systèmes d'exploitation**

1.10.1 **Coque épaisse**

La coque épaisse du *Titan* était constituée d'un cylindre en fibres de carbone fermé par un dôme en titane à chaque extrémité. Le cylindre était fabriqué à partir d'un matériau composite en fibres de carbone et en résine époxy. Il avait une épaisseur de 12,7 cm et une longueur de 2,54 m. Son diamètre extérieur était de 1,68 m. Le cylindre était recouvert d'un revêtement en élastomère de polyurée pulvérisé qui était disponible sur le marché. Plus de détails sur la conception, la construction et les essais de la coque épaisse se trouvent à la section 1.12.

Les composants de la coque épaisse du *Titan* sont illustrés à la figure 6 et sont décrits plus en détail ci-dessous.

Figure 6. Vue détaillée de la coque épaisse du Titan (Source : BST, d'après les plans d'OceanGate)



À chaque extrémité du cylindre en fibres de carbone se trouvaient des anneaux fabriqués en titane de grade 3. Chaque anneau en titane comportait un canal annulaire dans lequel le cylindre était inséré et assemblé à l'aide d'un adhésif à base d'époxy en pâte. Les anneaux avant et arrière comportaient chacun 2 œillets de levage soudés à leur partie supérieure afin de faciliter le levage du sous-marin à l'aide d'une grue. L'anneau arrière comportait 4 plaques de pénétration qui permettaient de raccorder, à travers la coque, des câbles, des tubes et des tuyaux destinés aux composants électriques, pneumatiques et hydrauliques.

Les dômes hémisphériques étaient également fabriqués en titane de grade 3 et étaient boulonnés aux anneaux en titane. Les dômes avaient un diamètre de 1,52 m et une épaisseur de 8,26 cm. Le dôme avant était équipé d'un hublot. Le hublot était fabriqué en acrylique et avait une épaisseur de 22 cm à son point le plus épais. La partie extérieure du hublot avait un diamètre de 58,42 cm et était convexe. Le diamètre du hublot se réduisait jusqu'à 38,62 cm à l'intérieur de la cabine. Le hublot était positionné dans un siège usiné et maintenu en place par un joint torique et une bague de retenue. Le hublot était conçu pour une pression nominale de 6,516 MPa, ce qui équivaut à une profondeur de 649,08 m (voir la section 1.12 pour plus de détails sur le hublot).

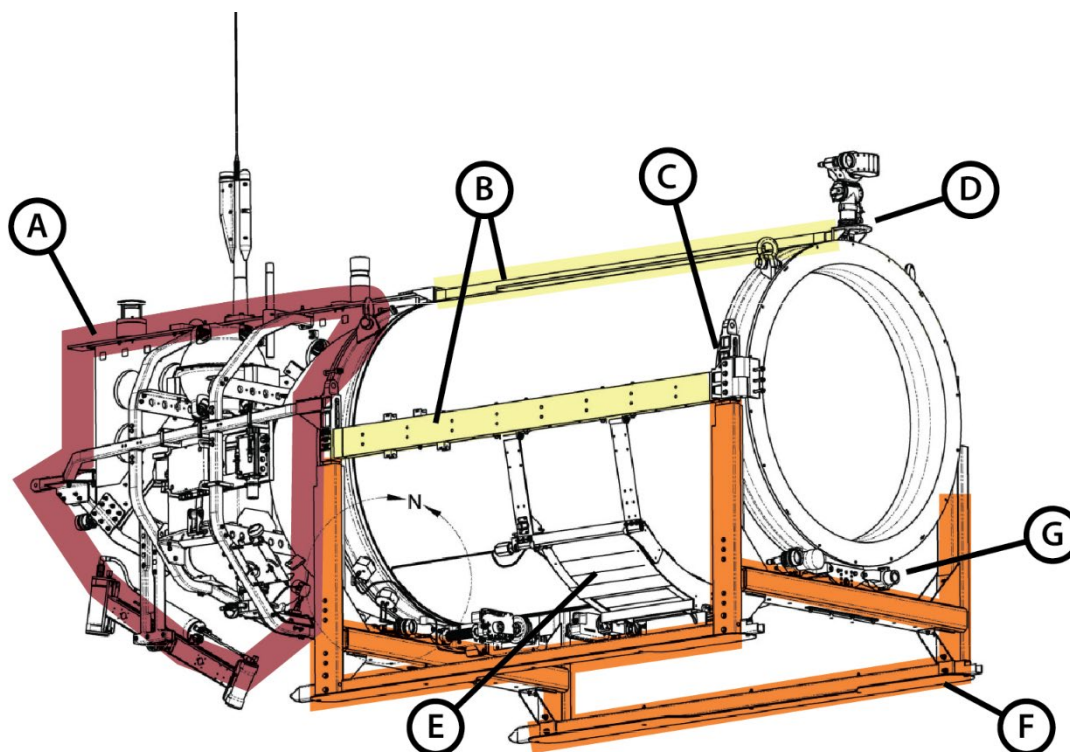
Le dôme avant était relié par une charnière à l'anneau en titane fixée à l'extrémité avant du cylindre. Dix-huit trous étaient répartis sur la circonférence du dôme pour fixer des

boulons³⁹. Chaque trou avait un diamètre de 1,04 cm. Un joint torique était également installé dans le dôme avant pour assurer l'étanchéité. Le dôme arrière était boulonné à l'anneau arrière, avec un joint torique pour assurer l'étanchéité.

1.10.2 Charpente extérieure

Le *Titan* était doté d'une charpente extérieure métallique qui entourait la coque épaisse. Cette charpente comprenait 3 parties : l'ensemble de poutres horizontales, l'ensemble de patins d'atterrissage et l'ensemble de queue (figure 7). Le châssis de montage des lests largables était relié à l'ensemble de travers horizontaux.

Figure 7. Diagramme du cadre extérieur du Titan et de ses composants (Source : OceanGate, avec annotations du BST)



(A) charpente de queue (B) ensemble de poutres horizontales (C) support latéral (D) support supérieur (E) châssis de montage des lests largables (F) ensemble de patins d'atterrissage (G) support inférieur

L'ensemble de poutres horizontales était composé de 3 poutres en acier galvanisé disposées longitudinalement sur les côtés bâbord et tribord et sur le dessus de la coque épaisse. Les poutres étaient reliées aux anneaux avant et arrière en titane par des supports latéraux situés à 90 et 270 degrés sur les anneaux, ainsi que par un support supérieur situé à 0 degré. Le châssis de montage des lests largables était relié aux poutres bâbord et tribord

³⁹ Jusqu'au 30 juin 2021, OceanGate utilisait généralement 4 boulons de fixation pour fixer le dôme avant. Cependant, lors d'une plongée effectuée le 30 juin 2021, le dôme avant s'est détaché du submersible pendant la récupération. À la suite de cette plongée, OceanGate a commencé à utiliser 18 boulons de fixation.

et pouvait être largué à l'aide d'une pompe hydraulique à commande manuelle située dans la cabine.

L'ensemble de patins d'atterrissage comprenait des patins qui servaient à fixer le *Titan* au LARS et à poser le submersible sur le fond marin. Les supports latéraux s'inséraient dans les embases verticales des patins d'atterrissage et maintenaient la coque épaisse dans la charpente. Les patins supportaient également une partie des poids utilisés pour aider le submersible à descendre. L'ensemble de patins d'atterrissage pouvait être largué en cas d'urgence (comme en cas d'enchevêtrement) à l'aide de la même pompe hydraulique à commande manuelle qui servait à larguer le châssis de montage des lests largables.

Des fixations inférieures situées sous chaque anneau en titane maintenaient les anneaux en place sur les travers avant et arrière de l'ensemble de patins d'atterrissage. Les fixations inférieures étaient reliées à un mécanisme de largage à chaque extrémité de l'ensemble de patins d'atterrissage, tandis que les 2 mécanismes de largage étaient reliés par un câble métallique. Les mécanismes de largage pouvaient être actionnés de façon hydraulique à partir de la même pompe manuelle que celle utilisée pour le châssis de montage des lests largables. Une vanne à commande manuelle située à l'intérieur de la cabine pouvait être positionnée pour diriger la pression hydraulique vers le châssis de montage des lests largables ou vers les mécanismes de largage des patins d'atterrissage.

L'ensemble de queue abritait divers composants, dont des batteries, une bouteille d'air comprimé à haute pression pour la vessie de ballast et 2 sphères de contrôle en verre. L'ensemble de queue abritait également des boîtes de jonction électroniques, des câbles, des tuyaux et des conduites qui soutenaient les systèmes d'exploitation du *Titan*. L'ensemble de queue était boulonné à l'anneau arrière en titane aux positions 0, 90, 180 et 270 degrés à l'aide de languettes en titane qui faisaient partie de l'anneau en titane. L'ensemble de queue n'était pas étanche, et tous les systèmes externes à l'intérieur de l'ensemble de queue qui comportaient une enveloppe de pression étaient soit compensés par de l'huile, soit remplis de gel, soit scellés à l'époxy.

Les 2 sphères de contrôle en verre situées dans la charpente de queue étaient remplies d'huile et comportaient des trous percés avec précision afin de poser les câbles nécessaires aux communications et à l'alimentation électrique assurant la liaison avec les composants externes. Les sphères étaient cotées par leur fabricant pour une profondeur de 6000 m.

1.10.3 Systèmes informatiques

La plupart des systèmes d'exploitation et des composants du *Titan* étaient contrôlés par un ordinateur de contrôle principal commandé par le pilote de l'intérieur de la cabine.

L'ordinateur de contrôle principal servait à actionner les propulseurs, les lumières internes et externes, le système de vessie de ballast, le système de lests largables, les caméras, le GPS et un scanner laser. Les systèmes de communication et de suivi passaient également par l'ordinateur de contrôle principal. Il y avait 2 autres ordinateurs spécialisés : 1 pour le multimédia et 1 pour la surveillance en temps réel des contraintes et des émissions

acoustiques. Les données provenant de ces ordinateurs spécialisés étaient reliées à l'ordinateur de contrôle principal.

1.10.4 Système pour les descentes, les remontées et la flottabilité neutre

Pour descendre, remonter et atteindre une flottabilité neutre, le *Titan* utilisait un système comprenant des lests largables⁴⁰, des lingots de plomb et une vessie de ballast à commande pneumatique.

Pour descendre, une combinaison de lingots de plomb et de lests largables était fixée au submersible. Les lingots de plomb étaient placés sur les patins d'atterrissage, tandis que les lests largables étaient placés de chaque côté du submersible dans le châssis de montage des lests largables. Chaque lingot de plomb pesait 21,3 kg et chaque lest largable pesait 15,4 kg. Le poids nécessaire à la descente était calculé avant chaque plongée, en tenant compte du poids combiné des personnes qui monteraient à bord du submersible et de leurs effets personnels, ainsi que de la vitesse de descente souhaitée.

Lorsque le *Titan* se trouvait à 50 à 75 m du fond marin, les procédures d'OceanGate prévoyaient que le pilote utilise la poussée verticale pour estimer le nombre de lests qui devraient être largués pour que le submersible atteigne une flottabilité neutre. Puis, à une distance appropriée du fond marin, les lests largables étaient largués un par un jusqu'à ce que le *Titan* atteigne une flottabilité neutre juste au-dessus du fond marin. Dans la pratique, certains pilotes du *Titan* commençaient à utiliser la poussée verticale pour ralentir la descente du *Titan* lorsqu'ils se trouvaient à environ 200 m du fond marin. Une fois que le *Titan* avait atteint une flottabilité neutre, les pilotes commençaient à naviguer à l'aide des propulseurs. Pour effectuer la remontée, les pilotes larguaient un nombre suffisant de lests largables pour assurer la flottabilité positive du *Titan*, et le submersible remontait alors à la surface.

Les commandes de largage des lests largables étaient activées à partir de l'ordinateur de contrôle principal. Les commandes activaient les moteurs des lests largables qui faisaient tourner des arbres à l'intérieur du châssis de montage des lests largables et larguaient les lests largables un à la fois.

Le submersible était équipé d'une vessie de ballast à commande pneumatique située au sommet de la coque épaisse, entre le cylindre en fibres de carbone et la coque en fibres de verre. La vessie était fabriquée de vinyle épais et pouvait être remplie ou vidée d'air comprimé pour aider le *Titan* à remonter et à maintenir une flottabilité neutre. Le pilote pouvait contrôler la quantité d'air comprimé dans la vessie à l'aide de l'ordinateur de contrôle principal.

⁴⁰ Les lests largables utilisés par OceanGate étaient composés de tuyaux en acier et de sacs de grenaille d'acier avec des maillons sacrificiels. Les maillons sacrificiels étaient en magnésium et se dissolvaient dans l'eau de mer par galvanisation au bout de 12 à 16 heures, libérant ainsi le lest.

1.10.5 Aides à la navigation

La propulsion et la gouverne du *Titan* étaient assurées par 4 propulseurs électriques de 7,5 kW : 2 assuraient le déplacement vertical tandis que les autres 2 assuraient le déplacement horizontal. Les propulseurs étaient alimentés par 2 batteries lithium-polymère de 150 V. Le submersible pouvait naviguer sous l'eau à une vitesse d'environ 3 nœuds. Le pilote actionnait les propulseurs à l'aide d'une télécommande sans fil reliée à l'ordinateur de contrôle principal.

Le submersible était équipé de 3 caméras vidéo externes pour aider le pilote à naviguer. La 1^{re} caméra était montée sur le dessus du dôme avant et offrait au pilote une vue vers l'avant du submersible. La 2^e caméra était située sur le dessous du submersible et servait à naviguer près du fond ainsi qu'à surveiller la chute des poids et la purge de la vessie de ballast. Cette caméra permettait également de voir le dessous du submersible pendant les opérations de mise à l'eau et de récupération à l'aide du LARS. Enfin, une 3^e caméra était située à l'arrière et offrait au pilote une vue derrière le submersible. Cette caméra était utilisée lorsque le submersible faisait marche arrière et effectuait d'autres manœuvres.

Le submersible était équipé d'un éclairage extérieur et d'un système sonar permettant de détecter les objets sous-marins. Le submersible était également équipé d'un enregistreur de vitesse Doppler qui fournissait des renseignements sur la vitesse du submersible par rapport au sol et sa hauteur au-dessus du fond marin.

1.10.6 Équipement de communication et de suivi

En 2023, le principal système de communication et de suivi du *Titan* était un système à base ultracourte (SBUC). Ce système était nouveau sur le *Titan* au début de la saison d'exploitation 2023. Le 2^e système de communication et de suivi installé sur le *Titan* était un système de télémétrie acoustique (ATM). Le système d'ATM avait été utilisé les années précédentes et était un système d'origine de la 2^e construction du *Titan*. Les deux systèmes étaient disponibles sur le marché et conçus pour diverses applications, dont le pilotage des VTG et le suivi des plongeurs.

Le SBUC fonctionnait à l'aide d'un émetteur-récepteur qui était descendu par le puits central du navire de soutien à l'aide de la grue du navire. Le système utilisait ensuite des signaux acoustiques pour envoyer des renseignements entre l'émetteur-récepteur et un transpondeur fixé au *Titan*. Le système envoyait des renseignements sur la vitesse, le cap et la position (coordonnées et profondeur) du *Titan* à l'équipe de soutien en surface toutes les 7,896 secondes en moyenne.

Pour le système d'ATM, un modem acoustique était descendu par le puits central du navire de soutien. Le système envoyait ensuite des renseignements entre ce modem et un autre modem acoustique fixé au *Titan*. Toutes les 5 minutes, le système d'ATM envoyait des renseignements sur la vitesse, le cap et la profondeur à l'équipage du *Titan* et à l'équipe de soutien en surface.

Lorsque le submersible se trouvait à environ 70 m de la surface, aucun des deux systèmes ne pouvait fonctionner de manière fiable, car les signaux acoustiques n'avaient aucune voie claire à suivre entre le submersible et le navire de soutien. Un émetteur-récepteur était donc déployé à partir de l'un des RIB afin de maintenir une voie claire pour les signaux.

Lorsque le *Titan* était à la surface, aucun des deux systèmes de communication et de suivi ne pouvait fonctionner; le *Titan* était donc équipé d'un radiotéléphone VHF (très haute fréquence) portable pour rendre les communications possibles entre le submersible et l'équipe de soutien en surface. Le *Titan* transportait aussi une balise satellite destinée à aider l'équipe de soutien en surface à localiser le submersible afin de le récupérer une fois qu'il était près de la surface ou à la surface.

1.10.7 Cabine

Un manchon cylindrique était inséré dans la partie interne de la coque épaisse du *Titan* et formait l'intérieur de la cabine du *Titan*. Le manchon cylindrique était principalement fabriqué en fibres de verre. La pression dans la cabine était maintenue à la pression moyenne au niveau de la mer (101,3 kPa) tout au long des plongées.

La cabine du *Titan* était équipée d'un système d'alimentation en oxygène et d'un système d'épuration du dioxyde de carbone. Le système d'alimentation en oxygène se composait de 1 bouteille d'oxygène principale et de 4 bouteilles de réserve d'urgence entreposées dans la cabine. Ces bouteilles fournissaient suffisamment d'oxygène pour 5 personnes pendant environ 96 heures. Des capteurs d'oxygène étaient installés dans la cabine afin de surveiller le niveau d'oxygène; les capteurs affichaient les renseignements relatifs au niveau d'oxygène sur l'ordinateur de contrôle principal. La bouteille d'oxygène principale fournissait de l'oxygène à l'aide d'un débitmètre qui pouvait être réglé manuellement, selon les besoins, tout au long des plongées.

La cabine disposait d'un système d'épuration de dioxyde de carbone pour usage courant pendant les plongées et de couvertures absorbantes à l'hydroxyde de lithium permettant d'épurer le dioxyde de carbone pendant 96 heures en cas d'urgence. La cabine disposait de capteurs de dioxyde de carbone, et le niveau de dioxyde de carbone était également affiché sur l'ordinateur de contrôle principal. L'oxygène et le dioxyde de carbone étaient aussi surveillés par des dispositifs distincts de surveillance d'urgence qui affichaient les niveaux de gaz en cas de défaillance de l'ordinateur de contrôle principal.

La cabine du *Titan* disposait aussi de 2 capteurs de détection d'eau. Ils étaient situés sous la partie formant le plancher du manchon de la coque. Si les capteurs détectaient de l'eau, ils déclenchaient une alarme sur l'écran de contrôle principal.

1.10.8 Alimentation électrique

Le *Titan* était équipé de 2 batteries lithium-polymère de 150 V situées dans la charpente de queue et cotées pour une profondeur de 4000 m. Une batterie alimentait les propulseurs bâbord et l'autre, les propulseurs tribord.

Le *Titan* disposait également d'un banc de batteries d'accumulateurs au plomb de 24 V qui alimentait les composants de la cabine et tous les systèmes d'exploitation. Le banc de batteries était situé sous la partie formant le plancher du manchon de la coque. Il alimentait entre autres les ordinateurs, les lumières, les caméras, les moteurs des lests largables et le modem de l'équipement de communication et de suivi.

1.10.9 Système de surveillance des émissions acoustiques

Le *Titan* était équipé d'un système de surveillance des émissions acoustiques fait sur mesure et conçu pour détecter en temps réel les changements dans la structure de la coque épaisse pendant les plongées⁴¹. Pendant les plongées, la pression hydrostatique exercée sur l'extérieur de la coque épaisse entraînait une tension de compression dans la coque, et les contraintes qui en découlaient pouvaient provoquer la rupture de certains brins du cylindre en fibres de carbone. Les brins de fibres de carbone font un bruit (c.-à-d. ils génèrent des émissions acoustiques) lorsqu'ils se rompent, et le système de surveillance des émissions acoustiques était destiné à mesurer ces émissions acoustiques et à fournir un avertissement suffisamment tôt pour que le sous-marin puisse refaire surface avant que survienne une défaillance. Les données du système de surveillance des émissions acoustiques n'étaient accessibles qu'à l'équipage du *Titan* pendant les plongées; elles n'étaient pas transmises automatiquement à l'équipe de soutien en surface.

Le système comprenait 8 capteurs audio fixés à l'intérieur de la coque épaisse par de la colle au silicone. Le système captait les émissions acoustiques de la coque épaisse à l'aide des capteurs audio, les amplifiait et les numérisait de manière à créer un flux de données qui était transmis à l'ordinateur de contrôle principal du *Titan* au moyen de 8 canaux distincts. Les données relatives aux émissions acoustiques étaient affichées en temps réel dans une fenêtre par défaut sur l'ordinateur de contrôle principal. La fenêtre affichait l'amplitude des émissions acoustiques sur une période mobile de 5 secondes au fur et à mesure de la plongée. Le nombre total d'émissions acoustiques était également affiché au fur et à mesure de la plongée.

Le système de surveillance des émissions acoustiques comportait des seuils vert, jaune et rouge qui avaient été programmés par OceanGate. Le nombre de « hits » accumulés pendant une plongée donnée déterminait le seuil atteint. OceanGate avait défini un « hit » comme une émission acoustique d'une amplitude supérieure ou égale à 5000 unités analogiques-numériques. On ne sait exactement quels étaient les seuils jaune et rouge, mais il a été indiqué que le seuil jaune serait atteint si un nombre de 30 à 50 « hits » était enregistré pendant une plongée.

⁴¹ Le concept de surveillance des émissions acoustiques pour les structures composites a déjà été utilisé par le passé. À titre de référence, voir J.D. Stachiw et B. Frame, *Graphite-Fiber-Reinforced Plastic Pressure Hull Mod 2 for the Advanced Unmanned Search System Vehicle* (Naval Ocean Systems Center, août 1988), à l'adresse <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA270438.pdf> (dernière consultation le 19 septembre 2025).

OceanGate a utilisé les données obtenues lors des essais sur les modèles à l'échelle un tiers et les coques épaisses à pleine échelle pour définir les seuils, ainsi que les données du système de surveillance des contraintes. Cependant, on ne sait pas exactement comment OceanGate a déterminé les seuils (voir la section 1.12 pour plus de détails sur les essais du *Titan*). Les seuils sont restés les mêmes pendant toute la durée de vie opérationnelle du *Titan*, à l'exception de quelques ajustements mineurs. Les pilotes comprenaient généralement que, si le seuil rouge était atteint, la plongée devait être avortée. Le système n'avait pas d'alarmes sonores.

Le système d'émissions acoustiques n'était utilisé que pendant les plongées et était réinitialisé après chaque plongée. Le système n'était pas utilisé pour surveiller les émissions acoustiques provenant d'activités autres que la plongée (p. ex. le remorquage, la mise à l'eau, la récupération ou le transport terrestre du submersible).

L'enquête a permis de déterminer que les données relatives aux émissions acoustiques étaient téléchargées après les plongées et qu'elles étaient parfois examinées par les employés d'OceanGate. Cependant, en général, il n'a pas été possible de déterminer ce qui faisait l'objet d'analyses lors de ces examens ni quels étaient les résultats de ces examens.

L'enquête a permis de déterminer qu'en 2019, un employé avait ajouté la possibilité de corréliser l'amplitude des émissions acoustiques avec le temps et la profondeur, ce qui avait ensuite permis de comparer les données relatives aux émissions acoustiques avec les données relatives aux contraintes. On n'a pas pu déterminer l'étendue de l'analyse effectuée par OceanGate à la suite de ce changement. Cet employé a quitté OceanGate en février 2023.

OceanGate avait connu des problèmes d'interférence avec le système de surveillance des émissions acoustiques : les capteurs audio captaient des émissions acoustiques provenant de sources sans rapport avec la coque épaisse (c.-à-d. des bruits à proximité du submersible, comme la chute d'un outil sur le pont ou le contact du LARS avec le navire de soutien pendant la mise à l'eau et la récupération). OceanGate n'avait par ailleurs aucun moyen de déterminer si les capteurs audio fonctionnaient pendant une plongée; un capteur qui ne fonctionnait pas n'affichait tout simplement aucune donnée sur le canal. Une fois que les capteurs audio étaient collés sur la coque épaisse, ils y restaient pendant toute la durée de vie opérationnelle du *Titan*. Les employés d'OceanGate ne pouvaient pas accéder aux capteurs pour les inspecter ou les entretenir sans démonter le *Titan*, car les capteurs étaient situés dans l'espace entre le manchon de la coque et la coque épaisse, qui ne comportait aucun point d'accès. Les employés d'OceanGate soumettaient parfois les capteurs audio à des essais en utilisant une pièce d'équipement pour créer un impact sur les anneaux en titane avant et arrière, dont ils s'attendaient ensuite à voir les effets dans les données relatives aux émissions acoustiques.

Le BST ne disposait d'aucune donnée relative aux émissions acoustiques pour la plongée à l'étude, car l'ordinateur du *Titan* qui stockait ces données a été écrasé avec d'autres composants de la cabine lors de la défaillance de la coque épaisse. Ces débris ont été récupérés, mais les données étaient irrécupérables en raison des dommages subis.

Le BST a toutefois pu localiser un ensemble limité de données relatives aux émissions acoustiques provenant de plongées et d'essais de pression effectués précédemment à la Deep Ocean Test Facility⁴². Ces données couvraient la période de février 2021 au 23 juillet 2022. Aucune donnée n'était disponible pour la saison 2023.

1.10.10 Système de surveillance des contraintes

La coque épaisse du *Titan* était équipée d'un système de surveillance des contraintes conçu sur mesure. Ce système servait à mesurer les contraintes exercées sur la coque épaisse, la profondeur et le temps pendant les plongées et les essais de pression afin de détecter tout changement dans la structure de la coque épaisse. Le système de surveillance des contraintes n'était pas utilisé systématiquement par OceanGate pour la surveillance en temps réel, même si le pilote pouvait à tout moment, pendant la plongée, consulter les données relatives aux contraintes sur l'ordinateur de contrôle principal. Les données relatives aux contraintes devaient être téléchargées et analysées après chaque plongée ou essai de pression.

Le système comprenait 16 jauges de contraintes regroupées par paires. Dans chaque paire, une jauge était orientée pour mesurer la contrainte dans le sens axial et l'autre était orientée pour mesurer la contrainte dans le sens circonférentiel. Les jauges de contraintes ne mesuraient les contraintes qu'à proximité immédiate de leur emplacement sur la coque épaisse. Cinq paires de jauges de contrainte étaient fixées à l'intérieur du cylindre en fibres de carbone, tandis que 2 paires étaient fixées à l'intérieur du dôme avant. La dernière paire était située dans l'anneau arrière en titane.

Pendant une plongée, les données provenant des 16 jauges étaient transmises à un ordinateur spécialisé dans la cabine, qui était relié à l'ordinateur de contrôle principal du *Titan*. Les données des jauges de contraintes sur l'ordinateur de contrôle principal devaient être sélectionnées expressément pour être visualisées; elles n'apparaissaient pas dans une fenêtre par défaut. Aucune alarme sonore n'était affectée aux données des jauges de contraintes, et ces données n'étaient pas transmises automatiquement à l'équipe de soutien en surface pendant une plongée.

Cinq des 8 paires de jauges de contrainte étaient situées dans l'espace entre le manchon de la coque et la coque épaisse, qui ne comportait aucun point d'accès. La paire de jauges de contraintes située dans l'anneau arrière en titane n'était pas accessible non plus. En conséquence, il était impossible d'accéder à ces 12 jauges pour des essais, des inspections ou l'entretien sans démonter le *Titan*. Après l'installation de ces jauges, OceanGate s'est appuyé sur les données fournies lors des plongées et des essais de pression pour déterminer si les jauges fonctionnaient.

⁴² La Deep Ocean Test Facility, située au Penn State Applied Research Laboratory à Annapolis (Maryland), aux États-Unis, dispose d'un réservoir sous pression capable de simuler des profondeurs océaniques allant jusqu'à 8229,6 m.

Les 2 paires de jauges de contraintes situées dans le dôme avant ne fonctionnaient pas correctement avant l'événement à l'étude. Trois des jauges de contraintes individuelles situées sur le cylindre en fibres de carbone ne fonctionnaient pas correctement non plus. On ne sait pas quand ces jauges ont cessé de fonctionner, mais il avait été signalé que les jauges de contraintes s'étaient détachées lorsque le manchon de la coque avait été installé dans la coque épaisse pendant le procédé de construction. Ces jauges fournissaient des données non valides qui pouvaient découler d'une défaillance de la jauge de contrainte elle-même, de problèmes dans le câblage de l'enregistreur de données ou de la présence d'un autre facteur influençant les données fournies (p. ex. un décollement partiel de la jauge ou une infiltration d'eau).

Les données des jauges de contraintes pouvaient être téléchargées pour être analysées après les plongées. Il y avait des éléments de preuve indiquant qu'après des plongées en 2021 et 2022, les données des jauges de contrainte avaient été téléchargées et distribuées à certains employés d'OceanGate et qu'elles avaient parfois été examinées. Cependant, en général, il n'a pas été possible de déterminer ce qui était analysé lors de ces examens ni quels étaient les résultats de ces examens.

Les enquêteurs ne disposaient d'aucune donnée relative aux contraintes pour la plongée à l'étude, car l'ordinateur du *Titan* qui stockait ces données a été écrasé avec d'autres composants de la cabine lors de la défaillance catastrophique. Bien que la puce mémoire de cet ordinateur ait également été récupérée, les données qu'elle contenait étaient irrécupérables.

Le BST a pu localiser un ensemble limité de données utilisables des jauges de contraintes provenant de plongées et d'essais de pression effectués précédemment. Les données couvraient 11 plongées effectuées entre le 1^{er} mars 2021 et le 5 août 2021, ainsi qu'entre le 15 et le 23 juillet 2022. Ces plongées ont été réalisées à des profondeurs équivalentes, ou presque, à celles du *Titanic*. Le reste des données provenaient de 3 essais de pression effectués à la Deep Ocean Test Facility.

1.10.10.1 Examen des données de surveillance des contraintes par le Laboratoire du BST

Le laboratoire du BST a utilisé les données⁴³ des jauges de contraintes installées sur la coque et sur le dôme avant du *Titan* pour déterminer s'il y avait quelque indication d'une accumulation de dommages. Les niveaux de contrainte pour chaque endroit où une jauge était installée ont été tracés en fonction de la profondeur pour chaque plongée. En principe, si un matériau n'est pas endommagé par la pression, la relation tracée (pente de contrainte) est linéaire. En outre, les niveaux de contrainte sont semblables à une profondeur donnée. À l'inverse, si le matériau est endommagé, la pente de contrainte est non linéaire et les

⁴³ Le Laboratoire du BST a utilisé des données de plongées opérationnelles et de 3 essais de pression simulant des profondeurs allant jusqu'à 4250 m.

niveaux de contrainte des divers endroits où une jauge est installée sont probablement différents à une profondeur donnée.

Le BST a examiné les jauges qui fournissaient des données valides relatives aux contraintes dans les sens axial et circonférentiel. Lorsque les données de chaque plongée étaient tracées pour des profondeurs de 100 m à 4250 m (c.-à-d. vues à grande échelle) afin d'examiner la contrainte en fonction de la profondeur, les pentes de contrainte de chaque plongée étaient cohérentes entre elles dans une fourchette de 7 %. Cela porte à croire que les jauges de contraintes fonctionnelles mesuraient avec exactitude la contrainte au fur et à mesure que les pressions hydrostatiques augmentaient avec la profondeur de plongée.

Cependant, lorsque les données relatives aux contraintes à des profondeurs de 600 m ou moins ont été examinées plus en détail, on a relevé des changements considérables dans les pentes de contrainte pour certaines jauges. La jauge de contraintes située dans la partie centrale supérieure du cylindre en fibres de carbone affichait les changements de pente les plus notables. Pour tenter de comprendre ces changements de pente, le BST a comparé les changements de pente de contrainte à des profondeurs différentes pour cette jauge au cours de 2 plongées (l'une le 5 août 2021 et l'autre le 19 juillet 2022). Les deux plongées ont atteint une profondeur de 3840 m. Lorsqu'on a examiné les profils des plongées complètes (de 10 m à 3 840 m) pour ces 2 plongées, les pentes de contrainte étaient presque identiques.

Cependant, lorsqu'on a examiné la pente de contrainte du capteur pour la plongée du 5 août 2021 dans la plage de 10 m à 300 m, on a constaté que la pente de contrainte était supérieure de 21 % à la pente du profil de la plongée complète. Lorsqu'on a examiné la pente de contrainte du capteur pour la plongée du 19 juillet 2022 dans la plage de 10 m à 300 m, on a constaté que la pente de contrainte était supérieure de 98 % à la pente du profil de la plongée complète.

Lorsqu'on a examiné les données pour les profondeurs situées entre 300 m et 600 m, la pente de contrainte enregistrée par la jauge pour la plongée du 5 août 2021 était supérieure de 8,5 % à celle du profil de la plongée complète, et la pente de contrainte pour la plongée du 19 juillet 2022 était supérieure de 29 % à celle du profil de la plongée complète.

Ces changements de pente indiquaient une non-linéarité dans les contraintes à des profondeurs inférieures ou égales à 600 m, la non-linéarité diminuant à mesure que la profondeur augmentait.

En examinant les données relatives aux contraintes, le BST a constaté qu'un événement notable s'était produit lors d'une plongée le 15 juillet 2022, 4 jours avant la plongée du 19 juillet 2022, pendant laquelle des mesures non linéaires avaient été enregistrées. Pendant la plongée du 15 juillet 2022, un bruit fort a été entendu par l'équipage et les passagers du sous-marin alors qu'il faisait surface. Puisqu'OceanGate n'a pas réalisé d'inspection approfondie de la coque épaisse après cet événement, il est impossible de déterminer si l'événement a précipité les mesures non linéaires du 19 juillet 2022.

1.11 Description détaillée du système de mise à l'eau et de récupération

Le LARS se composait essentiellement de 2 pontons munis de citernes intérieures pouvant être remplies de quantités contrôlées d'air comprimé ou d'eau de mer, ce qui permettait au LARS de monter, de descendre ou de rester à la surface. Chaque ponton comprenait 2 citernes internes. Chaque citerne intérieure comportait 2 écoutilles : 1 sur le dessus du ponton et 1 sur le dessous.

Le LARS était équipé de 4 bouteilles de propane qui avaient été réaffectées au stockage d'air comprimé. Elles faisaient partie d'un système à air comprimé qui servait à remplir et à vider les citernes intérieures. Quand de l'air était introduit dans les citernes intérieures, il poussait l'eau par les écoutilles ouvertes sur le dessous des pontons et provoquait la remontée ou le maintien à la surface du LARS. Quand l'air était évacué des pontons, l'eau pouvait s'engouffrer par les écoutilles ouvertes, remplissant les citernes intérieures et provoquant la submersion du LARS. Les écoutilles des pontons étaient ouvertes et fermées par les plongeurs d'OceanGate.

Le *Titan* était conçu pour être lancé sous l'eau. Pendant le lancement, le LARS était immergé à une profondeur d'environ 10 m, le *Titan* y étant attaché. Le *Titan* était maintenu sur le LARS par des mécanismes de verrouillage qui glissaient sur les patins d'atterrissage du *Titan*. Une fois que le LARS et le *Titan* étaient immergés et prêts pour le lancement, les plongeurs ouvraient manuellement les mécanismes de verrouillage des patins d'atterrissage, et le pilote du submersible dirigeait le *Titan* hors du LARS immergé à l'aide de ses propulseurs. Le *Titan* commençait dès lors sa descente.

Pendant la récupération, le LARS était à nouveau immergé et le pilote guidait le *Titan* par-dessus. Avec l'aide des plongeurs, le *Titan* était repositionné sur le LARS et positionné à nouveau sur le LARS, puis rattaché à l'aide de ses mécanismes de verrouillage. Le LARS était ensuite remonté à la surface, où les membres de l'équipe de soutien en surface pouvaient déboulonner le dôme avant pour permettre à l'équipage et aux passagers du *Titan* de sortir du submersible.

1.12 Conception, construction et mise à l'essai du Titan

La conception, la construction et les essais du *Titan* ont été divisés en 2 périodes, la première couvrant les années 2013 à 2019 et correspondant à la 1^{re} construction⁴⁴, et la seconde couvrant les années 2020 à 2021 et correspondant à la 2^e construction. Les sections suivantes présentent une chronologie générale des événements liés à la conception, à la construction et aux essais du *Titan* au cours de ces périodes.

Avant de concevoir et de construire le *Titan*, OceanGate avait acquis et exploité 2 autres submersibles, l'*Antipodes* et le *Cyclops I*.

⁴⁴ OceanGate a appelé la 1^{re} construction du *Titan* « Cyclops II » jusqu'à une certaine date en 2018, à laquelle le submersible a été rebaptisé *Titan*.

1.12.1 Première construction (2013-2019)

En 2013, OceanGate a conclu un contrat avec le laboratoire de physique appliquée de l'Université de Washington (UW-APL), situé à Seattle (état de Washington, États-Unis), afin de commencer à concevoir un sous-marin en fibres de carbone. À un moment donné en 2013, OceanGate a également obtenu des documents de conception et d'analyse pour un sous-marin en fibres de carbone auprès d'une compagnie aérospatiale et de défense établie aux États-Unis. OceanGate a ensuite demandé à une 2^e compagnie aérospatiale d'examiner les documents fournis par la 1^{re} compagnie. La 2^e compagnie a également pris en compte les exigences particulières d'OceanGate et a mené une étude afin de déterminer s'il était possible de construire en fibres de carbone un sous-marin respectant certains paramètres (p. ex. un niveau de flottabilité ou un facteur de sécurité particulier).

À un moment donné avant mars 2015, OceanGate a communiqué avec une compagnie qui fabriquait des produits composites et lui a demandé de fabriquer un modèle réduit à l'échelle un tiers d'un sous-marin entièrement construit en fibres de carbone. Le 25 juin 2015, cette compagnie a produit un document de conception montrant que OceanGate voulait un sous-marin principalement fabriqué en fibres de carbone et ayant une profondeur maximale nominale de jusqu'à 6000 m, mais qu'elle était prête à accepter une profondeur maximale nominale de jusqu'à 3000 m. Le document montrait également qu'OceanGate visait un facteur de sécurité de 2,25, mais qu'elle était prête à accepter un facteur de 1,5⁴⁵. Enfin, les documents montraient qu'OceanGate avait pour objectif que le sous-marin ait un cycle de vie de 10 000 plongées à sa profondeur maximale nominale, mais qu'il était prêt à accepter 1000 plongées.

Le document présentait un concept de cylindre en fibres de carbone ayant un facteur de sécurité de 2,19 avec des dômes d'extrémité en titane de grade 5 et un facteur de sécurité de 2,21 avec des dômes d'extrémité en fibres de carbone. Le rapport indiquait que la contrainte de compression admissible devait être confirmée par des essais supplémentaires. À un moment donné en 2015, cette compagnie a fabriqué pour OceanGate un modèle réduit à l'échelle un tiers d'un sous-marin équipé d'un cylindre en fibres de carbone et de dômes d'extrémité en fibres de carbone.

En décembre 2015, OceanGate a effectué un essai de pression sur ce modèle à l'échelle un tiers à l'UW-APL (figure 8). L'un des dômes d'extrémité en fibres de carbone a cédé à une pression équivalente à une profondeur d'environ 3 000 m. Le 23 décembre 2015, OceanGate a envoyé une lettre aux intervenants pour leur annoncer les résultats de l'essai sur le modèle à l'échelle un tiers. La lettre indiquait que des jauges de contraintes avaient été utilisées pendant l'essai et que l'un des bouchons d'extrémité hémisphériques s'était rompu bien avant d'atteindre la profondeur de fonctionnement prévue de 6096 m. La lettre

⁴⁵ À l'époque, OceanGate fondait son facteur de sécurité sur la norme de l'American Society of Mechanical Engineers (PVHO-1 - *Safety Standard for Pressure Vessels for Human Occupancy*, 2012), qui exigeait un facteur de sécurité minimum de 1,5.

précisait que le bouchon d'extrémité qui s'était rompu avait été renvoyé à la compagnie qui l'avait fabriqué pour être évalué. On pensait que le dôme avait flambé, ce qui expliquait pourquoi les jauges de contraintes n'avaient pas émis d'avertissement avant la rupture.

