



Bureau de la sécurité
des transports
du Canada

Transportation
Safety Board
of Canada



RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT MARITIME M23C0104

INCENDIE DANS LA SALLE DES MACHINES

Vraquier *Cuyahoga*
Lac Érié
Kingsville (Ontario)
23 mai 2023

Canada 

À PROPOS DE CE RAPPORT D'ENQUÊTE

Ce rapport est le résultat d'une enquête sur un événement de catégorie 3. 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.

Aviser 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 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 protégé 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 M23C0104* (publié le 27 août 2025).

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, 2025

Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M23C0104

N° de cat. TU3-12/23-0104F-PDF

ISBN 978-0-660-78332-1

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	5
1.1 Fiche technique du navire	5
1.2 Description du navire	6
1.3 Déroulement du voyage	8
1.4 Avaries au navire	13
1.5 Conditions environnementales	13
1.6 Brevets, certificats et expérience du personnel	13
1.7 Certificats du navire	14
1.8 Opérations et charge de travail de l'équipage	15
1.8.1 Opérations du navire	15
1.8.2 Opérations sur le pont	16
1.8.3 Opérations dans la salle des machines	17
1.8.4 Opérations côtières	17
1.8.5 Environnement opérationnel	17
1.9 Machine principale	19
1.9.1 Circuit carburant	19
1.9.2 Disposition de montage du moteur	24
1.9.3 Mises à jour des documents techniques	27
1.9.4 Protection antipulvérisation pour les circuits de carburant	28
1.9.5 État et installation de l'isolation du système d'échappement	29
1.9.6 Système de commande à distance	31
1.10 Incendies dans la salle des machines	32
1.10.1 Carburant et chaleur	33
1.10.2 Effets de la ventilation dans un incendie de compartiment	34
1.10.3 Lignes directrices en matière de prévention des incendies de salle des machines	34
1.11 Protection contre l'incendie dans les espaces de machinerie	35
1.11.1 Ventilation	36
1.11.2 Hublots et portes coupe-feu	36
1.11.3 Écoutille de la claire-voie	36
1.11.4 Systèmes fixes d'extinction d'incendie au dioxyde de carbone	38
1.11.5 Alimentation en eau de la conduite principale d'incendie	46
1.12 Opérations de lutte et de maîtrise de l'incendie	51
1.13 Facteurs humains	54
1.13.1 Sommeil	54
1.13.2 Prise de décision et stress dans les situations d'urgence	54
1.14 Sécurité des opérations maritimes	55
1.14.1 Système de gestion de la sécurité de Lower Lakes Towing	57
1.14.2 Politiques et procédures d'entretien de Lower Lakes Towing	57
1.14.3 Plan d'intervention en cas d'urgence marine	59
1.14.4 Manuel sur l'équipement et la formation en matière de lutte contre les incendies	60
1.14.5 Exercices d'urgence	60

1.15	Formation sur les fonctions d'urgence en mer.....	61
1.16	Exemptions aux exigences de sécurité obligatoires.....	63
1.17	Événements antérieurs.....	64
1.18	Liste de surveillance du BST.....	64
1.19	Rapports de laboratoire du BST.....	65
2.0	Analyse.....	66
2.1	Causes de l'incendie dans la salle des machines.....	66
2.1.1	Vibrations du moteur et colliers de retenue sur les conduites d'injection de carburant.....	66
2.1.2	Pulvérisation de carburant provenant d'un raccord de conduite d'injection de carburant desserré.....	68
2.1.3	Installation d'isolant par mesure de protection contre les incendies.....	69
2.1.4	Ventilation de la salle des machines pendant les incendies.....	70
2.2	Entretien et installation de l'équipement fixe de lutte contre l'incendie.....	71
2.2.1	Systèmes fixes d'extinction d'incendie au dioxyde de carbone.....	71
2.2.2	Vanne d'isolement de la pompe à incendie de secours.....	73
2.3	Intervention d'urgence et préparation aux urgences.....	74
2.3.1	Exercices et procédures.....	74
2.3.2	Équipement de protection individuelle et formation en matière de lutte contre l'incendie.....	76
3.0	Faits établis.....	78
3.1	Faits établis quant aux causes et aux facteurs contributifs.....	78
3.2	Faits établis quant aux risques.....	78
3.3	Autres faits établis.....	79
4.0	Mesures de sécurité.....	81
4.1	Mesures de sécurité prises.....	81
4.1.1	Lower Lakes Towing Limited.....	81
	Annexes.....	82
	Annexe A – Instructions du fabricant pour les inspections mensuelles.....	82
	Annexe B – Événements similaires.....	85
	Bureau de la sécurité des transports du Canada.....	85
	National Transportation Safety Board des États-Unis.....	85
	Autres bureaux internationaux d'enquête sur les accidents.....	86

RAPPORT D'ENQUÊTE SUR LA SÉCURITÉ DU TRANSPORT MARITIME M23C0104

INCENDIE DANS LA SALLE DES MACHINES

Vraquier *Cuyahoga*
Lac Érié
Kingsville (Ontario)
23 mai 2023

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 23 mai 2023, un incendie s'est déclaré dans la salle des machines du vraquier autodéchargeur *Cuyahoga* alors que le navire circulait vers le nord sur le lac Érié, au large de Kingsville (Ontario), avec 20 personnes à bord. L'équipage a fermé la vanne de carburant à fermeture rapide du réservoir journalier de carburant de la machine principale, puis a tenté d'utiliser le système fixe d'extinction d'incendie au dioxyde de carbone du navire. Le navire a jeté l'ancre au nord de l'île Pelée (Ontario), et l'incendie s'est éteint peu après l'arrêt de la machine principale. Le 25 mai 2023, le navire a été remorqué jusqu'à Kingsville (Ontario). Aucune blessure ou pollution n'ont été signalées.

1.0 RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Fiche technique du navire

Tableau 1. Fiche technique du navire

Nom du navire	<i>Cuyahoga</i>
Numéro de l'Organisation maritime internationale	5166392
Numéro officiel de Transports Canada	815560
Pavillon	Canada
Port d'immatriculation	Port Dover (ON)
Type	Vraquier auto-déchargeur
Jauge brute	10532
Longueur	188,98 m

Largeur	18,29 m
Tirant d'eau au moment de l'événement	Avant : 5,85 m / Arrière : 5,88 m
Construction	1943, Lorain, Ohio, États-Unis
Groupe propulseur	1 moteur diesel de 2530 kW entraînant 1 hélice à pas variable
Équipage	20
Propriétaire au registre et représentant autorisé	Lower Lakes Towing Ltd.
Société de classification / organisme reconnu	Lloyd's Register
Autorité de délivrance de la certification internationale de gestion de la sécurité	American Bureau of Shipping

1.2

Description du navire

Le vraquier *Cuyahoga* (figure 1) a été construit en 1943 dans l'État de l'Ohio, aux États-Unis, par l'American Ship Building Company. Conçu à l'origine comme un navire à propulsion à vapeur, il a été converti au diesel en 2000. Le *Cuyahoga* avait une coque en acier, et ses superstructures avant et arrière étaient séparées par 8 cales.

Figure 1. Le *Cuyahoga*, peu après l'incendie (Source : BST)



Le pont principal s'étendait sur presque toute la longueur du navire. Le faux-pont, situé au-dessus du pont principal, était le pont le plus élevé au-dessus des cales. Le plafond de ballast allait de la salle des machines, en longeant la partie la plus basse du tunnel de déchargement situé sous les cales, jusqu'à la structure avant.