Figure 8. Premier essai de pression sur un modèle à l'échelle un tiers au laboratoire de physique appliquée de l'Université de Washington (Source : OceanGate)



Le 5 février 2016, OceanGate a réalisé un 2^e essai de pression à l'aide du modèle à l'échelle un tiers muni de plaques d'aluminium à chaque extrémité (figure 9). Le modèle à l'échelle un tiers s'est rompu à une pression équivalente à une profondeur de 4200 m (figure 10). Des jauges de contraintes ont été utilisées pendant la mise à l'essai.

Figure 9. Modèle à l'échelle d'un cylindre muni de plaques de métal (Source : Patrick Loomis)



Figure 10. Modèle à l'échelle après l'implosion (Source : Patrick Loomis)



Le 11 mars 2016, OceanGate a réalisé un 3^e essai de pression à l'aide d'un nouveau modèle à l'échelle un tiers, qui comportait également des dômes d'extrémité en fibres de carbone (figure 11). Le modèle s'est rompu à une pression équivalente à une profondeur de 2754 m (figure 12). Cet essai a été réalisé à l'aide de dispositif de surveillance des émissions acoustiques afin de mesurer les effets de la pression sur les composants en fibres de carbone.

Figure 11. Dôme d'extrémité en fibres de carbone avant l'essai (Source : Patrick Loomis)

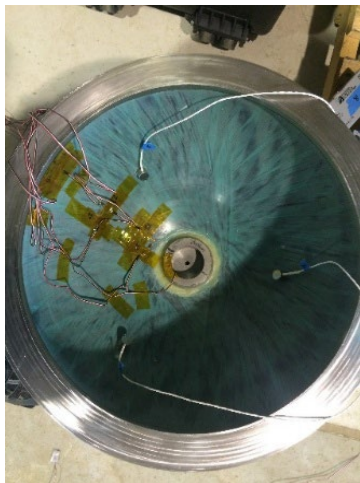


Figure 12. Dôme d'extrémité en fibres de carbone après l'essai (Source : Patrick Loomis)



À un moment donné après mars 2016, l'UW-APL et l'équipe d'ingénieurs d'OceanGate ont commencé à avoir un différend concernant la conception technique du submersible. Le différend portait principalement sur l'utilisation de dômes d'extrémité en titane et de sphères en verre pour assurer l'interface avec les composants électroniques internes et externes et pour loger les contrôleurs de moteur. Le différend a atteint un point tel qu'OceanGate a mis fin à sa relation avec l'UW-APL. Cependant, par la suite, OceanGate a continué à utiliser les installations d'essai de l'UW-APL.

Le 7 juillet 2016, OceanGate a effectué le 4^e essai sur un modèle à l'échelle un tiers dans les installations d'essai de l'UW-APL. Ce modèle était muni de plaques d'aluminium à chaque extrémité. Le modèle s'est rompu à une pression équivalente à une profondeur de 4465 m. La surveillance des émissions acoustiques a été intégrée à cet essai.

À la suite de cet essai, OceanGate a commencé à travailler au développement d'un submersible à pleine échelle avec un cylindre en fibres de carbone et des dômes d'extrémité en titane (figure 13). Au cours de l'année 2017, le cylindre en fibres de carbone a été fabriqué selon un procédé connu sous le nom d'enroulement filamentaire, qui consiste à enrouler un fil continu de fibres de carbone sur un mandrin. Avant d'être enroulées sur le mandrin, les fibres de carbone étaient plongées dans un bain de résine époxy. Une fois que tout le cylindre avait été enroulé, il était durci. Certaines des couches de fibres de carbone dans le sens axial étaient posées à la main, puis recouvertes de résine époxy. Parallèlement, un fabricant de produits sidérurgiques fabriquait les dômes d'extrémité en titane à partir de titane de grade 3. Malgré que les spécifications techniques initiales prévoyaient l'utilisation de titane de grade 5, le titane de grade 3 était plus facile à acquérir et moins dispendieux que le titane de grade 5, facteurs qui ont joué un rôle dans la décision d'OceanGate d'utiliser du titane de grade 3.

Figure 13. Cylindre à pleine échelle avec anneaux en titane de la première construction du Titan (Source : Patrick Loomis)



À l'automne 2017, OceanGate a fait appel à une compagnie faisant la conception, la fabrication et la certification de composants pour des applications sous-marines et médicales dans le but d'acquiescer un hublot en acrylique pour le submersible. OceanGate a fourni à cette compagnie un dessin représentant la conception du hublot : celui-ci devait être plat du côté faisant face à l'intérieur de la cabine du submersible et convexe du côté faisant face à l'extérieur. Cette géométrie n'était pas standard pour une enceinte sous pression habitable (*pressure vessel for human occupancy – PVHO*)⁴⁶, et la compagnie l'a considérée comme une conception expérimentale.

La compagnie a pris l'initiative de communiquer avec une société d'ingénierie afin d'obtenir une évaluation indépendante de la conception du hublot. Au cours de la première semaine de novembre, alors que la compagnie fabriquait le hublot demandé par OceanGate, elle a communiqué avec OceanGate pour lui expliquer que des essais supplémentaires seraient nécessaires afin de vérifier les profondeurs que le hublot pouvait atteindre. La compagnie a également indiqué que le hublot serait assorti de certifications des matériaux, mais non de certificat de fabrication pour un PVHO, compte tenu de sa géométrie non standard. La compagnie a recommandé à OceanGate d'envisager la fabrication d'un hublot supplémentaire utilisant une géométrie standard qui était certifié pour les PVHO et qui pouvait être utilisé pour les plongées jusqu'à 4000 m. OceanGate n'a pas suivi la

⁴⁶ L'American Society of Mechanical Engineers a élaboré des normes de sécurité pour les enceintes sous pression destinées à accueillir des personnes. Pour de plus amples renseignements sur l'American Society of Mechanical Engineers, voir l'annexe C.

recommandation de la compagnie concernant le hublot supplémentaire de géométrie standard, décidant plutôt par souci d'économies d'utiliser le hublot qu'elle avait demandé. En décembre 2017, la compagnie a livré le hublot construit selon la conception établie par OceanGate (figure 14). La compagnie a réitéré que le hublot était conçu pour une pression nominale de 6,516 mPa, ce qui équivaut à une profondeur de 649,08 m, soit une fraction seulement de ce qu'OceanGate exigeait pour les plongées vers le *Titanic*, où la pression est de 40 mPa. La compagnie a également réaffirmé qu'OceanGate devait réaliser des essais supplémentaires sur le hublot. Par souci d'économies, OceanGate a choisi de ne pas effectuer d'essais supplémentaires sur le hublot avant de l'installer dans le submersible, afin d'économiser de l'argent.

Figure 14. Conception du hublot achevé conçu pour une pression nominale de 6,516 mPa (Source : BST)



En décembre 2017, les principaux composants du submersible étaient terminés et OceanGate a commencé à assembler celui-ci. Les employés d'OceanGate ont également travaillé sur le système de surveillance des émissions acoustiques dans le but d'établir des seuils en fonction des essais.

À la mi-janvier 2018, le submersible était presque terminé et le service d'ingénierie d'OceanGate se préparait à remettre le submersible au service des opérations. Se préparant à recevoir le submersible, le directeur des opérations d'OceanGate a mené une inspection du submersible et a élaboré un rapport d'inspection de contrôle de la qualité. Le rapport relevait un certain nombre de problèmes dans le submersible, notamment les suivants :

- L'extérieur du cylindre en fibres de carbone n'a pas pu être inspecté, car le revêtement protecteur pulvérisé avait déjà été appliqué, mais des vides et des délaminages visibles étaient présents dans les segments d'extrémité en fibres de carbone qui avaient été coupés après le procédé de fabrication. Le rapport indiquait

qu'une inspection complète du cylindre et des lignes de liaison entre le cylindre et les anneaux en titane était nécessaire pour vérifier leur intégrité. Le rapport indiquait aussi que les résultats de cette inspection devaient être communiqués au directeur des opérations avant toute plongée avec des personnes à bord.

- Le hublot avait été installé avant l'inspection, de sorte qu'aucune inspection approfondie de l'acrylique ou du joint torique n'avait pu être effectuée. Le directeur des opérations a demandé qu'on lui fournisse les résultats des essais de pression effectués et les documents correspondants provenant du fabricant du hublot.
- Les anneaux en titane comportaient des rainures usinées pour accueillir des joints toriques. Le diamètre des trous usinés pour commencer les rainures était supérieur à la largeur de la rainure pour le joint torique, ce qui posait des problèmes sur la face d'étanchéité. Le rapport soulignait également des problèmes liés au type de rainure pour joint torique, indiquant que celle-ci ne respectait pas les paramètres de conception standards. On recommandait dans le rapport de réusinier les faces d'étanchéité afin de corriger les trous plongeants et les rainures des joints toriques.

Le rapport soulignait également des problèmes liés à la vessie de ballast et aux méthodes de fixation de diverses pièces d'équipement (batteries, etc.), et on y demandait un essai d'étanchéité du système d'air haute pression. Enfin, le rapport indiquait que certaines zones du submersible n'étaient pas accessibles pour les inspections et que d'autres zones étaient encore en chantier, de sorte que le submersible devrait faire l'objet d'une inspection finale à une date ultérieure. Dans certains cas, le rapport demandait la réalisation d'essais non destructifs et demandait au directeur de l'ingénierie de fournir des renseignements supplémentaires.

Le lendemain, une réunion a eu lieu entre le PDG, le directeur des opérations et 3 autres employés d'OceanGate. Le directeur des opérations a ensuite été congédié d'OceanGate parce qu'il avait des opinions différentes de celles du PDG sur la sécurité du *Titan*.

À la fin du mois de janvier, la compagnie qui avait fabriqué le hublot a communiqué avec OceanGate pour lui transmettre les résultats de l'évaluation par un tiers de la conception du hublot. L'évaluation réalisée par un tiers indiquait que, tel qu'il était conçu, le hublot serait soumis à d'importantes contraintes pouvant entraîner une défaillance cyclique à 40 MPa, ce qui équivaut à la profondeur du *Titanic*. La société d'ingénierie a indiqué que pour examiner la conception et prédire la performance, elle devait obtenir les données réelles sur les matériaux, connaître la conception du siège du hublot et obtenir certains renseignements opérationnels.

En février, le submersible était entièrement assemblé et OceanGate a commencé les essais du *Titan* et du LARS dans les eaux au large de l'état de Washington. De février à avril, OceanGate a effectué 14 essais avec des personnes à bord, atteignant une profondeur maximale de 37 m au cours de ces essais. OceanGate a également effectué 4 essais sans personne à bord.

Le 27 mars, le président du comité sur les véhicules sous-marins pilotés (VSP), qui fait partie de la Marine Technology Society⁴⁷, a communiqué avec OceanGate. Le comité sur les VSP avait rédigé une lettre à l'intention du PDG d'OceanGate pour lui faire part de ses préoccupations concernant le développement du *Titan* et l'intention d'OceanGate de l'utiliser pour plonger jusqu'au *Titanic*. La lettre n'a pas été envoyée à OceanGate, mais le président du comité sur les VSP en a transmis le contenu de vive voix au PDG d'OceanGate. Les principales préoccupations portaient sur le fait que l'approche expérimentale d'OceanGate pourrait avoir des conséquences négatives graves pour l'industrie des VSP et qu'un seul incident pourrait gâcher le bilan de sécurité de l'industrie. Dans la lettre, on recommandait à OceanGate de mettre en place un programme de mise à l'essai de prototypes qui serait examiné et supervisé par une société de classification.

À la fin d'avril, OceanGate a transporté le submersible aux Bahamas. Au cours de la première semaine de mai, OceanGate a constaté que les composants électroniques et le câblage du *Titan* avaient subi des dommages importants, qui ont été attribués à la foudre. Dans les jours qui ont suivi, le personnel d'OceanGate a non seulement recâblé le système électrique du submersible, mais il a aussi remplacé son matériel et ses logiciels.

OceanGate a ensuite commencé à effectuer des plongées aux Bahamas. Les plongées se sont déroulées de mai 2018 à avril 2019. Pendant cette période, OceanGate a effectué 20 plongées avec des personnes à bord, la plus profonde atteignant 3939 m. Elle a également effectué 11 plongées sans personne à bord, la plus profonde atteignant 4000 m.

Le 13 mai 2019, une fissure a été découverte dans le cylindre en fibres de carbone après une plongée. Le 5 juin, une partie du manchon de la coque a été découpée afin de mieux exposer la fissure et de permettre une évaluation plus poussée afin de déterminer l'ampleur de la fissure. La fissure a ensuite été inspectée par un représentant de l'industrie aérospatiale possédant une expérience des fibres de carbone, ainsi que par un représentant de la compagnie qui avait fabriqué le cylindre. Le *Titan* a ensuite été retransporté vers l'état de Washington.

Le 20 juin, OceanGate a mené une inspection détaillée du cylindre, et un rapport de non-conformité a été rédigé et signé par le directeur de l'ingénierie et le directeur de l'intégration des systèmes et des opérations maritimes. Le rapport relevait 3 fissures intérieures sur le côté avant bâbord du cylindre. Des inspections supplémentaires ont été effectuées le 28 juin après une remise en état, et un délaminage intérieur des fibres de carbone a été relevé à 2 endroits et potentiellement à un 3^e endroit.

Dans le rapport de non-conformité, on recommandait que le *Titan* soit transporté dans un centre d'essais pour faire l'objet d'autres essais cycliques avec surveillance des émissions acoustiques et des jauges de contraintes dans le but de certifier l'étendue des fissures et du

⁴⁷ La Marine Technology Society est un groupe industriel spécialisé dans les technologies et les ressources marines, dont les membres proviennent de pays du monde entier. Pour de plus amples renseignements sur la Marine Technology Society, voir l'annexe C.

dé laminage. Le 7 août, une plongée a été tentée à Everett (Washington), aux États-Unis, mais le *Titan* n'a atteint que 1 m de profondeur avant que la plongée ne soit interrompue parce que le manchon de la coque s'était déplacé.

Le 15 octobre, le *Titan* a été soumis à des essais à la Deep Ocean Test Facility à une profondeur maximale simulée de 4000 m. À la suite de cet essai, d'autres fissures et dé laminages ont été découverts sur le cylindre en fibres de carbone. Le 18 novembre, le directeur de l'intégration des systèmes et des opérations maritimes d'OceanGate a réduit la profondeur nominale du Titan de 4000 m à 3000 m, étant entendu qu'il n'y aurait aucune plongée sous les 2000 m. Ce cylindre en fibres de carbone n'a plus été utilisé pour aucune autre plongée par la suite. Le 13 décembre, le hublot était déplacé pour être nettoyé et a été échappé, ce qui a entraîné des rayures sur le hublot.

1.12.2 Deuxième construction du Titan (2020-2021)

Au début de l'année 2020, OceanGate a retenu les services d'une nouvelle compagnie, Electroimpact Inc., pour construire un cylindre de remplacement en fibres de carbone. À peu près à la même époque, OceanGate travaillait également avec un entrepreneur en analyse structurelle qui a effectué une analyse par éléments finis afin d'évaluer les tensions et les contraintes exercées sur la coque épaisse. La résistance et le flambage ont été pris en compte lors de cette analyse. L'entrepreneur a ensuite créé un modèle solide par éléments finis dans le but de modéliser les tensions et les contraintes dans les pièces en titane, en composite stratifié et en acrylique, y compris le mouvement du hublot dans le dôme avant.

L'entrepreneur a déterminé que le composite stratifié utilisé pour le cylindre en fibres de carbone n'était pas un matériau standard pour un sous-marin habité, et qu'il devait donc être soumis à des essais pour déterminer sa résistance à la compression et sa rigidité réelles afin de s'assurer que la coque épaisse serait capable de supporter la pression hydrostatique à la profondeur souhaitée avec un facteur de sécurité suffisant. L'entrepreneur a recommandé des essais pour démontrer les propriétés réelles⁴⁸ du composite stratifié, car l'analyse qu'il avait effectuée était fondée sur les propriétés théoriques; toutefois, l'examen des documents indique que ces essais n'ont pas été réalisés.

Lorsque l'entrepreneur a interrogé OceanGate sur la modélisation de la fatigue de la coque épaisse, OceanGate a répondu que le système de surveillance des émissions acoustiques serait utilisé pour détecter les dommages en temps réel et que cette capacité avait été démontrée dans l'itération précédente de la coque épaisse. OceanGate a également changé son facteur de sécurité pour 1,25, ce qui correspond au facteur de sécurité établi par l'Organisation internationale de normalisation (ISO)⁴⁹.

⁴⁸ Ces propriétés comprennent la résistance, la densité, l'épaisseur des couches et l'empilement des plis de fibres de carbone.

⁴⁹ Organisation internationale de normalisation (ISO), *ISO 21173:2019(E) : Submersibles – Hydrostatic pressure test – Pressure hull and buoyancy materials* (2019). Pour de plus amples renseignements sur l'ISO, voir la section 1.26.2.

Au cours du premier semestre 2020, Electroimpact Inc. a construit 2 modèles réduits à l'échelle un tiers de coques épaisses à partir de fibres de carbone préimprégnées de résine époxy. Ces modèles réduits ont été fabriqués selon une méthode à cuisson unique. Au cours du procédé de fabrication, certains plis dans les fibres de carbone des modèles réduits présentaient une importante ondulation (ondulation des plis). L'ondulation des plis réduit la résistance à la compression et au flambage d'un composite stratifié. OceanGate a reconnu qu'il y avait un problème d'ondulation des plis et a évoqué la construction d'un modèle à l'échelle un tiers employant une méthode à cuisson multiple afin d'atténuer ce problème⁵⁰; toutefois, par souci d'économies, aucun modèle à cuisson multiple n'a été construit.

En mai 2020, OceanGate a commandé un nouveau hublot pour remplacer celui qui était rayé. Ce hublot a été fabriqué par une compagnie allemande et était identique à l'ancien.

En juillet et août 2020, 6 essais ont été réalisés sur les modèles à l'échelle un tiers dans les installations d'essai de l'UW-APL. Un des modèles à l'échelle un tiers s'est rompu à 3000 m, et l'autre s'est rompu à 3300 m.

OceanGate et son entrepreneur en analyse structurelle ont réalisé une inspection et une analyse après la défaillance et ont déterminé que l'ondulation des plis dans certaines zones localisées du cylindre en fibres de carbone était à l'origine de chaque défaillance. OceanGate a discuté avec l'entrepreneur en analyse structurelle au sujet du niveau d'ondulation des plis que le cylindre pouvait tolérer sans provoquer de défaillance; toutefois, aucun autre essai n'a été effectué.

Après les essais réalisés en juillet et août sur des modèles à l'échelle un tiers, OceanGate s'est concentré sur la construction de la coque épaisse à pleine échelle. OceanGate et l'entrepreneur en analyse structurelle ont effectué une série d'analyses structurelles fondées sur les valeurs théoriques du composite stratifié et ont calculé que la coque épaisse aurait un facteur de sécurité de 1,83 pour une descente sous l'eau à une profondeur de 6000 m. Étant donné que ce facteur de sécurité calculé était supérieur au facteur de sécurité de 1,25, l'analyse indiquait que l'épaisseur du cylindre en fibres de carbone pouvait être réduite afin de diminuer le poids du sous-marin tout en maintenant un facteur de sécurité supérieur à 1,25.

Electroimpact Inc. a insisté pour que le cylindre en fibres de carbone à pleine échelle soit construit en suivant la méthode à cuisson multiple, car on estimait que cette méthode permettrait d'obtenir un cylindre plus résistant que la méthode à cuisson unique. OceanGate a d'abord rejeté cette recommandation en raison de son coût supplémentaire, mais Electroimpact Inc. a insisté et a accepté d'en assumer les frais. Le procédé de fabrication a donc consisté, pour Electroimpact Inc., à créer le cylindre en 5 couches,

⁵⁰ Une méthode à durcissement multiple permet d'obtenir des couches de fibres de carbone plus fines, ce qui réduit le risque d'ondulation des plis. L'ondulation des plis devient plus préoccupante à mesure que la couche de fibres de carbone s'épaissit. La réduction de la résistance causée par l'ondulation des plis ne peut être déterminée qu'à l'aide d'essais.

chacune étant durcie à part. Une fois la première couche du cylindre créée, un tissu d'arrachage⁵¹ y a été ajouté. La première couche du cylindre a ensuite été expédiée à une autre compagnie, Janicki Industries Inc., où elle a été ensachée sous vide et durcie. Après avoir été durcie, elle a été réexpédiée à Electroimpact Inc. où le tissu d'arrachage a été retiré et une couche d'adhésif a été appliquée. À ce stade, la couche suivante a été ajoutée et le procédé a été répété.

Afin de réduire l'ondulation des plis, leur épaisseur était limitée à 25,4 mm avant la cuisson. Les couches étaient réalisées à l'aide d'un ruban de fibres de carbone unidirectionnel préimprégné de résine époxy et enroulé sur un mandrin en acier au carbone par une machine de placement automatique des fibres. Chaque couche contenait 133 plis de fibres. L'épaisseur de chaque pli était de 0,1905 mm. La séquence d'empilement des stratifiés était la suivante : 2 plis cylindriques d'abord, suivis de 1 pli longitudinal. La séquence était répétée jusqu'à ce qu'un total de 133 plis soient appliqués. Le stratifié obtenu avec cette séquence d'empilement serait de nature orthotropique, selon la théorie des stratifiés, et ses principales propriétés mécaniques, à savoir la résistance et la rigidité (module d'élasticité), seraient beaucoup plus élevées dans le sens circonférentiel que dans le sens axial, car le rapport entre les plis dans le sens circonférentiel et ceux dans le sens axial était de 2 pour 1. Cette conception structurelle stratifiée est normalement considérée dans la littérature comme un moyen de gérer des niveaux de tension différents dans ces 2 sens dans une coque épaisse lorsqu'elle est utilisée sous l'eau.

Pendant la fabrication des couches du cylindre, certains plis de fibres de carbone ont développé des ondulations qui ont entraîné des zones surélevées où les plis s'écartaient de la courbure prévue du cylindre. Les plis de fibres de carbone dans ces zones ont été meulés par OceanGate afin de les mettre à niveau avec le reste de la surface extérieure avant l'ajout de la couche suivante. Le meulage des fibres de carbone a fait en sorte de sectionner certaines fibres et d'introduire des défauts à la surface. Le meulage n'a pas atténué l'ondulation des couches sous la surface extérieure de chaque couche du cylindre.

En janvier 2021, le nouveau cylindre était terminé et le submersible était assemblé. Certains composants de la 1^{re} construction, comme les anneaux et les dômes en titane, ont été réutilisés par souci d'économies. Les anneaux en titane avaient été envoyés dans un atelier d'usinage où ils avaient été nettoyés en vue de leur réutilisation. Le nouveau hublot provenant d'Allemagne a été installé dans cette construction, et l'original rayé a été conservé comme pièce de rechange. De nouveaux capteurs de surveillance des contraintes et des émissions acoustiques ont été ajoutés.

Une fois que le submersible a été assemblé, le directeur de l'ingénierie a joint certains de ses contacts pour savoir s'il était possible de réaliser des essais non destructifs sur la coque épaisse, mais aucun d'eux n'avait de méthode pour ce faire.

⁵¹ Le tissu d'arrachage crée une surface rugueuse sur un stratifié durci afin de faciliter l'adhérence mécanique.

En février et mars 2021, la coque épaisse a été soumise à des essais à la Deep Ocean Test Facility. Quatre essais ont été effectués. Les systèmes de surveillance des contraintes et des émissions acoustiques ont été utilisés pour ces essais. Les données relatives aux contraintes issues des essais étaient linéaires, et les émissions acoustiques étaient inférieures à celles prévues par OceanGate. Le tableau 2 contient plus de détails sur ces essais.

Tableau 2. Détails des essais effectués en février et en mars 2021 (Source des données : OceanGate)

Date (AAAA-MM-JJ)	Profondeur maximale atteinte pendant l'essai (m)	Durée de l'essai (heures)	Durée de maintien de la profondeur maximale de l'essai (heures)
2021-02-26	4000	9,5	1,32
2021-03-01	4200	10,3	0,61
2021-03-02	3850	8	4,23
2021-03-03	3850	7,75	4,09

Entre le 29 avril et le 25 mai, OceanGate a effectué 11 plongées avec des personnes à bord dans les eaux au large de l'état de Washington. La profondeur maximale atteinte lors de ces plongées était de 170 m.

En juin 2021, le submersible a été transporté à St. John's, où OceanGate a poursuivi ses plongées. Voir l'annexe B pour les plongées effectuées par le *Titan* sur le site de l'épave du *Titanic*, dans les eaux canadiennes ou dans la ZEE du Canada entre juin 2021 et l'événement à l'étude.

1.13 Coques épaisses en fibres de carbone

Les fibres de carbone sont largement utilisées dans l'aviation commerciale en raison de leur grande résistance, de leur faible poids et de leur capacité à être moulées. Les composites en fibres de carbone, qui sont fabriqués à partir d'un mélange de fibres de carbone et d'autres matériaux, sont utilisés dans les industries aérospatiale et de la défense depuis plus de 25 ans.

Les sociétés de classification n'approuvent généralement pas les fibres de carbone comme matériau pour la coque épaisse d'un submersible; cependant, certaines d'entre elles ont des règles concernant l'utilisation de matériaux substitutifs, dont les fibres de carbone⁵².

L'utilisation de fibres de carbone dans une coque épaisse pour un submersible habité

⁵² DNV et l'American Bureau of Shipping sont des exemples de sociétés de classification qui ont des règles concernant l'utilisation de matériaux substitutifs. Les règles de DNV ne sont pas disponibles au public, mais les règles de l'American Bureau of Shipping peuvent être consultées à l'adresse <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/generic/generics-2024/00-part-1D-alternative-jan24.pdf> (dernière consultation le 3 mars 2026).

destiné à effectuer des plongées en eaux profondes est une nouveauté⁵³; les submersibles utilisés pour la plongée en eaux profondes sont normalement construits en acier ou en titane⁵⁴, et la coque épaisse habitable est normalement de forme sphérique, car il s'agit de la forme la plus adaptée pour résister à la pression externe et permettre une répartition uniforme des tensions.

L'utilisation de fibres de carbone dans la construction d'une coque épaisse permet d'alléger le submersible, ce qui permet d'économiser des coûts liés aux systèmes de transport, de mise à l'eau et de récupération du submersible. Les fibres de carbone présentent également un avantage par rapport à d'autres matériaux comme l'acier ou le titane, car elles permettent d'obtenir un faible rapport entre le poids et le déplacement. Une coque épaisse cylindrique offre plus d'espace utilisable pour accueillir des personnes à bord qu'une coque épaisse sphérique de même volume. La décision d'OceanGate d'utiliser les fibres de carbone dans la construction du *Titan* était en grande partie fondée sur ces facteurs.

L'utilisation de fibres de carbone dans une coque épaisse habitable nécessite une connaissance approfondie des propriétés de ce matériau. Elle nécessite également un programme d'essais complet permettant de vérifier si les propriétés du matériau sont adaptées à l'application prévue. Une fois que la coque épaisse a été construite, des essais doivent également être effectués afin de confirmer que les propriétés réelles correspondent à celles définies dans la conception initiale⁵⁵.

Outre les essais et la validation des propriétés des fibres de carbone utilisées, il faut tenir compte de certains aspects liés à la fabrication. Lorsque les fibres de carbone, en particulier, sont utilisées pour créer un composant cylindrique d'une coque épaisse sur un mandrin, plusieurs facteurs doivent être pris en considération :

-
- ⁵³ La première coque de haute pression destinée à la plongée en eaux profondes utilisant des fibres de carbone dans sa construction était un prototype à modèle réduit fabriqué en 1988 par la U.S. Navy. Elle n'était pas destinée à l'occupation humaine. Sa conception était similaire à celle du *Titan*, en ce sens qu'elle comportait un cylindre en fibres de carbone, des anneaux de couplage en titane et des bouchons d'extrémité en titane. La coque de haute pression pouvait fonctionner à des profondeurs allant jusqu'à 6096 m. À l'exception du *Titan*, le BST n'a connaissance d'aucune autre coque de haute pression habitable en fibres de carbone qui aurait été utilisée pour la plongée en eaux profondes.
- ⁵⁴ En septembre 2024, il existait 1 submersible construit à partir d'une coque de haute pression en acrylique; il avait été fabriqué de manière à répondre aux exigences d'une société de classification. Il pouvait fonctionner à des profondeurs allant jusqu'à 4000 m.
- ⁵⁵ DNV dispose de 2 documents contenant des règles de classe qui font référence à des consignes en matière d'essai et de validation qui sont applicables aux matériaux en fibres de carbone : « Rules for Classification: Ships » (juillet 2021) et « Rules for Classification: Underwater technology » (juillet 2023). L'American Bureau of Shipping ne dispose pas de règles de classe propres aux matériaux en fibres de carbone, mais il dispose de règles de classe relatives aux essais de submersibles assortis de limites de pression métalliques ou acryliques. Ces règles sont énoncées dans le document suivant : « Rules for Building and Classing Underwater Vehicles, Systems, and Hyperbaric Facilities » (janvier 2025). L'American Bureau of Shipping fournit également des consignes sur l'approbation de classe de concepts substitutifs et nouveaux dans le document suivant : « Rules for Alternative Arrangements, Novel Concepts, and New Technologies » (janvier 2024).

- Propriétés des fibres de carbone (type, dimensions, etc.)
- Nombre de couches de fibres de carbone à appliquer
- Sens des fibres de carbone (axial, circonférentiel, etc.)
- Méthode de placement des fibres de carbone (à la main, par enroulement de filaments, positionnement automatique de fibres)
- Tension appliquée pendant l'enroulement des fibres de carbone
- Type de résine époxy
- Méthode d'application de la résine époxy (application manuelle, trempage, utilisation de fibres de carbone préimprégnées de résine époxy)
- Nombre de cycles de cuisson et vitesse de cuisson (durée du procédé de cuisson)
- Facteurs particuliers à prendre en considération, comme l'ensachage sous vide pour éliminer l'air entre les couches lorsqu'une méthode de cuisson multiple est employée
- Environnement dans lequel les fibres de carbone sont posées (humidité, température, propreté)
- Procédé de cuisson (pression, température et durée)

Il est essentiel de mettre en place des processus adéquats pour contrôler ces facteurs. Le procédé doit être exécuté de manière à éviter les défauts de fabrication comme l'ondulation des plis, le délaminage, la porosité, les cloques, les vides et les inclusions.

La construction d'une coque épaisse à partir d'un matériau innovant comme les fibres de carbone nécessite également un vaste programme d'essais pour établir les limites d'exploitation de la coque épaisse. La pratique normale en ingénierie consiste à soumettre des modèles à pleine échelle à un nombre très important (des centaines, voire des milliers) de cycles d'essai, à des pressions et des charges représentatives, soit dans une installation d'essai, soit au cours de plongées sans personne à bord.

Une fois que la coque épaisse finale a été construite, elle doit être inspectée et soumise à des essais afin de déterminer son état et de relever tout défaut qui aurait pu être introduit pendant la fabrication ou les essais. Des échantillons des matériaux de la coque épaisse finale doivent également faire l'objet d'essais afin de confirmer que les propriétés réelles, comme la résistance et la rigidité, sont conformes aux spécifications prévues. Des essais sont également nécessaires pour prouver que la coque épaisse respecte le facteur de sécurité requis.

Les composites en fibres de carbone ont une faible résistance aux charges d'impact, comme celles qui peuvent être transmises pendant le transport ou pendant les opérations. Ils peuvent aussi être endommagés par une exposition prolongée aux rayons ultraviolets. L'entreposage extérieur des composites en fibres de carbone, où ils sont exposés aux intempéries à des températures inférieures à zéro, est également préoccupant. Si de l'eau

pénètre dans le composite en fibres de carbone et gèle, elle prendra de l'expansion et pourrait entraîner des dommages.

Pour ces raisons, lorsqu'une coque épaisse intègre des fibres de carbone, il est important d'inspecter régulièrement la coque épaisse. Pour ce faire, il peut être nécessaire de démonter la coque épaisse et de réaliser des examens visuels et ultrasoniques afin d'en vérifier l'état.

1.14 Données d'essai provenant du cylindre en fibres de carbone du *Titan*

Lors de la 2^e construction du *Titan*, un excès de matériau à chaque extrémité du cylindre en fibres de carbone a été découpé. Le laboratoire du BST a pu obtenir un morceau découpé qui provenait du cylindre en fibres de carbone du *Titan* de la 2^e construction et qui avait été utilisé dans le cadre d'essais. Le laboratoire du BST a également obtenu des données provenant d'un 2^e morceau découpé que le National Transportation Safety Board avait soumis à des essais.

1.15 Examen par le laboratoire du BST du morceau découpé du cylindre en fibres de carbone du *Titan*

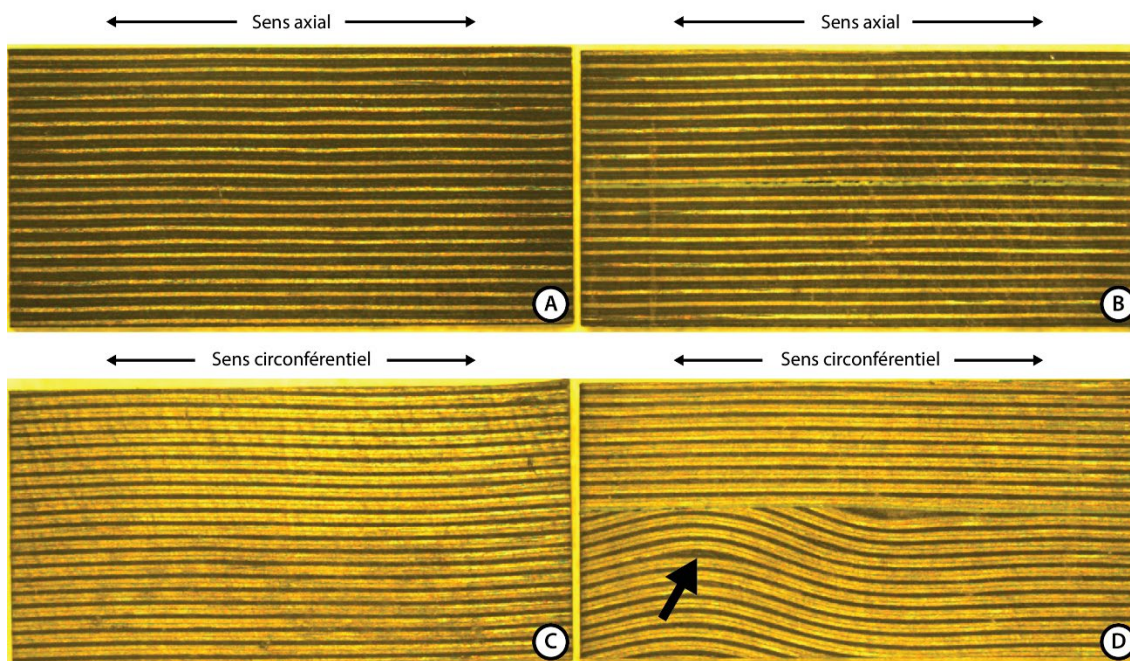
Le laboratoire du BST a examiné le morceau découpé qu'il avait obtenu afin de déterminer les propriétés du cylindre tel qu'il avait été construit. Un examen visuel du morceau a montré que les plis dans le sens axial étaient essentiellement droits dans le sens axial, sans ondulation apparente (figure 15a). Cependant, les plis dans le sens circonférentiel ne semblaient pas conformes à la conception du cylindre en ce qui concerne la courbure, car ils présentaient une ondulation générale. On sait que cette ondulation réduit la résistance et la rigidité du composite stratifié.

Le laboratoire du BST a coupé et usiné le morceau en 18 échantillons, soit 9 dans le sens axial et 9 dans le sens circonférentiel. Trois des échantillons dans le sens axial contenaient la couche de liaison adhésive entre les 3^e et 4^e couches, et 1 de ces échantillons présentait une porosité visible (figure 15b). Huit des 9 échantillons usinés dans le sens circonférentiel présentaient une ondulation généralement légère des plis (figure 15c). L'un des échantillons dans le sens circonférentiel contenant la couche adhésive entre les 3^e et 4^e couches présentait une ondulation importante des plis (figure 15d).

L'examen visuel a également montré que certains plis avaient été meulés afin de ramener les zones surélevées créées par l'ondulation des plis au même niveau que le reste de la surface extérieure pendant le procédé de fabrication (figure 15d). Le meulage des couches n'a pas permis de remédier à l'ondulation des couches sous la surface du cylindre⁵⁶.

⁵⁶ L'ondulation des couches peut être atténuée pendant le procédé de fabrication. Elle est plus facile à atténuer lorsque les couches de fibres de carbone sont plus minces.

Figure 15. Photos d'échantillons provenant du morceau découpé du Titan. Les photos A et B montrent les plis dans le sens axial, tandis que les photos C et D montrent les plis dans le sens circonférentiel. La photo A ne montre aucune porosité visible, tandis que la photo B montre une porosité visible dans la zone encadrée. La photo C montre une légère ondulation des couches. La flèche noire sur la photo D indique l'ondulation importante des couches, et la zone encadrée sur la photo D indique une zone qui a été meulée (Source : BST).



Les essais effectués par le laboratoire du BST ont montré que la résistance admissible du matériau composite stratifié dans le sens axial était suffisante, comme l'indique le facteur de sécurité calculé de 3,05, qui est supérieur au facteur exigé de 1,25. Toutefois, ce n'était pas le cas pour la résistance admissible dans le sens circonférentiel : le facteur de sécurité calculé y était de 1,11, soit moins que le facteur de sécurité exigé de 1,25.

En supposant que les résultats des essais effectués sur les échantillons sont représentatifs des propriétés du cylindre en fibres de carbone utilisé dans le *Titan*, le fait que le facteur de sécurité exigé pour la résistance dans le sens circonférentiel n'était pas respecté signifiait qu'il était dangereux pour le *Titan* d'être exposé à plusieurs reprises à des pressions équivalentes à la profondeur du *Titanic* ou plus (ce qui s'est produit lors des essais de pression). Cela explique peut-être pourquoi le *Titan* a réussi 4 essais de pression à la Deep Ocean Test Facility et a ensuite effectué avec succès des plongées à des profondeurs égales ou presque égales à celles du *Titanic*, mais a fini par connaître une défaillance à sa 14^e plongée vers le *Titanic*.

1.16 Analyse de l'accumulation des dommages par le Laboratoire du BST

L'analyse de l'accumulation des dommages est une forme d'analyse de la fatigue au cours de laquelle on utilise l'accumulation des dommages induits par les tensions pour déterminer la durée de vie utile restante d'une structure. Chaque fois qu'une structure est soumise à des

tensions, de petits dommages peuvent s'accumuler. Plus les tensions imposées à la structure sont élevées, plus ces dommages s'accumulent rapidement. Un composant soumis à des tensions plus élevées aura une durée de vie plus courte qu'un composant soumis à des tensions moins élevées.

L'analyse de l'accumulation des dommages effectuée par le laboratoire du BST a montré qu'un cylindre en fibres de carbone sans défaut, de même conception que le *Titan* et respectant toutes les propriétés définies par le fabricant de fibres de carbone, n'aurait probablement pas connu une défaillance à des profondeurs équivalentes à celles du *Titanic*. L'analyse indique que le cylindre aurait utilisé moins de 0,00001 % de sa durée de vie au cours des 24 plongées⁵⁷ que le *Titan* avait entreprises avant la plongée à l'étude.

D'autres analyses ont été menées à l'aide de données provenant d'échantillons du 2^e morceau découpé que le National Transportation Safety Board avait soumis à des essais. Les essais ont permis de déterminer la valeur de résistance à la compression des échantillons. L'analyse du laboratoire du BST a montré que, d'après l'échantillon présentant la résistance à la compression la plus élevée, on pouvait raisonnablement s'attendre à ce que le cylindre tel que construit survive, mais que, d'après l'échantillon présentant la valeur de résistance à la compression la plus faible, le cylindre aurait pu utiliser plus de 82 % de sa durée de vie en fatigue pendant le temps écoulé avant la plongée à l'étude.

Le BST a déterminé que certains des procédés utilisés dans la fabrication du cylindre pourraient avoir entraîné l'apparition de défauts dans la coque épaisse. Par exemple, le procédé d'ensachage sous vide et de cuisson de la coque engendrait un risque de délaminage et de porosité. De plus, les couches précédemment durcies pourraient avoir créé une couche imperméable aux gaz qui aurait empêché la migration des microbulles hors du matériau durci au cours de l'ensachage sous vide ultérieur.

De même, le procédé consistant à meuler les zones surélevées du cylindre pour les mettre à niveau avec sa courbure de conception a possiblement engendré des défauts à la surface du cylindre.

Les défauts engendrés pendant la fabrication peuvent entraîner une propagation plus rapide des fissures et peuvent isoler les couches les unes des autres, ce qui les empêche de se partager efficacement les charges hydrostatiques appliquées. Les couches isolées doivent alors résister seules à toutes les tensions qui sont exercées sur elles, ce qui réduit considérablement l'efficacité du stratifié.

1.17 Documents d'OceanGate liés à l'exploitation du *Titan* en 2023

OceanGate avait plusieurs documents qui étaient liés à l'exploitation du *Titan* en 2023 :

- un manuel d'exploitation pour le *Titan*

⁵⁷ Cette analyse comprend les essais réalisés à la Deep Ocean Test Facility, mais exclut les plongées à moins de 70 m.

- un manuel de pilotage pour le *Titan*
- une liste de vérification du directeur de mission
- un plan d'exécution de projet pour les expéditions de 2023
- une évaluation des risques liés aux opérations de plongée pour 2023
- un manuel de santé et sécurité
- un plan de communication pour les interventions en cas d'incident
- un guide des employés d'OceanGate
- un carnet de plongée et d'entretien comprenant une grande variété d'informations sur l'entretien et les modifications, ainsi qu'un carnet de plongée et des données sur le rendement

Des plans de plongée individuels ont également été créés pour chaque plongée. Voir la section 1.17.12 pour obtenir plus de renseignements sur les plans de plongée, y compris le plan de plongée de l'événement à l'étude.

1.17.1 Manuel d'exploitation

Le manuel d'exploitation comprenait des listes de vérification avant et après la plongée; les procédures d'urgence; les procédures de mise à l'eau, de remorquage et de récupération; les procédures de remontée à la surface; les descriptions des systèmes; et les règles relatives aux communications sous-marines. La version du manuel d'exploitation qui se trouvait à bord du *Polar Prince* pour la saison 2023 était datée du 24 mai 2021.

1.17.2 Manuel de pilotage

Le manuel de pilotage contenait des renseignements sur le fonctionnement du *Titan*, notamment sur la manière de mettre en marche le submersible et d'utiliser les logiciels sur l'ordinateur principal qui contrôlait les divers systèmes du *Titan*. Le manuel de pilotage contenait aussi des listes de vérification avant et après la plongée similaires à celles du manuel d'opérations, ainsi qu'une procédure d'urgence expliquant comment utiliser la batterie de secours en cas de perte de puissance interne.

Le manuel de pilotage avait été élaboré par les membres de l'équipe d'ingénieurs d'OceanGate qui faisaient partie du personnel en 2020 et 2021. Le manuel semblait incomplet.

1.17.3 Liste de vérification du directeur de mission

La liste de vérification du directeur de mission contenait :

- les descriptions des rôles et responsabilités du directeur de mission, du pilote du submersible, du commandant de bord du navire de soutien, de l'opérateur du LARS et des autres membres du personnel d'OceanGate;
- les définitions des termes de plongée d'OceanGate, comme « stopski », « anomaly » [anomalie] et « strike » [faute];

- certaines limites de sécurité concernant le nombre maximal d'heures de travail autorisées avant les plongées;
- l'ordre de déroulement des opérations pendant les plongées;
- une liste de vérification des exigences minimales à respecter pour que le *Titan* puisse commencer une plongée;
- la configuration et le protocole du LARS;
- la configuration et le protocole de remorquage;
- une section sur l'exécution des plongées, les communications et le suivi du *Titan*;
- des renseignements sur la récupération du LARS sans le *Titan* et la mise à l'eau du LARS avec et sans le *Titan*;
- les opérations du LARS pour le *Horizon Arctic*;
- les opérations de ballastage après une plongée profonde;
- les tâches à effectuer après une plongée;
- une liste de vérification d'urgence à utiliser en cas de perte de puissance, de défaillance des propulseurs et d'absence de contrôle du système de vessie de ballast;
- une section concernant les opérations réalisées avec le *Horizon Arctic* (aucune section ne s'appliquait particulièrement au *Polar Prince*);
- une description des responsabilités du directeur de mission concernant la gestion des risques pendant les plongées.

La liste de vérification du directeur de mission n'était pas datée.

1.17.4 Plan d'exécution de projet pour 2023

Le plan d'exécution du projet pour 2023 comprenait des renseignements sur la santé et la sécurité et sur la formation des employés. Il donnait un aperçu des spécifications, des systèmes et des procédures du *Titan*. De plus, il établissait le calendrier du projet et les rôles des divers membres du personnel, et il présentait des renseignements sur la mobilisation, la démobilisation et l'installation à bord. On y trouvait aussi une liste de personnes à contacter en cas d'urgence, y compris certains conducteurs de VTG de sauvetage susceptibles d'apporter leur aide en cas de sauvetage sous-marin. La dernière version du plan d'exécution du projet pour 2023 était datée du 2 juin 2022, mais certaines parties du plan semblaient avoir été révisées après cette date.

1.17.5 Évaluation des risques liés aux opérations de plongée pour 2023

L'évaluation des risques liés aux opérations de plongée comprenait une description des objectifs et de la portée des travaux pour la saison 2023. Elle comprenait aussi une évaluation des risques liés aux tâches suivantes associées aux opérations de plongée :

- la mobilisation du *Titan* et de l'équipement de soutien;

- la mobilisation du personnel d'OceanGate et du personnel tiers;
- la préparation du navire, l'aménagement du pont, l'arrimage en mer et l'armement en équipage du navire de soutien pour les missions;
- les trajets du navire de soutien à destination et en partance du site de plongée;
- le remorquage du *Titan* et du LARS au site de plongée avec le navire de soutien;
- les opérations sur de petites embarcations autour du navire de soutien, du *Titan* et du LARS;
- la mise à l'eau et la récupération du *Titan* avec le LARS;
- les opérations de plongée vers le *Titanic* ou d'autres sites d'intérêt et la collecte de données;
- le suivi du submersible
- la démobilisation du personnel et de l'équipement

L'évaluation des risques liés aux opérations de plongée pour 2023 datait du 25 mars 2023.

1.17.6 Manuel de santé et sécurité

Le manuel de santé et sécurité contenait des renseignements généraux sur la sécurité des employés et traitait de sujets comme l'accès aux espaces confinés, la sécurité électrique, la protection contre les incendies et les chutes, les transferts de personnel, la sécurité dans les ateliers, la sécurité pendant les travaux de soudage et de découpe, et la survie dans l'eau. Le manuel de santé et sécurité datait de 2019.

1.17.7 Plan de communication pour les interventions en cas d'incident

Le plan de communications pour les interventions en cas d'incident contenait des renseignements sur la manière dont certains membres de l'équipe OceanGate devaient communiquer les renseignements en cas d'incident lié aux opérations de plongée. Le plan de communication pour les interventions en cas d'incident était daté de 2022.

1.17.8 Guide des employés d'OceanGate

Le guide des employés d'OceanGate contenait des renseignements sur les politiques d'emploi, l'environnement de travail, les avantages sociaux, les congés et les autres politiques d'OceanGate. Le guide des employés d'OceanGate était daté du 15 janvier 2019.

1.17.9 Carnet de plongée et d'entretien

OceanGate tenait un carnet de plongée et d'entretien. Le carnet était présenté sous forme de tableur et comprenait des onglets réservés au carnet de plongée, aux dossiers d'entretien régulier et préventif, aux modifications, de même qu'aux données sur le véhicule et la performance. Le carnet était mis à jour régulièrement afin de suivre les activités de plongée et d'entretien.

1.17.10 Documents faisant référence aux communications entre le *Titan* et l'équipe de soutien en surface pendant les plongées

OceanGate disposait de multiples documents faisant référence aux communications entre le *Titan* et l'équipe de soutien en surface pendant les plongées. Le manuel d'opérations du *Titan* contenait une section sur les communications sous-marines qui précisait ce qui suit [traduction] :

Un journal des communications sous-marines doit être tenu continuellement entre le MOSHIP [équipe de soutien en surface] et le Titan lorsque ce dernier est dans l'eau. Les communications doivent être réduites au strict minimum afin de permettre à l'équipage du Titan de se consacrer pleinement à ses tâches désignées.

Toutes les 5 minutes, le système de communications acoustiques à bord enverra à la surface les données relatives à la profondeur, au cap et à la vitesse. Au moins une fois par heure, le sous-marin enverra un message manuel à la surface.

En cas d'absence de communications de plus de 1 heure avec la surface à l'aide du modem acoustique, le pilote du submersible lancera la procédure de remontée à la surface conformément à la procédure en cas de perte de communications⁵⁸.

Le plan d'exécution du projet comprenait une procédure en cas de perte de communications. La mesure énoncée était la suivante [traduction] : « Le submersible envoie continuellement des données d'état à la surface. Si la connexion avec la surface est perdue pendant plus de 60 minutes, le submersible remontera à la surface⁵⁹. »

La liste de vérification du directeur de mission et le manuel de santé et de sécurité contenaient également un protocole en cas de perte de communications. Selon ce protocole, les communications devaient être vérifiées toutes les 15 minutes. Le protocole en cas de perte de communications était le suivant [traduction] :

Protocole de communications manquées

Communication aux 15 minutes Vérifier les communications manquées (noter que les communications ont été manquées)

Communication aux 30 minutes Vérifier les communications manquées (noter que les communications ont été perdues)

Communication aux 45 minutes Vérifier les communications manquées (noter que le sous-marin est disparu); 15 minutes seront accordées pour prendre les mesures appropriées.

Les personnes-ressources internes et le personnel de secours seront appelés après 1 heure sans communication, plus le temps de remontée à la surface requis à partir de la dernière profondeur connue ou supposée de l'emplacement.

Une recherche supplémentaire de 3 heures sera effectuée en surface avant de demander des secours d'urgence externes, sauf si les circonstances justifient un délai plus court.

⁵⁸ OceanGate, « Titan Crewed Submersible Operations Manual », p. 32.

⁵⁹ OceanGate, « Project execution plan: Titanic Survey Expedition 2023 », révision B, p. 22.

Une recherche par quadrillage sera effectuée par des navires de surface selon les instructions du MD [directeur de mission]^{60,61}.

Les circonstances qui justifieraient de raccourcir le délai avant de demander des secours n'étaient pas précisées dans les documents d'OceanGate.

Les systèmes de communications acoustiques d'OceanGate représentaient, pour l'équipage du submersible, l'unique moyen de communiquer avec l'équipe de soutien en surface et de le prévenir en cas d'urgence nécessitant des secours externes. Au fil des ans, les divers systèmes de communication et de suivi du *Titan* n'ont pas toujours fonctionné de manière fiable. Cependant, OceanGate n'avait jamais perdu simultanément ses capacités de communication et de suivi, comme ce fut le cas lors de la plongée à l'étude.

À partir des données disponibles dans le carnet de plongée et d'entretien d'OceanGate, ainsi que d'autres sources, le BST a compilé des renseignements sur les plongées au cours desquelles des problèmes sont survenus avec les systèmes de communication et de suivi (tableau 3).

Tableau 3. Problèmes avec les systèmes de communication et de suivi du Titan entre le 10 octobre 2018 et le 14 juillet 2022 (Source : BST, en fonction des données d'OceanGate)

Date (AAAA-MM-JJ)	Profondeur de la plongée (m)	Problème
2018-10-10	504	Le système ATM ne fonctionnait pas à une profondeur de plus de 200 m
2018-11-14	720	Le système ATM ne fonctionnait pas à une profondeur de plus de 200 m
2019-03-14	130	Le système ATM ne recevait pas de données.
2019-04-10	991	Le transducteur de suivi a été perdu.
2019-04-17	3760	Des problèmes électroniques ont provoqué l'arrêt du système ATM, qui a dû être redémarré. Le <i>Titan</i> ne recevait plus les transmissions ATM après avoir commencé son ascension.
2021-05-20	170	Les communications du système ATM étaient intermittentes lorsque le <i>Titan</i> se trouvait au fond et utilisait ses propulseurs.
2022-06-18	1380	Les communications envoyées par le <i>Titan</i> n'étaient pas toujours reçues par le navire de soutien en surface en raison d'une erreur de codage.
2022-06-20	3840	Le système ATM ne fonctionnait pas toujours bien.
2022-07-14	3840	Le système ATM ne fonctionnait pas en profondeur et le <i>Titan</i> était incapable de déterminer sa propre position.

⁶⁰ OceanGate, « Operations Mission Director Checklist », p. 6.

⁶¹ OceanGate, « Health, Safety and Environment (HSE) Manual », révision 3 (2019), p. 148.

1.17.10.1 Procédures en cas de perte de communication pour les submersibles

En cas de perte de communication entre un submersible et l'équipe de soutien en surface, si cette équipe ne dispose d'aucun autre moyen de déterminer rapidement l'état du submersible, la perte de communication doit être considérée comme une situation d'urgence. Le fait de ne pas considérer une perte de communication avec un submersible comme une situation d'urgence immédiate peut réduire le temps disponible pour une intervention SAR. Le temps est particulièrement critique pour les interventions de SAR auprès de submersibles, étant donné que ceux-ci ne disposent que d'un système de survie limité.

Fait établi : Autre

Le protocole en cas de communications manquées d'OceanGate donnait du temps pour que les problèmes de communication soient réglés ou se résolvent d'eux-mêmes et n'exigeait pas de lancer immédiatement des procédures d'urgence.

1.17.11 Gestion des risques opérationnels

La liste de vérification du directeur de mission contenait les procédures à suivre pour gérer les risques pendant une mission donnée. La liste de vérification précisait que le directeur de mission était chargé d'assurer le suivi des anomalies dès le début d'une plongée. Une anomalie était définie comme tout écart par rapport à la procédure, ou toute performance ou configuration du système qui ne serait pas attendue dans une situation « parfaite ». La liste de vérification précisait que les anomalies pouvaient être aussi mineures que l'arrivée tardive d'un membre de l'équipe de plongée ou un retard de plus de 15 minutes dans une étape prévue. La liste de vérification indiquait que s'il y avait plus de 15 anomalies, cela devait être considéré comme une « faute ». Les fautes et les anomalies étaient examinées au cours des réunions d'information avant et après les plongées dans le but d'améliorer les opérations.

Une faute était définie comme un écart important ou comme un problème majeur connu avant ou pendant une plongée, lequel, malgré son importance, ne justifiait pas à lui seul l'annulation de la plongée. La liste de vérification donnait les exemples de fautes suivants :

- des conditions météorologiques pires que prévu
- des retards de plus de 1 heure par rapport à l'horaire prévu
- des changements de dernière minute concernant le personnel de plongée clé
- la défaillance de certains types d'équipements
- les changements de configuration de dernière minute

Si le nombre total de fautes atteignait 3 ou plus, la liste de vérification prévoyait que le directeur de mission annule la plongée.

La liste de vérification indiquait également que le directeur de mission devait annuler une plongée lorsque l'on déterminait qu'une situation dangereuse existait ou était susceptible

de se produire. La liste de vérification ne définissait pas les situations dangereuses ni les circonstances dans lesquelles elles étaient susceptibles de se produire.

La liste de vérification décrivait la pratique d'OceanGate consistant à intégrer des pauses de 5 minutes dans les opérations. Ces pauses, que OceanGate appelait « stopskis », avaient pour but de permettre à toutes les personnes concernées d'arrêter leurs activités et de réfléchir à la sécurité d'une action ou d'un événement en particulier. La liste de vérification indiquait qu'un stopski devait être effectué avant toute action importante, comme le début des opérations de plongée, le lavage des RIB ou toute autre activité faisant intervenir la sécurité de vies humaines. La liste de vérification indiquait que tout participant à la mission pouvait également demander un stopski et que le directeur de mission ne pouvait retarder le stopski que si l'introduction d'une pause dans le processus pouvait elle-même causer un problème de sécurité.

Enfin, la liste de vérification du directeur de mission indiquait que le directeur de mission était responsable de consigner tous les problèmes liés à l'entretien qui survenaient lors de l'exécution des plongées. Le manuel de santé et de sécurité indiquait que ces problèmes liés à l'entretien devaient être consignés dans le carnet de plongée.

1.17.12 Plans de plongée

OceanGate exigeait qu'un plan de plongée soit élaboré au moins 8 heures avant chaque plongée. OceanGate disposait d'un gabarit qui était utilisé pour créer les plans de plongée. Le gabarit devait être rempli avec les renseignements suivants :

- une liste des participants pour la plongée et leurs rôles;
- la fréquence d'utilisation de la radio à très haute fréquence (VHF);
- les conditions météorologiques;
- l'horaire de plongée;
- la charge transportée en plongée;
- le poids supplémentaire pour la plongée;
- une évaluation des risques;
- les coordonnées des personnes à contacter en cas d'urgence.

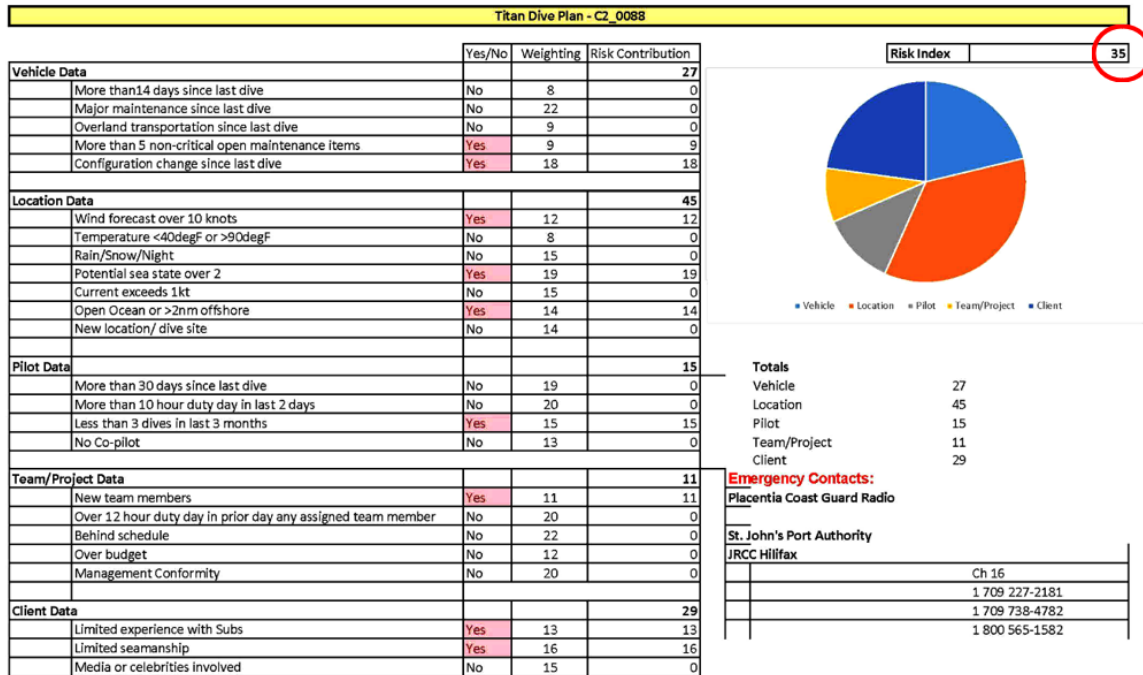
Le gabarit de plan de plongée comprenait une liste de toutes les tâches à accomplir dans le cadre d'une plongée. Chaque plan de plongée était abordé avec toutes les personnes concernées dans la plongée la veille, puis était revu le matin même de la plongée.

1.17.12.1 Évaluation des risques

L'évaluation des risques effectuée dans le cadre du plan de plongée comprenait une formule mathématique qui calculait automatiquement un indice de risque à partir des chiffres saisis pour chaque élément évalué. Les enquêteurs n'ont pas pu obtenir la formule mathématique utilisée pour calculer l'indice de risque, mais ils ont obtenu les indices de risque finaux.

La liste de vérification du directeur de mission précisait qu'un indice de risque supérieur à 48 était considéré comme une faute. L'évaluation des risques pour la plongée à l'étude (figure 16) présentait un indice de risque de 35.

Figure 16. Capture d'écran de l'évaluation des risques pour la plongée à l'étude, montrant les éléments utilisés par OceanGate pour évaluer les risques, la pondération de chaque élément et l'indice de risque total. L'indice de risque est encerclé. (Source : OceanGate)



1.18 Procédures d'urgence du Titan

OceanGate disposait de procédures d'urgence pour divers scénarios. La plupart des procédures d'urgence figuraient dans le manuel d'opérations, mais certaines procédures figuraient également dans la liste de vérification du directeur de mission, le manuel de pilotage et le plan d'exécution du projet. Les procédures d'urgence couvraient les scénarios suivants :

- panne d'alimentation des batteries internes;
- panne d'alimentation des batteries à haute tension externes;
- remontée en surface d'urgence;
- défaillance de l'épurateur de dioxyde de carbone ou excès de dioxyde de carbone dans la cabine;
- libération incontrôlée d'air comprimé dans la cabine;
- excès d'oxygène dans la cabine;
- fumée ou incendie;
- panne de communications;
- déballastage d'urgence;

- submersible en détresse (défini par OceanGate comme une situation dans laquelle le submersible est incapable de faire surface sans aide extérieure en raison d'un enchevêtrement, d'un envahissement de la cabine par les eaux, de la perte du système de vessie de ballast et du contrôle des propulseurs, ou d'une perte de la capacité à larguer les lests largables);
- défaillance touchant la flottabilité du LARS pendant le remorquage;
- perte de puissance empêchant le *Titan* de se positionner sur le LARS pendant la récupération.

1.18.1 Personnes à contacter en cas d'urgence

Dans le plan d'exécution du projet pour les plongées vers le *Titanic* en 2023, OceanGate disposait d'une liste de personnes à contacter en cas d'urgence. La liste comprenait le CCCOS de Halifax, le CCOS de Boston et une compagnie d'hélicoptères privée établie à St. John's. Elle comprenait également les coordonnées des services médicaux d'urgence et de 7 organisations disposant de VTG qui pouvaient être appelées à prendre part à des opérations de sauvetage en eaux profondes. Les plans de plongée comprenaient également une liste de numéros de personnes à contacter en cas d'urgence pour référence rapide, dont ceux de la radio de la garde côtière de Placentia, de l'autorité portuaire de St. John's et du CCCOS de Halifax. Les enquêteurs n'ont trouvé aucune preuve qu'OceanGate aurait conclu des contrats avec des conducteurs de VTG éventuels pour des opérations de sauvetage lorsqu'il réalisait des opérations avec le *Titan*.

Le plan d'exécution du projet pour 2023 comprenait une section sur les interventions d'urgence, qui indiquait que le plus grand risque pour le submersible et son équipage était la possibilité d'un enchevêtrement dans un objet étranger (p. ex. des filets, des câbles, des épaves sous-marines) ou d'une panne du submersible en eaux profondes. Le plan prévoyait que, si le submersible se trouvait à des profondeurs supérieures à celles pouvant être atteintes par des plongeurs en scaphandre, un VTG, s'il y en avait un à bord, serait utilisé. Dans le cas où aucun VTG ne serait à bord, le plan prévoyait qu'OceanGate disposait de coordonnées pour des VTG capables d'atteindre 4000 m et que ceux-ci, ainsi que d'autres exploitants sous-marins, seraient joints afin de déterminer l'intervention la plus rapide possible pour le sauvetage⁶².

1.19 Entretien et inspections du Titan

OceanGate tenait un dossier d'entretien du *Titan* dans le carnet de plongée et d'entretien. L'onglet d'entretien du carnet énumérait les problèmes survenus pendant ou entre les plongées, ainsi que toute opération d'entretien qui en découlait. Les problèmes étaient consignés dans un format qui comprenait la date, le numéro de plongée, le problème vécu, la personne qui avait signalé le problème et la question de savoir si le problème était

⁶² OceanGate, « Project execution plan: Titanic Survey Expedition 2023 », révision B, p. 20-21.

suffisamment grave pour entraîner l'annulation de la mission. Les activités d'entretien effectuées étaient consignées dans un format qui comprenait le nom de la personne qui avait effectué l'entretien et la date à laquelle il avait été effectué. On y trouvait aussi des champs indiquant le nom de la personne qui avait inspecté les travaux d'entretien effectués et la date de cette inspection.

Le carnet de plongée et d'entretien contenait également un onglet où figurait une liste des tâches d'entretien préventif à effectuer régulièrement sur le *Titan*. Cette liste comprenait des tâches comme le démontage et l'inspection de divers composants du submersible, la recharge des batteries, la réalisation d'essais d'étanchéité, la mise à l'essai des systèmes d'alarme ainsi que le nettoyage et le graissage de divers composants. Il n'y avait pas de dossiers datés indiquant la fréquence à laquelle ces tâches étaient effectuées.

Le carnet comprenait également un onglet contenant une liste des modifications apportées à la 1^{re} et à la 2^e construction du *Titan* et au LARS. Cette liste comprenait des modifications comme l'installation de nouveaux composants, la modification des commandes, la configuration des logiciels et l'ajout de flottabilité. Les modifications étaient consignées dans un format comprenant une description de la modification, le nom de la personne qui l'avait demandée, la date, le statut et tout détail supplémentaire concernant la modification. Le carnet indiquait aussi le nom de la personne chargée de travailler à la modification et le nom de la personne responsable d'inspecter la modification.

Enfin, le carnet comprenant un onglet contenant des renseignements sur la masse et le centrage du *Titan*, y compris la flottabilité nette de base, les configurations ou modifications apportées au submersible et toute remarque pertinente concernant la masse et le centrage.

Outre le carnet de plongée et d'entretien, d'autres documents d'OceanGate faisaient également référence aux activités d'entretien et d'inspection. Par exemple, le manuel d'opérations comprenait une liste de vérification des éléments à vérifier avant et après les plongées. Le calcul de l'indice de risque du plan de plongée comprenait un champ réservé aux données relatives au véhicule où l'on trouvait 3 champs liés à l'entretien : les travaux d'entretien majeurs effectués depuis la dernière plongée, plus de 5 travaux d'entretien non critiques en attente et les modifications de configuration depuis la dernière plongée.

1.20 Navires de soutien

Le *Titan* dépendait d'un navire de soutien pour exécuter ses opérations. En 2021 et 2022, OceanGate avait conclu un contrat d'affrètement avec Horizon Maritime Services Ltd. en vue d'utiliser le navire battant pavillon canadien *Horizon Arctic* comme navire de soutien. Le *Horizon Arctic* est un navire ravitailleur-remorqueur-manipulateur d'ancre d'une longueur de 93,6 m et d'une jauge brute (GT) de 8143 (figure 17). Il est équipé d'un système de positionnement dynamique.

Figure 17. Le Horizon Arctic (Source : Transports Canada)



En 2023, OceanGate a remplacé le navire de soutien qu'il utilisait par le *Polar Prince*, un navire battant pavillon canadien, géré lui aussi par Horizon Maritime Services Ltd.

Les opérations d'OceanGate dépendaient d'un navire de soutien pour transporter le *Titan*, le LARS, le personnel d'OceanGate et les passagers à destination et en partance des sites de plongée. Le navire de soutien était également utilisé pour positionner le LARS en vue des opérations de mise à l'eau et de récupération, et le LARS restait relié au navire de soutien en tout temps pendant les plongées. De plus, l'équipe de soutien en surface d'OceanGate utilisait le navire de soutien comme centre de contrôle à partir duquel elle menait les activités opérationnelles pendant les plongées, comme les communications et le suivi du *Titan*.

Le personnel et les passagers d'OceanGate résidaient sur le navire de soutien durant plusieurs jours au cours des missions. OceanGate utilisait le navire de soutien pour entreposer, lancer et récupérer les RIB, ainsi que pour entreposer le matériel et l'équipement de rechange. Le navire de soutien faisait aussi office de base pour toutes les opérations de plongée en scaphandre d'OceanGate. En 2023, OceanGate disposait de 3 conteneurs d'expédition sur le pont du navire de soutien, dont 1 servait d'atelier et 2 étaient destinés à l'entreposage. OceanGate utilisait également l'air comprimé (air de service) du navire pour alimenter les réservoirs du LARS, et le système électrique du navire pour recharger les batteries du *Titan*.

1.20.1 Affrètement du *Polar Prince*

Le contrat d'affrètement entre OceanGate et Miawpukek Horizon Maritime Services Ltd. concernant l'utilisation du *Polar Prince* en 2023 a été achevé le 27 mars 2023. Le contrat

n'était valide que jusqu'au 25 juin 2023, car le *Polar Prince* avait été réservé par un autre client après cette date.

Le contrat d'affrètement utilisait un modèle d'affrètement standard (le modèle SUPPLYTIME 2017 de BIMCO). Le contrat précisait qu'OceanGate pourrait utiliser le *Polar Prince* pour [traduction] « le transport et l'hébergement des employés des affréteurs, le remorquage de chalands et les tâches générales demandées par les affréteurs, mais toujours dans les limites sécuritaires de capacité et de performance du navire et à la discrétion du capitaine⁶³ » pendant toute la durée de l'affrètement.

L'accord modifiait la définition du terme « employés » dans le modèle d'affrètement standard en y ajoutant ceci [traduction] : « Pour plus de certitude, les employés des affréteurs comprennent tous les experts de mission et tous les stagiaires à bord⁶⁴. » Le contrat était également modifié par l'ajout de clauses supplémentaires, dont l'une se lisait en partie comme suit [traduction] :

[...] les affréteurs peuvent demander au navire de transporter des passagers payants. Pour éviter toute ambiguïté, les affréteurs confirment que ces passagers feront partie du groupe des affréteurs et que les affréteurs seront responsables de ces passagers en tant que membres du groupe des affréteurs [...] ⁶⁵

Le contrat comprenait une clause standard provenant du modèle d'affrètement qui indiquait ceci [traduction] :

[...] Si les affréteurs ont des raisons d'être insatisfaits du comportement d'un membre d'équipage, les propriétaires, dès réception des détails de la plainte, enquêteront rapidement sur l'affaire et, si la plainte s'avère fondée, les propriétaires apporteront dès que possible les changements appropriés à la nomination⁶⁶.

1.20.1.1 Définition des passagers

En ce qui concerne les navires certifiés en vertu de la *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (1974)* (Convention SOLAS), comme le *Polar Prince*, la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* définit les passagers comme les personnes transportées sur un bâtiment, à l'exclusion de ces personnes :

- le capitaine,
- les membres d'équipage,
- les personnes employées ou occupées à bord, en quelque qualité que ce soit, pour les besoins du bâtiment, et

⁶³ Contrat d'affrètement à temps entre Miawpukek Horizon Maritime Services Ltd. et Ocean Gate Expeditions, Ltd. (27 mars 2023), partie 1, section 17.

⁶⁴ Ibid., partie 2 : Définitions.

⁶⁵ Ibid., clause 45.

⁶⁶ Ibid., clause 7(d).

- les enfants âgés de moins de 1 an⁶⁷.

Cette définition est conforme à celle des passagers figurant au chapitre 1, partie A, règlement II de la Convention SOLAS.

On trouvait 2 types de personnes à bord du *Polar Prince* lorsque celui-ci a pris la mer pour entreprendre le voyage à l'étude :

- l'équipage du *Polar Prince*
- les passagers, qui comptaient
 - le personnel d'OceanGate dont les tâches à bord concernaient la préparation, le soutien et l'exécution des opérations du submersible;
 - les passagers d'OceanGate, qui comprenaient les passagers du *Titan* et des membres de leur famille. Même si OceanGate encourageait ces passagers à participer à la préparation et à l'entretien du submersible, ces personnes n'avaient pas de tâches régulières à bord.

1.20.1.2 Transport de plus de 12 passagers

Le *Polar Prince* était certifié comme un navire de marchandises, ce qui signifie qu'en vertu de la réglementation canadienne, il était autorisé à transporter jusqu'à 12 passagers. Lorsque le navire était affrété par OceanGate, il transportait régulièrement plus de 12 passagers. Par exemple, lors du voyage à l'étude, il transportait 24 passagers.

Afin de transporter plus de 12 passagers, le navire devait être certifié comme navire à passagers ou comme navire à usage spécial. Comme autre option, les propriétaires auraient aussi pu présenter une demande d'exemption au Bureau d'examen technique en matière maritime (BETMM) et, si l'exemption avait été accordée, auraient pu continuer à exploiter le navire en vertu de sa certification existante.

Le BETMM, établi en vertu de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, est composé d'employés de Transports Canada (TC) possédant une expertise dans le domaine maritime. Le BETMM est habilité pour prendre des décisions quant aux « demandes de normes équivalentes aux exigences de sécurité ou aux exemptions à celles qui ne concernent pas la sécurité. Ces demandes concernent les bâtiments canadiens pris individuellement et la délivrance de documents maritimes canadiens à des personnes⁶⁸. »

Dans le passé, le *Polar Prince* avait obtenu une exemption du BETMM pour transporter plus de 12 passagers pour le compte d'un affréteur sans lien avec OceanGate; cependant, aucune demande d'exemption n'avait été présentée au BETMM pour l'affrètement par OceanGate.

⁶⁷ Gouvernement du Canada, *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* (modifiée le 22 juin 2023), partie 1, article 2.

⁶⁸ Transports Canada, « Bureau d'examen technique en matière maritime », à l'adresse <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/e7bd909b-b794-4437-ae79-1a1116c4c7ef> (dernière consultation le 11 mai 2026).

1.20.1.3 Autorité du capitaine

L'autorité du capitaine est essentielle à la sécurité du navire et des personnes à bord. Lorsqu'un ou plusieurs groupes travaillent à bord d'un navire pour certains types d'opérations, comme dans le cas de Horizon Maritime Service Ltd. et d'OceanGate, le capitaine peut être amené à concilier des instructions différentes, et souvent ambiguës, émanant de plusieurs entités. Voilà pourquoi l'autorité du capitaine doit être définie clairement dans le SGS et soutenue par la direction, en particulier dans le contexte des décisions relatives à l'exploitation du navire et aux facteurs liés à l'affrètement. L'autorité du capitaine doit être reconnue comme la dernière protection en place, et non la seule⁶⁹.

La section 5.2 du Code ISM stipule que [traduction]

La compagnie devrait veiller à ce que le système de gestion de la sécurité en vigueur à bord du navire mette expressément l'accent sur l'autorité du capitaine. La compagnie devrait préciser, dans le système de gestion de la sécurité, que l'autorité supérieure appartient au capitaine et qu'il a la responsabilité de prendre des décisions concernant la sécurité et la prévention de la pollution et de demander l'assistance de la compagnie si cela s'avère nécessaire⁷⁰.

Le SGS de Horizon Maritime Service Ltd. contenait une déclaration qui définissait l'autorité des capitaines sur les navires de Horizon Maritime Services Ltd. conformément à la section 5.2 du Code ISM.

Le paragraphe 109(1) de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* stipule que « [l]e capitaine d'un bâtiment prend toutes les mesures utiles pour assurer la sécurité du bâtiment et des personnes qui sont à son bord ou qui le chargent ou déchargent lorsqu'elles utilisent l'équipement à bord⁷¹ ». Selon l'interprétation par TC de ce paragraphe, l'autorité du capitaine s'étend à l'interaction d'un submersible avec le navire de soutien, par exemple lorsque le submersible est chargé ou déchargé, mais pas aux opérations de plongée du submersible.

1.20.1.4 Document de liaison

Lorsqu'un ou plusieurs groupes travaillent à bord d'un navire pour un certain type d'opération (p. ex. transport de passagers, construction sous-marine, exploitation de VTG), il y aura des interactions entre le SGS du navire et les divers systèmes utilisés par d'autres groupes pour gérer la sécurité. Un document de liaison est un document écrit qui décrit comment ces systèmes de sécurité seront coordonnés et comment les opérations seront

⁶⁹ Organisation maritime internationale, MSC 107/17/14, « Programme de travail – Proposition visant à inscrire un nouveau résultat sur l'élaboration d'une circulaire MSC afin d'aborder la pression du temps et les facteurs organisationnels associés », 27 février 2023.

⁷⁰ Organisation maritime internationale, *Code international de gestion de la sécurité* (édition de 2018), section 5.2.

⁷¹ Gouvernement du Canada, *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* (L.C. 2001) (modifiée le 30 juillet 2019).

menées. Un document de liaison permet également d'analyser les lacunes ou les incohérences entre les systèmes.

Un document de liaison a les objectifs suivants :

- définir les rôles et les responsabilités de toutes les personnes chargées des activités,
- veiller à ce que les procédures appropriées soient en place pour toutes les opérations,
- clarifier les procédures qui prévalent en cas de chevauchement des procédures,
- veiller à ce que toutes les opérations soient visées par une évaluation des risques le plus efficacement possible,
- veiller à ce que des ententes d'intervention d'urgence efficaces soient mises en place.

Les documents de liaison sont courants dans certaines industries, comme l'industrie pétrolière⁷². Cependant, pour des opérations comme celles menées par le *Polar Prince* et OceanGate, il n'existait aucune exigence externe prévoyant l'élaboration d'un document de liaison.

Le *Polar Prince* disposait d'un plan d'intervention d'urgence visant les situations d'urgence typiques à bord d'un navire : incendie et explosion, collision, échouement, personne à la mer, conditions météorologiques extrêmes, envahissement par les eaux, etc. Horizon Maritime Services Ltd. disposait également d'un plan d'intervention d'urgence décrivant les ressources internes et externes nécessaires pour gérer des situations d'urgence d'ampleur variée. Le plan d'intervention d'urgence de Horizon Maritime Services Ltd. indiquait que les exigences particulières des clients en matière d'intervention d'urgence devaient être abordées dans un document de liaison et dans le plan d'intervention d'urgence conjoint connexe⁷³.

Pendant l'affrètement du *Polar Prince* à OceanGate, aucun document de liaison n'a été élaboré. L'équipage du *Polar Prince* et le personnel d'OceanGate s'étaient entendus pour que les opérations du submersible et celles du navire soient traitées à titre distinct à tous égards. Cette entente s'étendait à certains cadres supérieurs de Horizon Maritime Services Ltd. La raison évoquée était que les opérations du submersible ne relevaient pas du domaine d'expertise de l'équipage du *Polar Prince*.

⁷² L'International Association of Oil & Gas Producers fournit des consignes sur les documents de liaison (<https://www.iogp.org/bookstore/product/guide-to-preparing-hse-plans-and-bridging-documents-supplement-to-report-423/>, dernière consultation le 12 mai 2026). L'industrie pétrolière et gazière canadienne suit généralement les consignes établies par l'International Association of Oil & Gas Producers. En Norvège et aux Pays-Bas, il existe des exigences relatives aux documents de liaison dans l'industrie pétrolière et gazière en milieu extracôtier.

⁷³ Horizon Maritime Services Ltd., « Horizon Maritime Emergency Response Plan », révision 13 (13 juillet 2022), section 1.2 : Scope, p. 6.

1.20.2 Transport du *Titan* et du système de mise à l'eau et de récupération à destination et en provenance des sites de plongée

OceanGate a conçu le *Titan* et le LARS de manière à ce qu'ils puissent être transportés par voie terrestre sur un camion à plat-pont ainsi que remorqués en mer par divers types de navires de soutien, allant de petites embarcations comme des RIB à de grands navires commerciaux. Le LARS pouvait être démonté en 2 parties pour faciliter son transport par voie terrestre. Il pouvait aussi être transporté sur le pont d'un navire avec le *Titan* ou utilisé pour remorquer le *Titan* dans l'eau.