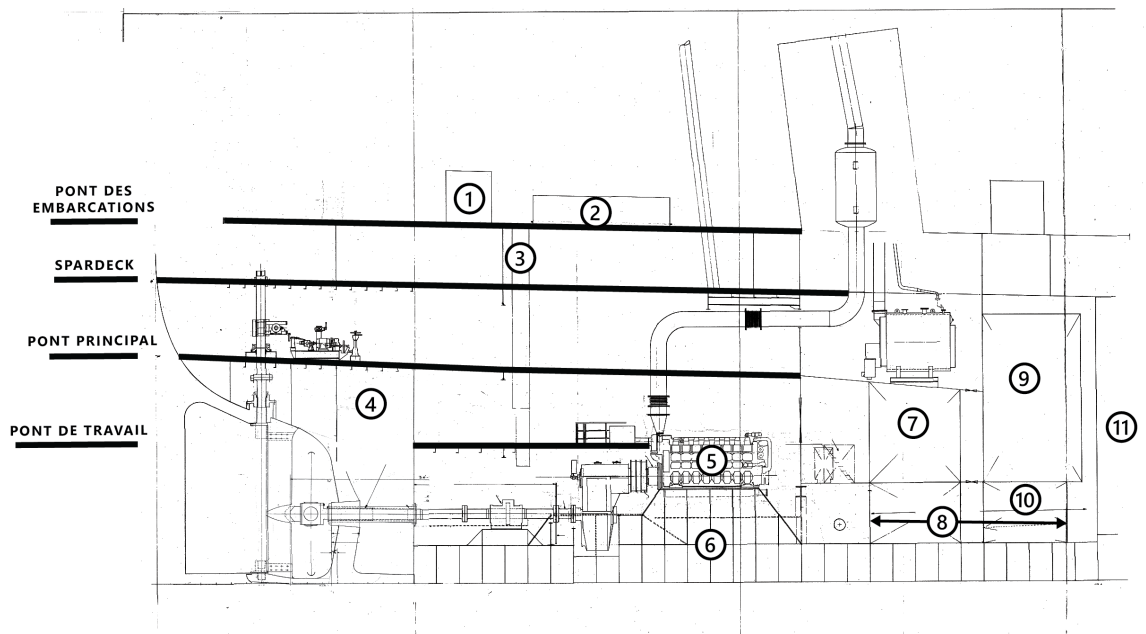
La structure avant comprenait la machinerie de convoyage et de levage de marchandises entre le plafond de ballast et le pont principal. Au niveau du pont principal, la structure avant contenait des quartiers d'équipage, des ateliers, des magasins et la salle des commandes électriques de la machinerie de manutention des marchandises. Au-dessus du faux-pont, 2 ponts partiels contenaient d'autres quartiers d'équipage et magasins ainsi que la machinerie du pont avant. La passerelle se trouvait dans la timonerie, au sommet de la structure avant.

La structure arrière (figure 2) contenait les espaces de machinerie principaux, séparés du rouf arrière et de la cale par des cloisons et des ponts classés comme des cloisonnements de

type A. La salle des machines comprenait 3 niveaux : le plafond de ballast, le pont de travail et le pont principal. La salle de commande des machines, le tableau de bus électrique et la machinerie auxiliaire étaient situés sur le pont de travail.

L'appareil à gouverner, le compartiment de la génératrice diesel, la chaufferie, les ateliers et les zones d'entreposage du navire étaient situés sur le pont principal. Les réservoirs de carburant de la machine principale étaient situés dans les espaces de machinerie situés tout juste à l'avant de la machine principale, sous le pont principal. La salle des machines et la chaufferie étaient protégées par un système fixe d'extinction d'incendie au dioxyde de carbone (CO_2), et le compartiment de la génératrice diesel était protégé par un système similaire indépendant. Le navire transportait des extincteurs portatifs, comme requis.

Figure 2. Vue de profil de la structure arrière du *Cuyahoga* (Source : BST, d'après le plan d'ensemble de la machinerie (Lower Lakes Towing Ltd.))



1 Salle de CO_2 , 2 Claire-voie, 3 Évent, 4 Coqeron arrière, 5 Machine principale, 6 Plafond de ballast, 7 Lest liquide, 8 Tunnel de déchargement (menant à la cale), 9 Réservoir de carburant, 10 Réservoir de jour de mazout, 11 Cale.

Le rouf arrière, qui était situé sur le faux-pont et au-dessus des espaces de machinerie principaux du navire, contenait des quartiers d'équipage, la cuisine et la cantine. Les encaissements de la salle des machines et de la chaufferie traversaient les quartiers jusqu'au sommet du rouf, sur le pont des embarcations. L'encaissement de la salle des machines était muni d'une claire-voie en acier, et l'encaissement de la chaufferie abritait la tuyauterie d'échappement de la machinerie qui se rendait à la cheminée des gaz d'échappement. On pouvait accéder à la salle des machines et à la chaufferie par une porte située à l'intérieur des quartiers d'équipage dans le rouf arrière, ou encore par 2 portes situées à l'extérieur du rouf arrière sur le faux-pont.

La claire-voie avait une ouverture d'environ 2,4 m sur 1,8 m. L'ouverture était recouverte d'une écoutille à charnières en acier qui pouvait être ouverte et fermée à l'aide d'un treuil à commande électrique monté à l'extérieur sur la claire-voie, à côté de l'ouverture de l'écoutille. La télécommande du treuil se trouvait dans la salle des machines, sur le pont de travail.

Le compartiment de la génératrice de secours, la salle des bouteilles du système fixe d'extinction d'incendie au CO₂, le réservoir de carburant de la génératrice de service du navire, les radeaux de sauvetage et un bateau de sauvetage se trouvaient sur le pont des embarcations.

Des bandes de convoyeurs situées sur le plafond de ballast passaient sous les cales entre les sections avant et arrière du navire pour acheminer la cargaison vers l'élévateur à l'avant du navire. La cargaison était transportée jusqu'à la flèche par l'élévateur, puis déchargée à terre. Un tunnel de déchargement qui longeait l'axe du navire permettait à l'équipage d'accéder aux bandes de convoyeurs et à la machinerie connexe aux fins d'exploitation et d'entretien.

La pompe à incendie de secours du navire était située à environ 2,4 m à l'avant de la cloison qui séparait la salle des machines de la cale, sur le plafond de ballast. La vanne d'isolement du côté refoulement de la pompe était située dans la chaufferie, sur le pont principal, à l'arrière de cette cloison.

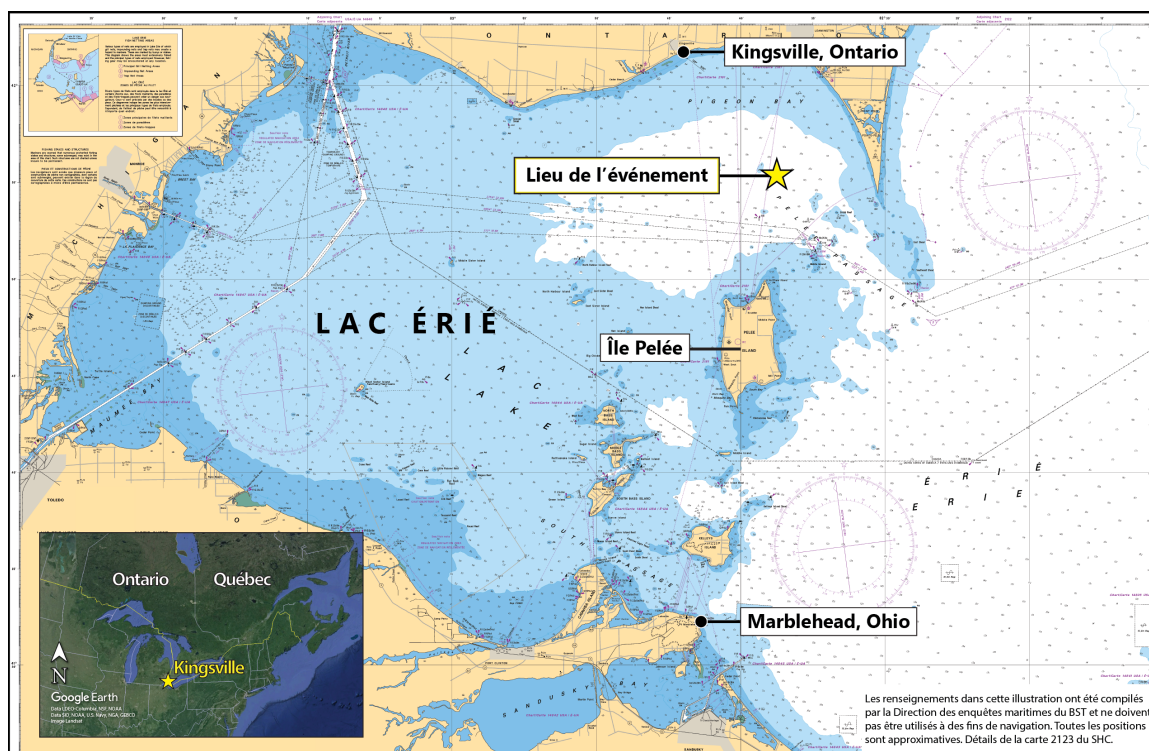
Il y avait 4 postes de rassemblement. Ceux-ci étaient situés à l'avant du rouf arrière, sur le pont des embarcations, à l'arrière du rouf avant, sur le pont de gaillard d'avant, dans la salle de commande des machines et sur la passerelle. Les combinaisons de pompier et les appareils de protection respiratoire autonome (APRA) du navire étaient rangés dans des casiers situés dans les postes de rassemblement, des roufs avant et arrière. Chaque casier renfermait 1 combinaison et 1 APRA, avec des bouteilles de rechange.