En 2021 et 2022, lorsque OceanGate utilisait le *Horizon Arctic* comme navire de soutien, le LARS et le *Titan* étaient transportés vers les sites de plongée sur le pont arrière du *Horizon Arctic*, et la mise à l'eau et la récupération se faisaient par une rampe sur la poupe du *Horizon Arctic*. Cette disposition permettait d'accéder facilement au *Titan* et au LARS pendant les trajets du *Horizon Arctic*; cependant, OceanGate a connu des difficultés dans la mise à l'eau et la récupération du *Titan* à partir du pont arrière du *Horizon Arctic* et était préoccupée par la possibilité de dommages au *Titan* et au LARS.

En 2023, lorsque le *Polar Prince* a été affrété, OceanGate a modifié sa méthode de transport du *Titan* et du LARS, car le *Polar Prince* ne disposait pas de l'équipement permettant de hisser le *Titan* et le LARS sur le pont et hors du pont. Au départ, OceanGate et Horizon Maritime Services Ltd. ont étudié la possibilité d'équiper le *Polar Prince* d'une grue. Des études techniques préliminaires ont été réalisées en vue d'installer une grue, mais on a finalement décidé de remorquer le LARS et le *Titan* derrière le *Polar Prince* (figure 18).

Figure 18. Le *Polar Prince* remorquant le LARS et le *Titan* (Source : OceanGate)



1.20.2.1 Plan de remorquage

Pour l'opération qui consistait à remorquer le *Titan* sur le LARS en 2023, Horizon Maritime Services Ltd. a élaboré un plan de remorquage. Le plan de remorquage comprenait les

spécifications relatives à la disposition de remorquage et des consignes générales concernant les limites de remorquage, y compris la hauteur maximale des vagues, la vitesse du vent, etc. Le plan de remorquage a été révisé à la suite d'un événement survenu le 24 mai 2023, au cours duquel le *Titan* et le LARS avaient été submergés partiellement pendant le remorquage.

1.20.2.2 Étude d'aptitude au remorquage

Le laboratoire du BST a commandé une étude d'aptitude au remorquage afin de déterminer ce qui suit :

- si le plan de remorquage révisé après l'incident du 24 mai 2023 était conforme aux consignes de l'industrie⁷⁴;
- si l'une ou l'autre des conditions de charge créées lorsque le *Titan* était remorqué sur le LARS jusqu'à ses sites de plongée en 2023 pourrait avoir contribué à la défaillance du *Titan*.

L'étude a permis de déterminer que le plan de remorquage révisé n'était pas conforme aux consignes de l'industrie à certains égards. Par exemple, l'aussière de remorquage était considérablement plus courte que la longueur recommandée par DNV. En outre, rien n'indiquait qu'une analyse eût été effectuée pour déterminer si le *Titan* et le LARS seraient capables de supporter les charges causées par les conditions environnementales les plus difficiles prévues pour la saison et la zone d'exploitation, ou pour les critères météorologiques indiqués dans le plan de remorquage.

Le *Titan* avait été remorqué par le *Polar Prince* ou attaché à celui-ci, au moyen d'une aussière de remorquage, dans l'Atlantique Nord pendant environ 950 heures au cours de la saison 2023. L'étude a révélé que le *Titan* et le LARS avaient été soumis à des accélérations considérablement plus élevées que celles recommandées par DNV pour les remorquages en eaux profondes. Le *Titan* a également été remorqué dans des vagues considérables pouvant aller jusqu'à une hauteur de 3,35 m sur le LARS et, à un moment donné, il a été submergé en partie pendant qu'il était remorqué sur le LARS. L'extrémité arrière du *Titan* avait été submergée d'environ 2 m.

L'étude a permis de conclure que les niveaux de tension dans la coque épaisse du *Titan* qui étaient dus au remorquage à lui seul n'étaient pas suffisamment élevés pour avoir vraisemblablement causé des dommages statiques ou des dommages importants attribuables à la fatigue et n'étaient donc pas susceptibles d'avoir contribué à la défaillance du *Titan*. Même lorsque le *Titan* a été partiellement submergé pendant le remorquage, les niveaux de tension dans la coque épaisse n'étaient pas suffisamment élevés pour avoir vraisemblablement causé des dommages.

⁷⁴ Les consignes de l'industrie mentionnées intégraient le document MSC/Circ. 884 – Directives pour la sécurité du remorquage en mer (21 décembre 1988) de l'OMI et la norme DNV-ST-N001 Marine operations and marine warranty (décembre 2023).

1.21 Saison d'exploitation 2023

La saison d'exploitation 2023 d'OceanGate avec le *Titan* a débuté en mai. La saison était divisée en 5 missions, chacune étant approximativement d'une durée d'une semaine. Tous les voyages ont débuté et se sont terminés au port de St. John's. OceanGate avait terminé 4 de ces missions avant l'événement à l'étude, mais aucune n'avait compris de plongée vers le *Titanic*. La plongée à l'étude, effectuée au cours de la 5^e mission, était la première plongée du *Titan* vers le *Titanic* en 2023. Voir l'annexe B pour obtenir plus de détails sur les plongées effectuées sur le site de l'épave du *Titanic*, dans les eaux canadiennes ou dans la ZEE du Canada entre 2021 et 2023.

1.21.1 Première mission

La 1^{re} mission s'est tenue du 11 au 19 mai 2023. Pour cette mission, 36 personnes étaient à bord du *Polar Prince* (17 membres d'équipage et 19 personnes associées à OceanGate). Au cours de la mission, OceanGate a mené divers essais et préparé le *Titan* et le LARS pour la saison. Elle a réalisé 1 plongée le 16 mai avec le *Titan* à Spaniards Bay (Terre-Neuve-et-Labrador), au cours de laquelle le *Titan* a été immergé, mais n'a pas été détaché du LARS. Le but de cette plongée était de mettre à l'essai le *Titan* et ses systèmes. Personne ne se trouvait à bord du *Titan* pendant la plongée.

1.21.2 Deuxième mission

La 2^e mission s'est tenue du 20 au 28 mai. Pour cette mission, 40 personnes étaient à bord du *Polar Prince* (17 membres d'équipage et 23 personnes associées à OceanGate). Le *Polar Prince* a quitté St. John's le 20 mai et, le 22 mai, une plongée a été effectuée à Spaniards Bay sans personne à bord du *Titan*. Au cours de la plongée, le *Titan* et le LARS ont descendu à une profondeur de 8 m, puis le *Titan* a été détaché du LARS. L'objectif de cette plongée était de permettre aux plongeurs d'OceanGate de s'entraîner à récupérer le *Titan* au cas où celui-ci tomberait en panne.

Le *Polar Prince* a ensuite quitté Spaniards Bay pour se rendre sur le site de l'épave du *Titanic*. Le matin du 24 mai, pendant le trajet vers le site de l'épave, le LARS et le *Titan* ont été immergés partiellement pendant qu'ils étaient remorqués. Le LARS a été remis à flot alors que le *Titan* s'y trouvait toujours, et le *Polar Prince* a entamé son retour à St. John's en les remorquant. Le *Titan* et le LARS ont de nouveau été immergés partiellement lors du retour à St. John's. Le LARS a de nouveau été remis à flot alors que le *Titan* s'y trouvait toujours.

1.21.3 Troisième mission

La 3^e mission s'est tenue du 29 mai au 6 juin. Pour cette mission, 44 personnes étaient à bord du *Polar Prince* (17 membres d'équipage et 27 personnes associées à OceanGate). Le *Polar Prince* a quitté St. John's le 29 mai et a jeté l'ancre dans la baie St. Mary's, au large de Branch (Terre-Neuve-et-Labrador), le 30 mai. Le 31 mai, une plongée avec 5 personnes à

bord du *Titan* a été tentée, mais elle a été avortée alors que le LARS et le *Titan* se trouvaient à 10 m sous la surface. Le *Titan* ne s'est pas détaché pendant cette plongée.

Dans la soirée du 31 mai, le *Polar Prince* s'est dirigé en direction du site de l'épave du *Titanic*. Les 2 et 3 juin, les conditions météorologiques étaient défavorables sur le site de l'épave et aucune plongée n'a été effectuée. Dans la soirée du 3 juin, le *Polar Prince* est parti vers St. John's. Le 5 juin, une plongée a été tentée avec 5 personnes à bord du *Titan*, à environ 120 milles marins du cap Race (Terre-Neuve-et-Labrador). La plongée a été avortée alors que le LARS et le *Titan* se trouvaient à 10 m sous la surface. Le *Polar Prince* est retourné à St. John's en remorquant le LARS et le *Titan*.

1.21.4 Quatrième mission

La 4^e mission s'est tenue du 7 au 15 juin. Pour cette mission, 42 personnes étaient à bord du *Polar Prince* (17 membres d'équipage et 25 personnes associées à OceanGate). Le 7 juin, le *Polar Prince* a quitté St. John's en remorquant le *Titan* et le LARS, faisant route vers l'île de Sable (Nouvelle-Écosse). OceanGate a demandé au ministère des Pêches et des Océans (MPO) l'autorisation de plonger dans la zone de protection marine du Gully, une zone située à l'est de l'île de Sable qui comprend un profond canyon sous-marin. Le 8 juin, alors qu'OceanGate effectuait des travaux sur le LARS, l'aussière de remorquage s'est emmêlée dans l'hélice bâbord du *Polar Prince*. Des plongeurs d'OceanGate ont dégagé l'aussière de remorquage emmêlée, et une autre aussière de remorquage a été installée.

Le 10 juin, le MPO a rejeté la demande d'OceanGate visant à obtenir l'autorisation de plonger dans la zone de protection marine du Gully. Le 13 juin, le *Polar Prince* est arrivé à un endroit situé au nord-est et à l'extérieur de la zone de protection marine du Gully, et le *Titan* a tenté une plongée. La plongée a été avortée à une profondeur de 10 m. Le *Titan* ne s'est pas détaché du LARS lors de cette plongée. Le *Polar Prince* est retourné à St. John's en remorquant le LARS et le *Titan*.

1.21.5 Cinquième mission

La 5^e mission était la mission à l'étude. La mission a quitté St. John's le 16 juin, et la plongée à l'étude a eu lieu le 18 juin.

1.22 Saisons d'exploitation précédentes avec le *Titan*

En avril et mai 2021, OceanGate a effectué 11 plongées⁷⁵ avec le *Titan* aux États-Unis. Ces plongées ont été réalisées principalement à partir d'Everett (Washington). En juin 2021,

⁷⁵ L'énumération des plongées dans cette section comprend les plongées au cours desquelles des personnes se trouvaient à bord et le système de survie du submersible était en fonction, même si les plongées ont été avortées à faible profondeur ou si le submersible n'a pas été détaché de la plate-forme. Les plongées sans personnes à bord ne sont pas incluses.

OceanGate a transporté le *Titan* au Canada et a commencé ses opérations en utilisant St. John's comme port d'attache.

Entre le 30 juin 2021 et la fin de la saison d'exploitation en 2022, le *Titan* a effectué 23 plongées, dont 17 sur le site de l'épave du *Titanic* et 1 vers une entité océanographique située à proximité du site de l'épave. Sur les 5 plongées restantes, 4 ont été effectuées à divers endroits dans les eaux canadiennes et 1 dans la ZEE du Canada.

Sur les 23 plongées, 4 ont eu lieu sans que le *Titan* se détache du LARS, 2 étaient des essais à faible profondeur et 2 ont été avortées pendant la descente vers le *Titanic*. Par conséquent, 14 des 23 plongées ont atteint le fond marin à proximité du *Titanic* et 1 a atteint l'entité océanographique située près du site de l'épave, à une profondeur de 2954 m. L'annexe B contient de plus amples renseignements sur chaque plongée.

À la fin de la saison d'exploitation en 2022, OceanGate a choisi de conserver le *Titan* et le LARS à St. John's, car OceanGate n'avait pas assez d'argent pour les ramener à Everett. Ils ont été entreposés à l'extérieur de la fin de juillet 2022 au 6 février 2023 dans une base maritime du port de St. John's. La température maximale moyenne à St. John's entre décembre 2022 et février 2023 était de -0,5 °C et la température minimale moyenne était de -5,5 °C. La Ville a un climat maritime et connaît des chutes de neige, des vents forts, de la pluie verglaçante et de la grêle.

1.23 OceanGate

OceanGate a d'abord été créée en 2009 sous forme de société à responsabilité limitée, puis constituée en personne morale en 2011. Dès 2023, elle était composée d'un certain nombre d'entités, dont au moins 2 compagnies américaines, une société bahamienne et une fondation à but non lucratif. Le siège social d'OceanGate se trouvait à Everett (Washington), où travaillaient ses employés.

Au début de la saison d'exploitation 2023, OceanGate comptait 15 employés⁷⁶ et était dirigée par un conseil d'administration. Le tableau 4 présente la situation des postes de direction à OceanGate au moment de l'événement et indique si ces postes étaient pourvus ou vacants.

Tableau 4. Postes de cadres et leur statut au moment de l'événement (Source : BST, selon des données d'OceanGate)

Poste	Statut
PDG	Pourvu
Directeur des opérations	Pourvu
Directeur de l'ingénierie	Vacant

⁷⁶ OceanGate employait parfois des personnes sur une base contractuelle; ces personnes ne sont pas incluses dans le nombre d'employés de la compagnie.

Directeur des communications	Pourvu
Gestionnaire des opérations	Pourvu
Directeur de la logistique et de l'assurance de la qualité	Pourvu
Gestionnaire des expéditions	Pourvu
Directeur de l'administration	Pourvu

Le financement d'OceanGate provenait principalement des actionnaires et des ventes au public pour les plongées. Pour les plongées vers le *Titanic* effectuées en 2023, le coût pour 1 passager pouvait atteindre jusqu'à 250 000 dollars américains.

Divers facteurs limitaient la période pendant laquelle OceanGate pouvait offrir des plongées. Les missions ne pouvaient être entreprises qu'à la fin du printemps et pendant les mois d'été, et elles dépendaient de la disponibilité d'un navire de soutien. Les plongées dépendaient également de l'état de préparation opérationnelle d'OceanGate et des conditions environnementales, ce qui entraînait parfois des annulations inattendues. Les plongées annulées n'étaient pas remboursées; les passagers du *Titan* recevaient plutôt un crédit pour une plongée future. Au cours de certaines missions, comme la mission à l'étude, il y avait une liste d'attente de passagers du *Titan* qui attendaient de participer aux plongées.

OceanGate a connu des difficultés financières au cours de son histoire. De 2017 à 2018, des problèmes financiers ont empêché la compagnie de payer les salaires de ses employés. À cette époque, le PDG avait consenti des prêts personnels à la compagnie, qui ont ensuite été remboursés. De même, à certains moments en 2022 et 2023, les employés d'OceanGate ont été invités à accepter volontairement de reporter leur salaire en raison du fait que la compagnie éprouvait des problèmes financiers.

1.23.1 Culture d'entreprise

OceanGate priorisait l'innovation et considérait la conception, le développement et l'exploitation du *Titan* comme étant de nature expérimentale. Il n'existait aucun précédent de plongée en eaux profondes avec un submersible en fibres de carbone habité, et la compagnie reconnaissait, tant à l'interne que publiquement, que ses opérations comportaient des risques.

OceanGate utilisait principalement une approche par essais et erreurs pour ses opérations et avait connu, lors de plongées, un certain nombre de situations où les choses avaient mal tourné (voir l'annexe B). À chaque fois, OceanGate était parvenu à récupérer le *Titan*. OceanGate discutait des défis et des problèmes opérationnels avec le personnel et les passagers du *Titan* de manière plus ou moins détaillée avant, pendant et après les plongées, parfois en résolvant les problèmes à la volée et en apportant des modifications spontanées pour s'attaquer aux problèmes et s'adapter à diverses situations et contraintes.

Afin de susciter un intérêt pour la compagnie, OceanGate menait un éventail d'activités promotionnelles, comme la publication de vidéos sur les réseaux sociaux, la rédaction d'articles de blogue et l'invitation de membres des médias à participer à des plongées. Les activités promotionnelles d'OceanGate visaient à attirer des passagers pour le *Titan*, qui constituaient une importante source de financement pour les opérations.

En tant que petite compagnie, OceanGate était dirigée principalement par son PDG. La compagnie incarnait en grande partie son idée, et il était très motivé à en faire une entreprise prospère. Le PDG touchait à tous les aspects de la compagnie, dont les ressources humaines, les finances, les opérations ainsi que la conception et la construction de submersibles. Les décisions importantes lui revenaient également. Malgré que des experts externes étaient parfois consultés, ils l'étaient normalement pour des questions précises, et ils ne participaient pas à l'ensemble du développement du *Titan*.

La direction du service d'ingénierie d'OceanGate a changé entre 2016 et 2023. Au cours de cette période, 3 directeurs de l'ingénierie se sont succédé, chacun ayant des domaines d'expertise différents :

- Le directeur de l'ingénierie en poste de 2016 à 2019 était titulaire d'un diplôme en science et génie des matériaux. Il avait de l'expérience dans la marine et dans les domaines de l'aérospatiale et de l'électronique.
- Le directeur de l'ingénierie en poste de 2019 à 2021 était titulaire d'un diplôme en génie électrique. Il avait de l'expérience dans les opérations sous-marines et maritimes, et dans les domaines de l'hydroacoustique pour les sous-marins et de la mise au point de divers outils sous-marins.
- Le directeur de l'ingénierie qui était en poste de 2021 au début de 2023 était titulaire d'un diplôme associé en technologie électronique et d'un diplôme en informatique. Il avait de l'expérience dans les domaines de la technologie médicale et du génie logiciel.

Le directeur de l'ingénierie qui était en poste de 2021 à début 2023 n'avait pas d'antécédents en génie mécanique ou en matériaux. Lorsqu'il a assumé ses fonctions, il y a eu une entente avec le PDG et l'administrateur en chef des opérations selon laquelle ces derniers s'occuperaient de ces aspects du poste et le directeur de l'ingénierie ne s'occuperait que des aspects logiciel et électrique. Lorsque ce directeur de l'ingénierie a quitté la compagnie au début de l'année 2023, les responsabilités du poste ont été assumées par les autres employés d'OceanGate, et personne n'a occupé officiellement le poste de directeur de l'ingénierie pendant le reste de la saison 2023.

Au cours de l'histoire d'OceanGate, certains employés de la compagnie possédant une expertise dans des domaines particuliers ont quitté la compagnie ou ont été congédiés après avoir soulevé des préoccupations liées à la sécurité ou exprimé des points de vue divergeant de ceux du PDG. Par exemple :

- L'ancien directeur des opérations a été congédié en 2018 après avoir soulevé des préoccupations en matière de sécurité. Il a ensuite déposé une plainte concernant

OceanGate auprès de la United States Occupational Safety and Health Administration.

- Le directeur des finances et des ressources humaines a quitté la compagnie en même temps que le directeur des opérations, également en raison de préoccupations liées à la sécurité.
- En 2021, le directeur de l'ingénierie a été congédié à la suite de désaccords survenus avec le PDG sur un certain nombre de questions liées à la conception et à l'exploitation du *Titan*.
- En 2022, un employé chargé des communications et du suivi pour les opérations de plongée a quitté la compagnie après avoir soulevé des préoccupations liées à la sécurité.

1.24 Contexte du secteur des submersibles

En avril 2025, il existait dans le monde 10 submersibles capables de plonger à la profondeur du *Titanic* (3800 m) ou plus. Il s'agissait de submersibles militaires ou appartenant à des intérêts publics ou privés.

La plupart des submersibles sont exploités à des profondeurs inférieures à 1000 m. En novembre 2023, 149 submersibles actifs étaient exploités à ces profondeurs. Ces submersibles étaient utilisés à des fins diverses, dont les opérations militaires, le tourisme, l'exploration, la recherche, les interventions de SAR sous-marines et les activités commerciales⁷⁷. En novembre 2023, moins de 10 grandes compagnies dans le monde étaient en activité dans le secteur des submersibles commerciaux.

Au Canada, l'industrie des submersibles est largement concentrée sur la côte ouest et se compose d'entreprises touchant à la fabrication, à l'exploitation et à l'exportation de divers submersibles. En date d'avril 2025, 3 compagnies de submersibles bien établies étaient en activité en Colombie-Britannique, au Canada. Chacune de ces entreprises était en service depuis plus de 40 ans.

L'enquête a permis de déterminer que des submersibles, autant nationaux qu'étrangers, ont été exploités dans les eaux canadiennes et dans la ZEE du Canada avant et après l'événement à l'étude, notamment des submersibles transportés à bord de navires à passagers battant pavillon étranger et de navires de marchandises nationaux.

1.24.1 Plongées de submersibles vers le *Titanic*

En avril 2025, outre le *Titan*, 5 autres submersibles avaient effectué des plongées vers le *Titanic* :

⁷⁷ Il existe également 2 submersibles pouvant fonctionner à des profondeurs supérieures à 1000 m, mais inférieures à 3800 m.

- Le submersible américain *Alvin*⁷⁸, exploité par la Woods Hole Oceanographic Institution et appartenant à la U.S. Navy.
- Le submersible français *Nautilus*⁷⁹, détenu par l'Ifremer, l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.
- Les submersibles russes *MIR I* et *MIR II*⁸⁰, qui appartenaient au gouvernement. Ces deux submersibles ont été mis hors service en 2017.
- Un submersible privé, connu sous le nom de *Limiting Factor*⁸¹, qui appartenait à un citoyen américain et a depuis été vendu.

1.25 Sécurité maritime à l'échelle internationale

1.25.1 Organisation maritime internationale

L'OMI est une agence des Nations Unies créée en 1948 qui établit des normes internationales en matière de sécurité, de sûreté et de performance environnementale des transports maritimes internationaux⁸². L'OMI a son administration centrale au Royaume-Uni et compte environ 170 États membres, dont le Canada et les États-Unis.

L'OMI élabore des conventions, d'autres instruments conventionnels⁸³ et des recommandations⁸⁴ sur un large éventail de sujets. Les conventions de l'OMI et les autres instruments conventionnels ne sont contraignants que si un État membre en est signataire. Les recommandations ne sont habituellement pas contraignantes, mais elles constituent des lignes directrices que les États membres peuvent utiliser pour élaborer des règlements et des exigences. De nombreux États membres intègrent les recommandations de l'OMI à leur réglementation.

⁷⁸ Pour obtenir plus de renseignements sur l'*Alvin*, consulter la page de la Woods Hole Oceanographic Institution intitulée « HOV *Alvin* », à l'adresse <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/underwater-vehicles/hov-alvin/> (dernière consultation le 13 mai 2026).

⁷⁹ Pour plus d'informations sur le *Nautilus*, consultez le site Web d'Ifremer, « Nautilus : Le sous-marin habité des grandes profondeurs », à l'adresse <https://www.ifremer.fr/fr/flotte-oceanographique-francaise/decouvrez-les-navires-de-la-flotte-oceanographique-francaise/le-nautilus> (dernière consultation le 13 mai 2026).

⁸⁰ Pour obtenir plus de renseignements sur le *MIR I* et le *MIR II*, consulter D. Walsh, « Oceans – The Bear is Diving: Russia's Manned Submersibles », U.S. Naval Institute, <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2013/may/oceans-bear-diving-russias-manned-submersibles> (dernière consultation le 13 mai 2026).

⁸¹ Pour obtenir plus de renseignements sur le *Limiting Factor*, consulter R. Morelle, « Titanic sub dive reveals parts are being lost to sea », British Broadcasting Corporation (publié le 21 août 2019), à l'adresse <https://www.bbc.com/news/science-environment-49420935> (dernière consultation le 13 mai 2026).

⁸² Organisation maritime internationale, « Introduction à l'OMI », à l'adresse <https://www.imo.org/fr/about/pages/default.aspx> (dernière consultation le 13 mai 2026).

⁸³ Les autres instruments conventionnels comprennent, entre autres, des résolutions et des protocoles.

⁸⁴ Les recommandations consistent en des codes, des lignes directrices ou des pratiques recommandées.

1.25.1.1 **La Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer**

La Convention SOLAS est un instrument de l'OMI qui précise les normes de sécurité minimales pour la construction, l'équipement et l'exploitation de navires. La première version de la Convention SOLAS a été adoptée en 1914 en réaction à la catastrophe du *Titanic*⁸⁵. Les États membres sont chargés de veiller à ce que les navires battant leur pavillon respectent les exigences de la Convention SOLAS, et un certain nombre de certificats sont prévus par cette convention pour attester que ces exigences sont respectées.

1.25.1.2 **Le Code international de gestion de la sécurité**

Le Code ISM a été instauré par l'OMI en 1993 à la suite d'une série d'accidents maritimes majeurs, notamment le chavirement du traversier *Herald of Free Enterprise* en 1987. Le Code ISM régit presque toute la communauté internationale du transport maritime et fournit une norme internationale visant la gestion et l'exploitation sécuritaires des navires et la prévention de la pollution. Ses principaux objectifs sont de veiller à ce que les navires soient exploités de manière sûre, de prévenir des blessures et les pertes de vie, et d'éviter les dommages matériels et environnementaux⁸⁶.

Pour se conformer au Code ISM, un navire doit avoir un SGS, qui est un cadre reconnu à l'échelle internationale permettant aux compagnies de cerner les dangers, de gérer les risques et d'améliorer la sécurité de leurs activités, idéalement avant qu'un accident survienne. La gestion des risques en vertu d'un SGS est un cycle permanent qui aide les exploitants de navires à cerner, à analyser et à atténuer les risques existants ou potentiels, et à en assurer le suivi. Elle nécessite que les membres d'une organisation, à tous ses échelons, recensent les dangers opérationnels afin que l'on puisse évaluer les risques que ces dangers posent et mettre en œuvre des mesures d'atténuation. De plus, étant donné que les dangers opérationnels ne sont pas statiques, mais qu'ils changent au fil du temps, il est essentiel que les évaluations des risques soient régulièrement ré-évaluées et mises à jour. Chaque stade du cycle de gestion des risques doit être étayé par des documents afin d'assurer un suivi et de permettre l'analyse de l'efficacité des évaluations des risques et des stratégies d'atténuation passées⁸⁷.

Le Code ISM précise également la nécessité de désigner une personne ayant un accès direct au plus haut niveau de la direction⁸⁸. Cette personne est chargée de surveiller la sécurité de l'exploitation du navire et de veiller à ce que des ressources et un soutien à terre adéquats soient mis en œuvre, selon les besoins.

⁸⁵ Organisation maritime internationale, *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), 1974*, à l'adresse [https://www.imo.org/fr/about/conventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-\(solas\)%2c-1974.aspx](https://www.imo.org/fr/about/conventions/pages/international-convention-for-the-safety-of-life-at-sea-(solas)%2c-1974.aspx) (dernière consultation le 13 mai 2026).

⁸⁶ Organisation maritime internationale, *Code international de gestion pour la sécurité de l'exploitation des navires et la prévention de la pollution* (édition de 2018), section 1.2.1.

⁸⁷ Ibid., section 11.

⁸⁸ Ibid., section 4.

1.25.2 Demandes d'assistance en recherche et sauvetage

En mer, lorsqu'il y a un besoin d'aide potentiel ou immédiat, la pratique exemplaire consiste à en aviser les autorités de SAR dès que possible. Les intervenants sont ainsi informés rapidement et directement que leur aide peut être requise. L'OMI, l'Union internationale des télécommunications, la Chambre internationale de la marine marchande, la Garde côtière canadienne et TC recommandent tous que cette information soit transmise sans tarder par radio à une station de radiocommunications maritime lorsqu'une situation est susceptible de constituer un danger pour la vie. Le BST a rendu compte d'un certain nombre d'événements récents⁸⁹ où un retard dans le signalement d'un incident a eu des répercussions réelles ou potentielles sur l'intervention.

Le bureau d'enquête maritime de la garde côtière des États-Unis (U.S Coast Guard Marine Board of Investigation) a mené une enquête sur l'événement mettant en cause le *Titan* et a émis une recommandation ayant déclenché des discussions lors de la 32^e réunion du Groupe de travail conjoint OACI (Organisation de l'aviation civile internationale)/OMI sur l'harmonisation de la recherche et du sauvetage aéronautiques et maritimes à propos des sujets suivants :

- la prestation de lignes directrices sur les préavis des opérations de plongée et sur les plans d'intervention d'urgence, alignées sur le compte rendu de la 32^e réunion du groupe de travail conjoint OACI/OMI sur l'harmonisation de la recherche et du sauvetage aéronautiques et maritimes⁹⁰ et sur la recommandation 8.1.14 du U.S Coast Guard Marine Board of Investigation;
- l'expansion des lignes directrices du Manuel international de recherche et de sauvetage aéronautiques et maritimes de manière à inclure des instructions limitées sur le sauvetage de submersibles en eaux profondes, en faisant référence aux capacités militaires et aux normes de l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord;
- la clarification de la terminologie en établissant la distinction entre « sous-marin » et « submersible » et en simplifiant les références par l'élimination des qualificatifs superflus;
- la prestation de lignes directrices opérationnelles à l'intention des centres de coordination de sauvetage, notamment sur les préavis de plongée, la planification d'urgence et l'utilisation de radiobalises de localisation des sinistres à éjection sous-marine émettant des signaux à 406 MHz ou à 121,5 MHz.

Au 14 mai 2026, le groupe de travail conjoint OACI/OMI continue de travailler sur ces initiatives.

⁸⁹ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M22A0258, M22A0312, M17C0179 et M15A0009, et événement maritime M20A0048 du BST.

⁹⁰ Organisation maritime internationale, Sous-comité de la navigation, des communications et de la recherche et du sauvetage, NCSR 13/7, « Report of the thirty-second meeting of the ICAO/IMO Joint Working Group on Harmonization of Aeronautical and Maritime Search and Rescue » (19 novembre 2025).

1.26 Lignes directrices et normes pour les submersibles

1.26.1 Organisation maritime internationale

En 2001, l'OMI a publié la circulaire MSC 981 – Directives relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation des engins submersibles à passagers⁹¹. Ces directives représentent une normale internationale destinée à faciliter l'exploitation sécuritaire des engins submersibles à passagers.

Les directives définissent un processus que les administrations des États du pavillon doivent suivre pour visiter et certifier les engins submersibles à passagers. En ce qui concerne les visites, les directives recommandent une visite initiale pour la certification, suivie de visites annuelles et de visites en cale sèche à des intervalles ne dépassant pas 3 ans. Les directives recommandent aussi que l'exploitation des engins submersibles à passagers soit conforme au Code ISM, qui exige la mise en œuvre d'un SGS.

Les directives recommandent en outre que les engins submersibles à passagers soient conçus, construits et entretenus conformément aux exigences d'une société de classification ou aux normes applicables de l'administration de l'État du pavillon. Les directives précisent que les engins submersibles à passagers ne doivent être exploités qu'à une profondeur ne dépassant pas la profondeur nominale du submersible et que, en cas de défaillance unique, le submersible doit être conçu de manière à pouvoir remonter à la surface sans aide extérieure.

Les directives indiquent que tous les matériaux utilisés dans la construction de la coque épaisse, y compris les matériaux et les méthodes de soudure, les critères de conception, les contraintes admissibles et toutes les méthodes d'essai devraient répondre aux exigences des sociétés de classification. Les directives fournissent des détails sur les exigences relatives à divers composants utilisés dans la conception et la construction d'un submersible à passagers, notamment les écoutilles⁹², les hublots⁹³, les passages de tuyaux et câbles et les tuyautages. Les directives fournissent aussi des détails sur les exigences relatives à divers systèmes, dont les systèmes hydrauliques, mécaniques et électriques. Les directives visent également les systèmes de survie, la protection contre les incendies, la

⁹¹ Organisation maritime internationale, *MSC/Circ. 981 – Directives relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation des engins submersibles à passagers* (29 janvier 2001).

⁹² Les directives précisent que les écoutilles sont importantes pour l'évacuation en cas d'urgence et doivent être disposées de manière à tenir compte de tous les risques pertinents. Les directives précisent que des dispositions doivent être prises pour que les écoutilles soient au sec avant leur ouverture et que la pression soit la même de part et d'autre de l'écouille. Les directives précisent également que les écoutilles doivent s'ouvrir vers l'extérieur et pouvoir être actionnées par une seule personne dans toutes les conditions prévues. Enfin, les directives précisent que les écoutilles doivent pouvoir être ouvertes et fermées des deux côtés.

⁹³ En décembre 2004, l'OMI a publié la circulaire MSC 1138 qui apportait des précisions sur les hublots des engins submersibles à passagers. La circulaire indiquait que les hublots en acrylique devraient être conçus, fabriqués et entretenus conformément aux prescriptions de la dernière édition de l'American Society of Mechanical Engineers Safety Standard for Pressure Vessels for Human Occupancy.

navigation, les communications, les commandes et l'instrumentation, les engins de sauvetage et les considérations relatives à la flottabilité, à la stabilité et à la remontée d'urgence.

Les directives définissent les exigences en matière de qualification du personnel, de gestion des passagers et de plans d'urgence. Elles précisent que les submersibles à passagers doivent être dotés d'un manuel d'exploitation décrivant les procédures normales et d'urgence, y compris les suivantes :

- les listes de contrôle des opérations, y compris les listes de contrôle avant et après plongée;
- les consignes d'urgence pour les situations telles que défaillance de l'alimentation en énergie, déballastage/largage, interruption des communications, mauvais fonctionnement de l'équipement de vie, incendie, engagement, niveau d'hydrogène élevé, niveau d'oxygène élevé, fuites d'oxygène à l'intérieur et à l'extérieur, immobilisation sur le fond et envahissement mineur;
- la capacité d'exploitation du point de vue de la durée et de la profondeur;
- les caractéristiques de tenue à la mer;
- les limites géographiques du lieu de plongée;
- les procédures à suivre pour les opérations de mise à l'eau et de récupération;
- la liaison avec les navires de soutien;
- les restrictions particulières imposées par les caractéristiques spéciales de la conception et des conditions d'exploitation;
- les effectifs minimaux de sécurité.

Les directives recommandent également que des exercices d'urgence soient effectués régulièrement afin de valider l'efficacité des procédures.

Les directives recommandent de tenir un manuel d'entretien contenant les procédures d'inspection périodique et les techniques d'entretien préventif. Le manuel devrait inclure la durée de vie prévue de la coque épaisse et des autres composants et équipements essentiels (p. ex. hublots, batteries).

Les directives indiquent que les incidents mettant en danger des personnes, les accidents, les dommages causés à l'engin ou les défaillances de matériel devraient être recueillis et analysés par l'exploitant, et que les incidents compromettant la sécurité des passagers ou du submersible devraient être signalés à l'administration de l'État du pavillon.

Les directives de l'OMI fournissent certaines lignes directrices en matière de planification d'urgence, mais n'abordent pas de manière spécifique les questions comme le soutien en surface et le site de plongée, pas plus qu'elles n'abordent la nécessité de plans d'intervention d'urgence détaillés pour gérer tous les scénarios d'urgence possible et la nécessité de disposer de ressources de sauvetage facilement disponibles et éprouvées.

1.26.2 Organisation internationale de normalisation

L'ISO est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation. En mars 2025, 173 pays étaient membres de l'ISO. Les normes de l'ISO sont normalement élaborées par des comités techniques de l'ISO, composés d'experts possédant des connaissances spécialisées dans le domaine concerné par chaque norme.

L'ISO dispose de 2 normes relatives aux submersibles. La 1^{re} norme⁹⁴, publiée en 2019, fournit une spécification unifiée pour la méthode d'essai par pression hydrostatique applicable aux submersibles afin de confirmer que leur résistance à la pression est normale avant leur assemblage. La 2^e norme⁹⁵, en cours de publication en date de mai 2026, portera sur les normes de compétence relatives à l'équipage et au personnel clé des submersibles.

La norme relative aux essais par pression hydrostatique s'applique à la structure sous pression des submersibles transportant des personnes ainsi qu'à ceux qui n'en transportent pas, et elle englobe la coque épaisse, ses accessoires (comme les hublots, les écoutilles et les connecteurs) et les matériaux de flottabilité. La norme ne s'applique pas aux submersibles qui restent sous l'eau pendant plus de 1 semaine. La norme décrit un certain nombre d'éléments généraux liés aux essais, y compris la préparation des essais, les exigences que le fabricant doit respecter préalablement aux essais, l'équipement et les instruments d'essai, l'environnement d'essai, la séquence d'essais et le registre d'essais.

Les exigences relatives à la séquence d'essais stipulent qu'un essai d'étanchéité de la coque épaisse doit être effectué avant l'essai par pression hydrostatique. Pendant un essai d'étanchéité, la pression maximale de service est appliquée afin de vérifier s'il y a des fuites. La coque épaisse doit réussir cet essai avant de passer à l'essai par pression hydrostatique, qui constitue une évaluation plus importante que l'essai d'étanchéité. La norme prévoit également des essais facultatifs, dont des essais d'extensométrie et des essais de pressurisation et de dépressurisation continus.

La norme précise que, pour un submersible destiné à transporter des personnes et dont la profondeur maximale de service ne dépasse pas 6000 m, la coque épaisse et ses accessoires doivent être soumis à des essais à une pression d'essai égale à 1,25 fois la pression maximale de service.

Il n'a pas été possible de déterminer si les essais de pression effectués par OceanGate respectaient cette norme.

⁹⁴ Organisation internationale de normalisation (ISO), *ISO 21173:2019(E) : Submersibles – Hydrostatic pressure test – Pressure hull and buoyancy materials* (2019).

⁹⁵ Organisation internationale de normalisation (ISO), « ISO/CD 24037 : Requirements and guidance for training, qualification and competency of submersible system crew and other key personnel », en cours de publication en date de mai 2026. Résumé disponible à l'adresse [https://www.iso.org/standard/87666.html#:~:text=Abstract.%20To%20provide%20a%20Standard%20for%20ee,operating%20untethered%20manned%20submersible%20vehicle%20systems%20\(MSVS\)](https://www.iso.org/standard/87666.html#:~:text=Abstract.%20To%20provide%20a%20Standard%20for%20ee,operating%20untethered%20manned%20submersible%20vehicle%20systems%20(MSVS)) (dernière consultation le 14 mai 2026).

1.26.3 Sociétés de classification

Les sociétés de classification sont des organisations privées qui établissent des normes relatives à la conception, la construction, l'entretien et l'inspection des navires et d'autres installations maritimes. Les sociétés de classification effectuent également des inspections payantes des navires afin de vérifier le respect des règles établies par les sociétés de classification. Ces règles établissent des normes pour la résistance structurale de la coque et des appendices d'un navire, de même que pour le caractère adapté des systèmes de propulsion et de gouverne, de l'alimentation électrique et d'autres composants et systèmes du navire. Un navire qui respecte les règles de sa classe se voit délivrer un certificat de classification et est inscrit dans le registre des navires de la société de classification.

Une fois qu'un navire est classé, des experts maritimes de la société de classification continuent de vérifier la conformité du navire aux règles établies pour sa classe. Le propriétaire d'un navire doit fournir à la société de classification les renseignements concernant les dommages, réparations ou modifications qui pourraient influencer sur la certification de classe du navire. Les experts maritimes peuvent également être invités à monter à bord à la suite de certaines demandes. La société de classification a le droit de refuser de classer un navire ou de le retirer de sa classe si celui-ci ne respecte pas les règles de la classe.

Un certain nombre de sociétés de classification sont en activité à l'échelle internationale, et certaines d'entre elles ont établi des normes relatives aux submersibles, y compris les suivantes :

- American Bureau of Shipping, « Rules for Building and Classing Underwater Vehicles, Systems, and Hyperbaric Facilities »⁹⁶
- Lloyd's Register, « Rules and Regulations for the Construction & Classification of Submersibles & Diving Systems »⁹⁷
- DNV, « Rules for Classification: Underwater technology »⁹⁸
- China Classification Society, « Rules for Classification of Diving Systems and Submersibles »⁹⁹

⁹⁶ Le règlement est disponible à l'adresse https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/special_service/7-rules-for-building-and-classing-underwater-vehicles,-systems-and-hyperbaric-facilities-2025/7-uwvs-rules-jan25.pdf (dernière consultation le 14 mai 2026).