1.3 Déroulement du voyage

Le 23 mai 2023, à 19 h 14¹, le *Cuyahoga* a quitté Marblehead (Ohio), aux É.-U., en direction de Kingsville (Ontario) (figure 3), ce qui représente un voyage d'environ 4 heures. Le navire était chargé de 11 400 tonnes métriques de pierre concassée de granulométrie A.

¹ Les heures sont exprimées en heure avancée de l'Est (temps universel coordonné moins 4 heures).

Figure 3. Lieu de l'événement (Source de l'image principale : Service hydrographique du Canada, carte 2123, avec annotations du BST; source de l'image en médaillon : Google Maps)



À 20 h, le quatrième mécanicien a commencé son quart de 4 heures dans la salle des machines. Le chef mécanicien, le deuxième mécanicien, le troisième mécanicien et le capitaine étaient dans leurs cabines. Le premier officier était officier de quart sur la passerelle avec le timonier et un élève-officier de pont. À 20 h 45, le chef mécanicien a effectué une ronde de routine dans la salle des machines avant de retourner dans sa cabine en prévision des opérations de manutention des cargaisons à Kingsville.

À 21 h 59, le quatrième mécanicien effectuait une ronde de routine dans la salle des machines. Du côté bâbord du pont principal, il a remarqué qu'un incendie s'était déclaré au sommet du moteur principal, entre les cylindres 7 et 8. Il a tenté de descendre au pont de travail de la salle de commande pour arrêter la machine principale, mais il a été incapable de l'atteindre en raison de la chaleur et des flammes provenant de l'incendie qui se propageait rapidement.

Le quatrième mécanicien a quitté la salle des machines par la porte d'accès située dans les quartiers arrière et a avisé le chef mécanicien de l'incendie. Il a ensuite déclenché l'alarme générale à partir d'un avertisseur d'incendie situé à l'extérieur de la salle des machines et a appelé l'officier de quart sur la passerelle pour l'aviser de l'emplacement de l'incendie. Le capitaine a entendu l'alarme générale et s'est rendu immédiatement à la passerelle.

À 22 h 1, le capitaine est arrivé sur la passerelle et a constaté que des flammes et de la fumée s'échappaient de l'écouille ouverte de la claire-voie de la salle des machines. Il a relevé le premier officier de ses fonctions et lui a ordonné de se rendre au poste de

rassemblement avant. Le timonier et l'élève-officier de pont sont restés sur la passerelle avec le capitaine. Vers 22 h 3, le premier officier est arrivé à son poste de rassemblement au rouf avant et a rapporté que tous les membres d'équipage qui devaient se trouver à ce poste de rassemblement étaient présents.

Au même moment, des membres d'équipage se présentaient au poste de rassemblement au rouf arrière. Ils ont commencé à fermer les orifices de ventilation des espaces de machinerie et à préparer les tuyaux d'incendie. Un matelot de pont au poste de rassemblement avant et le membre d'équipage polyvalent au poste de rassemblement arrière ont commencé à revêtir des combinaisons de pompier et des APRA.

À 22 h 4, le troisième mécanicien a démarré la génératrice de secours et l'a branchée au bus de secours, s'assurant ainsi que l'éclairage de secours et la machinerie essentielle, comme la pompe à incendie de secours, l'appareil à gouverner et l'hélice à pas variable, continueraient de fonctionner. Au même moment, le chef mécanicien a arrêté les ventilateurs de la salle des machines.

À 22 h 6, le capitaine a tenté de communiquer avec le deuxième mécanicien, qui était responsable du poste de rassemblement arrière, à l'aide d'une radio portative à très haute fréquence (VHF). Cependant, le deuxième mécanicien n'était pas au poste de rassemblement et il n'y a eu aucune réponse. En conséquence, le capitaine a ordonné au premier officier de se rendre à l'arrière pour assumer la responsabilité du poste de rassemblement arrière.

À 22 h 7, le capitaine a communiqué avec Lower Lakes Towing Ltd. (LLT) et les Services de communications et de trafic maritimes de Sarnia pour les aviser de l'incendie, puis il a lancé un appel Mayday sur le canal très haute fréquence (VHF) 16. Des navires et des aéronefs de la Garde côtière canadienne et de la U.S. Coast Guard ainsi que 2 navires de charge ont été mobilisés par l'entremise du Centre conjoint de coordination des opérations de sauvetage à Trenton (Ontario) et de la U.S. Coast Guard à Detroit (Michigan), aux É.-U. et se sont tenus prêts à porter secours, au besoin.

Le chef mécanicien, qui ne pouvait pas se rendre à son poste de rassemblement dans la salle de commande des machines en raison de l'incendie, s'est rendu sur le pont des embarcations et a tenté d'atteindre l'écouille de la claire-voie pour la fermer. Il a constaté que le moteur électrique du treuil fonctionnait et que l'écouille de la claire-voie s'ouvrait plus grand. Lorsqu'il a entendu le capitaine tenter de communiquer par radio avec le deuxième mécanicien, il s'est rendu compte que ce dernier était absent. Le chef mécanicien est ensuite retourné dans les quartiers du rouf arrière, du côté bâbord, pour chercher le deuxième mécanicien, mais il a rencontré une épaisse fumée et a abandonné sa tentative.

À 22 h 8, le troisième mécanicien s'est présenté au poste de rassemblement arrière, où il a constaté l'absence du deuxième mécanicien. Il est alors entré dans le rouf arrière, du côté tribord, puis il s'est rendu dans la cabine du deuxième mécanicien, qu'il a trouvé encore endormi; il l'a alors réveillé. Les 2 mécaniciens ont ensuite quitté la zone des quartiers. Peu

après, le premier officier a indiqué au capitaine que tous les membres d'équipage à l'arrière étaient présents.

Vers 22 h 9, craignant que l'incendie ne provoque une explosion, le capitaine a ordonné à tous les membres d'équipage qui ne participaient pas à la lutte contre l'incendie de se rendre au poste de rassemblement avant, y compris le membre d'équipage du poste de rassemblement arrière qui portait une combinaison de pompier. Le chef mécanicien, le deuxième mécanicien, le troisième mécanicien et le quatrième mécanicien sont restés à l'arrière du navire.

Suivant les ordres du chef mécanicien, le deuxième mécanicien a actionné les vannes de carburant à fermeture rapide de la machine principale et des génératrices de service du navire, qui étaient situées derrière le compartiment de la génératrice de secours, sur le pont des embarcations, dans le rouf arrière. Le chef mécanicien a ensuite démarré la pompe à incendie de secours à partir du compartiment de la génératrice de secours.

Peu après, le chef mécanicien a indiqué au capitaine que l'on était toujours incapable de fermer l'écouille de la claire-voie et les événements de la salle des machines situés derrière la claire-voie pour achever de sceller la salle des machines. La chaleur et la fumée provenant de l'ouverture les empêchaient de s'approcher du treuil. Néanmoins, malgré que la salle n'avait pas été complètement scellée, le capitaine a ordonné au chef mécanicien d'activer le système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ de la salle des machines afin d'éteindre l'incendie.

À 22 h 11, malgré la présence de fumée, le chef mécanicien est entré dans le rouf arrière dans l'intention d'activer le système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ en tirant sur les câbles de déclenchement situés au poste de commande à distance, à l'extérieur de la porte d'accès à la salle des machines. Lorsque le chef mécanicien a tiré sur les câbles de déclenchement à distance, environ 3 à 4 m de câble sont sortis des conduits. Le chef mécanicien n'a ressenti aucune résistance dans le câble lorsqu'il l'a tiré vers lui.

À 22 h 12, le chef mécanicien a rapporté au capitaine que les câbles de déclenchement à distance du système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ étaient défectueux.