⁹⁷ Le règlement est disponible à l'adresse <https://www.lr.org/en/knowledge/lloyds-register-rules/rules-for-submersibles/> (dernière consultation le 14 mai 2026).

⁹⁸ Pour accéder à ce règlement, DNV demande aux utilisateurs de créer un compte à l'adresse <https://www.dnv.com/ca/rules-and-standards/> (dernière consultation le 14 mai 2026).

⁹⁹ Le règlement est disponible à l'adresse <https://www.ccs.org.cn/ccswzen/file/download?fileid=20195000000002432> (dernière consultation le 14 mai 2026).

- Korean Register, « Rules and Guidance for the Classification of Underwater Vehicles »¹⁰⁰
- Class NK, « Rules for the Survey and Construction of Steel Ships »¹⁰¹
- Russian Maritime Register of Shipping, « Rules for the Classification and Construction of Manned Submersibles, Ship's Diving Systems and Passenger Submersibles »¹⁰²

Ces normes fournissent des spécifications détaillées sur la conception, la construction et l'exploitation des submersibles. Les exigences en matière de classification des submersibles varient d'un pays à l'autre. Par exemple, les Bahamas, les îles Caïmans et le Japon exigent que les submersibles soient classés pour naviguer dans leurs eaux. Le Canada exige que les submersibles commerciaux à passagers effectuant uniquement des voyages intérieurs soient classés conformément à la Politique sur les sous-marins à passagers de TC (consulter la section 1.27.1.1.3 pour plus de détails sur cette politique). Que le pays exige ou non la classification, celle-ci est à la disposition de tout exploitant de submersible qui en fait la demande volontairement.

1.26.3.1 Antécédents d'OceanGate en matière de classification des submersibles

En 2009, OceanGate a acheté son premier submersible, l'*Antipodes*. Sa profondeur maximale d'exploitation était d'environ 300 m. L'*Antipodes* était à l'origine classé auprès de l'*American Bureau of Shipping*, mais OceanGate n'a pas maintenu sa classification.

À partir de 2016, OceanGate a entamé des discussions avec DNV au sujet de la certification de classe pour un autre submersible qu'OceanGate avait acheté, le *Cyclops 1*, ainsi que pour la 1^{re} construction du *Titan*, qui était alors en phase de développement. Le *Cyclops 1* n'a pas été classé par la suite. Le *Cyclops 1* avait une profondeur maximale d'exploitation de 500 m.

Le 21 février 2019, OceanGate a publié un article de blogue intitulé « Why Isn't Titan Classed? » (Pourquoi le Titan n'est-il pas classé?). Dans son article de blogue, OceanGate reconnaît que la classification des navires contribue à ce que ceux-ci soient conçus, construits et inspectés conformément aux normes acceptées. Cependant, OceanGate a également fait valoir que [traduction]

l'innovation échappe au paradigme existant de l'industrie. Bien que les sociétés de classification soient disposées à certifier des conceptions et des idées nouvelles et novatrices, leur cycle d'approbation s'étend souvent sur plusieurs années en raison

¹⁰⁰ Le règlement est disponible à l'adresse https://www.krs.co.kr/KRRules/KRRules2019/data/DATA_OTHER/ENGLISH/rb05e000.pdf (dernière consultation le 14 mai 2026).

¹⁰¹ Le règlement est disponible à l'adresse https://www.classnk.or.jp/hp/en/rules/tech_rules.aspx (dernière consultation le 14 mai 2026).

¹⁰² Le règlement est disponible à l'adresse <https://rs-class.org/upload/iblock/898/89898a255ffa405ede564077a6e59f45.pdf> (dernière consultation le 14 mai 2026).

de l'absence de normes préexistantes, en particulier, par exemple, dans le cas de nombreuses innovations d'OceanGate, telles que les enceintes sous pression en fibres de carbone et le système de surveillance en temps réel (RTM) de l'état de la coque. La nécessité de tenir une entité extérieure au fait de chaque innovation avant de la soumettre à des essais dans le monde réel est contraire à l'innovation rapide¹⁰³.

En avril 2019, OceanGate a demandé à un expert maritime de Lloyd's Register d'assister à une plongée avec la première construction du *Titan* à 4000 m aux Bahamas et de fournir une déclaration attestant de la réussite de la plongée. Lloyd's Register était présent, mais rien n'indiquait que Lloyd's Register eût publié une déclaration de fait, et le *Titan* n'a pas été classé auprès de Lloyd's Register par la suite.

En août 2019, OceanGate a entamé un processus d'immatriculation de la 1^{re} construction du *Titan* auprès de la Bahamas Maritime Authority. La Bahamas Maritime Authority a informé OceanGate des exigences relatives au submersible en vertu des *Merchant Shipping (Submersible Craft Operations) Regulations 1987* des Bahamas. Ces exigences touchaient l'immatriculation, l'exploitation, la construction et l'inspection d'engins submersibles. Elle a en outre informé OceanGate que le *Titan* devrait être classé pour exercer ses activités dans les eaux bahamiennes. OceanGate a cessé ses démarches d'immatriculation auprès de la Bahamas Maritime Authority.

1.26.4 Directives de l'industrie

Divers groupes de l'industrie fournissent des consignes applicables aux submersibles. Il s'agit notamment de la Marine Technology Society, de l'American Society of Mechanical Engineers, de la Society of Naval Architects and Marine Engineers, du Submersible Operator's Group et de la World Submarine Organization, récemment créée. Voir l'annexe C pour obtenir plus de détails sur ces groupes de l'industrie et les consignes qu'ils fournissent.

1.27 Sécurité maritime au Canada

1.27.1 Transports Canada

TC est l'organisme de réglementation de l'industrie maritime au Canada. TC a pour mission de veiller à ce que le système de transport canadien soit sûr et sécuritaire, efficace, et respectueux de l'environnement. TC est organisé en plusieurs directions, notamment Politiques, Programmes, et Sûreté et sécurité. Ces directions sont multimodales et englobent les industries maritime, aérienne et terrestre (ferroviaire et routière). De plus, TC dessert 5 régions (Atlantique, Québec, Ontario, Prairies et Nord, et Pacifique). Dans chaque région, le personnel de TC a des domaines de responsabilité et d'expertise différents.

La Direction des politiques de TC est chargée de diriger les recherches, les analyses et les conseils pour élaborer et soutenir les cadres stratégiques, les programmes de financement

¹⁰³ OceanGate, « Why Isn't Titan Classed? » (21 février 2019).

et les régimes de réglementation de TC¹⁰⁴. Dans le cadre de son mandat en ce qui concerne l'industrie maritime, la Direction des politiques est chargée de protéger les intérêts économiques du Canada en appliquant, entre autres, la *Loi sur le cabotage*¹⁰⁵. La Direction des programmes de TC est responsable de la gestion des programmes et services liés aux infrastructures aériennes, maritimes et de surface, à l'environnement, aux relations avec les Autochtones, à l'innovation et aux voies navigables¹⁰⁶. Au sein de la Direction de la sûreté et de la sécurité, la Sécurité et sûreté maritimes de TC (SSMTC) a pour rôle de maintenir et d'améliorer la sécurité maritime et de travailler pour protéger la vie, la santé, les biens et l'environnement marin¹⁰⁷. Ce rôle comprend la prestation des services prescrits par des lois et règlements.

1.27.1.1 Sécurité et sûreté maritimes de Transports Canada

Au Canada, l'exploitation des navires commerciaux, qu'ils soient canadiens ou étrangers, est régie par diverses lois et divers règlements qui fournissent un cadre directeur et prévoient des niveaux minimums de sécurité. L'une des responsabilités de la SSMTC consiste à surveiller le respect de la réglementation, tandis que les propriétaires et les exploitants de navires commerciaux sont chargés de gérer les risques liés à leurs opérations. D'autres ministères du gouvernement canadien peuvent s'intéresser à l'exploitation des navires commerciaux, selon le type de navire et ses activités.

Dans le cadre de ses activités de réglementation, la SSMTC tient un registre des bâtiments canadiens (le Registre canadien d'immatriculation des bâtiments). Ce registre permet de suivre la propriété des navires et leurs caractéristiques, comme leur nom, leur type et leur jauge. La responsabilité de l'immatriculation d'un navire incombe à son représentant autorisé. L'immatriculation d'un navire permet à la SSMTC de connaître son existence et de déterminer en conséquence le niveau de priorité de sa surveillance réglementaire.

L'immatriculation au Canada est permise si le représentant autorisé d'un navire est une personne qualifiée, que l'on définit comme un citoyen canadien, un résident permanent ou une société canadienne. L'immatriculation au Canada n'est pas autorisée pour les navires appartenant à des citoyens étrangers. La SSMTC ne recherche pas les navires non

¹⁰⁴ Transports Canada, « Groupe des politiques », <https://tc.canada.ca/fr/services-generaux/transparence/documents-information-transports-canada/2024/transport-canada-structure-portfolio/tc-groups/groupe-politiques> (dernière consultation le 28 mai 2026).

¹⁰⁵ Gouvernement du Canada, *Loi sur le cabotage* (L.C. 1992, ch. 31). Dans la *Loi sur le cabotage*, le terme « navire » correspond à la définition de « bâtiment » figurant dans la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*.

¹⁰⁶ Transports Canada, « Groupe des programmes », <https://tc.canada.ca/fr/services-generaux/transparence/documents-information-transports-canada/2025/structure-portefeuille-transports-canada/groupes-tc/programmes> (dernière consultation le 28 mai 2026).

¹⁰⁷ Transports Canada, « Sécurité et sûreté maritimes », à l'adresse <https://tc.canada.ca/fr/transport-maritime/securite-maritime/securite-surete-maritimes> (dernière consultation le 15 mai 2026).

immatriculés, mais peut recourir à des instruments d'application de la loi si un navire non immatriculé est identifié dans le cadre d'autres activités de surveillance réglementaire.

Dans le cadre de sa surveillance réglementaire des navires canadiens et étrangers, la SSMTC effectue des inspections de navires en vertu de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*. En date du 18 juillet 2025, environ 55 000 navires canadiens étaient immatriculés au Canada et, en moyenne, 17 844 navires battant pavillon étranger entraient chaque année dans les eaux canadiennes. Étant donné que la SSMTC ne peut pas inspecter tous les navires, il établit un ordre de priorité et classe ces navires en fonction de divers facteurs, puis exerce une surveillance en conséquence. La SSMTC effectue parfois aussi des inspections de conformité¹⁰⁸ et des activités d'application de la loi.

1.27.1.1.1 Inspections de navires canadiens

En qualité d'administration de l'État du pavillon pour le Canada, la SSMTC effectue régulièrement des inspections sur certains navires canadiens. La SSMTC conserve le pouvoir d'inspecter tous les navires battant pavillon canadien. L'immatriculation est le mécanisme juridique qui fait entrer les navires dans le système réglementaire.

Environ 25 % de la flotte nationale, y compris les navires d'une jauge brute de plus de 15 ou transportant plus de 12 passagers, doivent obtenir un certificat pour pouvoir naviguer¹⁰⁹. Pour obtenir les certificats requis, les navires doivent être inspectés par la SSMTC ou par un organisme reconnu agréé par TC. Les autres navires, qui représentent 75 % de la flotte canadienne, ne sont pas tenus de détenir un certificat pour naviguer et sont ci-après appelés « navires non certifiés ».

Les navires de pêche non certifiés et non immatriculés¹¹⁰, les remorqueurs non certifiés¹¹¹ et d'autres navires¹¹² peuvent ne faire l'objet que d'une surveillance limitée, voire d'aucune surveillance, de la part de TC au cours de leur cycle de vie. Ils peuvent être assujettis à des inspections de conformité, à des campagnes d'inspection concentrées (CIC)¹¹³ et à des activités d'application de la loi. Les navires non certifiés peuvent s'inscrire volontairement au Programme de conformité des petits bâtiments.

¹⁰⁸ Les inspections de conformité comprennent les inspections fondées sur des plaintes et les inspections non planifiées pour des raisons qui pourraient amener SSMTC à monter à bord d'un navire.

¹⁰⁹ Ce pourcentage repose sur des renseignements tirés du Registre canadien d'immatriculation des bâtiments.

¹¹⁰ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21A0315, M20A0160, M19A0090 et M16A0327 du BST.

¹¹¹ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21P0030, M20P0230, M17P0244, et M15P0037 du BST.

¹¹² Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0258 du BST).

¹¹³ Il s'agit de campagnes d'inspection qui ciblent des secteurs précis de la sécurité sur des navires canadiens sélectionnés. SSMTC est responsable de la surveillance réglementaire des navires non certifiés, mais ne les inspecte pas de manière routinière.

Le BST a enquêté sur un certain nombre d'événements mettant en cause de tels navires non certifiés. Cependant, même les navires qui ont besoin de la certification peuvent ne pas être surveillés par TC, comme l'a démontré l'enquête du BST sur un événement concernant le bateau de pêche *Arctic Fox II* : comme le représentant autorisé n'avait pas demandé de manière proactive à TC de procéder à une inspection en vue de la certification, aucune inspection de ce type n'a été effectuée, et le navire a donc navigué sans être certifié. Dans cette enquête, le Bureau a déterminé que

Si la surveillance réglementaire par TC continue d'être réactive et de nécessiter que les RA [propriétaires] comprennent les règlements et en assurent le respect, les navires et les équipages risquent de continuer à être exploités sans les mécanismes de défense minimaux qu'offre le respect des exigences réglementaires, ce qui entraînerait des conditions dangereuses et des accidents potentiellement mortels¹¹⁴.

Le *Titan* n'était pas immatriculé au Canada et la SSMTC n'avait pas vérifié s'il était immatriculé. Bien que la SSMTC fût au courant des opérations du *Titan* menées à partir de St. John's entre 2021 et 2023, le *Titan* n'avait fait l'objet d'aucune inspection réglementaire nationale. L'enquête a permis de déterminer qu'il n'était pas clair pour la SSMTC que le *Titan* était un bâtiment régi par la *Loi de 2001 sur la marine marchande*, ce qui engendrait de la confusion sur la question de savoir si la Loi s'appliquait au submersible. La section 1.27.1.1.4 présente plus de détails sur les renseignements dont disposait la SSMTC au sujet des opérations d'OceanGate.

1.27.1.1.2 Inspections de navires étrangers

Les navires étrangers arrivant au Canada peuvent faire l'objet d'inspections par la SSMTC¹¹⁵. La SSMTC surveille l'entrée des navires étrangers naviguant dans les eaux canadiennes à l'aide des données provenant des systèmes de notification préalable à l'arrivée. Dans la région de l'Atlantique, les notifications d'arrivée de navires étrangers¹¹⁶ servent à déterminer les navires à inspecter. En vertu des exigences de notification préalable en vigueur dans la Zone de services de trafic maritime de l'Est du Canada (ECAREG), les navires d'une jauge brute de 500 ou plus sont tenus de signaler leur arrivée. La SSMTC détermine les navires à inspecter en fonction, entre autres, de la liste de cibles établie aux termes des protocoles d'entente de Paris et de Tokyo sur le contrôle des navires par l'État du port. Les petits navires étrangers en dessous des seuils internationaux de jauge brute (500 GT), les navires transportés comme cargaison, et d'autres petits bâtiments ne sont pas assujettis au programme d'inspection du contrôle des navires par l'État du port.

¹¹⁴ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20P0229 du BST.

¹¹⁵ Ces inspections permettent de vérifier si l'état d'un navire étranger et de son équipement est conforme aux instruments internationaux (p. ex. la Convention SOLAS et le Code ISM) et si l'équipage et l'exploitation du navire sont conformes à ces instruments.

¹¹⁶ On trouvera plus d'information sur ECAREG à l'adresse <https://e-navigation.canada.ca/topics/traffic/cvms/eastern-fr> (dernière consultation le 28 mai 2026).

Le *Titan* n'était pas un navire canadien. Il ne figurait pas sur la liste de cibles utilisée par la SSMTC pour déterminer les navires étrangers à inspecter, car à son entrée dans les eaux canadiennes, soit il se trouvait sur le pont d'un navire canadien, soit il était remorqué par un navire canadien. Pour les opérations auxquelles participaient le *Polar Prince* et le *Horizon Arctic*, selon l'interprétation de TC, le submersible faisait partie de la cargaison transportée par le navire et n'était donc pas considéré comme un navire assujéti à une inspection. Le *Titan* n'avait donc jamais fait l'objet d'une inspection de navire étranger.

1.27.1.1.3 Surveillance des submersibles à passagers canadiens

En 2005, la SMTC¹¹⁷ a élaboré une politique sur les submersibles canadiens à passagers. L'objectif de cette politique était de mettre en œuvre les directives de l'OMI relatives aux submersibles à passagers (MSC/Circ. 981) en remplacement de la réglementation nationale. La politique, qui est entrée en vigueur le 13 juillet 2005, s'appliquait à tous les submersibles qui n'étaient pas des embarcations de plaisance et qui transportaient des passagers en effectuant uniquement des voyages intérieurs.

Après l'événement à l'étude, le BST a établi que les connaissances actuelles de TC sur cette politique relative aux submersibles canadiens à passagers étaient limitées et que la politique n'avait pas été appliquée au *Titan*. Certaines politiques de TC sont accessibles au public sur le site Web de TC, mais ce n'était pas le cas de cette politique.

La politique comprenait des renseignements généraux remontant à 2005 qui indiquaient que des submersibles à passagers étaient en cours de construction au Canada, mais qu'ils étaient exclusivement destinés à l'exportation. La politique indiquait que, même si l'on ne s'attendait pas à ce qu'un grand nombre de submersibles à passagers soient exploités au Canada, on s'attendait à ce qu'ils soient utilisés dans une certaine mesure à des fins commerciales. La politique mentionnait l'exemple d'un submersible exploité par Haliburton Forest and Wildlife Reserve Ltd.¹¹⁸ en Ontario.

La politique comprenait une annexe qui énonçait les exigences relatives à la conception, à la construction, à l'exploitation et à l'inspection des submersibles à passagers. L'annexe précisait que

¹¹⁷ En 2005, la SSMTC s'appelait la SMTC. Il y a donc des mentions de la SMTC dans la description de cette politique.

¹¹⁸ De 2004 à 2006, une compagnie connue sous le nom de Haliburton Forest and Wildlife Reserve Ltd., établie dans le comté de Haliburton (Ontario), possédait et exploitait un submersible appelé le *Pat Waddell*. Ce submersible était utilisé pour offrir aux passagers des excursions sous-marines dans les lacs de la forêt Haliburton pendant la saison estivale. Le submersible a effectué plus de 600 excursions avec des passagers à bord du submersible et environ 1000 excursions au total. Le submersible n'était pas immatriculé auprès de TC. Pendant son exploitation, le submersible a fait l'objet d'une visite de TC, puis le ministère du Travail de l'Ontario a mis fin à ses activités.

1. Tous les submersibles à passagers doivent être conformes à la circulaire MSC/Circ. 981.
2. Les engins submersibles à passagers devraient être conçus, construits et entretenus conformément aux prescriptions d'un organisme reconnu (OR) (société de classification), tel que défini dans la circulaire MSC/Circ. 981.
3. Les plans, calculs et données doivent être soumis à l'OR conformément aux exigences.
4. Les submersibles à passagers doivent être inspectés conformément à la circulaire MSC/Circ. 981, ce qui comprend une inspection initiale, une inspection annuelle et une mise en cale sèche prévue tous les 3 ans par un inspecteur de la SMTC.
5. Une plongée d'essai et un essai satisfaisant du système de survie doivent être effectués conformément aux exigences de l'OR.
6. Les submersibles à passagers ne doivent généralement fonctionner qu'à des profondeurs ne dépassant pas la profondeur nominale du submersible. La SMTC peut envisager l'exploitation dans des zones plus profondes en fonction d'évaluations de sécurité démontrant l'adéquation des dispositions et des procédures.
7. Le pilote et l'équipage du submersible à passagers doivent être formés et certifiés à la satisfaction de la SMTC et doivent généralement se conformer à la réglementation relative à l'équipage.
8. L'exploitant est responsable en dernier ressort de l'inspection et de l'entretien du submersible à passagers, ainsi que du maintien de procédures d'exploitation sécuritaires, de procédures d'urgence et de programmes d'entretien.
9. Les exploitants doivent étudier les sites de plongée potentiels pour en recenser et en consigner les dangers.
10. Le navire de soutien du submersible à passagers doit toujours être accessible en moins de 1 heure par des plongeurs basés à terre.
11. Les systèmes de manœuvre du submersible à passagers doivent être conçus, construits et certifiés conformément aux exigences de l'OR.
12. L'exploitant doit fournir à la SMTC des manuels d'utilisation relatifs aux capacités en fonction de l'état de la mer, aux procédures opérationnelles de manœuvre, à l'entretien et aux procédures d'urgence (y compris en cas de perte de communications). L'exploitant doit également fournir toute restriction particulière liée au caractère unique de la conception et des conditions d'exploitation uniques du submersible¹¹⁹.

¹¹⁹ Transports Canada, Volet I – Politique : Engin submersible transportant des passagers, 2005, annexe A (SGDDI #1246585).

La politique établit également les exigences en matière de sauvetage et de lutte contre les incendies applicables au submersible transportant des passagers et à la station de plongée. La SSMTC se fie au Registre canadien d'immatriculation des bâtiments pour déterminer les submersibles exploités au Canada. L'enquête a permis de déterminer que le Registre canadien d'immatriculation des bâtiments ne saisit pas avec exactitude le nombre de submersibles à passagers qui sont immatriculés et exploités au Canada.

Le 13 juin 2024, le BST a envoyé à la SSMTC une lettre d'information sur la sécurité concernant les opérations de submersibles dans les eaux canadiennes. La lettre indiquait que d'autres submersibles avec des personnes à bord avaient été exploités dans les eaux canadiennes et dans la ZEE du Canada, tant avant qu'après juin 2023.

La SSMTC a demandé au BST de préciser à quels submersibles il faisait référence. L'enquête du BST a permis de déterminer que 6 submersibles étaient immatriculés dans le Registre canadien d'immatriculation des bâtiments. Ces submersibles étaient immatriculés dans des catégories différentes du système : selon le cas, « bateau de travail/submersible », « bateau de travail/recherche/étude hydrographique », « sous-marin » ou « bâtiment à usage spécial ». Le Registre canadien d'immatriculation des bâtiments ne comporte pas de catégorie « submersible » comme type de navire. Les catégories dans lesquelles certains des submersibles étaient immatriculés avaient changé au fil des ans.

Les enquêteurs ont également obtenu des renseignements accessibles au public concernant un autre submersible qui avait été exploité à partir d'un navire étranger dans les eaux canadiennes¹²⁰. Le BST a fourni à la SSMTC les noms de ces 7 submersibles.

La SSMTC a vérifié les noms des 7 submersibles fournis par le BST et a répondu que 6 d'entre eux étaient immatriculés dans le Registre canadien d'immatriculation des bâtiments principalement comme bateaux de travail et n'étaient pas censés transporter des passagers. La SSMTC a indiqué qu'ils n'étaient donc pas soumis à la politique de TC sur les submersibles à passagers.

1.27.1.1.4 Conscience par Transports Canada de l'existence et des opérations du *Titan*

Avant l'événement à l'étude, divers groupes à l'administration centrale de TC et au bureau de l'Atlantique de TC¹²¹ avaient reçu divers renseignements sur le *Titan* et ses opérations à la suite de demandes de renseignements externes ou de discussions internes.

¹²⁰ Les enquêteurs du BST ont obtenu des renseignements indiquant que plus de 6 submersibles avaient été exploités au Canada, mais aucun autre détail ne peut être publié, car ces données sont protégées.

¹²¹ L'administration centrale de TC est située à Ottawa (Ontario), et la région de l'Atlantique de TC dispose de plusieurs bureaux dans toute la région de l'Atlantique.

En 2019 et 2020, la Direction des politiques du transport maritime de TC a pris part à des discussions avec la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)¹²² des États-Unis et Parcs Canada au sujet des autorisations dont OceanGate aurait besoin pour entreprendre des expéditions avec le *Titan* vers le *Titanic* et de la question de savoir si les navires de soutien d'OceanGate invoqueraient la *Loi sur le cabotage*¹²³. Afin de déterminer si la *Loi sur le cabotage* s'appliquerait, la Direction des politiques du transport maritime de TC a demandé à OceanGate de fournir des renseignements sur ses opérations. À la suite de cette demande, la Direction des politiques du transport maritime de TC a été informée que le personnel d'OceanGate était soit des employés rémunérés d'OceanGate, soit des passagers payants. La Direction des politiques du transport maritime de TC a également été informée que le navire de soutien du *Titan* ne serait probablement pas un navire battant pavillon canadien. Cependant, puisque l'utilisation d'un navire étranger comme navire de soutien aurait entraîné l'application de la *Loi sur le cabotage*, OceanGate a décidé par la suite d'utiliser un navire battant pavillon canadien comme navire de soutien.

En mai 2021, un mois avant qu'OceanGate ne commence à entreprendre des expéditions à partir de St. John's, un échange interne de courriels a eu lieu entre des employés de la SSMTC à l'administration centrale de TC afin de déterminer si la SSMTC de la région de l'Atlantique devait être mise au courant des activités que menait OceanGate. Les courriels abordaient la question de manière superficielle et mettaient l'accent sur l'aspect procédural de l'échange de renseignements. À l'administration centrale, on a conclu que la SSMTC de la région de l'Atlantique était peu concernée, car le navire de soutien d'OceanGate (à l'époque, le *Horizon Arctic*) était immatriculé au Canada et détenait les certificats nécessaires à ses opérations, mais un courriel a été envoyé par l'administration centrale pour informer la SSMTC de la région de l'Atlantique qu'OceanGate menait des opérations à partir de St. John's.

En juillet 2021, un échange de courriels a eu lieu entre des groupes de TC et le Centre des opérations de la sûreté maritime (COSM) à Halifax¹²⁴, dans lequel le COSM a demandé à la SSMTC si la SSMTC prévoyait imposer des restrictions de navigation au *Horizon Arctic*. Il y a également eu un échange sur la question de savoir si les membres du personnel d'OceanGate désignés comme des spécialistes de mission étaient considérés comme des passagers. Ces échanges de courriels ont eu lieu après le rejet de la demande de recherche

¹²² La NOAA a établi des lignes directrices spécifiques concernant les activités visant le *Titanic*, lesquelles peuvent être consultées à l'adresse <https://www.noaa.gov/gc-international-section/rms-titanic-noaa-guidelines> (dernière consultation le 19 mai 2026).

¹²³ La *Loi sur le cabotage* limite les activités maritimes commerciales dans les eaux canadiennes aux navires immatriculés au Canada et dédouanés, à quelques exemptions près.

¹²⁴ Voir la section 1.28.4 pour de plus amples renseignements sur les Centres des opérations de la sûreté maritime.

scientifique marine (RSM)¹²⁵ qu’OceanGate avait présentée à Affaires mondiales Canada (AMC). La demande de RSM visait à obtenir qu’OceanGate soit autorisée à mener des RSM à l’emplacement du *Titanic* et dans les zones côtières en route vers le site de l’épave, et il désignait le *Horizon Arctic* comme le navire à partir duquel les recherches seraient menées. La SSMTTC a conclu que le *Horizon Arctic* était un navire visé par la Convention pouvant transporter 12 passagers et que l’exploitation du submersible ne relevait pas de la compétence de TC. La SSMTTC a répondu au COSM de Halifax qu’il n’avait pas l’intention d’imposer des restrictions de navigation au *Horizon Arctic*.

En octobre 2021, OceanGate a présenté une autre demande de RSM à AMC. La demande de RSM visait de nouveau à obtenir qu’OceanGate soit autorisée à entreprendre des RSM à l’emplacement du *Titanic* et dans les zones côtières en route vers le site de l’épave. Cette demande de RSM désignait elle aussi le *Horizon Arctic* comme le navire à partir duquel les recherches seraient menées. AMC a communiqué avec TC¹²⁶ pour lui demander de fournir une évaluation et une rétroaction sur la demande en fonction de ses mandats ministériels. L’un des nombreux autres ministères fédéraux avec lesquels TC a communiqué est le MPO. Le rôle du MPO dans le processus de demande de RSM est de déterminer si un navire proposé entreprend des activités de RSM. En novembre 2021, TC a répondu à AMC que la *Loi sur le cabotage* ne s’appliquait pas. TC a informé le MPO du fait que, puisque le navire battait pavillon canadien, le cabotage ne serait pas un facteur et qu’une exemption à la *Loi sur le cabotage* pour la RSM ne serait pas nécessaire.

En février 2022, le COSM à Halifax a envoyé un courriel d’information sur la sécurité concernant la même demande de RSM à une liste de diffusion composée d’employés du COSM travaillant dans d’autres ministères, y compris un employé du COSM à TC.

En août 2022, la SSMTTC de la région de l’Atlantique a communiqué avec la Direction des politiques du transport maritime de TC pour demander si un permis de cabotage était requis pour le *Horizon Arctic*, soulignant qu’il menait ses activités en vertu d’une demande de RSM et que le submersible transportait des passagers payants. La Direction des politiques du transport maritime de TC a répondu que la *Loi sur le cabotage* ne s’appliquait pas, mais que la demande de RSM soulevait certaines questions et que la Direction des politiques du transport maritime de TC assurait un suivi auprès d’AMC et du MPO. Il s’agit là des derniers renseignements échangés par TC au sujet des opérations d’OceanGate avant l’événement à l’étude.

¹²⁵ La CNUDM accorde aux États côtiers le droit de réglementer, d’autoriser et d’entreprendre des recherches scientifiques marines dans leur mer territoriale, dans leur ZEE et sur leur plateau continental. Les chercheurs étrangers qui souhaitent entreprendre des recherches scientifiques marines dans des zones relevant de la compétence ou de la souveraineté du Canada doivent obtenir l’autorisation d’Affaires mondiales Canada en suivant le processus de demande de recherche scientifique marine (RSM).

¹²⁶ Les autres ministères avec lesquels on avait communiqué comprenaient Parcs Canada, le MPO, le COSM, Environnement et Changement climatique Canada, Ressources naturelles Canada, l’ASFC, le ministère de la Défense nationale et la Gendarmerie royale du Canada.

1.28 **Autres ministères du gouvernement du Canada concernés par les opérations des navires commerciaux**

Des ministères du gouvernement canadien autres que TC peuvent parfois être sollicités par les exploitants de navires commerciaux, selon le type de navire et les activités qu'il mène. Ces ministères peuvent recueillir des renseignements qui sont pertinents pour le mandat de TC.

OceanGate a interagi avec plusieurs ministères du gouvernement canadien et leur a communiqué des renseignements au sujet de ses opérations, comme on lui avait demandé. Les sections suivantes donnent un aperçu de ces ministères et de leurs interactions avec OceanGate.

1.28.1 **Affaires mondiales Canada**

AMC a pour mandat de faire progresser les relations internationales du Canada, y compris :

- élaborer et mettre en œuvre la politique étrangère;
- favoriser le développement du droit international, du commerce et des échanges internationaux;
- fournir de l'aide internationale englobant l'aide humanitaire, le développement et la paix et la sécurité;
- offrir des services consulaires aux Canadiennes et Canadiens;
- superviser le réseau mondial de missions du gouvernement du Canada à l'étranger¹²⁷.

AMC est principalement responsable des domaines du commerce, des affaires étrangères et du développement international. L'une des fonctions d'AMC consiste à faciliter l'examen et l'approbation des demandes de RSM présentées par des chercheurs étrangers qui souhaitent mener des recherches dans des zones relevant de la compétence ou de la souveraineté du Canada.

OceanGate a présenté des demandes de RSM à AMC en 2021 et 2022. Elle y demandait qu'OceanGate soit autorisée à entreprendre des RSM à l'emplacement du *Titanic* et dans les zones côtières en route vers le site de l'épave, et elle désignait le *Horizon Arctic* comme le navire à partir duquel les recherches seraient menées. De plus, les demandes ont été présentées dans le but de faciliter l'entrée de ressortissants étrangers au Canada, en leur accordant une exemption aux restrictions liées à la COVID-19 qui étaient en vigueur à l'époque¹²⁸. En 2021, la demande de RSM d'OceanGate concernant le *Horizon Arctic* n'a pas

¹²⁷ Affaires mondiales Canada, « Mandat : Affaires mondiales Canada, » à l'adresse <https://international.canada.ca/fr/affaires-mondiales/organisation/mandat> (dernière consultation le 19 mai 2026).

¹²⁸ En raison des restrictions liées à la COVID-19 et des décrets d'urgence, seuls les navires de RSM autorisés avaient la permission de mener des expéditions dans les zones relevant de la compétence ou de la souveraineté du Canada.

été approuvée, car OceanGate n'avait pas été parrainée par un état; en 2022, la demande a été approuvée après que les Bahamas aient parrainé OceanGate. En 2023, OceanGate n'a pas présenté de demande de RSM pour le *Polar Prince*.

En 2022, dans le cadre de son examen de la demande d'OceanGate, AMC a communiqué avec TC et plusieurs autres ministères¹²⁹ pour leur demander de fournir une évaluation et une rétroaction sur la demande en fonction de leurs mandats ministériels.

1.28.2 Ministère des Pêches et des Océans

Le MPO a pour mandat de veiller « à ce que les océans et les autres écosystèmes aquatiques du Canada soient protégés contre les répercussions négatives¹³⁰ ». Le MPO est principalement responsable des domaines de la pêche, de l'aquaculture, des sciences et de la protection des océans.

Au début de l'année 2021, OceanGate a entamé des discussions exploratoires avec le MPO au sujet d'un éventuel partenariat qui pourrait conduire à des recherches scientifiques dans des zones de protection marine au large de la côte est du Canada, comme la zone de protection marine du Gully. OceanGate a demandé au MPO de rédiger une lettre d'appui afin d'officialiser sa collaboration avec le MPO en vue d'aider OceanGate à obtenir diverses autorisations, comme celles exigées par l'Agence des services frontaliers du Canada (ASFC) et AMC. Le MPO a accepté et a rédigé une lettre d'appui. OceanGate a ensuite présenté cette lettre dans le cadre de sa demande de RSM pour 2021 et a désigné le MPO comme son état parrain.

En juin 2021, le MPO a précisé à OceanGate et à AMC qu'il était intéressé par une collaboration avec OceanGate, mais qu'il ne serait pas un état parrain et que le MPO n'avait jamais eu l'intention de parrainer des missions vers le *Titanic*, car cette activité ne relevait pas de son mandat.

En juillet 2021, un représentant du MPO a participé à une mission avec OceanGate en tant qu'observateur. Le représentant a indiqué que

- le *Titan* n'avait été approuvé ni certifié par aucun organisme de réglementation;
- le *Titan* était construit à partir d'un matériau qui n'était pas couramment utilisé pour les submersibles transportant des personnes;
- OceanGate n'avait pas souscrit d'assurance.

Ces observations ont été rapportées au MPO.

¹²⁹ Les autres ministères joints étaient Parcs Canada, le MPO, le COSM, Environnement et Changement climatique Canada, Ressources naturelles Canada, l'ASFC, le ministère de la Défense nationale et la Gendarmerie royale du Canada.

¹³⁰ Ministère des Pêches et Océans, « Mandat et rôle », à l'adresse <https://www.dfo-mpo.gc.ca/about-notre-sujet/mandate-mandat-fra.htm> (dernière consultation le 20 mai 2026).

En 2022, OceanGate a présenté une autre demande de RSM, cette fois-ci en indiquant que les Bahamas étaient l'état parrain d'OceanGate. Lorsqu'AMC a sollicité la rétroaction de divers ministères sur la demande de RSM d'OceanGate, le MPO n'a émis aucune réserve, mais a posé la condition qu'OceanGate lui fournisse tous les renseignements scientifiques recueillis pendant les plongées.

1.28.3 Agence des services frontaliers du Canada

L'ASFC a pour mandat de « fournir des services frontaliers intégrés contribuant à la mise en œuvre des priorités en matière de sécurité nationale et de sécurité publique et facilitant le libre mouvement des personnes et des biens [...] »¹³¹. L'ASFC est principalement responsable de la sécurité des frontières et de l'importation et l'exportation des marchandises.

En 2021 et 2022, OceanGate a demandé à l'ASFC des permis pour importer le *Titan* et le LARS au Canada. L'ASFC a recueilli les renseignements suivants au sujet du *Titan* :

- une explication du but de la mission
- une liste détaillée de l'équipement et des outils
- des certificats et des permis d'autres ministères
- une déclaration de la liste des membres d'équipage
- une déclaration de provisions de bord
- un manifeste du fret et des marchandises

Au cours de ces deux années, l'ASFC a accordé à OceanGate des permis temporaires pour importer le *Titan* et le LARS, qui sont tous deux entrés au Canada par voie routière. Les permis temporaires précisaient que le *Titan* et le LARS ne devaient que transiter par les eaux canadiennes et qu'aucun travail ne devait être effectué dans les eaux canadiennes.

En 2023, même si OceanGate n'importait pas le *Titan* et le LARS, car les deux étaient restés à St. John's pendant l'hiver, OceanGate a de nouveau présenté des demandes de permis à l'ASFC pour importer le *Titan* et le LARS. À la demande d'OceanGate, l'ASFC a modifié le permis d'importation d'OceanGate, le transformant d'un permis de transit temporaire en un permis d'expédition scientifique. Un permis d'expédition scientifique autorisait l'utilisation du *Titan* et du LARS dans les eaux canadiennes.

1.28.4 Centres des opérations de la sûreté maritime

Les COSM sont des entités interministérielles dont l'effectif est composé d'employés de TC, du ministère de la Défense nationale, de la Gendarmerie royale du Canada, de l'ASFC, du MPO et de la Garde côtière canadienne. Les COSM permettent aux ministères et organismes fédéraux de « travailler ensemble et d'échanger des renseignements de sécurité, des

¹³¹ Gouvernement du Canada, *Loi sur l'Agence des services frontaliers du Canada* (L.C. 2005, ch. 38), paragraphe 5(1).

renseignements sur la surveillance et la reconnaissance [...], ce qui en retour permet aux COSM d'appuyer une intervention organisée relativement aux menaces maritimes potentielles et d'éviter le double emploi des efforts et des ressources¹³² ».

Le COSM à Halifax a pris connaissance des activités d'OceanGate au Canada et, en 2021, il a rédigé une note d'information qui indiquait ce qui suit :

- Les activités d'OceanGate devaient se dérouler à la fois dans les eaux canadiennes et dans les eaux à proximité de la ZEE canadienne.
- L'expédition vers le *Titanic* n'était pas menée dans les eaux canadiennes et ne nécessitait pas de demande de RSM ni de licence de cabotage.
- L'opération concernait un sous-marin qui transporterait des passagers faisant du tourisme d'aventure.
- Elle devait se dérouler du 27 juin 2021 au mois d'août ou septembre 2021.

La note d'information contenait certains renseignements erronés, à savoir :

- que le *Titan* battait pavillon américain (alors qu'il n'avait en réalité aucun pavillon);
- qu'OceanGate avait mené des expéditions de tourisme d'aventure similaires vers le *Titanic* en 2018 et 2019 (en réalité, OceanGate avait prévu des expéditions vers le *Titanic* en 2018 et 2019, mais ne les avait pas menées).

La note d'information a été transmise à une personne-ressource de TC au COSM à Halifax, ainsi qu'à d'autres ministères.

1.28.5 Renseignements partagés entre Transports Canada et d'autres ministères

Plus TC dispose de renseignements sur une opération, mieux il est en mesure d'évaluer les risques et de déterminer le niveau de surveillance approprié. Dans l'événement à l'étude, le MPO et l'ASFC disposaient tous deux de renseignements sur le *Titan* dont TC n'avait pas connaissance.