Vers 22 h 14, le quatrième mécanicien est parvenu à fermer manuellement l'écouille de la claire-voie et les événements de la salle des machines, après quoi il en a avisé le chef mécanicien, qui a transmis l'information au capitaine. Après une brève discussion, le capitaine a alors ordonné au chef mécanicien de tenter d'activer localement le système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ dans la salle des bouteilles de CO₂ sur le pont des embarcations.

À 22 h 15, le chef mécanicien est entré dans la salle des bouteilles de CO₂, accompagné d'un autre membre d'équipage. Il a commencé la séquence visant à déclencher la libération de CO₂ dans la salle des machines en tirant sur les leviers de commande manuelle situés sur les têtes de commande des 2 bouteilles les plus près de la porte d'entrée. Presque immédiatement, la salle des bouteilles a été remplie de CO₂. Le chef mécanicien et le membre d'équipage ont été contraints d'évacuer la salle et ont fermé la porte derrière eux.

En même temps, le capitaine a ordonné aux 2 membres d'équipage qui avaient revêtu des combinaisons de pompier et des APRA et qui se trouvaient au poste de rassemblement avant de se rendre à l'arrière pour apporter de l'aide à l'équipage de la salle des machines.

À 22 h 16, le capitaine a ordonné au timonier de mettre la barre à tribord toute afin que le vent d'est souffle la fumée vers l'arrière, loin des postes de mise à l'eau des radeaux de sauvetage, puis de réduire le pas de l'hélice à zéro. Il a ordonné au second officier de jeter les ancres avant lorsque le navire s'arrêterait.

À 22 h 17, l'équipage qui était resté au poste de rassemblement avant a commencé à jeter les ancres avant.

À 22 h 18, le chef mécanicien a déclaré au capitaine que la 2^e tentative d'activation du système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ avait échoué et qu'il ne pouvait pas confirmer que du CO₂ avait été libéré dans la salle des machines.

À 22 h 21, le chef mécanicien a déclaré au capitaine qu'il n'y avait pas d'eau dans la conduite principale d'incendie, même si on avait confirmé le fonctionnement de la pompe à incendie de secours.

À 22 h 22, le capitaine a ordonné aux membres de l'équipage de mettre à l'eau les radeaux de sauvetage et le bateau de sauvetage et de se tenir prêts à abandonner le navire. Peu après, les radeaux de sauvetage tribord qui se trouvaient sur les roufs avant et arrière ont été mis à l'eau par le second officier et le premier officier.

À 22 h 24, le premier officier a signalé que le radeau de sauvetage bâbord et le bateau de sauvetage situé sur le pont des embarcations étaient inaccessibles en raison de la fumée, mais que l'équipage continuait d'essayer de les atteindre. À 22 h 30, le premier officier a rapporté que les 3 radeaux de sauvetage et le bateau de sauvetage avaient été mis à l'eau avec succès. Le capitaine a ordonné à l'équipage de tirer les radeaux de sauvetage vers le milieu du navire et de déployer les échelles d'embarquement.

À 22 h 31, le chef mécanicien a indiqué au capitaine qu'il avait remarqué une diminution de la fumée provenant de la claire-voie et de la structure en acier qui l'entourait. Il a dit au capitaine qu'il croyait que le CO₂ faisait effet. Le capitaine a ordonné à l'équipage de s'assurer que la salle des machines restait étanche.

À 22 h 44, le chef mécanicien est retourné à sa cabine pour aller chercher un thermomètre à infrarouges afin que l'équipage puisse commencer à surveiller les températures limites sur la structure arrière.

À 23 h 16, le chef mécanicien et un membre d'équipage chargé de l'entretien de la cargaison sont entrés dans le tunnel de déchargement par l'extrémité avant du navire. Ils se sont dirigés vers l'arrière pour diagnostiquer le problème de la pompe à incendie de secours. Le premier officier est resté à l'ouverture de l'écouille d'évacuation d'urgence sur le faux-pont afin de transmettre les communications entre le chef mécanicien et le capitaine, car la structure en acier nuisait aux transmissions radio.

Croyant que la pompe à incendie était bloquée par de l'air, le chef mécanicien a tenté de purger l'air du boîtier de la pompe et de la conduite d'évacuation à l'aide de vannes installées à cette fin. Il a relevé une pression qui était considérée comme normale sur le manomètre de refoulement. Ayant confirmé que la pompe n'était pas bloquée par de l'air, il n'a rien pu faire de plus pour remédier à l'absence de débit dans la conduite principale d'incendie, et il a quitté le tunnel de déchargement, accompagné de l'autre membre d'équipage.

À 23 h 28, on ne voyait plus de fumée s'échapper de l'écouille de la claire-voie et de la structure environnante.

Le 24 mai, à 1 h 47, huit membres d'équipage qui n'étaient pas tenus de rester à bord du navire pour maîtriser l'incendie ont été évacués sur le navire *Colchester Guardian* de la Garde côtière auxiliaire canadienne et amenés à Kingsville.

À 10 h 2, LLT a informé les Services de communications et de trafic maritimes de Sarnia qu'elle avait communiqué avec McKeil Marine Ltd. afin d'obtenir l'aide d'un remorqueur et avec T&T Marine Salvage Inc. afin d'obtenir de l'aide pour lutter contre l'incendie².

Le lendemain, à 14 h 45, les remorqueurs *Ecosse* et *Stormont* sont arrivés sur les lieux et se sont apprêtés à remorquer le *Cuyahoga*. À 20 h 50, le navire était amarré à Kingsville. Une équipe de T&T Marine Salvage Inc. est entrée dans la salle des machines et a confirmé que l'incendie avait été éteint.

1.4 Avaries au navire

La salle des machines du *Cuyahoga* et la machinerie connexe ont subi des dommages dus à la chaleur et à la fumée de l'incendie. La machine principale et divers câbles électriques et équipements ont subi des dommages modérés à importants dus à l'incendie.

1.5 Conditions environnementales

Au moment de l'événement, le ciel était nuageux et la visibilité était d'environ 25 milles marins. Le vent soufflait de l'est à 10 nœuds. La température de l'air était de 16 °C.

1.6 Brevets, certificats et expérience du personnel

Le capitaine détenait un brevet de capitaine au long cours, délivré pour la première fois en 2017. Il était capitaine du *Cuyahoga* depuis décembre 2020. Il avait été diplômé d'une école

² Aux termes des *U.S. Oil or Hazardous Material Pollution Prevention Regulations*, 33 CFR, partie 155.4035, alinéa (b)(2), les navires comme le *Cuyahoga* sont tenus de disposer d'un plan préliminaire de lutte contre l'incendie en mer, conformément à la norme NFPA 1405 de la National Fire Protection Association des États-Unis, *Guide for Land-Based Firefighters that Respond to Marine Vessel Fires*. Le plan doit désigner un fournisseur de ressources de lutte contre les incendies à bord des navires qui est contractuellement tenu d'intervenir en cas de besoin. Pour se conformer à cette exigence réglementaire, Lower Lakes Towing Ltd. avait signé un contrat avec T&T Marine Salvage Inc.

de marine en 2011 et s'était joint à la flotte de la compagnie en 2016. Le capitaine avait suivi la formation sur les fonctions d'urgence en mer (FUM) relatives aux techniques avancées de lutte contre l'incendie en 2011, ainsi que la formation FUM destinée aux officiers supérieurs en 2013. Il avait suivi le cours de recyclage de la formation sur les techniques avancées de lutte contre les incendies en 2016.

Le premier officier détenait un brevet d'officier de pont de quart, mais il était exempté par Transports Canada de l'obligation de détenir un brevet de premier officier de pont, à proximité du littoral, qui était autrement exigé à bord du *Cuyahoga*. Il avait déjà travaillé à bord du navire et avait été promu premier officier récemment. Il avait été diplômé d'une école de marine en 2017 et s'était joint à la flotte de la compagnie en 2018. Le premier officier avait suivi la formation sur les FUM relatives aux techniques avancées de lutte contre l'incendie en 2017.

Le chef mécanicien détenait un brevet d'officier mécanicien de deuxième classe, navire à moteur, délivré à l'origine en 2016. Il était chef mécanicien sur le *Cuyahoga* depuis 2017. Il avait été diplômé d'une école de marine en 2005 et avait commencé sa carrière en navigation dans la flotte de LLT. Le chef mécanicien avait suivi la formation sur les FUM relatives aux techniques avancées de lutte contre l'incendie en 2007, ainsi que la formation FUM destinée aux officiers supérieurs en 2011.