Des enquêtes antérieures ont mis en évidence des problèmes d'échange de renseignements entre TC et les autres ministères. Par exemple, une enquête sur un bateau de pêche en retard au port¹³³ a révélé que des milliers de navires de pêche commerciale de plus étaient immatriculés auprès de Pêches et Océans Canada (MPO) qu'auprès de Transports Canada (TC) dans la région de l'Atlantique. Autrement dit, le MPO délivrait des permis pour la récolte commerciale de ressources marines sans d'abord vérifier que les navires étaient immatriculés auprès de TC. En réaction à cette absence de partage de renseignements entre TC et le MPO, le Bureau a recommandé que

¹³² Transports Canada, « Centres des opérations de la sûreté maritime », à l'adresse <https://tc.canada.ca/fr/transport-maritime/surete-maritime/centres-operations-surete-maritime> (dernière consultation le 20 mai 2026).

¹³³ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0160 du BST.

le ministère des Pêches et des Océans exige que tout navire canadien utilisé pour la pêche commerciale des ressources marines ait une immatriculation à jour et exacte auprès de Transports Canada.

Recommandation M22-01 du BST

Dans sa réponse de mars 2025 à la recommandation, le MPO indiquait qu'il continuait à collaborer étroitement avec TC afin de corriger les lacunes en matière d'immatriculation, par exemple en échangeant des données sur l'immatriculation et les permis. La réponse globale du MPO à la recommandation M22-01 a été évaluée comme dénotant une attention en partie satisfaisante¹³⁴, et le BST continue à suivre l'évolution des mesures prises par le MPO. Dans d'autres enquêtes, le BST a constaté que les observateurs du MPO recueillent souvent des renseignements sur la sécurité qui sont pertinents pour le mandat de TC, mais qu'il n'existe aucun processus de partage de renseignements prévoyant la collecte de ces renseignements par TC¹³⁵.

Fait établi : Autre

En raison d'un partage limité de renseignements entre TC et d'autres ministères, TC a manqué des occasions d'accéder à des renseignements qui pourraient être utiles pour évaluer les risques dans les opérations de navires commerciaux et déterminer le niveau approprié de surveillance.

1.29 Gestion des risques

Une gestion efficace des risques est un processus continu auquel participent des personnes à tous les niveaux d'une organisation. Il s'agit de déterminer les dangers, d'analyser et d'évaluer les risques associés à ces dangers et de mettre en place des mesures d'atténuation pour réduire les risques. Étant donné que les risques opérationnels ne sont pas statiques, mais qu'ils se manifestent et changent au fil du temps, il est essentiel que les évaluations des risques soient régulièrement évaluées et mises à jour afin de répondre aux nouveaux dangers ou de cerner les dangers existants qui auraient pu être négligés au départ. Il est également important que les mesures d'atténuation en place soient surveillées pour en vérifier l'efficacité.

1.30 Construction sociale du risque pour la sécurité

Le risque pour la sécurité est communément défini comme suit [traduction] : « [...] la quantification — exprimée en probabilité et en gravité prévues — des conséquences potentielles d'un danger en prenant comme référence la pire situation prévisible (mais

¹³⁴ Bureau de la sécurité des transports du Canada, Recommandation M22-01, Exigence d'immatriculation des navires auprès de Transports Canada avant l'émission d'un permis de pêche par Pêches et Océans Canada (mars 2025), à l'adresse <https://www.tsb.gc.ca/fra/recommandations-recommendations/marine/2022/rec-m2201.html> (dernière consultation le 20 mai 2026).

¹³⁵ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21A0065 et M18A0454 du BST.

crédible)¹³⁶ ». Que ce soit au moyen d'évaluations formelles ou informelles, toute organisation en activité dans une industrie à haut risque et où la sécurité est essentielle s'efforce de comprendre et de gérer les risques inhérents à ses activités à tout moment afin d'éviter des accidents potentiels.

Pour évaluer avec exactitude les risques dans un contexte opérationnel donné, l'un des principaux défis concerne les données utilisées au cours du processus d'évaluation des risques. Le risque n'est pas quelque chose qui peut être trouvé; il est plutôt construit par les personnes participant au processus d'évaluation des risques¹³⁷. Lorsque plusieurs personnes participent à ce processus, il devient évident que le risque est une construction sociale par nature, qui peut faire l'objet de discussions et de désaccords, comme toute autre question organisationnelle. La détermination du risque est donc vulnérable aux diverses influences et aux biais cognitifs qui existent dans d'autres situations décisionnelles similaires.

Pour acquérir une compréhension solide et précise des risques d'une organisation, il est important d'inclure dans le processus des personnes expérimentées et compétentes dans divers domaines d'expertise¹³⁸. Cela permet de contrebalancer l'influence d'erreurs et de biais qui pourraient s'insérer dans la prise de décision.

1.30.1 Effets de la pensée de groupe sur la perception des risques

Le terme « pensée de groupe » désigne la façon dont la pression et le désir informels d'harmonie au sein d'une équipe peuvent conduire à des décisions consensuelles qui réduisent au minimum la prise en compte d'autres options en raison de l'absence d'évaluation critique et objective¹³⁹. L'un des principaux facteurs à l'origine de ce phénomène est l'absence de points de vue divergents au sein d'une équipe. Parmi les caractéristiques qui portent à croire qu'une équipe est affectée par la pensée de groupe, notons :

- **Surestimation de la puissance de l'équipe.** L'équipe peut avoir [traduction] « une illusion d'invulnérabilité, partagée par la plupart ou la totalité des membres de l'équipe, qui crée un optimisme excessif et encourage la prise de risques¹⁴⁰ ».

¹³⁶ D. Maurino, « Why SMS: An Introduction and Overview of Safety Management Systems », Forum international des transports (4 août 2017), p. 16-17.

¹³⁷ S. Antonsen, *Safety Culture: Theory, Method and Improvement* (CRC Press, 2009), p. 6.

¹³⁸ S. Dekker, *Foundations of Safety Science : A Century of Understanding Accidents and Disasters* (CRC Press, 2019), p. 238.

¹³⁹ Ibid., p. 240 à 243.

¹⁴⁰ Ibid., p. 242.

- **Fermeture d'esprit.** L'équipe peut manifester des [traduction] « efforts collectifs de rationalisation afin d'écartier les avertissements ou autres renseignements susceptibles d'amener ses membres à réexaminer leurs hypothèses [...] ¹⁴¹ ».
- **Pressions en faveur de l'uniformité.** L'équipe peut exercer [traduction] « une pression directe sur tout membre qui exprime [...] des arguments contre les stéréotypes, les illusions ou les engagements du groupe [...] ¹⁴² ».

Lorsque la pensée de groupe influence l'évaluation des risques au sein d'une organisation, on peut en venir à croire que les risques ont été évalués et gérés correctement, alors qu'en réalité, ils n'ont été examinés que superficiellement.

Pour atténuer la pensée de groupe, il convient notamment d'accorder la priorité aux commentaires des membres de l'équipe qui expriment des objections ou des doutes, de faire preuve d'ouverture et de réceptivité face aux critiques afin d'orienter les décisions, et de solliciter une expertise externe pour remettre en question les hypothèses internes. Pour que ces mesures d'atténuation soient efficaces, il est important qu'elles soient soutenues et démontrées par les dirigeants et encouragées à tous les échelons de l'organisation.

1.30.2 Rareté des ressources et compromis en matière de sécurité

La dérive vers la défaillance est une tendance qui peut mener à des accidents dans des systèmes complexes. Cette dérive survient lorsque des éléments (p. ex. des personnes, des organisations, de la technologie) de ces systèmes complexes interagissent, évoluent et s'adaptent à de nouvelles situations d'une manière qui pousse les opérations à l'extérieur des limites de sécurité, souvent en raison d'un manque de ressources ¹⁴³.

La rareté des ressources peut se manifester de manières différentes : par exemple, des contraintes financières, une pénurie d'employés qualifiés ou un manque d'outils ou d'équipement disponibles. La rareté des ressources exerce une pression sur les opérations, ce qui entraîne des compromis entre des options qui sont rentables ou efficaces et d'autres qui sont sécuritaires. Gérer cette pression est difficile en raison du déséquilibre de la rétroaction entre ces éléments : il est souvent facile de quantifier les économies ou les gains d'efficacité rendus possibles par une option donnée, mais plus difficile de quantifier la manière dont cette même option pourrait compromettre la sécurité ¹⁴⁴.

La gestion de ces pressions constitue une réalité permanente pour la plupart des compagnies, surtout les petites compagnies, qui ont tendance à être plus touchées par des contraintes financières. Une compagnie confrontée à de telles pressions peut prendre des

¹⁴¹ Ibid.

¹⁴² Ibid.

¹⁴³ S. Dekker, *Drift into Failure : From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems* (CRC Press, 2011), p. 36 à 39.

¹⁴⁴ Ibid.

décisions qui lui permettent de poursuivre ses activités même si elles entraînent des risques pour la sécurité.

Si les décisions opérationnelles qui privilégient d'autres facteurs au détriment de la sécurité sont suivies de résultats positifs, cela peut renforcer la conviction que la décision était la bonne et qu'il n'y a pas eu d'effet évident sur la sécurité. Cependant, les succès passés ne garantissent pas les succès futurs, et les décisions qui privilégient continuellement d'autres facteurs au détriment de la sécurité de cette manière entraîneront une augmentation des niveaux de risque. De plus, étant donné que cette dérive se produit progressivement, elle n'est pas facilement distinguable et peut passer inaperçue alors que les niveaux de risque augmentent avec le temps¹⁴⁵.

Il y a également une tendance à juger le rendement organisationnel en fonction du succès des plus récents changements, et non selon l'écart par rapport à la conception originale. Autrement dit, les organisations adoptent une vision à court terme d'une décision individuelle et de ses conséquences immédiates, plutôt qu'une vision à long terme du nombre de décisions prises au fil du temps et de leur incidence cumulative sur les niveaux de risque.

1.30.3 Organisations à haute fiabilité et respect de l'expertise

Les organisations à haute fiabilité sont des organisations qui évoluent dans des systèmes à haut risque et essentiels à la sécurité, tout en atteignant et en maintenant des niveaux élevés de sécurité et de fiabilité dans leurs opérations. En étudiant le fonctionnement de ces organisations, il est possible de déterminer les caractéristiques qui contribuent à des résultats positifs en matière de sécurité¹⁴⁶.

L'une des principales caractéristiques qui ressortent des recherches sur les organisations à haute fiabilité est le respect de l'organisation pour l'expertise. Dans les organisations à haute fiabilité qui ont des structures hiérarchiques typiques, cela signifie d'être capable de prioriser et valoriser l'expertise lors de la résolution de problèmes ou de la prise de décisions, plutôt que de se fier au rang hiérarchique¹⁴⁷. Plus précisément, les organisations à haute fiabilité sollicitent l'avis des personnes qui occupent des postes subalternes et latéraux, en cherchant à tirer parti des compétences des personnes les mieux placées pour s'exprimer sur le problème ou la question, plutôt que de se fier uniquement aux dirigeants organisationnels officiels. Les organisations à haute fiabilité ont également tendance à faire preuve de souplesse pour s'adapter et privilégier les connaissances des personnes possédant une expertise dans le domaine concerné, là où ces connaissances sont les plus

¹⁴⁵ Ibid., p. 39 à 42.

¹⁴⁶ S. Dekker, *Foundations of Safety Science : A Century of Understanding Accidents and Disasters* (CRC Press, 2019), p. 285 à 288.

¹⁴⁷ K. E. Weick et K. M. Sutcliffe, *Managing the Unexpected : Sustained Performance in a Complex World* (Wiley, 2015), p. 112 à 128.

utiles. Le non-respect de l'expertise est souvent considéré comme une lacune de sécurité dans les organisations à haute fiabilité.

1.30.4 Pouvoir et culture de sécurité

Les concepts de pouvoir et de culture organisationnelle sont inextricablement liés [traduction] : « La culture organisationnelle n'est jamais politiquement neutre; elle est susceptible d'être biaisée du fait qu'elle reflète les valeurs et les visions du monde des groupes dominants au sein de l'organisation¹⁴⁸. » Si l'on ne tient pas compte de la manière dont le pouvoir peut façonner la culture organisationnelle et, en l'occurrence, de la culture de sécurité¹⁴⁹ en particulier, l'évaluation de la culture de sécurité d'une compagnie est limitée et représente un modèle simplifié de la vie organisationnelle.

Il existe 3 façons d'interpréter le pouvoir dans la dynamique d'une organisation :

- La première est une forme de pouvoir plus manifeste, liée à la capacité d'un acteur à inciter un autre acteur à faire quelque chose qu'il ne ferait pas autrement.
- La deuxième est une manifestation moins évidente du pouvoir, où les acteurs contrôlent implicitement le plan organisationnel de manière à déterminer les éléments qui sont inclus ou exclus des processus décisionnels (c.-à-d. que les personnes qui sont sélectionnées pour participer aux processus décisionnels sont celles qui choisissent les solutions de rechange considérées comme viables). Cette dynamique crée la possibilité que les préoccupations des personnes qui ne participent pas aux processus décisionnels soient négligées¹⁵⁰.
- La troisième est le pouvoir latent, qui renvoie à un concept plus large selon lequel les systèmes sociaux sont prédisposés à privilégier [traduction] « les valeurs de quelques groupes au détriment des autres. La création et la recréation de ce biais ne sont ni un choix conscient ni le résultat intentionnel des choix d'une personne¹⁵¹. »

Ces façons dont le pouvoir peut influencer une organisation ne doivent pas être considérées comme mutuellement exclusives; elles représentent une interaction complexe entre la manière dont divers acteurs au sein d'un système peuvent influencer la culture de sécurité sous-jacente¹⁵².

¹⁴⁸ S. Antonsen, *Safety Culture : Theory, Method and Improvement* (CRC Press, 2009), p. 54.

¹⁴⁹ La culture de sécurité fait référence aux hypothèses fondamentales, aux valeurs, aux normes et aux connaissances partagées par les membres d'une organisation particulière en ce qui concerne le concept de la sécurité (Ibid.).

¹⁵⁰ Ibid., p. 50.

¹⁵¹ Ibid., p. 51.

¹⁵² Ibid., p. 51 à 52.

1.30.5 Biais de confirmation

Une fois leur modèle mental d'une situation établi, les gens ont tendance à se concentrer sur les informations qui appuient ou confirment leur interprétation et à minimiser ou négliger l'importance de l'information qui la contredit. On appelle cette tendance le biais de confirmation. Il en découle une forme de tunnel cognitif, dans lequel les gens ont du mal à traiter les renseignements qui sont incompatibles ou contradictoires avec l'interprétation initiale, ou trouvent des moyens de rationaliser ces renseignements.

Les biais de confirmation peuvent réduire la probabilité qu'une personne remette en question sa première interprétation et la mette à jour quand de nouveaux renseignements se présentent. Ils peuvent également amener la personne à chercher des renseignements qui appuient son interprétation actuelle, tout en rejetant ceux qui la contredisent^{153, 154}. Souvent, on entend ce que l'on s'attend à entendre, et on voit ce que l'on s'attend à voir.

1.31 Recommandation antérieure

1.31.1 Connaissance du rôle et du champ de responsabilités des représentants autorisés

À la suite de l'enquête menée par le BST sur un événement¹⁵⁵ survenu le 22 juillet 2022, au cours duquel le traversier roulier *Holiday Island* a subi un incendie moteur au large de Wood Islands (Île-du-Prince-Édouard), le Bureau a émis une recommandation concernant la connaissance qu'ont les représentants autorisés de leur rôle et de leur champ de responsabilités. Plus précisément, l'enquête a permis de déterminer que les experts de TC s'attendent à ce que les représentants autorisés comprennent leur rôle, c'est-à-dire qu'ils prennent des mesures proactives pour apprendre quels règlements s'appliquent à leur bâtiment et comment les respecter. Toutefois, l'enquête sur le *Holiday Island*, tout comme plusieurs autres enquêtes, a démontré que le rôle du représentant autorisé n'est pas bien compris dans de nombreux secteurs de l'industrie. Si les représentants autorisés ne comprennent pas clairement leur champ de responsabilités en matière de sécurité, les navires peuvent être exploités sans les moyens de défense minimaux qui sont assurés en respectant les exigences réglementaires, ce qui augmente le risque d'incidents et d'accidents. C'est pourquoi le Bureau a recommandé que

¹⁵³ A. Tversky et D. Kahneman, « Judgment under uncertainty: Heuristics and biases », dans D. Kahneman, P. Slovic, et A. Tversky (eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (Cambridge University Press, 1982).

¹⁵⁴ A. Tversky et D. Kahneman, « Causal schemas in judgments under uncertainty », dans D. Kahneman, P. Slovic, et A. Tversky (eds.), *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases* (Cambridge University Press, 1982).

¹⁵⁵ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M22A0258 du BST.

le ministère des Transports fournisse aux représentants autorisés des lignes directrices exhaustives décrivant pleinement leur champ de responsabilités. Ces lignes directrices doivent aider les représentants autorisés à comprendre et à respecter la réglementation applicable, et ainsi réduire le risque que les navires et les équipages soient en activité sans profiter des mesures de sécurité minimales prévues par la réglementation.

Recommandation M25-01 du BST

En octobre 2025, TC a répondu à la recommandation M25-01, en indiquant que TC élaborera et communiquera des directives de haut niveau décrivant les obligations légales fondamentales et les principes sous-jacents des responsabilités des représentants autorisés, des propriétaires, des exploitants et des autres acteurs. Le Bureau estime que la réponse à cette recommandation dénote une **intention satisfaisante**¹⁵⁶.

1.32 Événements précédents

Un examen des documents publics a permis de constater qu'il y a eu d'autres événements concernant des submersibles commerciaux plongeant vers le *Titanic*, ainsi que d'autres événements ayant entraîné des décès à bord de submersibles commerciaux.

1.32.1 Événements sur des submersibles commerciaux ayant plongé vers le Titanic

1.32.1.1 *MIR I / MIR II*

En 1991, l'un des submersibles *MIR* s'est enchevêtré dans un câble attaché au *Titanic*. Le 2^e submersible *MIR* a été appelé et le pilote du 2^e submersible a indiqué au pilote du submersible enchevêtré comment manœuvrer, de sorte que le submersible a pu se libérer et remonter à la surface.

1.32.1.2 *Nautile*

En 1994, le submersible *Nautile* a été poussé contre la coque du *Titanic* par le courant. L'équipage a utilisé les bras robotiques du *Nautile* pour libérer le submersible, puis s'est éloigné de l'épave.

1.32.1.3 *MIR I / MIR II*

En 1995, l'un des submersibles *MIR* a été confronté à une visibilité réduite sur le fond marin. On a décidé d'abandonner la plongée, mais les batteries du submersible n'avaient pas assez de puissance pour remonter à la surface. Les propulseurs avaient été utilisés plus tôt et avaient réduit la puissance des batteries. Lorsque le submersible a tenté de refaire surface, il n'a pu remonter que de 25 m. Il a attendu au fond pendant 30 minutes et a tenté à

¹⁵⁶ Recommandation M25-01 du BST : Lignes directrices pour les représentants autorisés (émise le 23 juillet 2025), à l'adresse <https://www.tsb.gc.ca/fra/recommandations-recommendations/marine/2025/rec-m2501.html> (dernière consultation le 21 mai 2026).

nouveau de remonter, mais n'a pu remonter que de 25 m. À la 3^e tentative, le submersible a pu remonter au-delà de 25 m et a refait surface 5 heures plus tard.

1.32.1.4 **MIR I / MIR II**

En 2000, l'un des submersibles *MIR* s'est enchevêtré dans une des hélices du *Titanic*. Le submersible est resté coincé durant environ 1 heure avant que l'équipage ne parvienne à le libérer.

1.32.2 **Événements causant des pertes de vie à bord de submersibles commerciaux ailleurs dans le monde**

1.32.2.1 **Sindbad**

Le 27 mars 2025, le submersible touristique *Sindbad*, qui comptait 45 passagers et 5 membres d'équipage à bord, a coulé dans la mer Rouge, au large d'Hurghada, en Égypte. Il y a eu 6 pertes de vie.

1.32.2.2 **Johnson Sea Link**

En juin 1973, le submersible *Johnson Sea Link*, qui transportait 4 personnes à bord, s'est enchevêtré dans un câble de l'épave du destroyer sabordé *U.S.S. Fred T. Berry* près de Key West (Floride). Le submersible a été récupéré plus de 33 heures plus tard; au moment du sauvetage, 2 des 4 personnes à bord étaient déjà mortes d'asphyxie par gaz carbonique. On a déterminé que l'absence d'équipement de sauvetage adapté était un facteur ayant contribué à l'incapacité d'effectuer un sauvetage rapide.

Les données sur les événements concernant des submersibles ne doivent pas être considérées comme exhaustives, car les exploitants de submersibles ne signalent pas toujours les incidents et les accidents aux autorités externes. Il est donc possible que le nombre d'événements soit plus élevé que celui qui est indiqué ici.

1.33 **Liste de surveillance du BST**

La Liste de surveillance du BST énumère les principaux enjeux de sécurité qu'il faut s'employer à régler pour rendre le système de transport canadien encore plus sûr.

La surveillance réglementaire est un enjeu qui figure sur la Liste de surveillance. La surveillance réglementaire par Transports Canada (TC), qui comprend les inspections visant à vérifier la conformité et les vérifications visant à évaluer si les exploitants gèrent efficacement les risques, ne s'est pas toujours avérée efficace. L'immatriculation est le mécanisme juridique qui fait entrer un navire dans le système réglementaire. Comme le montre l'événement à l'étude, une surveillance réglementaire qui compte sur les propriétaires pour faire immatriculer volontairement leur navire et qui priorise l'inspection des navires certifiés peut entraîner des possibilités manquées de surveillance de la sécurité pour la majeure partie des navires.

MESURES À PRENDRE

L'enjeu de la **surveillance réglementaire dans le transport maritime** demeurera sur la Liste de surveillance jusqu'à ce que TC

- fournisse des lignes directrices claires et exhaustives aux RA pour qu'ils puissent comprendre leurs responsabilités en vertu de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, et s'en acquitter;
- montre que les inspections et les vérifications permettent effectivement de cerner les situations de non-conformité et de vérifier que les RA et les organismes reconnus s'acquittent de leurs obligations;
- élargisse la surveillance proactive afin de détecter et d'atténuer les risques pour la sécurité.

La gestion de la sécurité est un enjeu qui figure sur la Liste de surveillance. Comme le démontre l'événement à l'étude, les processus de gestion de la sécurité ne sont pas toujours mis en œuvre pour cerner et atténuer les risques. Même si le plan d'intervention d'urgence de Horizon Maritime Services Ltd. indiquait que les exigences particulières des clients en matière d'intervention d'urgence devaient être abordées dans un document de liaison, dans le cadre de son SGS, aucun document de liaison n'a été élaboré avec OceanGate.

MESURES À PRENDRE

L'enjeu de la **gestion de la sécurité dans le transport maritime** demeurera sur la Liste de surveillance jusqu'à ce que les transporteurs qui ont un SGS démontrent à TC qu'il fonctionne bien, que les risques sont cernés et que des mesures efficaces d'atténuation des risques sont mises en œuvre, puis validées pour en vérifier l'efficacité.

1.34 **Rapports de laboratoire du BST**

Le BST a produit les rapports de laboratoire suivants dans le cadre de la présente enquête :

- LP163/2024 – VDR Electronic Data Recovery [Récupération des données électroniques du VDR (enregistreur des données du voyage)]
- LP103/2024 – Titan Support Systems Field Examination [Examen sur le terrain des systèmes de soutien du Titan]
- LP171/2023 – Titan Systems Analysis and Testing [Analyse et essais des systèmes du Titan]
- LP061/2024 – Titan Hull Structural Analysis [Analyse structurelle de la coque du Titan]

2.0 ANALYSE

Le 18 juin 2023, le submersible *Titan* a subi une défaillance catastrophique lors d'une plongée vers le *Titanic*; les 5 personnes à bord ont subi des blessures mortelles. L'analyse portera sur les facteurs ayant conduit à la défaillance structurelle de la coque épaisse, la gestion des risques à OceanGate, la surveillance des opérations des submersibles, l'état de préparation aux situations d'urgence pour les submersibles et la gestion de la sécurité en ce qui concerne les groupes travaillant sur un navire.

2.1 Implosion du submersible

La plongée à l'étude s'est déroulée selon le schéma habituel des plongées précédentes du *Titan* vers le *Titanic*, jusqu'au moment où l'équipage du *Titan* a informé l'équipe de soutien en surface qu'il avait largué 2 lests à 3350 m, alors que le *Titan* se trouvait à 500 m du fond marin. La pratique générale voulait que le pilote utilise la poussée pour ralentir la descente du submersible à environ 200 m, puis à larguer les lests largables une fois le fond marin atteint ou presque. Le fait d'avoir largué les 2 lests largables plus tôt que d'habitude donne à penser que l'équipage du *Titan* tentait de ralentir la descente du submersible, mais on en ignore la raison. La défaillance structurelle de la coque épaisse a eu lieu 5,397 secondes après l'apparition du message texte concernant le largage des 2 lests largables sur l'ordinateur de l'équipe de soutien en surface.

Compte tenu de la nature de l'événement et du fait que tous les débris n'ont pas pu être récupérés, le BST n'a pas pu examiner tous les composants du *Titan*. Ainsi, le BST n'a pas pu déterminer de façon concluante le point exact de rupture sur le submersible.

Le BST a toutefois pu formuler certaines observations à partir des débris qui ont été récupérés. Bien que le hublot n'ait pas été récupéré, l'observation de la bague de retenue récupérée a révélé qu'elle était déformée d'une manière indiquant que le hublot a été projeté vers l'extérieur. Malgré le fait que la conception du hublot avait été évaluée par un tiers qui avait indiqué qu'elle subirait une contrainte importante correspondant à une défaillance cyclique possible à une profondeur équivalente à celle du *Titanic*, la manière dont la bague de retenue était déformée porte à croire que le hublot ne s'est pas rompu.

L'observation des débris, ainsi que les données recueillies sur la conception, la construction et les essais de la coque épaisse du *Titan*, indiquaient que le cylindre en fibres de carbone de la coque épaisse était le point de rupture le plus probable. La forme cylindrique du *Titan* et l'utilisation de fibres de carbone étaient novatrices pour un submersible habité destiné à la plongée en eaux profondes. Les submersibles utilisés pour la plongée en eaux profondes sont généralement construits en acier ou en titane. La coque épaisse habitable est habituellement de forme sphérique, car il s'agit de la forme la plus adaptée pour résister à la pression externe et permettre une répartition uniforme des contraintes.

Les calculs initiaux effectués par OceanGate et ses entrepreneurs lors de la conception de la coque épaisse du *Titan* indiquaient que, compte tenu des valeurs théoriques du composite

stratifié en fibres de carbone et de la conception théorique de la coque épaisse, la coque épaisse était capable d'atteindre une profondeur de 6000 m avec le facteur de sécurité exigé de 1,25. Toutefois, cette conclusion reposait sur le développement d'un cylindre en fibres de carbone sans défaut¹⁵⁷ possédant toutes les propriétés¹⁵⁸ définies par le fabricant de fibres de carbone.

Dans la pratique, OceanGate n'a pas été en mesure de construire le cylindre d'une manière qui respectait les propriétés précisées par le fabricant de fibres de carbone, compte tenu de la nature des fibres de carbone et des limites du procédé de fabrication. L'enroulement des fibres de carbone sur le mandrin a causé une ondulation et une porosité des plis. L'enquête a également permis de déterminer qu'il est possible que certains des procédés utilisés dans la fabrication du cylindre aient introduit des défauts dans la coque épaisse.

Il incombe à ceux qui utilisent des matériaux non conventionnels pour une application donnée d'évaluer les propriétés desdits matériaux et de s'assurer que ceux-ci sont appropriés et sécuritaires pour l'application envisagée. L'utilisation de fibres de carbone dans une coque épaisse submersible utilisée pour la plongée en eaux profondes nécessite une vaste connaissance et des essais approfondis des propriétés des fibres de carbone, ainsi qu'un programme d'essais approfondis pour vérifier si les propriétés réelles correspondent à celles publiées par le fabricant.

La pratique normale en ingénierie consiste à soumettre des modèles à pleine échelle de la coque épaisse à un nombre significatif (des centaines, voire des milliers) de cycles d'essai, à des pressions et des charges représentatives, soit dans l'océan, soit dans une installation d'essai. Cependant, un programme d'essais aussi complet n'a pas été réalisé pour le *Titan*.

OceanGate a construit 2 modèles à l'échelle un tiers de la coque épaisse à l'aide d'un procédé de cuisson unique. Six essais ont été effectués sur ces modèles à l'échelle. Un des modèles construits à l'échelle un tiers s'est rompu à 3000 m, et le second, à 3300 m.

OceanGate et son entrepreneur en analyse structurelle ont constaté que les modèles à l'échelle un tiers qui avaient été soumis à des essais jusqu'à la rupture présentaient une forte ondulation des plis, exacerbée par leur petit diamètre, et n'étaient pas représentatifs de la coque épaisse à pleine échelle. Par conséquent, ces essais avec des modèles à l'échelle un tiers ne pouvaient pas être utilisés pour tirer des conclusions utiles sur les conséquences des défauts de la coque épaisse à pleine échelle. Pour mesurer l'ampleur des défauts sur la coque épaisse à pleine échelle, il aurait fallu la soumettre à des essais ou la démonter, ce qui n'a pas été fait.

¹⁵⁷ Le cylindre en fibres de carbone formait la partie centrale de la coque de haute pression du submersible. Voir la figure 6 pour plus de détails.

¹⁵⁸ Ces propriétés comprennent la résistance, la densité, l'épaisseur des couches et l'empilement des plis de fibres de carbone.

Après avoir soumis les 2 modèles construits à l'échelle un tiers à des essais, OceanGate a changé la méthode de construction pour passer à une construction à cuisson multiple et a créé la coque épaisse à pleine échelle sans avoir construit ou mis à l'essai de modèles construits à l'échelle un tiers et utilisant la méthode de cuisson multiple. Pendant la fabrication des couches pour la construction à cuisson multiple, Electroimpact et OceanGate ont constaté que le cylindre présentait des zones surélevées qui s'écartaient de la courbure prévue et indiquaient une ondulation des plis. Les essais effectués par le laboratoire du BST sur un morceau provenant de la construction à cuisson multiple ont révélé une ondulation générale des plis dans le sens circonférentiel qui ne semblait pas conforme à la courbure prévue dans la conception du cylindre. Cette ondulation a réduit la résistance et la rigidité du composite stratifié. La résistance admissible du matériau dans le sens axial s'est avérée suffisante, mais elle était nettement inférieure à celle requise dans le sens circonférentiel dans les zones où l'ondulation des plis était importante.

OceanGate a meulé les zones surélevées dues à l'ondulation des plis afin de les mettre à niveau avec le reste de la surface extérieure du cylindre avant l'ajout de la couche suivante. L'étendue globale du meulage n'a pas été documentée, et n'a donc pas pu être déterminée. Cependant, on sait que le meulage des couches a pour effet de sectionner les brins de fibres de carbone et peut introduire des défauts à la surface, réduisant ainsi la résistance globale de la structure.

OceanGate a soumis la coque épaisse à pleine échelle à des essais à 4 reprises à la Deep Ocean Test Facility, à des profondeurs se situant entre 3875 m et 4250 m. Bien que ces essais aient été fructueux à des profondeurs équivalentes, et même supérieures, à celles où se trouve le *Titanic*, aucun autre essai ou aucune analyse n'ont été réalisés pour comprendre pleinement quand la coque épaisse se romprait à force d'être utilisée de manière répétée. Le nombre de cycles à pression extrême que la coque épaisse à pleine échelle pouvait supporter n'était donc pas connu.

Lors de la conception, de la construction et des essais du *Titan*, les décisions opérationnelles ont été influencées de manière disproportionnée par des résultats mesurables, tels que les économies de coûts liées aux essais et à la validation de la conception du submersible. Des facteurs moins tangibles, tels que la manière dont la sécurité était compromise pour réaliser ces économies, ont eu tendance à être sous-estimés, voire négligés.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les propriétés réelles du cylindre en fibres de carbone du *Titan* n'ont jamais été validées afin de garantir leur conformité avec les valeurs théoriques utilisées dans le procédé de conception, et la construction ainsi que les essais du *Titan* n'ont pas suivi les pratiques normales en ingénierie. Par conséquent, OceanGate ne savait pas pendant combien de temps la coque épaisse demeurerait sécuritaire après avoir été utilisée à plusieurs reprises pour des plongées à la profondeur à laquelle se trouve le *Titanic*.

Afin d'atténuer le risque lié à la plongée avec une coque épaisse dont la durée de vie était inconnue, OceanGate avait conçu 2 systèmes sur mesure destinés à surveiller l'intégrité de

la coque épaisse : le système de surveillance des émissions acoustiques et le système de surveillance des contraintes. De ces 2 systèmes, seul le système de surveillance des émissions acoustiques fournissait une rétroaction en temps réel, ce qui signifie qu'il était le seul moyen d'avertir l'équipage du *Titan* en cas de défaillance imminente de la coque épaisse pendant une plongée.

Les 2 systèmes présentaient des lacunes qui limitaient leur utilité, et ils n'avaient pas fait l'objet d'essais suffisants pour démontrer qu'ils pouvaient fournir systématiquement un avertissement suffisamment à l'avance pour permettre au submersible de faire surface en cas de défaillance. Ces systèmes sont décrits plus en détail dans les sections suivantes.

2.1.1 Système de surveillance des contraintes

Les jauges de contraintes sont couramment utilisées pour surveiller l'état d'une structure, et OceanGate les utilisait sur le *Titan* afin de détecter les changements dans la coque épaisse. Le système de surveillance des contraintes reposait sur le principe que, si aucun dommage ne s'accumulait dans la coque épaisse, les données de chaque plongée devaient afficher un comportement linéaire (c.-à-d. que la coque épaisse subissait le même niveau de contrainte à des profondeurs équivalentes). Si les données recueillies par le système de surveillance des contraintes affichaient un comportement non linéaire, cela pouvait signifier des changements anormaux dans la coque épaisse.

OceanGate avait utilisé le système de surveillance des contraintes lors des essais sur les modèles à l'échelle un tiers et les coques épaisses à pleine échelle afin d'obtenir des données sur les contraintes observées à différentes profondeurs. Lors de ces essais, le système de surveillance des contraintes montrait généralement une non-linéarité avant que survienne la rupture. Cependant, les essais effectués n'étaient pas suffisants pour déterminer combien de temps il faudrait pour qu'une défaillance se produise après l'apparition de la non-linéarité, et si la durée avant défaillance serait identique dans chaque cas. Au cours des essais, la non-linéarité s'est manifestée à des profondeurs différentes pour les divers modèles à l'échelle un tiers et les coques épaisses à pleine échelle. Le délai entre l'apparition de la non-linéarité et la défaillance variait également. De plus, les coques épaisses à pleine échelle n'ont jamais fait l'objet d'essais jusqu'à leur destruction, de sorte que la relation entre l'apparition de la non-linéarité et le moment de la défaillance de la coque épaisse n'a pas été déterminée.

L'enquête a permis de déterminer qu'avant l'événement à l'étude, certaines jauges de contraintes n'étaient pas opérationnelles et ne fournissaient donc pas de mesures au système de surveillance des contraintes. On ne sait pas quand ces jauges de contraintes ont cessé de fonctionner, bien qu'il ait été rapporté que les jauges de contraintes se soient peut-être détachées lorsque la pièce d'insertion de la coque a été installée dans la coque épaisse pendant la construction. De plus, les jauges de contraintes qui étaient fonctionnelles ne pouvaient réaliser des mesures que sur une zone à proximité d'elles, et leur configuration les empêchait d'effectuer des relevés des contraintes sur toutes les zones de la coque

épaisse. Les jauges de contraintes n'étaient en outre probablement pas capables de relever certains types de défauts, tels que les défaillances localisées à petite échelle qui se produisaient au fil du temps.

L'enquête a permis de déterminer que les données relatives aux contraintes étaient téléchargées par OceanGate, mais que l'analyse des données et ses résultats étaient incohérents et qu'OceanGate n'avait pas défini de plan d'action pour remédier aux anomalies. L'examen par le BST des données relatives aux contraintes disponibles a révélé une non-linéarité significative dans l'une des jauges de contraintes à des profondeurs de 600 m ou moins, ce qui pourrait indiquer que l'intégrité structurelle du cylindre en fibres de carbone avait été compromise à un moment donné avant la plongée du 19 juillet 2022. Cette non-linéarité était la plus prononcée dans la plage de profondeur située entre 10 et 300 m, puis se rapprochait de la moyenne du profil de plongée complet entre 300 et 600 m, avant de revenir au profil normal après 600 m. Ces observations donnent à penser que cette non-linéarité était le résultat de défauts dans les couches de fibres de carbone composant le cylindre. À mesure que la pression hydrostatique augmentait sur les couches de fibres de carbone, les couches ont commencé à se comprimer et à se comporter comme une seule unité. La non-linéarité a été observée jusqu'à ce que les défauts se corrigent. Une fois que les défauts se sont comprimés, les mesures sont revenues à la moyenne.

Un événement notable s'était produit lors d'une plongée le 15 juillet 2022, 4 jours avant la plongée suivante du 19 juillet 2022, pendant laquelle des mesures non linéaires avaient été enregistrées. Pendant la plongée du 15 juillet 2022, un bruit fort a été entendu depuis l'intérieur du submersible alors que celui-ci refaisait surface. Puisqu'OceanGate n'a pas réalisé d'inspection approfondie de la coque épaisse après cet événement, il est impossible de déterminer si l'événement a précipité les mesures non linéaires du 19 juillet 2022.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

OceanGate avait développé le système de surveillance des contraintes de manière à obtenir des données pour l'analyse après les plongées afin de relever les problèmes potentiels de la coque épaisse qui pourraient entraîner une défaillance pendant une plongée ultérieure. Cependant, l'analyse des données relatives aux contraintes par OceanGate était incohérente et n'a pas conduit à la mise hors service de la coque épaisse avant sa défaillance.

2.1.2 Système de surveillance des émissions acoustiques

Le système de surveillance des émissions acoustiques était le seul système dont disposait l'équipage du *Titan* pour l'avertir d'une défaillance imminente de la coque épaisse pendant une plongée. Ce système était destiné à fournir, en cas de défaillance, un avertissement suffisamment à l'avance pour permettre au submersible de remonter à la surface. À des profondeurs équivalentes à celles où se trouve le *Titanic*, cela prendrait plus de 3 heures et 30 minutes pour que le submersible remonte à la surface et qu'on puisse en faire sortir son équipage et ses passagers.

Le système de surveillance des émissions acoustiques était principalement destiné à surveiller le cylindre en fibres de carbone et reposait sur le principe que la rupture des brins de fibres de carbone déclencherait un avertissement de défaillance du cylindre. Ce système n'était pas nécessairement capable de détecter d'autres types de défaillances possibles du cylindre, telles que des défaillances progressives à petite échelle au fil du temps. Le système de surveillance des émissions acoustiques était également sujet à des interférences : les jauges captaient des émissions acoustiques provenant de sources sans lien avec la coque épaisse.

OceanGate avait programmé le système de surveillance des émissions acoustiques avec des seuils vert, jaune et rouge. Cependant, compte tenu des essais limités effectués sur le submersible, les données disponibles n'étaient pas suffisantes pour programmer les seuils tout en sachant exactement quand le cylindre en fibres de carbone subirait une défaillance et quel serait le niveau des émissions acoustiques avant qu'une défaillance éventuelle survienne. Sans ces renseignements, on ne savait pas clairement sur quelle base les limites des seuils jaune et rouge avaient été programmées.

Les pilotes comprenaient généralement que, si le seuil rouge était atteint, il fallait abandonner la plongée, mais ils ne savaient pas combien de temps de préavis l'atteinte de ce seuil offrirait pour permettre de remonter à la surface et de sortir du submersible. Les enquêteurs n'ont trouvé aucune consigne sur les mesures à prendre dans l'éventualité où le seuil jaune était atteint. De plus, le système de surveillance des émissions acoustiques n'était pas équipé d'alarmes sonores, ce qui signifie que le pilote pouvait ne pas être immédiatement conscient des situations dans lesquelles les seuils jaune ou rouge étaient atteints et exigeant donc une intervention rapide.

Divers incidents survenus lors de plongées avaient donné lieu à des événements acoustiques majeurs, tels que le bruit fort entendu lorsque le *Titan* a refait surface après sa plongée du 15 juillet 2022, mais ces incidents n'ont pas incité OceanGate à effectuer une inspection approfondie de la coque épaisse. Il n'existait pas non plus de moyen simple d'inspecter le cylindre en fibres de carbone pour détecter d'éventuels dommages; cela aurait nécessité son démontage, ce qui aurait été coûteux et chronophage.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

On comptait sur le système de surveillance des émissions acoustiques pour fournir un avertissement offrant un délai d'anticipation suffisant pour que le submersible puisse remonter à la surface en cas de défaillance imminente de la coque. Cependant, ce système n'avait pas été soumis à des essais pour démontrer qu'il fournirait systématiquement un avertissement offrant un délai d'anticipation suffisant, et il n'a pas fonctionné comme prévu lors de l'événement à l'étude.

2.1.3 Dommages subis par le cylindre en fibres de carbone

Le cylindre en fibre de carbone du *Titan* avait subi des dommages cumulés au fil du temps, car il avait été exposé de manière cyclique à des pressions extrêmes lors de plongées en

eaux profondes. Le laboratoire du BST a pu obtenir les valeurs de résistance à la compression les plus élevées et les plus faibles à partir d'échantillons prélevés sur le 2^e morceau qui avait été découpé. En supposant que les échantillons de ce morceau étaient représentatifs des valeurs de résistance à la compression de l'ensemble du cylindre, l'analyse effectuée par le laboratoire du BST a permis de déterminer que le cylindre aurait vraisemblablement dû résister avec la valeur de résistance à la compression la plus élevée, mais qu'il aurait pu utiliser plus de 82 % de sa durée de vie en fatigue au moment de la plongée à l'étude avec la valeur de résistance à la compression la plus faible.

Plusieurs facteurs ont été déterminés comme ayant contribué à la réduction de la résistance à la compression du cylindre, notamment la présence d'une forte ondulation des plis dans certaines zones localisées du stratifié en fibres de carbone, ainsi qu'une porosité visible. On a également déterminé que certains des procédés utilisés dans la fabrication du cylindre auraient pu introduire des défauts. Par exemple, le procédé d'ensachage sous vide et de cuisson de la coque présentait un risque de délaminage et de porosité. Le procédé consistant à meuler les zones surélevées du cylindre pour les mettre à niveau avec la courbure de conception du cylindre a introduit possiblement des défauts à la surface du cylindre, réduisant ainsi la résistance globale de la structure.

Outre l'ondulation des plis, la porosité et les défauts potentiels introduits lors de la fabrication, il est également possible que le cylindre ait subi des dommages provenant d'autres sources, notamment les suivantes :

- les forces exercées sur le cylindre lors de la récupération et du déploiement du *Titan* vers et depuis le pont arrière du *Horizon Arctic* en 2021 et 2022;
- les forces exercées sur le cylindre lors du transport routier du *Titan* entre le siège social de la compagnie situé à Everett (Washington, États-Unis) et St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador);
- les dommages causés au cylindre par les intempéries lors de son entreposage en plein air à St. John's de la fin de juillet 2022 au 6 février 2023;
- les dommages causés par des incidents survenus pendant les opérations (voir l'annexe B), tels que la collision du *Titan* avec la proue bâbord du *Titanic* le 3 juillet 2022 et le bruit fort qui s'est fait entendre lorsque le *Titan* a fait surface après sa plongée du 15 juillet 2022.

L'enquête n'a pas permis de quantifier de manière concluante l'étendue des dommages, le cas échéant, causés par ces autres sources; cependant, chacune d'entre elles présente la possibilité d'avoir endommagé le cylindre.

Enfin, le *Titan* a été remorqué à l'aide du système de mise à l'eau et de récupération (LARS) à travers l'océan Atlantique, avec des vagues d'une hauteur significative allant jusqu'à 3,35 m, ce qui l'a soumis à des accélérations supérieures à celles recommandées dans les consignes de l'industrie. L'étude d'aptitude au remorquage commandée par le BST a permis de conclure que les niveaux de contraintes dans la coque épaisse qui étaient attribuables au

remorquage à lui seul n'étaient pas suffisamment élevés pour avoir vraisemblablement causé des dommages statiques ou des dommages importants dus à la fatigue et n'étaient donc pas susceptibles d'avoir contribué à la défaillance de la coque épaisse du *Titan*. Même lorsque le *Titan* a été submergé partiellement pendant le remorquage, les niveaux de tension dans la coque épaisse n'étaient pas suffisamment élevés pour avoir vraisemblablement causé des dommages. Cependant, l'étude d'aptitude au remorquage n'a pas pris en compte les scénarios dans lesquels la coque épaisse présentait déjà des dommages; il est donc possible que le remorquage du *Titan* et son immersion pendant le remorquage aient aggravé les dommages existants.

Compte tenu des facteurs identifiés comme ayant contribué à la réduction de la résistance à la compression de la coque épaisse du *Titan*, ainsi que de la possibilité que d'autres défauts aient été introduits lors de la fabrication, de l'exploitation, de l'entreposage et du transport du *Titan*, il est probable que le cylindre se soit détérioré progressivement, les dommages s'accumulant à chaque cycle de plongée jusqu'à son implosion.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

La résistance à la compression réduite du cylindre en fibres de carbone du *Titan*, ainsi que les défauts qui ont pu apparaître lors de la fabrication, de l'exploitation, de l'entreposage et du transport du *Titan*, ont probablement conduit à une défaillance progressive du cylindre, avec une accumulation des dommages à chaque cycle de plongée, jusqu'à son implosion, dans laquelle les 5 personnes à bord ont subi des blessures mortelles.

Il est important de noter que le submersible en cause dans l'événement à l'étude est un cas particulier. Les enquêteurs n'ont recensé aucun autre submersible habité destiné à la plongée en eaux profondes dont la coque épaisse est composée de fibres de carbone.

2.2 Gestion des risques à OceanGate

La gestion des risques dans une organisation est souvent influencée par divers facteurs organisationnels. Plutôt que de fournir un compte rendu exhaustif de tous les facteurs qui ont influé sur la gestion des risques à OceanGate au fil des ans, cette section porte principalement sur les facteurs qui offrent des possibilités d'apprentissage pour les organisations de taille similaire dans l'industrie maritime.

2.2.1 Apports au processus de gestion des risques

Même si OceanGate ne disposait pas d'un système officiel de gestion de la sécurité (SGS), des évaluations informelles des risques étaient néanmoins effectuées concernant de nombreux aspects des opérations, de la conception et des essais du submersible au siège social et lors des missions. Ces évaluations informelles des risques ont influencé la perception des risques par les employés d'OceanGate, déterminant ce qu'ils considéraient comme des éléments sécuritaires ou dangereux de leur opération et leur approche pour atténuer ces risques.

Un élément important du processus d'évaluation des risques est la participation de personnes ayant des points de vue différents. Cela permet de limiter les situations où trop de personnes possédant la même expérience ou les mêmes connaissances offrent une vision critique limitée du risque évalué. Il est également important d'inclure et de consulter les experts en la matière (EM) au cours du processus d'évaluation des risques. Le fait d'accorder la priorité à l'avis des personnes qui possèdent une expertise dans un domaine donné et de les préconiser au cours du processus décisionnel constitue un élément clé du succès de la gestion de la sécurité dans les organisations à haute fiabilité (voir la section 1.30.3).

OceanGate, qui était une compagnie relativement petite, ne disposait que d'un bassin limité d'EM sur lesquels s'appuyer lors des évaluations des risques. Malgré le fait que des personnes possédant une expertise dans les domaines de l'ingénierie et des opérations maritimes ont travaillé à OceanGate à divers moments de son histoire, ces EM se sont heurtés à une certaine résistance lorsqu'ils ont tenté d'exprimer leurs points de vue lors des évaluations des risques. Leurs points de vue avaient tendance à être marginalisés plutôt que préconisés. Il en a été de même lorsque OceanGate a rencontré des experts externes de l'industrie au début de son histoire afin de recueillir leur rétroaction sur ses idées et ses projets : les conseils qui mettaient en garde contre l'approche privilégiée par OceanGate ou qui s'y opposaient étaient généralement rejetés.

Étant donné la rotation fréquente des EM au sein d'OceanGate à divers moments et pour différentes raisons, certains en raison des réactions négatives qu'ils avaient suscitées en soulevant des préoccupations liées à la sécurité, les évaluations des risques n'incluaient pas systématiquement l'avis des experts et un éventail varié de points de vue, ce qui limitait la perception des risques. La participation irrégulière des EM au fil du temps a également limité la capacité de la compagnie à adopter une vision plus large des risques. En 2023, la compagnie manquait d'EM dans les domaines de l'ingénierie et des opérations maritimes. Il est probable que l'organisation ne disposait pas des connaissances et de l'expertise suffisantes pour comprendre le risque que représentait l'absence d'EM pour le submersible.

2.2.2 Influence des dynamiques organisationnelles de pouvoir

La structure organisationnelle d'OceanGate avait aussi une influence sur la culture organisationnelle et sur la construction sociale des risques pour la sécurité. Le pouvoir joue un rôle important dans la culture d'une organisation donnée, ce qui a une incidence sur la sécurité. Les cultures organisationnelles ne sont pas politiquement neutres; elles sont influencées par les principaux objectifs de l'organisation (son mandat) et par les groupes dominants qui en font partie. Que le pouvoir soit utilisé de manière ouverte ou que ses effets façonnent les comportements de manière plus discrète, celui-ci aura néanmoins une incidence considérable sur le fonctionnement d'une organisation. Il est naturel que les personnes ou les groupes dominants façonnent la perspective de l'organisation sur ce qui est sécuritaire et ce qui est dangereux.

Dans une petite compagnie, le pouvoir est souvent centralisé entre les mains d'une seule personne qui se trouve au sommet, généralement le propriétaire de la compagnie. Cette dernière incarne souvent une idée que cette personne tente de concrétiser pour en faire une entreprise prospère. Cette personne est souvent profondément investie dans cette idée, tant sur le plan personnel que financier. Elle est donc naturellement au courant de nombreux renseignements concernant l'exploitation de la compagnie, tels que les données financières, et elle est intégrée à presque tous les aspects des opérations de la compagnie, y compris la prise de décision. Cependant, cela peut créer un déséquilibre des pouvoirs où cette personne peut exercer une influence significative sur la construction des risques pour la sécurité. L'influence de cette personne peut avoir une incidence négative sur la culture de sécurité, car de nombreux facteurs autres que la sécurité peuvent être considérés comme étant plus pertinents ou plus importants à un moment donné. À OceanGate, la construction sociale des risques pour la sécurité était moins un processus ascendant et collectif qu'un reflet continu de la vision qu'avait le PDG de son environnement et des situations dans lesquelles il percevait l'existence d'un risque opérationnel.

Ce déséquilibre de pouvoir ne signifie pas automatiquement qu'il y aura une incidence négative sur la sécurité, mais seulement qu'il aura une influence disproportionnée sur la détermination des risques. Comme indiqué plus haut, ce déséquilibre peut être contré en tenant compte des contributions des EM et en tirant parti des divers points de vue afin de créer une évaluation plus solide des risques opérationnels pour la sécurité.

Lorsque la gestion des risques reflète le point de vue d'une seule personne et que les idées ou opinions contradictoires ne sont pas encouragées, voire rejetées, l'évaluation des risques est limitée, ce qui entraîne une évaluation incomplète d'une opération.

2.2.3 Influence des facteurs sociaux et psychologiques

Les problèmes relevés plus haut ont probablement été exacerbés par des facteurs sociaux et psychologiques qui auraient compliqué la détermination des limites dans les processus d'évaluation des risques d'OceanGate et leur modification.

L'un de ces facteurs ayant probablement eu une influence négative sur la gestion des risques à OceanGate était la pensée de groupe. Le phénomène de pensée de groupe décrit une pression informelle exercée en faveur de l'harmonie au sein d'une équipe, qui peut conduire à la prise de décisions motivées par la recherche d'un consensus au détriment d'une étude complète des points de vue divergents et des données contradictoires. Certains effets de la pensée de groupe, tels que la fermeture d'esprit, les pressions en faveur de l'uniformité et la surestimation du pouvoir du groupe, étaient manifestes à divers moments de l'histoire d'OceanGate, tant dans les données recueillies dans le cadre de la présente enquête que dans les données rendues publiques depuis l'événement. Lorsque la pensée de groupe affecte les processus de gestion des risques, une organisation peut commencer à se percevoir comme sécuritaire par défaut et à croire que les risques opérationnels ont été

évalués et gérés correctement, mais sans avoir pris en compte les points de vue divergents et les données contradictoires.

Un autre facteur susceptible d'influencer la gestion des risques à OceanGate était le biais de confirmation. Le biais de confirmation se manifeste lorsqu'une personne ou un groupe a tendance à se concentrer sur les renseignements qui confirment son interprétation d'une situation tout en écartant les renseignements contradictoires. Il en découle une forme de tunnel cognitif, dans lequel la personne ou le groupe a du mal à traiter les renseignements qui sont incompatibles ou contradictoires avec l'interprétation initiale ou encore à trouver des moyens de rationaliser ces renseignements.

Les données recueillies au cours de cette enquête indiquent que le biais de confirmation a influencé la prise de décision et la gestion des risques d'OceanGate en ce qui concerne l'intégrité structurelle et la durée de vie de la coque épaisse du *Titan*. Le personnel d'OceanGate avait certaines hypothèses (p. ex. concernant les propriétés de la coque épaisse, le caractère adéquat de la conception et des essais) qui ont influencé sa compréhension des risques liés aux opérations qu'il menait et à l'équipement qu'il utilisait, et les renseignements qui contredisaient ces hypothèses avaient tendance à être ignorés.

L'un des principaux moyens de se prémunir contre les processus d'évaluation des risques biaisés est le contrôle externe par un tiers indépendant. Cependant, les processus d'évaluation des risques d'OceanGate n'avaient fait l'objet d'aucun contrôle externe de la part des organismes de réglementation des pays dans lesquels la compagnie était en activité ni d'aucune surveillance par une société de classification.

Une autre approche consiste à désigner en interne une personne responsable de la sécurité. Cette personne doit avoir un accès direct au plus haut niveau de gestion de la compagnie et disposer des ressources nécessaires pour garantir la mise en œuvre des mesures correctives. Dans l'industrie maritime, le Code ISM définit les exigences relatives à cette personne, appelée la personne désignée à terre. Les responsabilités de la personne désignée à terre sont définies dans le Code ISM. Cependant, OceanGate n'était pas soumis à ce Code et ne comptait aucune personne désignée dans la compagnie. En l'absence de points de vue indépendants intégrés au processus de gestion des risques, personne n'était en mesure de recenser les biais dans l'approche d'OceanGate en matière de gestion des risques.

Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

La gestion des risques à OceanGate a été compromise par la structure et la composition de la compagnie, de même que par l'influence des dynamiques de pouvoir et de facteurs sociaux et psychologiques. C'est pourquoi OceanGate n'a pas cerné ni atténué les principaux risques associés à l'intégrité structurelle du *Titan*.

2.3 Surveillance des submersibles

Au niveau international, il existe 2 méthodes principales par lesquelles les exploitants de submersibles peuvent être soumis à la surveillance de leurs navires : (1) demander à être

classé auprès d'une société de classification, et (2) s'immatriculer auprès d'un État du pavillon qui assure une surveillance des submersibles et se soumettre à la surveillance réglementaire nationale de ce pays. Ces méthodes reposent en grande partie sur l'initiative du propriétaire ou de l'exploitant du submersible pour chercher à obtenir une surveillance : dans de nombreux pays, la classification n'est pas obligatoire pour les submersibles, et seuls quelques pays disposent d'une surveillance réglementaire nationale pour les submersibles et de processus pour vérifier si les submersibles sont immatriculés.

Les exigences réglementaires maritimes, qui visent souvent les navires commerciaux plus conventionnels, peuvent ne pas tenir compte des submersibles en raison de leur nature unique. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à ce qu'ils soient exploités sans aucune surveillance. Par exemple, les submersibles peuvent être transportés ou remorqués par des navires de soutien et être relativement facilement déplacés d'un pays à l'autre. Ils peuvent également être transportés en tant que cargaison ou équipement du navire, sans avoir besoin d'immatriculation, ou être immatriculés comme un type de navire ne nécessitant pas de surveillance (p. ex. un bateau de travail).

Les interactions qu'OceanGate a eues avec les organismes de réglementation de divers pays n'ont pas eu d'incidence sur ses opérations prévues : effectuer des plongées en eaux profondes à bord d'un submersible non immatriculé, non certifié et non classé avec des passagers à bord. Le *Titan* n'était immatriculé auprès d'aucun État du pavillon, et, bien qu'OceanGate ait exploité le *Titan* aux Bahamas (1^{re} construction) et aux États-Unis (1^{re} et 2^e construction), le submersible n'avait fait l'objet d'aucune surveillance par des organismes de réglementation de l'un ou l'autre de ces pays.

Entre 2021 et 2023, OceanGate a exploité le *Titan* à partir du port canadien de St. John's et a mené certaines opérations dans les eaux canadiennes, bien que les plongées vers le *Titanic* aient eu lieu dans les eaux internationales. L'état du dossier d'immatriculation du *Titan* n'a pas été vérifié par Transports Canada (TC), et le submersible n'a pas fait l'objet d'une surveillance nationale ou étrangère de la part de TC. L'exploitation du *Titan* dans les eaux canadiennes et dans la zone économique exclusive (ZEE) du Canada n'a pas été directement signalée aux responsables de la sécurité maritime à TC.

Fait établi quant aux risques

Si la surveillance des submersibles, par exemple par l'intermédiaire de la classification ou de l'immatriculation auprès d'un État du pavillon, repose en grande partie sur l'initiative des propriétaires et des exploitants, les submersibles peuvent être exploités sans surveillance, ce qui augmente les risques de non-conformité à la réglementation et aux directives nationales et internationales sur la sécurité qui garantissent un niveau minimum de sécurité

2.4 Surveillance réglementaire des navires au Canada

La surveillance réglementaire rend possible une vérification indépendante afin de relever les lacunes de sécurité. Au Canada, la Sécurité et sûreté maritimes de Transports

Canada (SSMTC) assure la surveillance réglementaire des bâtiments canadiens et étrangers. L'immatriculation est le mécanisme légal qui fait entrer un bâtiment dans le système. TC indique que l'immatriculation permet à la SSMTC d'identifier un navire, d'appliquer le cadre réglementaire approprié et de l'inclure dans les activités de conformité et d'application de la réglementation axées sur les risques. Pour comprendre qu'il doit enregistrer un navire auprès de la SSMTC et ainsi être intégré au système réglementaire, le propriétaire du navire doit prendre l'initiative de se renseigner sur le processus réglementaire.

Au niveau national, la SSMTC ne recherche pas de manière proactive les navires non immatriculés (y compris les sous-marins). Elle laisse plutôt aux propriétaires et aux exploitants le soin de faire immatriculer leurs navires. Bien que la SSMTC ne recherche pas les navires non immatriculés, elle peut utiliser des instruments d'application de la réglementation si un navire non immatriculé est identifié dans le cadre d'une autre surveillance réglementaire. Un navire immatriculé peut être repéré, surveillé et soumis à la réglementation; un navire non immatriculé passe généralement inaperçu à moins d'être observé de manière fortuite.

Les propriétaires ou exploitants peuvent ne pas enregistrer leurs navires, car ils ne sont pas au courant du processus d'immatriculation, ne le comprennent pas ou refusent d'enregistrer leur navire pour diverses raisons¹⁵⁹. Pour les propriétaires ou exploitants de sous-marins en particulier, l'immatriculation de leur navire dépend du fait qu'ils savent que leur sous-marin est considéré comme un navire par l'organisme de réglementation et que celui-ci exige que les navires soient immatriculés.

La surveillance reposant sur l'initiative volontaire des propriétaires pour faire immatriculer leurs navires est peu susceptible d'être aussi efficace que celle initiée par l'organisme de réglementation; la SSMTC ne peut pas se fonder sur l'hypothèse que les propriétaires et les exploitants de sous-marins ont de l'expérience dans l'industrie maritime et connaissent leurs responsabilités en vertu de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*. Par exemple, dans le secteur de la pêche, dans un événement mettant en cause le navire de pêche *Arctic Fox II*, une inspection de celui-ci était requise en vue de sa certification, mais il ne l'a pas obtenue, principalement parce que le représentant autorisé n'a pas demandé de manière proactive à la SSMTC d'effectuer une inspection. Par conséquent, le navire a été exploité sans être certifié. Dans cette enquête, le Bureau a constaté que

Si la surveillance réglementaire par TC continue d'être réactive et de nécessiter que les RA [propriétaires] comprennent les règlements et en assurent le respect, les navires et les équipages risquent de continuer à être exploités sans les mécanismes

¹⁵⁹ Dans un événement antérieur mettant en cause le traversier à passagers *Holiday Island*, il a été déterminé que les représentants autorisés (RA) n'ont pas nécessairement une bonne compréhension de leurs rôles et responsabilités. Transports Canada était le RA pour le *Holiday Island*. Pour plus d'informations, consultez le rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M22A0258 du BST.

de défense minimaux qu'offre le respect des exigences réglementaires, ce qui entraînerait des conditions dangereuses et des accidents potentiellement mortels¹⁶⁰.

De plus, le BST a démontré que les navires pour lesquels une immatriculation est exigée, mais pas une certification (environ 75 % de la flotte commerciale canadienne) peuvent être soumis à peu ou pas de surveillance de la part de la SSMTC tout au long de leur cycle de vie¹⁶¹.

Il n'apparaît pas clairement sur quelle base TC évalue le risque pour ces navires et détermine le niveau approprié de surveillance.

L'enquête a permis de déterminer que plusieurs facteurs différents ont permis au *Titan* de se soustraire à la surveillance au Canada. Premièrement, il n'était pas évident pour la SSMTC que le *Titan* était un navire au sens de la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, ce qui a créé une incertitude quant à l'application de cette Loi au submersible. Deuxièmement, malgré le fait que le *Titan* était exploité depuis St. John's sur un navire de soutien battant pavillon canadien, la SSMTC n'avait pas vérifié l'état d'immatriculation du *Titan*; il ignorait donc que le *Titan* n'était immatriculé nulle part. Enfin, les responsables de la sécurité maritime à TC ne savaient pas que le submersible était exploité dans les eaux canadiennes ou dans la zone économique exclusive du Canada.

Selon les protocoles d'accord de Paris et de Tokyo sur le contrôle des navires par l'État du port, les navires sans pavillon sont considérés comme à haut risque et comme devant faire l'objet d'une inspection en priorité. Cependant, le *Titan* est entré dans les eaux canadiennes soit sur le pont d'un navire canadien, soit remorqué par un navire canadien. Par conséquent, il n'était pas visé par le régime de contrôle par l'État du port en raison de sa taille et de la manière dont il est entré au Canada, et n'apparaissait pas sur la liste utilisée par la SSMTC pour l'inspection prioritaire des navires étrangers. La SSMTC n'inspecte pas régulièrement les navires sauf s'ils sont prioritaires dans le cadre du régime de contrôle des navires étrangers.

Bien qu'OceanGate ait approché plusieurs ministères canadiens au sujet de ses opérations avec le *Titan*, les échanges de renseignements entre TC et ces autres ministères étaient limités; TC ne disposait donc pas des renseignements sur le *Titan* que détenaient les autres ministères. TC a également reçu des demandes d'autres ministères gouvernementaux concernant les opérations d'OceanGate. Cependant, en répondant à ces questions, TC s'est concentré sur le navire de soutien canadien du *Titan* qui, étant certifié, n'a pas soulevé de préoccupations et n'a donc pas incité à prendre d'autres mesures.

¹⁶⁰ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20P0229 du BST.

¹⁶¹ Depuis 2015, le BST a enquêté sur plusieurs événements mettant en cause des navires non certifiés qui n'ont pas fait l'objet d'une surveillance réglementaire. (Voir les rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21P0030, M21A0315, M20A0160, M20P0230, M20A0258, M19A0090, M17P0244, M16A0327 et M15P0037 du BST.)

À TC, des discussions ont eu lieu en interne concernant OceanGate et les missions du *Titan* vers le *Titanic*. TC avait également reçu des demandes de renseignements émanant d'autres ministères gouvernementaux concernant les opérations d'OceanGate et les discussions internes à TC, mais aucun document n'indique que la SSMTC ait approché OceanGate ou Horizon Maritime Services Ltd. pour obtenir des informations sur le Titan. En l'absence d'évaluation supplémentaire, la SSMTC n'était pas au fait que le *Titan* n'était immatriculé sous aucun État du pavillon, ni ne comprenait pleinement les opérations du *Titan* et les risques pour son équipage et ses passagers. L'événement mettant en cause le *Titan* démontre la nécessité pour TC de se montrer proactif et de tirer parti des renseignements afin de mieux évaluer les risques dans les opérations maritimes et de déterminer le niveau approprié de surveillance.

Fait établi quant aux risques

Compte tenu de l'approche du Canada en matière de surveillance réglementaire des navires, le *Titan* était exploité sans que soit menée de vérification indépendante visant à relever les lacunes de sécurité, ce qui a entraîné un risque accru pour les personnes impliquées dans les opérations du *Titan*.

2.5 Préparation aux interventions d'urgence

Les opérations de recherche et sauvetage (SAR) pour les submersibles peuvent être complexes en raison de la nature même des opérations de submersibles. Ceux-ci peuvent être exploités dans des endroits éloignés, parfois à des profondeurs extrêmes, et le sauvetage de leurs occupants nécessite de l'équipement spécialisé. Au Canada, comme dans de nombreux pays, la plupart des ressources de SAR maritimes sont conçues pour être utilisées en surface et ne sont pas équipées pour entreprendre des opérations de recherche ou de sauvetage sous-marines. Il est donc essentiel que les exploitants de submersibles disposent de plans d'urgence efficaces pour gérer de manière indépendante toutes les situations d'urgence auxquelles un submersible peut être confronté. Pour les submersibles en particulier, il est primordial de disposer de plans d'intervention d'urgence efficaces, étant donné que les personnes à bord dépendent d'un système de survie limité.

OceanGate avait conçu le *Titan* de manière à ce qu'il dispose de plusieurs méthodes pour remonter à la surface de manière indépendante en cas d'urgence en eaux profondes. Ces méthodes comprenaient le largage du châssis de montage des lests largables et l'ensemble des patins d'atterrissage par l'équipage du *Titan*. La vessie de ballast à commande pneumatique et les propulseurs pouvaient également être utilisés au besoin. Le *Titan* était en outre équipé de maillons sacrificiels sur les lests largables qui se dissolvaient par galvanisation au bout de 12 à 16 heures et libéraient automatiquement les lests largables.

Le plan de sauvetage d'OceanGate en cas d'urgence en eaux profondes, lorsque le *Titan* ne pouvait pas remonter à la surface par ses propres moyens, prévoyait un sauvetage au moyen de véhicules téléguidés (VTG). Cependant, les enquêteurs n'ont trouvé aucune preuve de l'existence de plans précisant comment ces opérateurs de VTG procéderaient à

un sauvetage en eaux profondes, ni si les VTG et les navires associés avaient été désignés et évalués afin de vérifier s'ils possédaient les capacités techniques nécessaires pour effectuer un sauvetage. OceanGate n'avait pas non plus conclu de contrats avec ces opérateurs de VTG qui se seraient appliqués dans le cadre des opérations de plongée.

D'autres aspects de la conception et des opérations du *Titan* ont également pu entraver le sauvetage. Par exemple, le *Titan* n'était pas muni d'une écoutille, de sorte que son équipage et ses passagers ne pouvaient pas sortir à la surface sans que le *Titan* soit d'abord rattaché au LARS et que le dôme avant soit déboulonné par des personnes se trouvant à l'extérieur du submersible. OceanGate ne disposait pas non plus de moyens permettant de déterminer où le *Titan* se trouvait sous l'eau si les systèmes de suivi et de communication du submersible ne fonctionnaient pas.

Dans l'événement à l'étude, la situation concernant le *Titan* semblait initialement être une perte de communication et de suivi, et l'équipe de soutien en surface a donc suivi le protocole en cas de perte de communications. Une fois le délai imparti écoulé, les intervenants d'urgence externes ont été contactés. Cela s'est produit 8 heures et 8 minutes après la perte de communications et de suivi, et 10 heures et 31 minutes après la fermeture du dôme du submersible.

Pendant l'intervention SAR, plusieurs navires équipés de VTG se trouvaient sur place. Le 1^{er} VTG déployé n'a pas été capable d'atteindre la profondeur requise. Le 2^e VTG a atteint le fond marin et localisé les débris du *Titan* 98 heures et 16 minutes après le démarrage du système de survie du *Titan*, ce qui dépassait les 96 heures de survie dont disposait le *Titan*.

Compte tenu de la durée limitée des systèmes de survie des submersibles et de la nature de leurs opérations, il est essentiel que les exploitants soient prêts à réagir à toutes les situations d'urgence possibles. Tout submersible habité doit disposer de plans d'intervention d'urgence efficaces et d'intervenants rapidement disponibles ayant des capacités éprouvées pour effectuer des opérations de sauvetage. Plus précisément, l'équipement de sauvetage utilisé par les intervenants doit avoir été vérifié afin de s'assurer qu'il est compatible avec le submersible et peut apporter toute l'assistance pouvant s'avérer nécessaire. Les exploitants de submersibles qui ne disposent pas de plans d'intervention d'urgence détaillés et de ressources éprouvées capables d'effectuer des sauvetages dans tous les scénarios d'urgence mettent en danger la vie des personnes participant aux opérations de submersibles.

Dans l'événement à l'étude, ni l'intervention réalisée ni aucune autre intervention potentielle n'aurait changé le résultat, étant donné que les occupants du *Titan* ont subi des blessures mortelles au moment de l'implosion. Cependant, dans d'autres types de situations d'urgence concernant des submersibles, telles que l'échouage ou l'enchevêtrement au fond, le recours à un plan d'intervention d'urgence efficace et des intervenants rapidement disponibles et ayant des capacités de sauvetage éprouvées pourraient augmenter les chances de survie.

Fait établi quant aux risques

Si les exploitants de submersibles ne disposent pas de plans d'intervention d'urgence détaillés pour gérer tous les scénarios d'urgence possibles, y compris des ressources de sauvetage rapidement disponibles et éprouvées, la vie des personnes participant aux opérations du submersible sera en danger.

2.6 **Pratiques de gestion de la sécurité pour un ou plusieurs groupes travaillant sur un navire**

Lorsqu'un ou plusieurs groupes travaillent sur un navire, les opérations normales du navire, qui sont généralement visées par un SGS, doivent intégrer les activités des autres groupes à bord. Un document de liaison peut être établi pour contribuer à clarifier la manière dont les opérations seront coordonnées et dont la sécurité sera gérée. Toutefois, si les autres groupes à bord ne sont pas des exploitants du secteur maritimes typiques, ils peuvent ne pas bien connaître les normes de sécurité maritime, leurs processus de sécurité peuvent être insuffisants et ils peuvent ne pas faire l'objet d'une surveillance externe de la sécurité. On ne peut pas s'attendre à ce que le SGS du navire englobe tous les aspects de ses opérations, surtout si celles-ci sont uniques et nécessitent une expertise qui dépasse le domaine maritime.

Horizon Maritime Services Ltd. et OceanGate ont utilisé un modèle de contrat standard pour établir l'affrètement du *Polar Prince*. Les deux groupes ont convenu que les opérations d'OceanGate seraient traitées séparément de celles du *Polar Prince* et ne seraient pas visées par le SGS du *Polar Prince*. Toutefois, le *Titan* ne pourrait pas être exploité indépendamment du *Polar Prince*. Pour la communication, le suivi et d'autres activités, le *Titan* dépendait entièrement du *Polar Prince*.

La raison pour laquelle Horizon Maritime Services Ltd. considérait les opérations d'OceanGate comme étant entièrement distinctes était que l'équipage du *Polar Prince* ne possédait aucune expérience des opérations spécialisées menées par OceanGate. En pratique, la distinction faite entre les opérations était problématique, car certaines opérations menées par OceanGate ou Horizon Maritime faisaient intervenir l'autre groupe.

La liste ci-dessous fournit des exemples d'opérations menées par OceanGate ou Horizon Maritime qui nécessitaient l'intervention de l'autre groupe :

- Remorquer le LARS vers et depuis les sites de plongées;
- Remorquer le LARS avec des personnes à bord à faible vitesse pour maintenir son erre;
- Fournir un soutien en communication et suivi pour les plongées du *Titan*, par exemple, positionner le navire pour optimiser la communication et le suivi, maintenir la conscience situationnelle pendant les plongées et répondre à divers facteurs selon les besoins;
- Décider si les plongées peuvent avoir lieu ou non;

- Positionner le *Polar Prince* et le LARS pour les besoins des opérations du *Titan*;
- Effectuer la mise à l'eau et la récupération des bateaux pneumatiques à coque rigide d'OceanGate à partir du *Polar Prince*;
- Assurer le transfert du personnel du *Polar Prince* vers les bateaux pneumatiques à coque rigide d'OceanGate en utilisant la passerelle spécialement conçue;
- Effectuer la remontée à bord du LARS (au cours des années précédentes)
- Utiliser le système électrique du navire afin de charger les batteries au lithium du *Titan*;
- Faire descendre le transpondeur dans le puits central du navire et le récupérer après une plongée.

Un cas s'est également produit où l'aussière de remorquage s'est emmêlée dans l'hélice du *Polar Prince* et des plongeurs d'OceanGate sont allés le dégager.

Il n'y a pas eu d'examen approfondi des procédures d'OceanGate par Horizon Maritime Services Ltd, même si ces procédures ne faisaient l'objet d'aucune forme de surveillance externe. Lorsque plusieurs groupes travaillent à bord d'un navire, un examen des procédures opérationnelles de chaque groupe permet de cerner les lacunes qui existent entre ceux-ci et de les corriger.

Le fait traiter de façon distincte les opérations a placé le capitaine du *Polar Prince* dans une position conflictuelle. En effet, d'une part, le capitaine devait traiter OceanGate et son personnel comme une entité complètement distincte, mais, d'autre part, il conservait l'obligation et la responsabilité d'assurer la sécurité de tous les membres d'équipage et des passagers associés au navire.

La distinction faite entre les opérations signifiait également que l'autorité du capitaine lors d'une urgence liée à une perte de communication avec le *Titan* n'était pas claire. En l'absence d'un document de liaison, Horizon Maritime Services Ltd. et OceanGate ne s'étaient pas entendus sur le moment où alerter les autorités en cas de situation d'urgence liée au *Titan*. Le modèle d'exploitation à bord du *Polar Prince* prévoyait que le capitaine laisse à OceanGate le soin de prendre les mesures et les décisions relatives aux opérations de plongée en cours. En conséquence, le protocole de communications manquées établi par OceanGate a fini par prévaloir, même s'il ne respectait pas les pratiques exemplaires maritimes consistant à avertir les autorités de SAR dès que possible, dès que la possibilité d'un besoin d'assistance se manifeste.

Fait établi quant aux risques

Lorsque des groupes travaillent à bord d'un navire qui ne dispose pas des lignes directrices exhaustives fournies par un document de liaison afin d'intégrer la gestion de la sécurité entre leurs opérations et celles du navire, il existe un risque que les opérations soient menées sans les mesures de protection nécessaires, ce qui pourrait compromettre la sécurité des personnes, des navires et de l'environnement.

3.0 FAITS ÉTABLIS

3.1 Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs

Il s'agit des facteurs qui ont causé l'événement ou qui y ont contribué.

1. Les propriétés réelles du cylindre en fibres de carbone du *Titan* n'ont jamais été validées afin de garantir leur conformité avec les valeurs théoriques utilisées dans le procédé de conception, et la construction ainsi que les essais du *Titan* n'ont pas suivi les pratiques normales en ingénierie. Par conséquent, OceanGate ne savait pas pendant combien de temps la coque épaisse demeurerait sécuritaire après avoir été utilisée à plusieurs reprises pour des plongées à la profondeur à laquelle se trouve le *Titanic*.
2. OceanGate avait développé le système de surveillance des contraintes de manière à obtenir des données pour l'analyse après les plongées afin de relever les problèmes potentiels de la coque épaisse qui pourraient entraîner une défaillance pendant une plongée ultérieure. Cependant, l'analyse des données relatives aux contraintes par OceanGate était incohérente et n'a pas conduit à la mise hors service de la coque épaisse avant sa défaillance.
3. On comptait sur le système de surveillance des émissions acoustiques pour fournir un avertissement offrant un délai d'anticipation suffisant pour que le submersible puisse remonter à la surface en cas de défaillance imminente de la coque. Cependant, ce système n'avait pas été soumis à des essais pour démontrer qu'il fournirait systématiquement un avertissement offrant un délai d'anticipation suffisant, et il n'a pas fonctionné comme prévu lors de l'événement à l'étude.
4. La résistance à la compression réduite du cylindre en fibres de carbone du *Titan*, ainsi que les défauts qui ont pu apparaître lors de la fabrication, de l'exploitation, de l'entreposage et du transport du *Titan*, ont probablement conduit à une défaillance progressive du cylindre, avec une accumulation des dommages à chaque cycle de plongée, jusqu'à son implosion, dans laquelle les 5 personnes à bord ont subi des blessures mortelles.
5. La gestion des risques à OceanGate a été compromise par la structure et la composition de la compagnie, de même que par l'influence des dynamiques de pouvoir et de facteurs sociaux et psychologiques. C'est pourquoi OceanGate n'a pas cerné ni atténué les principaux risques associés à l'intégrité structurelle du *Titan*.

3.2 Faits établis quant aux risques

Il s'agit des facteurs dans l'événement qui présentent un risque pour le système de transport. Ces facteurs peuvent, ou non, avoir causé l'événement ou y avoir contribué, mais ils pourraient présenter un risque dans le futur.

1. Si la surveillance des submersibles, par exemple par l'intermédiaire de la classification ou de l'immatriculation auprès d'un État du pavillon, repose en grande partie sur

- l'initiative des propriétaires et des exploitants, les submersibles peuvent être exploités sans surveillance, ce qui augmente les risques de non-conformité à la réglementation et aux directives nationales et internationales sur la sécurité qui garantissent un niveau minimum de sécurité.
2. Compte tenu de l'approche du Canada en matière de surveillance réglementaire des navires, le Titan était exploité sans aucune vérification indépendante visant à relever les lacunes de sécurité, ce qui entraînait un risque accru pour les personnes impliquées dans les opérations du *Titan*.
 3. Si les exploitants de submersibles ne disposent pas de plans d'intervention d'urgence détaillés pour gérer tous les scénarios d'urgence possibles, y compris des ressources de sauvetage rapidement disponibles et éprouvées, la vie des personnes participant aux opérations du submersible sera en danger.
 4. Lorsque des groupes travaillent à bord d'un navire qui ne dispose pas des lignes directrices exhaustives fournies par un document de liaison afin d'intégrer la gestion de la sécurité entre leurs opérations et celles du navire, il existe un risque que les opérations soient menées sans les mesures de protection nécessaires, ce qui pourrait compromettre la sécurité des personnes, des navires et de l'environnement.

3.3 Autres faits établis

Ces faits établis règlent une controverse, révèlent des circonstances atténuantes ou soulignent un élément notable de l'événement.

1. Le protocole en cas de communications manquées d'OceanGate donnait du temps pour que les problèmes de communication soient réglés ou se résolvent d'eux-mêmes et n'exigeait pas de lancer immédiatement des procédures d'urgence.
2. En raison d'un partage limité de renseignements entre TC et d'autres ministères, TC a manqué des occasions d'accéder à des renseignements qui pourraient être utiles pour évaluer les risques dans les opérations de navires commerciales et déterminer le niveau approprié de surveillance.