Le quatrième mécanicien avait effectué le service en mer et suivi la formation requise, mais il n'avait pas encore obtenu le brevet d'officier mécanicien de quatrième classe, navire à moteur. Il avait passé tous les examens, sauf l'examen oral.

Les 16 autres membres d'équipage du *Cuyahoga* détenaient les brevets requis pour leurs postes respectifs à bord.

1.7 Certificats du navire

Le *Cuyahoga* détenait un certificat d'inspection pour les voyages à proximité du littoral, classe 1, limité au cabotage dans le bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Le certificat était valide jusqu'au 1^{er} avril 2028. Le *Cuyahoga* était classé auprès du Lloyd's Register et inspecté pour le compte de Transports Canada par le Lloyd's Register dans le cadre du Programme de délégation des inspections obligatoires (PDIO).

Le document sur l'effectif minimal de sécurité du navire indiquait que le navire devait avoir à son bord l'effectif minimal suivant : 1 capitaine, 1 premier officier de pont, 1 officier de pont de quart, 1 chef mécanicien, 1 officier mécanicien de quart, 2 matelots de quart à la passerelle et 4 matelots supplémentaires. De plus, le document indiquait que le navire avait un système à 2 quarts de travail. Dans l'événement à l'étude, le navire répondait aux exigences du document sur l'effectif minimal de sécurité.

1.8 Opérations et charge de travail de l'équipage

1.8.1 Opérations du navire

Le *Cuyahoga* transportait des produits en vrac secs, comme du charbon, du sel, des céréales et de la pierre concassée, généralement entre les mois de mars et décembre³. En dehors de cette saison de navigation, le navire était mis en rade hivernale. Une partie de l'équipage restait à bord pendant au moins une partie de la période de rade hivernale pour effectuer des réparations sur la machinerie, la structure du navire et l'équipement de manutention des cargaisons et pour superviser les entrepreneurs. Les inspections de la société de classification et les inspections obligatoires, quant à elles, étaient normalement effectuées vers la fin de cette période.

Pendant la saison de navigation, les membres d'équipage du *Cuyahoga* travaillaient en se relayant toutes les 6 à 8 semaines environ. Le modèle de cabotage du navire suivait un horaire prévu entre divers ports des Grands Lacs. Pendant que le navire était en déplacement, l'équipage suivait des horaires de travail et de repos afin de veiller à l'entretien essentiel et à l'inspection de l'équipement avant les opérations de manutention des cargaisons au port. Les voyages duraient parfois aussi peu que 4 heures. Lorsque le navire était à quai, les opérations de manutention des cargaisons créaient des tâches supplémentaires pour l'équipage, comme le chargement et le déchargement du fret, le pompage du ballast, le repositionnement du navire et l'ajustement des amarres. Pendant ce temps, l'entretien et les inspections supplémentaires des machines nécessaires à la navigation étaient effectués régulièrement, tout comme les activités de planification de la navigation ainsi que la formation et la familiarisation des nouveaux membres d'équipage. Il y avait donc une augmentation marquée de la charge de travail de l'équipage pendant ces périodes intensives, ce qui perturbait invariablement les horaires de travail et de repos établis.

Les membres de l'industrie maritime reconnaissent qu'il faut plus de membres d'équipage lorsqu'un navire est exploité dans un environnement complexe, avec des escales fréquentes ou des estaries rapides dans les ports, et lorsque les navires plus anciens nécessitent davantage d'entretien⁴. L'équipage priorise les tâches pressantes, comme les tâches de navigation, les réparations nécessaires pour maintenir la navigabilité et les opérations de manutention des cargaisons. Étant donné que les voyages entre les ports des Grands Lacs sont souvent courts, le temps consacré aux opérations d'amarrage et de manutention des cargaisons sur ces navires est beaucoup plus long que sur les navires de haute mer. Le calendrier d'exploitation serré du *Cuyahoga* ne laissait que peu ou pas de temps à l'équipage

³ Après un autre incendie grave (événement de sécurité du transport maritime M24F0001), le *Cuyahoga* a été déclaré perte réputée totale.

⁴ Organisation maritime internationale, MSC 109/INF.3, *Study on the Effective Implementation of the International Safety Management (ISM) Code* (23 septembre 2024), p. 64.

pour rattraper son retard dans d'autres tâches, comme les inspections de routine ou la documentation des travaux d'entretien.

Sur le navire, les officiers et les membres d'équipage communiquaient régulièrement, et les officiers supérieurs communiquaient avec le personnel à terre au besoin.

1.8.1.1 **Fatigue liée au sommeil**

La fatigue liée au sommeil est largement répandue dans les opérations maritimes. Les conditions de sommeil à bord de vraquiers comme le *Cuyahoga* ne sont pas propices à un sommeil réparateur, en raison des courtes estaries qui interrompent les périodes de sommeil, du bruit et des vibrations provenant des machines de manutention des cargaisons et des conditions d'éclairage variables. Le risque de fatigue liée au sommeil est accru par les longs quarts de travail, les périodes de disponibilité et les possibilités ratées de dormir pendant les périodes de repos obligatoires pendant la journée. Puisqu'elle reconnaît les défis opérationnels qui en découlent, la compagnie a une politique sur la fatigue, une formation sur la gestion de la fatigue à l'intention des employés ainsi que des stratégies de gestion de la fatigue.

Le BST a effectué une analyse prédictive des horaires de travail et de repos⁵ pour les jours ayant précédé l'événement. Selon cette analyse, même si une certaine fatigue était probablement présente, rien ne prouve qu'elle ait indûment influé sur la performance de l'équipage.

1.8.2 **Opérations sur le pont**

L'équipage de pont conduisait le navire et faisait fonctionner les machines sur le pont. Il supervisait le chargement de la cargaison et faisait fonctionner les machines de déchargement de la cargaison. L'équipage de pont inspectait les machines de pont et de manutention des cargaisons, ainsi que l'équipement de sécurité, y compris les systèmes fixes d'extinction d'incendie, et il tenait des registres.

L'équipage de pont travaillait normalement selon un système à 3 quarts de travail (4 heures de travail, 8 heures de repos), en plus des heures supplémentaires nécessaires pour les manœuvres d'amarrage et le travail de manutention des cargaisons. Lors du voyage en question, il n'y avait pas de troisième officier à bord, de sorte que le premier officier et le second officier travaillaient selon un système à 2 quarts de travail (6 heures de travail, 6 heures de repos)⁶, en plus des heures supplémentaires requises.

⁵ TSB Guide to Investigating Sleep-Related Fatigue 2022: A Component of the TSB Operations Framework (document non publié).

⁶ On reconnaît que le travail par quarts de 6 heures de travail suivis de 6 heures de repos contribue à la fatigue; le temps de sommeil réparateur disponible pendant un quart de 6 heures est bien moindre que 6 heures, compte tenu de la nécessité de s'occuper de ses affaires personnelles ainsi que du bruit et des conditions à bord du navire. Pour cette raison, les quarts de 6 heures de travail suivis de 6 heures de repos ne sont plus une pratique courante dans l'industrie.

1.8.3 Opérations dans la salle des machines

L'équipage de la salle des machines assurait l'entretien de la propulsion et du reste de la machinerie opérationnelle, comme les bandes de convoyeurs et le reste de la machinerie servant à décharger la cargaison. De plus, l'équipage de la salle des machines tenait des registres, tant dans le système d'entretien planifié, pour la coordination avec le personnel technique à terre, que dans divers documents utilisés à bord, pour les relèves d'équipage afin de coordonner le travail entre eux.

L'équipage de la salle des machines travaillait selon un système à 3 quarts de travail (4 heures de travail, 8 heures de repos), plus 2 à 3 heures de temps supplémentaire la plupart des jours. Au moment de l'événement, le quatrième mécanicien n'avait pas encore satisfait aux exigences relatives à sa licence d'officier mécanicien de quart et était de quart tandis que le chef mécanicien était en disponibilité.

1.8.4 Opérations côtières

Le soutien à terre du *Cuyahoga* comprenait un gestionnaire de navires et une personne désignée ⁷, qui travaillaient ensemble pour coordonner les aspects techniques et sécuritaires.

Le gestionnaire de navires supervisait le *Cuyahoga* et 2 autres navires. Il était responsable de la conformité, de la surveillance technique et de la planification de l'entretien, et il était le principal point de contact en cas d'urgence. Le chef mécanicien et le capitaine collaboraient étroitement avec le gestionnaire de navires.

La personne désignée assure la liaison entre la compagnie et les personnes à bord des 6 navires appartenant à LLT. Les principales fonctions de la personne désignée consistent à agir comme premier point de contact en cas d'urgence et à coordonner les interventions, à surveiller les aspects liés à la sécurité et à la prévention de la pollution associés à l'exploitation de chaque navire et à veiller à ce que des ressources adéquates et un soutien à terre soient fournis.

1.8.5 Environnement opérationnel

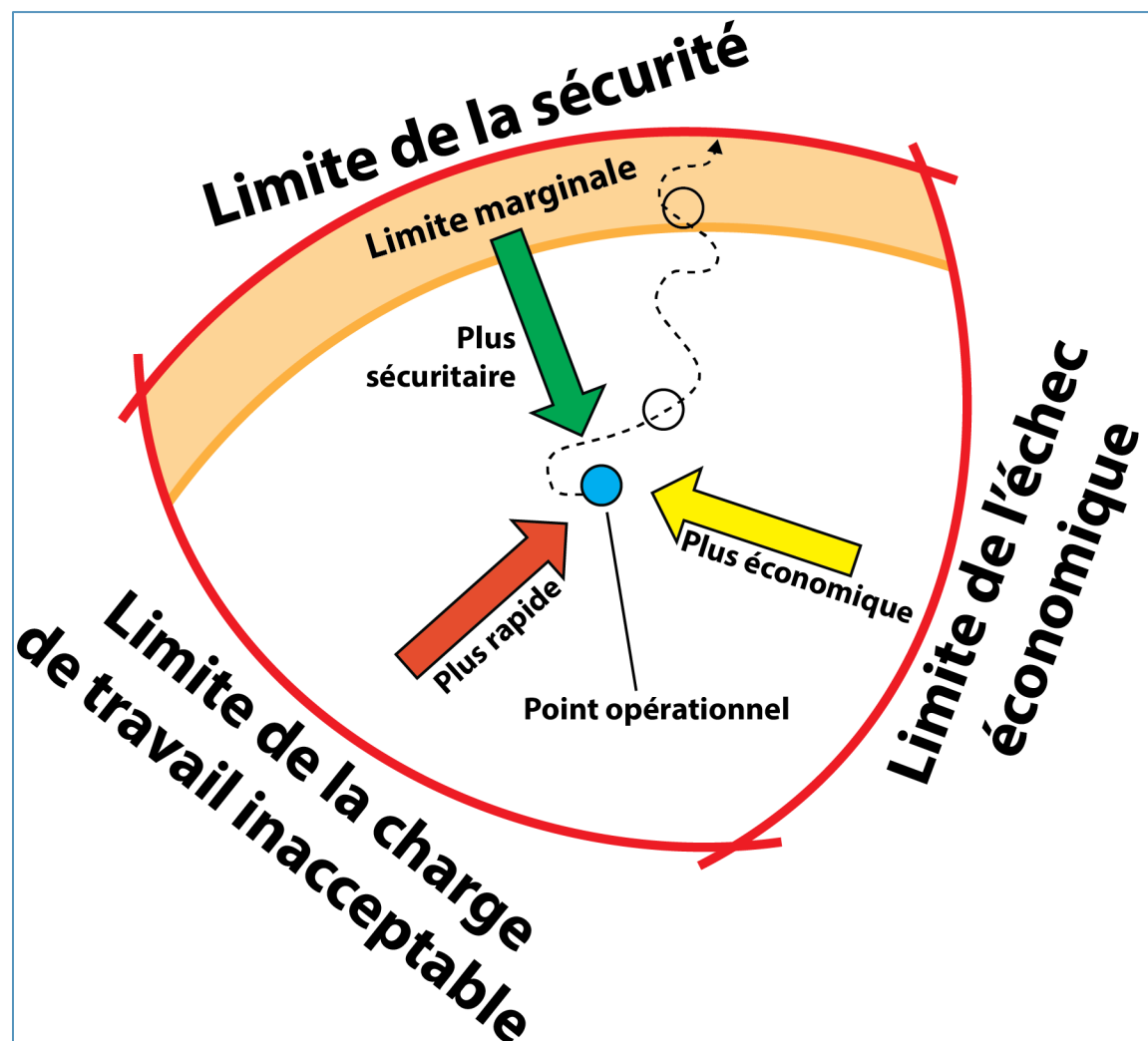
Le transport maritime évolue dans un environnement défini par une relation complexe entre la production et la sécurité. La production prévoit la livraison à temps de la cargaison, tandis que la sécurité prévoit les pratiques de travail sécuritaires⁸. Compte tenu des dangers inhérents à la production, les entreprises doivent trouver un équilibre entre l'impératif de la production et celui d'exercer leurs activités de façon sécuritaire, en étant conscientes des dangers et en gérant les risques de manière à les réduire au plus bas niveau raisonnablement possible.

⁷ Le Code ISM exige la présence d'une personne désignée (partie A, section 4).

⁸ J. Reason, *Managing the Risks of Organizational Accidents* (Routledge, 1997), p. 4 et 5.

Les navires de charge transportant des marchandises en vrac sur de courtes distances évoluent dans un environnement concurrentiel où les pressions à court terme sont élevées. Les recherches du BST ont démontré que, dans un environnement concurrentiel, le succès commercial découle en partie du fait que les activités sont exercées à la limite des pratiques habituellement acceptées⁹. Autrement dit, le succès dépend d'un compromis entre l'efficacité financière, les pressions liées à la charge de travail et la sécurité, ce qui peut nécessiter de simplifier les procédures, de travailler plus rapidement ou de réduire les coûts. L'interaction entre ces thèmes est représentée dans le modèle des limites d'exploitation (figure 4).

Figure 4. Le modèle des limites d'exploitation (Source : BST, adapté de S. Dekker, *Foundations of Safety Science* (2019), p. 254)



Les limites sont les suivantes :

- la limite de l'échec économique (au-delà de cette limite, les coûts financiers deviennent insoutenables);

- la limite de la charge de travail inacceptable (au-delà de cette limite, il manque de temps et de ressources);
- la limite de la sécurité (au-delà de cette limite, il y a préjudice potentiel pour les travailleurs, les passagers ou le public).

La limite marginale indique où la sécurité d'une exploitation commence à se dégrader. La marge de sécurité est la zone, à l'intérieur des limites d'exploitation sûre, entre la limite marginale et la limite de la sécurité.

Dans le modèle, le point opérationnel représente l'industrie maritime ou un exploitant particulier et est en mouvement constant. Les flèches à l'intérieur des limites représentent les pressions concurrentes qui rapprochent ou éloignent la performance organisationnelle de l'une des limites. Les adaptations apportées localement par des travailleurs particuliers, sous la pression associée à la charge de travail et aux contraintes financières, sont progressives et en grande partie invisibles pour les personnes. En l'absence d'une intervention, la performance organisationnelle dérive vers la limite marginale et peut finir par franchir la limite de sécurité. Si le point opérationnel traverse la limite marginale, la sécurité de l'activité diminue. Si le point opérationnel traverse la limite de sécurité, un accident ou un incident est plus susceptible de survenir.

1.9 Machine principale

La propulsion du *Cuyahoga* était assurée par un moteur turbodiesel Caterpillar 3608 DITA à 8 cylindres en ligne et à admission refroidie. Le moteur était couplé à un réducteur à l'aide d'un accouplement élastomérique et d'un embrayage pneumatique. Le réducteur entraînait un arbre porte-hélice simple et une hélice à pas variable.

Les vibrations sont inhérentes à tous les moteurs diesel en raison de la poussée en alternance créée par la combustion, des réactions de couple, du déplacement de la masse déséquilibrée des pièces tournantes, du jeu entre les pièces dû aux tolérances de fabrication et des impulsions de pression dans les conduites de carburant et d'échappement. Les systèmes de la machine principale du *Cuyahoga* affichaient les effets d'une vibration excessive du moteur.

1.9.1 Circuit carburant

Le moteur fonctionnait au carburant diesel marin. Ce carburant était fourni par le réservoir de jour situé à l'avant du moteur. Le circuit d'alimentation en carburant comprenait des filtres à carburant, une pompe d'appoint carburant unique entraînée par le moteur et montée sur celui-ci, des tuyaux d'alimentation et de retour rigides avec des raccords filetés montés sur le moteur, ainsi qu'un injecteur-pompe mécanique pour chaque cylindre. Les injecteurs-pompes mécaniques peuvent contribuer davantage aux vibrations que les injecteurs-pompes électroniques.