4.0 MESURES DE SÉCURITÉ

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Bureau de la sécurité des transports du Canada

Le 13 juin 2024, le BST a envoyé une lettre d'information sur la sécurité à Transports Canada portant sur les opérations de submersibles dans les eaux canadiennes. La lettre indiquait que d'autres submersibles, avec des personnes à bord, avaient été exploités dans les eaux canadiennes et dans la zone économique exclusive du Canada, tant avant qu'après juin 2023.

4.1.2 Transport Canada

Le 8 avril 2026, TC a publié un bulletin de la sécurité des navires (BSN 03/2006 : Exigences relatives aux engins submersibles transportant des passagers utilisés dans les eaux canadiennes) pour les submersibles transportant des passagers exploités dans les eaux canadiennes. Ce BSN clarifie les exigences existantes en matière de construction et à l'utilisation d'engins submersibles transportant des passagers dans les eaux canadiennes, et rappelle aux représentants autorisés leurs obligations légales.

4.2 Mesures de sécurité à prendre

Le 16 juin 2023, le navire battant pavillon canadien *Polar Prince* a quitté St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) pour se rendre sur le site de l'épave du *Royal Mail Ship Titanic*, située à 372 milles marins au sud-sud-est du cap Race (Terre-Neuve-et-Labrador). Il remorquait le submersible *Titan* et avait à bord l'équipe de soutien en surface d'OceanGate. Deux jours plus tard, le 18 juin 2023, le submersible *Titan*, avec 5 personnes à bord, a commencé sa descente vers l'épave, avec l'équipe de soutien en surface d'OceanGate qui le suivait et maintenait la communication. Environ une heure quarante-cinq après que le *Titan* eut commencé sa descente, l'équipe de soutien en surface d'OceanGate a perdu le contact avec lui. Une opération de recherche et de sauvetage a été lancée dans la soirée du 18 juin. L'épave du *Titan* a été retrouvée sur le fond de l'océan près du *Titanic* le 22 juin. Il n'y a eu aucun survivant.

L'enquête a révélé que le cylindre en fibres de carbone du *Titan* s'est détérioré progressivement, les dégâts s'accumulant à chaque cycle de plongée jusqu'à ce que le *Titan* implose.

L'enquête a mis en évidence des lacunes de sécurité qui ont amené le Bureau à formuler 6 recommandations.

4.2.1 Approche du Canada en matière de surveillance réglementaire

Selon la *Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada* (LMMC 2001), Transports Canada (TC) est responsable de la sécurité maritime, de la sécurité et de la protection de

l'environnement en ce qui concerne les navires canadiens et étrangers exploités dans les eaux canadiennes. La surveillance réglementaire par TC assure une vérification indépendante de la sécurité de l'exploitation et de la conformité réglementaire de ces navires commerciaux au moyen d'inspections aux fins de certification obligatoire lorsque requise, soit de conformité à la réglementation.

La manière dont TC identifie les navires et en assure la surveillance dépend du fait qu'un navire est immatriculé au Canada ou à l'étranger et de sa taille :

- Environ 25 % de la flotte canadienne¹⁶², y compris les navires d'une jauge brute de plus de 15 ou transportant plus de 12 passagers, doivent obtenir un certificat pour pouvoir naviguer. Pour obtenir le certificat requis, les navires doivent réussir une inspection effectuée par la Sécurité et sûreté maritimes de TC (SSMTC) ou par un organisme reconnu et agréé par TC. Les RA sont responsables de la conformité à la réglementation et de l'exploitation sécuritaire de leurs navires. La conformité à la réglementation implique notamment d'entreprendre des démarches pour faire inspecter les navires.
- Les autres navires, qui représentent 75 % de la flotte canadienne, ne sont pas tenus de détenir un certificat pour naviguer. Bien que les RA demeurent responsables de la conformité à la réglementation et de l'exploitation sécuritaire de leurs navires, TC n'effectue pas d'inspections obligatoires pour vérifier la conformité. La surveillance de ces navires inclut plutôt des « inspections fondées sur les risques », un terme largement utilisé sur le site Web de TC et dans la correspondance du ministère. Toutefois, il y a peu de renseignements portant sur quel niveau de risque ou quels types de navires ou d'activités donnent lieu à ces inspections.
- TC surveille l'entrée des navires étrangers naviguant dans les eaux canadiennes à l'aide des données provenant des systèmes de notification préalable à l'arrivée. TC utilise ensuite des données provenant de différentes sources pour identifier quels navires étrangers inspecter. Les navires étrangers arrivant au Canada sont sélectionnés pour une inspection à l'intérieur et à l'extérieur conformément aux directives internationales du contrôle des navires par l'État du port (CNEP).
- Les petits navires étrangers en dessous des seuils internationaux de jauge brute (500 GT), les navires transportés comme cargaison, et d'autres petits bâtiments ne sont pas assujettis au programme d'inspection du contrôle des navires par l'État du port. TC peut inspecter ces navires s'ils reçoivent des signalements soulevant des préoccupations ou sur base de ses propres observations.

Le *Titan* est entré au Canada à plusieurs reprises. Toutefois, il n'était pas visé par les systèmes de notification préalable à l'arrivée du contrôle des navires par l'État du port, en raison de sa taille et de son mode d'entrée au Canada (par la route, en tant que cargaison sur un autre navire, ou remorqué). Bien que TC savait que le *Titan* était exploité depuis St. John's et qu'il était accompagné par des navires canadiens, il ignorait que le *Titan* n'était

¹⁶² Ce pourcentage repose sur des renseignements tirés du Registre canadien d'immatriculation des bâtiments.

immatriculé auprès d'aucun État du pavillon. Des discussions ont eu lieu à TC concernant les opérations de Horizon Maritime Services Ltd, principalement pour déterminer si le *Titan* devait être considéré comme un navire et, par conséquent, si des mesures de la part de TC étaient nécessaires. Lorsque les représentants de TC ont déterminé que le navire de soutien était canadien et certifié, ils ont conclu qu'une surveillance réglementaire appropriée était en place pour le *Titan* et ses opérations. Ce n'était toutefois pas le cas. Les pratiques en matière de surveillance de la sécurité exercées par TC, y compris les inspections fondées sur le risque, n'ont donné lieu à aucune prise de mesures; TC n'a pas visité les navires, ni contacté OceanGate ou Horizon Maritime Services Ltd., ni pris aucune mesure pour évaluer la sécurité.

Cette situation n'est pas unique. En fait, au Canada, il est relativement fréquent que des navires ne fassent pas l'objet de surveillance par TC. L'enquête a révélé que l'approche du Canada en matière de surveillance réglementaire visant à relever les lacunes de sécurité a entraîné un risque accru pour les personnes impliquées dans les opérations du *Titan*. Depuis 2015, le BST a déterminé qu'un manque de surveillance réglementaire constituait un facteur dans plusieurs événements mettant en cause des bateaux de pêche non certifiés et non immatriculés¹⁶³ ainsi que des remorqueurs non certifiés¹⁶⁴.

Étant donné que les navires non certifiés, comme le *Titan*, ne sont souvent soumis à aucune surveillance réglementaire au Canada, le Bureau recommande que

le ministère des Transports définisse des critères et des priorités pour la surveillance fondée sur les risques des navires commerciaux canadiens qui n'ont pas l'obligation d'être certifiés, de sorte que ces critères et priorités permettent d'évaluer les risques posés par l'exploitation de ces navires et entraînent une surveillance supplémentaire.

Recommandation M26-02 du BST

Le Bureau recommande également que

¹⁶³ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21A0315, M20A0160, M19A0090 et M16A0327 du BST.

¹⁶⁴ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M21P0030, M20P0230, M17P0244 et M15P0037 du BST.

le ministère des Transports définisse des critères et des priorités pour la surveillance fondée sur les risques des navires commerciaux non immatriculés ou non visés par les processus d'inspection du contrôle par l'État du port, et que ces critères et priorités permettent d'évaluer les risques posés par l'exploitation de ces navires et d'agir en conséquence.

Recommandation M26-03 du BST

4.2.2 Renseignements partagés entre Transports Canada et d'autres ministères

Selon la LMMC 2001, TC est responsable de la sécurité maritime, de la sécurité et de la protection de l'environnement en ce qui concerne les navires canadiens et étrangers exploités dans les eaux canadiennes.

Les inspections des navires canadiens qui doivent être certifiés et des navires étrangers d'une jauge brute de 500 ou plus sont planifiées suivant les directives de TC et du CEP, respectivement. En dehors des inspections programmées pour ces navires, la surveillance et l'application de la réglementation dépendent des signalements externes à TC ou des observations de TC. En ce qui concerne tous les autres navires, l'identification et la supervision de ceux-ci dépendent des inspections fondées sur les risques, des signalements à TC ou des observations de TC.

Compte tenu de la nature des opérations maritimes, les navires ainsi que les propriétaires et les exploitants de navires interagissent également avec des entités gouvernementales extérieures à TC, telles que l'Agence des services frontaliers du Canada (ASFC), Pêches et Océans Canada (MPO), les autorités provinciales et les autorités portuaires. Plus TC dispose de renseignements sur les activités d'un navire, mieux il est en mesure d'évaluer les risques et de déterminer le niveau de surveillance approprié. Dans l'enquête sur le *Sarah Anne*¹⁶⁵, le Bureau a constaté que des enjeux liés au partage de renseignements entre TC et le MPO signifiaient que de nombreux bateaux de pêche étaient exploités sans surveillance de la part de TC et, par conséquent, que les pêcheurs pouvaient exploiter le bateau en ne connaissant pas, ne comprenant pas ou ne respectant pas la réglementation visant à améliorer la sécurité de la pêche. Cependant, ces renseignements ne sont pas obtenus et utilisés de manière systématique. Des progrès sont réalisés — en réponse à la recommandation¹⁶⁶ du Bureau selon laquelle le MPO exige que tout navire canadien utilisé pour la pêche commerciale des ressources marines ait une immatriculation à jour et exacte auprès de TC, le MPO collabore plus étroitement avec TC et le nombre de navires immatriculés auprès de TC a augmenté.

¹⁶⁵ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0160 du BST.

¹⁶⁶ Recommandation M22-01 du BST : Exigence d'immatriculation des navires auprès de Transports Canada avant l'émission d'un permis de pêche par Pêches et Océans Canada, à l'adresse <https://www.bst.gc.ca/fra/recommandations-recommendations/marine/2022/rec-m2201.html> (dernière consultation le 23 avril 2026).

Dans le cas du *Titan*, OceanGate a mené des opérations de plongée vers l'épave du Titanic (en eaux internationales), ainsi que dans les eaux canadiennes et dans la zone économique exclusive (ZEE) du Canada, de 2021 à 2023. Plusieurs ministères du gouvernement canadien, dont le MPO, ont eu des échanges avec OceanGate de 2019 jusqu'au moment de l'événement¹⁶⁷. Ces ministères avaient des niveaux de connaissance variables des opérations d'OceanGate, et certains disposaient de renseignements qui auraient pu être utiles à TC pour évaluer les risques et déterminer le niveau approprié de surveillance. Par exemple, le MPO était au courant que certaines opérations du *Titan* se déroulaient dans les eaux canadiennes et que des employés du MPO avaient soulevé des questions de sécurité liées à la construction et aux opérations internes. L'ASFC a autorisé OceanGate à utiliser son équipement, y compris le *Titan*, pour des expéditions de recherche scientifique au Canada. Toutefois, TC n'était pas au courant que le *Titan* était exploité dans les eaux canadiennes. L'enquête a permis d'établir que le partage de renseignements entre TC et d'autres ministères est limité, ce qui fait en sorte que TC¹⁶⁸ manque des occasions d'accéder à des renseignements qui pourraient être utiles pour évaluer les risques dans les opérations de navires commerciales et déterminer le niveau approprié de surveillance. De tels renseignements provenant d'autres ministères peuvent permettre à TC d'agir et d'évaluer l'exploitation d'un navire à partir d'un port canadien et dans les eaux canadiennes.

Par conséquent, le Bureau recommande que

le ministère des Transports établisse des processus afin d'obtenir de la part des autres ministères gouvernementaux des renseignements sur les opérations des navires commerciaux de sorte qu'il puisse évaluer les risques de ces opérations et d'agir en conséquence.

Recommandation M26-04 du BST

4.2.3 Surveillance des submersibles

Un exploitant de submersible peut en obtenir la surveillance en demandant sa classification auprès d'une société de classification ou en le faisant immatriculer auprès d'un État du pavillon qui assure la surveillance des submersibles. Certains pays, dont les Bahamas, les îles Caïmans et le Japon, exigent que les submersibles soient classifiés auprès d'une société de classification. D'autres pays disposent de cadres réglementaires qui couvrent l'exploitation des submersibles. Certains pays, comme le Canada, ont une réglementation limitée ou inexistante. Par exemple, le Canada exige uniquement que l'exploitant d'un submersible à passagers et les membres de l'équipage technique soient titulaires d'une certification valide.

¹⁶⁷ Ces ministères étaient TC (Direction des politiques du transport maritime), Parcs Canada, le MPO, le COSM, Environnement et Changement climatique Canada, Ressources naturelles Canada, l'ASFC, le ministère de la Défense nationale et la Gendarmerie royale du Canada.

¹⁶⁸ La Direction des politiques du transport maritime de TC a eu des échanges avec OceanGate. Toutefois, la sécurité et de la sûreté maritimes n'incombent pas à la Direction des politiques du transport maritime.

Les exigences en matière de réglementation maritime visent principalement les navires commerciaux de surface (et plus précisément, ceux pour lesquels une certification ou un CNEP est requis). Les submersibles sont généralement de petits navires, comme les bateaux de travail, et, à l'instar de ces derniers, ils sont souvent associés à des navires de plus grande taille : ils peuvent entrer dans le pays comme cargaison ou équipement de navire, ou être remorqués. L'Organisation maritime internationale (OMI) a fourni des directives relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation des submersibles transportant des passagers (circulaire MSC/Circ. 981)¹⁶⁹. Les directives relatives à l'exploitation comprennent des recommandations concernant les systèmes de gestion de la sécurité et les procédures d'intervention d'urgence. Toutefois, ces directives ne sont pas intégrées dans des conventions ou des codes internationaux. Par conséquent, elles sont uniquement contraignantes au niveau national, lorsqu'un État membre les a intégrées dans sa propre réglementation.

Les normes internationales sont établies par l'OMI. En l'absence de norme internationale obligatoire pour les submersibles, la surveillance des opérations des submersibles dépend majoritairement des exigences individuelles des États du pavillon, et la sécurité repose en grande partie sur l'initiative volontaire des propriétaires et des exploitants, ce qui augmente le risque pour les personnes, les navires et l'environnement. TC représente le Canada en tant qu'État membre de l'OMI et peut préconiser des changements liés à la sécurité.

Par conséquent, le Bureau recommande que

le ministère des Transports préconise à l'Organisation maritime internationale d'intégrer dans les conventions ou codes internationaux les directives contenues dans la circulaire 981 du Comité de la sécurité maritime.

Recommandation M26-05 du BST

Au Canada, les submersibles sont inclus dans la définition d'un navire figurant dans la LMMC 2001 et sont donc soumis à la même surveillance réglementaire que les autres navires. Cependant, il n'existe pas de réglementation de portée générale ou spécifique au Canada régissant la construction ou l'exploitation de submersibles habités, bien qu'il existe un règlement concernant l'équipage.

En 2004, des préoccupations ont été soulevées concernant les opérations de submersibles à passagers dans la réserve forestière et faunique de Haliburton, à Haliburton (Ontario). En réponse, étant donné qu'il n'existait pas de réglementation, TC a créé une politique interne sur les submersibles à passagers canadiens qui est entrée en vigueur en 2005¹⁷⁰. L'objectif de cette politique était de mettre en œuvre les directives de l'OMI relatives aux submersibles transportant des passagers (MSC/Circ. 981). La politique de TC s'applique à

¹⁶⁹ Organisation maritime internationale, *MSC/Circ. 981 – Directives relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation des engins submersibles à passagers* (29 janvier 2001).

¹⁷⁰ Transports Canada, Volet I – Politique : Engin submersible transportant des passagers, 2005.

tous les submersibles à passagers qui ne sont pas des embarcations de plaisance et qui effectuent uniquement des voyages intérieurs. Bien que cette politique ait été en vigueur pendant l'exploitation du *Titan*, elle n'a pas été appliquée pour évaluer ses opérations. L'enquête a permis d'établir que divers facteurs ont contribué à la non-application de la politique au *Titan*, notamment la connaissance limitée des opérations par TC ainsi que la connaissance limitée de cette politique interne parmi les représentants de TC.

En avril 2026, TC a publié le Bulletin de la sécurité des navires (BSN) 03/2026 : Exigences relatives aux engins submersibles transportant des passagers utilisés dans les eaux canadiennes. Le BSN définit une approche pour la surveillance des submersibles par TC, en s'appuyant sur des instruments et des normes qui existaient à l'époque où le *Titan* était exploité, et ajoute des exigences de signalement pour les opérations de plongée.

L'enquête a révélé qu'outre le *Titan*, d'autres submersibles habités ont été exploités dans les eaux canadiennes et dans la ZEE du Canada, avant et après l'implosion du *Titan*. En 2024, le BST a publié une lettre d'information sur la sécurité maritime (01/2024), informant TC que des submersibles étaient exploités au Canada et indiquant que seuls certains d'entre eux étaient immatriculés au Canada ou auprès d'autres États du pavillon. Compte tenu des lacunes dans la surveillance des opérations des submersibles par TC et des risques associés à ces opérations, il est nécessaire que des changements soient apportés pour améliorer la sécurité dans ce secteur.

La mise en œuvre de la circulaire MSC/Circ. 981 par l'intermédiaire de la politique de TC sur les submersibles à passagers et la publication des exigences nouvelles et existantes dans le BSN 03/2026 représentent deux avancées dans la bonne direction. Cependant, les BSN et les politiques visent à orienter les pratiques sans être contraignants. Rien n'indique clairement que ces mesures réduiront les risques liés à l'exploitation d'un bâtiment comme le *Titan* dans le futur.

En l'absence de surveillance obligatoire d'opérations similaires, s'appliquant à tous les submersibles habités, le risque sous-jacent demeure. Dans la présente enquête, le Bureau a constaté que la surveillance reposant en grande partie sur l'initiative des propriétaires et des exploitants de demander à y être soumis, ainsi que l'absence de plans d'intervention d'urgence détaillés pour gérer tous les scénarios d'urgence possibles, y compris les ressources de sauvetage facilement disponibles et éprouvées, augmentent le risque pour toutes les personnes participant aux opérations du submersible. Par conséquent, le Bureau recommande que

le ministère des Transports exige que tous les submersibles habités, immatriculés au Canada, étant exploités avec un navire de soutien canadien, ou étant exploités dans les eaux canadiennes ou dans la zone économique exclusive du Canada, se conforment aux exigences de la circulaire 981 du Comité de sécurité maritime de l'Organisation maritime internationale.

Recommandation M26-06 du BST

4.2.4 Pratiques de gestion de la sécurité pour un ou plusieurs groupes travaillant sur un navire

Certains types d'opérations peuvent entraîner la participation d'un ou plusieurs groupes à bord d'un navire. Le *Polar Prince* était régulièrement affrété par différents groupes à des fins diverses, notamment des voyages éducatifs, la réalisation de documentaires et le soutien de divers types d'expéditions, comme celle menée par OceanGate. Lorsqu'il était affrété par OceanGate, le *Polar Prince* transportait des passagers et de l'équipement d'OceanGate et remorquait le *Titan* ainsi que son système de mise à l'eau et de récupération.

Dans les opérations où un ou plusieurs groupes travaillent à bord, des interactions sont à prévoir entre le système de gestion de la sécurité (SGS) du navire et les différents systèmes utilisés par d'autres groupes pour assurer la sécurité. Le *Polar Prince* avait un SGS conforme au Code ISM. La compagnie qui exploitait le *Polar Prince*, Horizon Maritime Services Ltd., avait un plan d'intervention d'urgence qui indiquait que les exigences particulières des clients en matière d'intervention d'urgence devaient abordées dans un document de liaison et dans un plan d'intervention d'urgence conjoint. En général, des documents de liaison sont établis pour clarifier la manière dont les opérations, notamment les interventions d'urgence, seront coordonnées et dont la sécurité sera gérée. Les documents de liaison sont courants dans certaines industries, comme l'industrie pétrolière et gazière¹⁷¹. Pour des opérations comme celles menées par le *Polar Prince* et OceanGate, il n'existait aucune exigence externe prévoyant l'élaboration d'un document de liaison.

Un document de liaison a les objectifs suivants :

- définir les rôles et les responsabilités de toutes personnes participantes;
- veiller à ce que les procédures appropriées soient en place pour toutes les opérations;
- clarifier les procédures qui prévalent en cas de chevauchement des procédures;

¹⁷¹ L'International Association of Oil & Gas Producers fournit des consignes sur les documents de liaison (<https://www.iogp.org/bookstore/product/guide-to-preparing-hse-plans-and-bridging-documents-supplement-to-report-423/>, dernière consultation le 12 mai 2026). L'industrie pétrolière et gazière canadienne suit généralement les consignes établies par l'International Association of Oil & Gas Producers. En Norvège et aux Pays-Bas, il existe des exigences relatives aux documents de liaison dans l'industrie pétrolière et gazière en milieu extracôtier.

- veiller à ce que toutes les opérations soient visées par une évaluation des risques le plus efficacement possible;
- veiller à ce que des ententes d'intervention d'urgence efficaces soient mises en place.

Un document de liaison est également essentiel pour clarifier l'autorité du capitaine en ce qui concerne la sécurité du navire et des personnes à bord. Lorsqu'un ou plusieurs groupes travaillent à bord d'un navire pour certains types d'opérations spécialisées, comme dans le cas de Horizon Maritime Service Ltd. et d'OceanGate, le capitaine peut être amené à concilier des instructions différentes et ambiguës, émanant de différents groupes. Voilà pourquoi l'autorité du capitaine doit être définie clairement dans le SGS et soutenue par la direction, en particulier dans le contexte des décisions relatives à l'exploitation du navire et aux facteurs liés à l'affrètement.

Lorsque le *Polar Prince* était affrété par OceanGate, l'équipage du *Polar Prince* et le personnel d'OceanGate ont convenu que les opérations d'OceanGate seraient traitées séparément de celles du *Polar Prince* et ne seraient pas visées par le SGS du *Polar Prince*. La raison pour laquelle ces opérations du submersible seraient traitées séparément était que celles-ci sortaient du domaine d'expertise de l'équipage du *Polar Prince*. Par conséquent, aucun des deux groupes n'a examiné les procédures de l'autre groupe, et aucun document de liaison n'a été établi. La distinction faite entre les opérations était problématique, car certaines opérations menées par OceanGate ou Horizon Maritime Services Ltd. faisaient intervenir l'autre groupe. Le SGS du *Polar Prince* était certifié conformément au Code international de gestion de la sécurité (Code ISM), mais il n'existait aucune autre surveillance externe des procédures pour les opérations d'OceanGate et de Horizon Maritime Services Ltd.

L'accord selon lequel les opérations du *Polar Prince* devaient être traitées de façon distincte a placé le capitaine du *Polar Prince* dans une position conflictuelle. Cela s'expliquait par le fait que, d'une part, le capitaine devait traiter OceanGate et son personnel comme une entité complètement distincte, mais, d'autre part, il conservait la responsabilité d'assurer la sécurité de tous les membres d'équipage et des passagers associés au navire. De plus, le *Titan* ne pouvait pas être exploité indépendamment du *Polar Prince*. Pour la communication, le suivi et d'autres activités, le *Titan* dépendait donc entièrement du *Polar Prince*.

Lorsque des groupes travaillent à bord d'un navire canadien ou d'un navire assujéti à la *Loi sur le cabotage*¹⁷², et qu'ils ne disposent pas des lignes directrices exhaustives fournies par un document de liaison afin d'intégrer la gestion de la sécurité entre leurs opérations et celles du navire, il existe un risque que les opérations soient menées sans les mesures de protection nécessaires. Par conséquent, le Bureau recommande que

¹⁷² Gouvernement du Canada, *Loi sur le cabotage* (L.C. 1992, ch. 31).

le ministère des Transports veille à ce que, lorsqu'un ou plusieurs groupes travaillent à bord d'un navire canadien ou d'un navire auquel s'applique la *Loi sur le cabotage*, les principes de gestion de la sécurité du ou des groupes soient intégrés aux opérations du navire, notamment par l'utilisation d'un document de liaison, afin de clarifier la coordination des opérations et la gestion de la sécurité.

Recommandation M26-07 du BST

Le présent rapport conclut l'enquête du Bureau de la sécurité des transports du Canada sur cet événement. Le Bureau a autorisé la publication de ce rapport le 27 mai 2026. Le rapport a été officiellement publié le 17 juin 2026.

Visitez le site Web du Bureau de la sécurité des transports du Canada (www.bst.gc.ca) pour obtenir de plus amples renseignements sur le BST, ses services et ses produits. Vous y trouverez également la Liste de surveillance, qui énumère les principaux enjeux de sécurité auxquels il faut remédier pour rendre le système de transport canadien encore plus sécuritaire. Dans chaque cas, le BST a constaté que les mesures prises à ce jour sont inadéquates, et que le secteur et les organismes de réglementation doivent adopter d'autres mesures concrètes pour éliminer ces risques.

5.0 ANNEXES

Annexe A – Transcription mot pour mot des communications ayant eu lieu entre le *Titan* et l'équipe de soutien en surface pendant la descente du *Titan* lors de la plongée à l'étude

Tableau A1. Transcription mot pour mot des communications ayant eu lieu entre le Titan (T) et l'équipe de soutien en surface (ESS) pendant la descente du Titan lors de la plongée à l'étude. L'extrait comprend des abréviations. OceanGate avait défini certaines des abréviations comme suit : a = réception de votre dernier message, fin du fil de discussion; k = vérification des transmissions. (Source : données d'OceanGate compilées par le BST)

Temps (HAT)	Expéditeur	Message
09:19:36.4	ESS	I hvvr trscking [J'ai le suivi]
09:19:43.8	T	descendingb thru 235 [Descente à 235]
09:19:49.6	ESS	i have tracking [J'ai le suivi]
09:20:02.5	T	yeah [Oui]
09:20:15.0	T	a
09:20:18.5	ESS	aa
09:23:03.5	T	no atm are you on [Il n'y a pas d'ATM; l'avez-vous allumé?]
09:23:54.7	ESS	atm is on [L'ATM est allumé]
09:24:05.9	ESS	do not read you on atm [Je ne vous capte pas sur l'ATM]
09:25:11.1	T	a
09:25:14.5	ESS	aa
09:28:35.2	ESS	we see you at 33 m/sec [Nous vous voyons à 33 m/s]
09:28:41.2	ESS	m/min
09:29:18.9	T	a
09:29:22.6	ESS	aa
09:31:30.5	ESS	have you at 680 meters [Avez-vous un signal à 680 mètres?]
09:33:41.6	T	confirmed. having trouble entering PO will ship I [Confirmé. On a de la difficulté à saisir le décalage de position avec le navire.]
09:34:28.2	ESS	a
09:34:43.6	T	a
09:34:46.7	ESS	aa
09:34:48.7	T	a
09:34:54.5	ESS	aa
09:35:50.4	ESS	what is your dive payload [Quelle est votre charge utile de plongée?]
09:37:30.8	ESS	report your dive payload weight [Communiquez le poids de votre charge utile de plongée]
09:38:43.3	ESS	report your dive payload weight [Communiquez le poids de votre charge utile de plongée]
09:38:50.2	T	1676
09:39:11.8	ESS	ack 1676 [Bien reçu 1676]

09:39:15.0	ESS	report your depth [Communiquez la profondeur à laquelle vous vous trouvez]
09:39:26.4	T	1676
09:40:01.5	ESS	depth not payload pls [La profondeur, pas la charge utile, s.v.p]
09:40:24.5	T	1050
09:41:15.4	T	1085
09:42:00.6	ESS	ack 1085 [Bien reçu 1676]
09:42:29.0	T	a
09:42:45.2	ESS	aa
09:45:59.3	T	a
09:53:50.9	ESS	do you see Polar Prince on your display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran?]
09:54:39.8	ESS	do you see polar prince on your evologics display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
09:56:09.3	ESS	do you see polar prince on your evologics display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
09:57:20.2	ESS	do you see polar prince on your evologics display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
09:59:16.8	ESS	do you see polar prince on your evologics display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
10:00:36.7	ESS	do you see polar prince on your evologics display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
10:06:10.9	ESS	do you see polar prince on your evologics display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
10:08:10.8	ESS	K
10:08:39.8	T	k
10:09:24.9	ESS	DO YOU see polar prince on your evologics display? [EST-CE QUE vous voyez le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
10:10:11.0	ESS	is polar prince on your display? [Le <i>Polar Prince</i> apparaît-il sur votre écran?]
10:10:33.9	ESS	do you see polar prince on your evologics display? [Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran EvoLogics?]
10:10:57.5	ESS	I need better comms from you [Veuillez améliorer vos communications]
10:11:18.7	T	yes [Oui]
10:11:55.7	T	lost system oand chat settings [Perte des paramètres système et de messages texte]
10:12:12.8	T	this is ph [Ici PH]
10:12:13.9	ESS	ack. status? do you see polar prince on your display? [Bien reçu. Quelle est la situation? Est-ce que vous voyez le <i>Polar Prince</i> sur votre écran?]
10:12:17.9	T	this is ph [Ici PH]
10:12:22.4	ESS	hi PH [Bonjour, PH]
10:14:17.6	T	yes [Oui]
10:14:35.5	T	all good here [Tout va bien ici]
10:15:39.2	ESS	ack all good [Bien reçu. Tout va bien]
10:17:35.7	T	a

10:23:33.2	T	poi orks we are east south east of the nbow [poi (sens inconnu) fonctionne. Nous sommes à l'est-sud-est de la proue]
10:25:46.8	ESS	we see you east north east of the bow [Nous vous voyons au nord-est de la proue]
10:26:40.2	T	aq [Aperçu]
10:27:23.6	ESS	signal strong on our end. do you see polar prince on your diisplay? [Le signal est bon de notre côté. Voyez-vous le <i>Polar Prince</i> sur votre écran?]
10:29:12.2	T	are you now at the bow? [Êtes-vous maintenant à la proue?]
10:29:31.3	T	rsi -60
10:30:20.5	ESS	polar prince not at bow. making our way there [Le <i>Polar Prince</i> n'est pas à la proue. Nous nous dirigeons vers elle]
10:30:36.3	ESS	your position jumps significantly each ping [Votre position varie considérablement à chaque signal de la sonde]
10:31:07.8	T	a
10:31:55.5	ESS	aa
10:36:50.0	ESS	remember to write down the location and time of niskin deployment [N'oubliez pas de noter le lieu et l'heure du déploiement de la bouteille Niskin]
10:38:06.7	T	n?
10:38:30.9	ESS	remember to write down the location and time when you deploy the niskin bottle [N'oubliez pas de noter l'emplacement et l'heure auxquels vous déployez la bouteille Niskin]
10:39:36.2	T	when? messages truncated [Quand? Les messages sont tronqués]
10:39:57.4	ESS	when you deploy niskin [Quand vous déployez la bouteille Niskin]
10:40:01.0	ESS	write down time [notez l'heure]
10:40:04.7	ESS	andn location [et le lieu]
10:40:56.4	T	no niskin. [Pas de bouteille Niskin.] never cleaned and string baf [Jamais nettoyée et filin BAF (sens inconnu)]
10:41:07.2	ESS	ack no niskin [Bien reçu. Pas de bouteille Niskin]
10:42:01.4	T	a
10:47:26.9	T	dropped two wts [Nous avons largué deux lests]

Annexe B – Plongées effectuées par le *Titan* entre 2021 et l'événement à l'étude au site de l'épave du *Titanic*, dans les eaux canadiennes ou dans la zone économique exclusive du Canada

Tableau B1. Registre des plongées. Le terme « plongée » désigne toute plongée à n'importe quelle profondeur au cours de laquelle des personnes se trouvaient à bord du submersible et où celui-ci était équipé d'un système de survie. Les plongées avortées à faible profondeur ou celles au cours desquelles le submersible ne s'est pas détaché du LARS sont incluses dans cette définition. (Source : données d'OceanGate compilées par le BST)

Date	Profondeur atteinte (m)	Temps de plongée (h)	Personnes à bord	Navire de soutien	But de la plongée	Remarques
2021-06-30	7	2,6	5	<i>Horizon Arctic</i>	Essai	Le dôme avant s'est détaché du submersible pendant la récupération
2021-07-03	1700	5,8	4	<i>Horizon Arctic</i>	Essai	Les propulseurs tribord ont subi une défaillance
2021-07-09	3840	16	3	<i>Horizon Arctic</i>	Essai	Incident avec les lests largables
2021-07-13	89	4,9	5	<i>Horizon Arctic</i>	Essai	
2021-07-19	3500	11,3	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Incident avec les lests largables
2021-07-24	3840	10,7	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Incident avec les lests largables
2021-07-27	3840	9,5	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Trop léger, le <i>Titan</i> a dû effectuer une poussée vers le fond, puis la batterie tribord a subi une défaillance
2021-07-28	3840	11,1	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	
2021-08-04	3840	10,7	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	
2021-08-05	3840	10,8	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	
2022-06-16	7	3,5	5	<i>Horizon Arctic</i>	Essai	
2022-06-18	1380	6,3	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	
2022-06-20	3840	27	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Les batteries sont tombées à plat à l'approche du LARS
2022-07-01	25	5	4	<i>Horizon Arctic</i>	Essai	
2022-07-03	3840	13	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Problèmes de batterie et de commande; le <i>Titan</i> est entré en collision avec la proue bâbord du <i>Titanic</i> et était hors service lors de la récupération
2022-07-06	3840	12	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	
2022-07-08	30	4,2	5	<i>Horizon Arctic</i>	Essai	

2022-07-11	10	3,5	5	<i>Horizon Arctic</i>	Canyon Cameron	
2022-07-14	3840	11,9	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Problèmes liés au suivi et aux communications
2022-07-15	3840	10,9	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Panne de courant subie sur le fond marin. Un bruit fort a également été entendu par les personnes se trouvant dans le submersible lors de la remontée à la surface.
2022-07-19	3840	12,75	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Défaillance de la cartographie des commandes du propulseur, problèmes électriques
2022-07-22	3840	11,1	5	<i>Horizon Arctic</i>	<i>Titanic</i>	Propulseur horizontal bâbord envahi par l'eau
2022-07-23	2954	12,1	5	<i>Horizon Arctic</i>	Étude hydrographique	
2023-05-31	10	2	5	<i>Polar Prince</i>	Essai	Problèmes liés aux logiciels et à la caméra
2023-06-05	10	2	5	<i>Polar Prince</i>	Sud-est du cap Cape Race	Mauvaise visibilité à la surface
2023-06-13	10	2	5	<i>Polar Prince</i>	Nord-est du Gully	Problème avec le système de ballast
2023-06-18	3346	2,05	5	<i>Polar Prince</i>	<i>Titanic</i>	Plongée à l'étude

Annexe C – Groupes de l'industrie fournissant des consignes applicables aux submersibles

Marine Technology Society

La Marine Technology Society est une autorité qui fait la promotion des technologies et des ressources marines; ses membres proviennent du monde entier. La Marine Technology Society dispose d'un comité spécifique, le Manned Underwater Vehicles Committee, dédié aux véhicules sous-marins habités. Ce comité est ouvert à toutes les personnes qui participent à l'exploration du monde sous-marin effectuée au moyen de véhicules submersibles. Le but de ce comité est d'aider ces personnes à rester en contact et informées. Le comité organise un symposium annuel pour ses membres et gère un site Web¹⁷³ contenant des renseignements sur les questions d'actualité, les opérations, la science des matériaux, les solutions technologiques et les normes de réglementation applicables à l'industrie des submersibles habités. Le comité dispose également de renseignements sur les opérations de submersibles, la logistique d'exploration et la formation des pilotes, ainsi que d'une base de données des exploitants, des fournisseurs et des fabricants à l'usage des membres.

American Society of Mechanical Engineers

L'American Society of Mechanical Engineers (ASME) est une organisation professionnelle qui vise à favoriser la collaboration, le partage des connaissances et le perfectionnement des compétences dans toutes les disciplines de l'ingénierie. L'ASME élabore des codes et des normes, publie des documents, organise des conférences et offre des programmes de formation continue et de perfectionnement professionnel.

L'ASME a élaboré une norme de sécurité relative aux enceintes sous pression habitables (*pressure vessel for human occupancy – PVHO*)¹⁷⁴, qui englobent les submersibles, les cloches de plongée, les tourelles de transfert, les caissons de décompression, les caissons de recompression, les caissons hyperbares, les caissons d'altitude, et les installations médicales d'oxygénothérapie hyperbare.

La norme définit les exigences relatives à la conception, à la fabrication, à l'inspection, aux essais, au marquage et à l'estampillage des PVHO dont la différence de pression interne ou externe dépasse 14 kPa. La norme définit également les exigences relatives à la conception, à la fabrication, à l'inspection, aux essais, au nettoyage et à la certification des systèmes de tuyauterie des PVHO.

¹⁷³ Marine Technology Society, « MTS Manned Underwater Vehicles Committee », à l'adresse <https://www.mtsmuv.org/#mts-muv-committee> (dernière consultation le 21 mai 2026).

¹⁷⁴ American Society of Mechanical Engineers, *PVHO-1 - Safety Standard for Pressure Vessels for Human Occupancy* (2023).

Society of Naval Architects and Marine Engineers

La Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME) est une association professionnelle dont les membres travaillent pour les industries maritime et extracôtière et leurs fournisseurs. Sa mission consiste principalement à promouvoir le partage de connaissances et d'idées à l'échelle internationale, à encourager la formation professionnelle dans l'ensemble de l'industrie maritime et à appuyer la recherche et le développement. La SNAME compte des membres dans 95 pays.

En 1990, la SNAME a publié un manuel sur la conception des systèmes de véhicules submersibles¹⁷⁵. Ce manuel fournit des renseignements sur la conception, la construction, l'exploitation, la certification et la classification des submersibles habités. En 2025, le groupe de travail sur la technologie et la recherche de la SNAME travaillait à la mise à jour de ce manuel.

International Marine Contractors Association

L'International Marine Contractors Association est une association internationale pour l'industrie des contrats maritimes. Elle s'appuie sur une structure de comités et de groupes de travail qui contribuent à l'élaboration de notes d'orientation et d'information réunies dans une bibliothèque technique.

En 1984, l'International Marine Contractors Association a élaboré un code de pratique pour l'exploitation des submersibles habités¹⁷⁶. Ce code couvre le personnel, la planification opérationnelle, les procédures opérationnelles, la planification des mesures d'urgence, les procédures d'urgence et l'équipement.

Submersible Operators Group

Le Submersible Operators Group a été créé en octobre 2023. Il s'agit d'un groupe international qui se consacre au développement des communications dans la communauté sous-marine. Il rassemble des exploitants, des fabricants, des utilisateurs, des organismes de certification et des pilotes qui y discutent de la coopération intercommunautaire, des partenariats et des améliorations à apporter aux opérations de submersibles. Le Submersible Operators Group gère un site Web¹⁷⁷ qui contient une multitude de renseignements destinés aux personnes concernées par les opérations de submersibles.

¹⁷⁵ E. Eugene Allmendinger (éd.), *Submersible Vehicle Systems Design* (Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1990).

¹⁷⁶ International Marine Contractors Association, *Code of Practice for the Operation of Manned Submersible Craft* (mars 1984), à l'adresse <https://submersibleoperators.com/wp-content/uploads/2023/12/IMCA.pdf> (dernière consultation le 21 mai 2026).

¹⁷⁷ Submersible Operators Group, <https://submersibleoperators.com/> (dernière consultation le 19 septembre 2025).

World Submarine Organization

La World Submarine Organization est une organisation à but non lucratif créée en 2023. Elle rassemble des intervenants de l'industrie sous-marine et soutient les avancées technologiques associées et les interactions entre celles-ci. Elle organise conjointement le symposium annuel avec la Marine Technology Society.