Le carburant fourni aux injecteurs assurait également le refroidissement. Le carburant excédentaire était retourné dans le réservoir de jour après avoir été refroidi par un échangeur thermique à plaques. Le BST a calculé qu'à la puissance maximale continue, le carburant pressurisé à 550 kPa s'écoulait vers les injecteurs à un débit d'environ 37 L/min, et que le carburant excédentaire était retourné dans le réservoir de jour à un débit de 27 L/min à 350 kPa. La température dans le collecteur de retour après les injecteurs et avant le refroidisseur était d'environ 91 °C.

Le réservoir de carburant journalier était installé plus bas que les collecteurs d'alimentation et de retour en carburant montés sur le moteur et reliés aux injecteurs.

1.9.1.1 Conduites d'injection de carburant et colliers de retenue

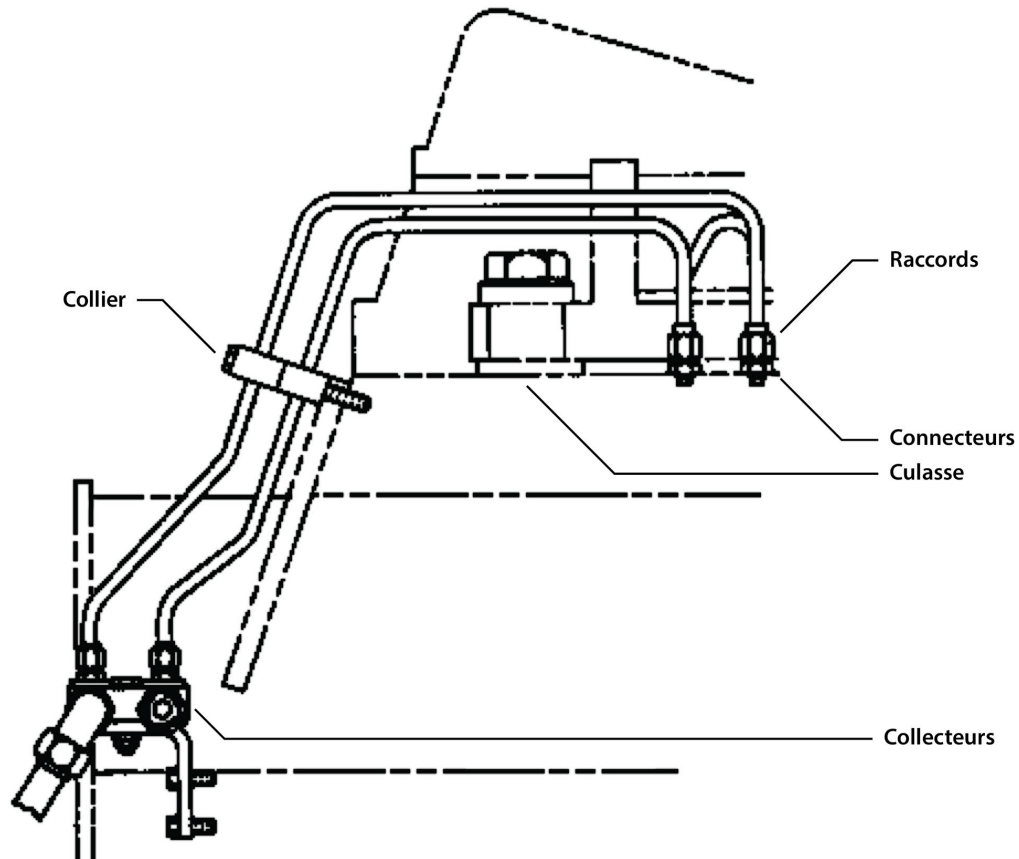
Les conduites d'injection utilisées pour l'alimentation en carburant et le retour de carburant qui étaient situées entre les collecteurs et les injecteurs étaient raccordées aux culasses (figure 5). Les conduites étaient des tubes en acier d'un diamètre de ½ pouce. Les conduites d'injection de carburant étaient composées d'un tube en acier -08 avec une extrémité plate en acier brasé, d'un raccord fileté 13/16-16 UNC (Unified National Coarse) et d'un raccord à joints faciaux toriques (ORFS)^{10, 11, 12}.

¹⁰ Organisation internationale de normalisation, ISO-8434-3 : 2005, *Raccordements de tubes métalliques pour transmissions hydrauliques et pneumatiques et applications générales — Partie 3 : Connecteurs à joints faciaux toriques* (édition 2, 2005).

¹¹ Organisation internationale de normalisation, ISO-6149-2:2006, *Raccordements pour transmissions hydrauliques et applications générales — Orifices et éléments mâles à filetage métrique ISO 261 et joint torique — Partie 2 : Dimensions, conception, méthodes d'essai et exigences des éléments mâles de série lourde (série S)* (édition 2, 2006).

¹² SAE International, Hydraulic Tube Fittings Committee, SAE J1453-3, *Specification for O-Ring Face Seal Connectors: Part 3 – Requirements, Dimensions, and Tests for Steel Unions, Bulkheads, Swivels, Braze Sleeves, Caps, and Connectors with SAE J1926-2 Inch Stud Ends* (révisé en août 2009).

Figure 5. Conduites d'alimentation en carburant et de retour de carburant montrant l'emplacement des colliers, des connecteurs et des raccords (Source : spécifications du fabricant, avec annotations du BST)



Les raccords ORFS offrent généralement des connexions fiables qui ne fuient pas. Toutefois, la séquence de serrage et la force de serrage entre les surfaces d'étanchéité des raccords sur les conduites d'injection de carburant sont essentielles pour garantir une étanchéité adéquate contre les fuites, et la majorité des fuites qui se produisent malgré tout sont attribuables à des raccords desserrés¹³. Les causes typiques des raccords desserrés sont les suivantes¹⁴ :

- une contrainte excessive causée par une séquence de serrage incorrecte;
- une utilisation incorrecte des outils;
- le non-respect du couple spécifié¹⁵;
- les vibrations.

¹³ SAE International, Hydraulic Tube Fittings Committee, SAE J2593-202201, *Information Report for the Installation of Fluid Conductors and Connectors* (21 janvier 2022).

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid.

Les fabricants fournissent souvent des spécifications générales de couple pour les raccords en fonction du type, de la taille et de l'application. Lorsque le couple est différent pour une application particulière, cela est précisé dans un bulletin technique distinct ou dans les procédures de démontage ou de remontage des raccords.

Afin de réduire les effets des vibrations sur les raccords de la conduite d'injection de carburant, des colliers de retenue fixent les conduites d'injection de carburant aux culasses, ce qui rend les conduites plus rigides et réduit les vibrations mécaniques des conduites d'injection de carburant.

Le BST a constaté que la conduite de retour d'injection de carburant du cylindre 7 était déconnectée, ce qui avait entraîné une pulvérisation de carburant diesel marin. Au moment de l'événement, tous les colliers de retenue des conduites d'injection de carburant étaient manquants (figures 6 et 7). L'enquête a permis de déterminer que les colliers de retenue avaient fort probablement été retirés en 2021, lorsque l'équipage avait remplacé les collecteurs d'alimentation en carburant et de retour de carburant.

Figure 6. Cylindres 2, 3 et 4 de la machine principale avant l'événement, les colliers de retenue (en gros plan) fixant les conduites d'injection de carburant (Source : Lower Lakes Towing Ltd.)

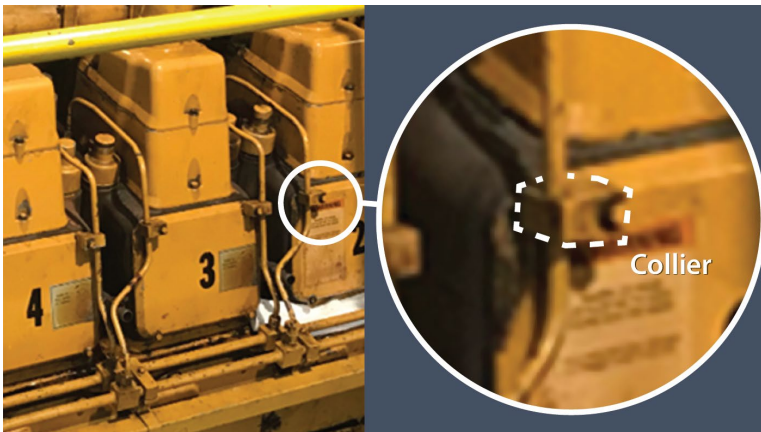
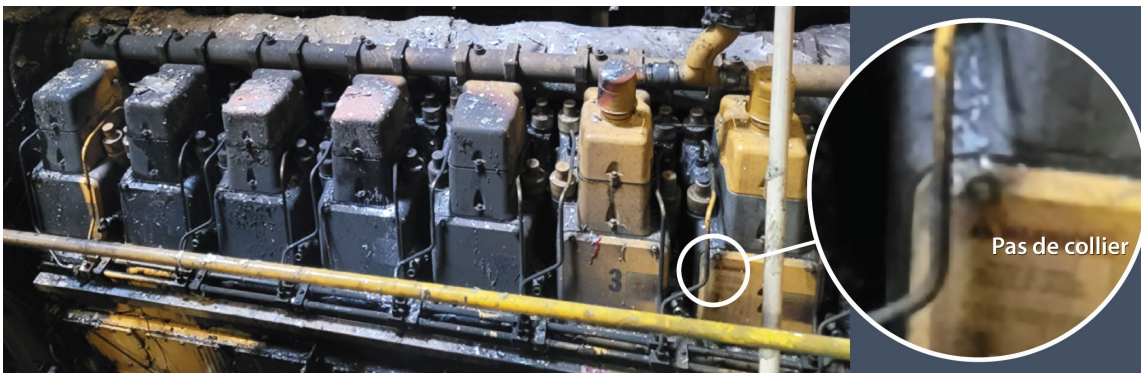


Figure 7. Machine principale après l'événement, montrant les conduites d'injection de carburant avec seulement des boulons à l'emplacement des colliers de retenue (1 en gros plan) (Source : BST)



L'enquête n'a pas permis de déterminer si les conduites d'injection de carburant avaient été remplacées depuis que le moteur avait été installé en 2000; l'usure présente à

l'emplacement des colliers de retenue indiquait que les conduites d'injection de carburant avaient été utilisées alors que les colliers étaient en place.

1.9.1.2 Entretien des conduites d'injection de carburant

Après le remplacement des collecteurs d'alimentation en carburant et de retour de carburant, effectué en 2021, on a signalé plusieurs cas où des fuites observables s'étaient formées sur les raccords de la conduite d'injection de carburant (tableau 2). Chaque fois que des fuites étaient observées, l'équipage retirait les conduites d'injection de carburant pour inspecter et remplacer les joints toriques, puis réinstallait les conduites. Pendant l'enquête, le personnel du laboratoire du BST a examiné la conduite de retour d'injection de carburant n° 7 qui s'était déconnectée et a déterminé que sa connexion présentait une fuite visible lorsqu'elle n'était serrée qu'à la force des doigts.

Tableau 2. Problèmes liés aux conduites d'injection de carburant et aux collecteurs et travaux d'entretien consignés dans les registres de la salle des machines

Date	Mesure
2020-04-28	L'équipage a remarqué une fissure sur le collecteur d'alimentation en carburant de la machine principale. Il a retiré et réparé temporairement les collecteurs d'alimentation et de retour, puis a commandé des pièces de rechange auprès du fabricant du moteur. La cause de la fissure a été attribuée aux vibrations excessives.
2021-01-24	Les collecteurs d'alimentation en carburant et de retour de carburant de remplacement ont été reçus et remplacés par l'équipage. Les points de raccord des conduites d'injection de carburant ont probablement bougé lorsque les nouveaux connecteurs ont été installés. Afin de protéger les pièces contre les effets des vibrations, des morceaux de toile de protection ont été insérés entre les tuyaux des collecteurs et les colliers qui les fixaient.
2021-08-26	L'équipage a relevé une fuite de carburant sur une conduite d'injection de carburant du cylindre n° 2. La fuite a été réparée en resserrant le raccord.
2021-10-23	L'équipage a relevé une fuite de carburant sur une conduite d'injection de carburant du cylindre n° 2. La fuite a été réparée en resserrant le raccord. Par mesure de précaution, l'équipage a resserré tous les raccords de la conduite d'injection de carburant.
2021-10-25	L'équipage a relevé une fuite de carburant sur une conduite d'injection de carburant du cylindre n° 2. La fuite a été réparée en resserrant le raccord.
2022-01-03	L'équipage a constaté que les conduites d'injection de carburant du cylindre n° 6 avaient été resserrées afin de corriger des fuites à une date indéterminée en décembre 2021.
2022-08-01	L'équipage a relevé une fuite de carburant sur une conduite d'injection du cylindre n° 6. Il a retiré toutes les conduites d'injection de carburant pour les inspecter, puis les a réinstallées avec de nouveaux joints toriques.
2023-04-16	L'équipage a relevé des fuites de carburant sur les conduites d'injection de carburant des cylindres n° 7 et n° 8. Il a retiré les conduites d'injection de carburant pour les inspecter, puis les a réinstallées avec de nouveaux joints toriques.
2023-05-05	L'équipage a relevé une fuite de carburant sur une conduite d'injection de carburant du cylindre n° 4. Il a retiré les conduites d'injection de carburant pour les inspecter, puis les a réinstallées avec de nouveaux joints toriques.
2023-05-21	L'équipage a relevé une fuite de carburant sur une conduite d'injection du cylindre n° 6. Il a retiré les conduites d'injection de carburant du cylindre n° 6 pour les inspecter, puis les a réinstallées avec de nouveaux joints toriques. Par mesure de précaution, l'équipage

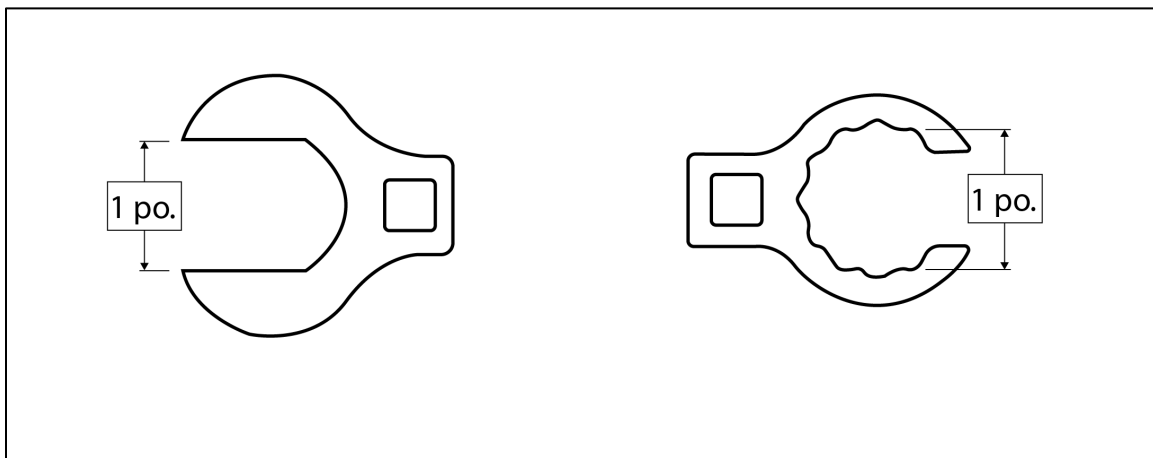
	a ensuite vérifié le couple de serrage des raccords sur toutes les autres conduites d'injection de carburant.
--	---

1.9.1.3 Installation des conduites d'injection de carburant

L'emplacement des raccords des conduites d'injection de carburant entre les culasses était difficile d'accès, tant pour l'installation que pour les inspections et l'entretien en service. Pendant le fonctionnement, la température à la surface des composants du moteur variait entre 60 °C et 80 °C, et il fallait porter des gants pour toucher les composants. Pour atteindre les raccords, un membre d'équipage devait se tenir debout sur une échelle, puis lever les bras et les tendre complètement. Il était donc physiquement difficile d'utiliser les outils nécessaires, et les membres d'équipage pouvaient difficilement voir ce qu'ils faisaient.

Les raccords nécessitaient l'utilisation d'un embout de clé plate à l'extrémité d'une rallonge de clé à cliquet d'environ 30 cm de long, qui est reliée à une clé dynamométrique. Les instructions d'installation et d'entretien du fabricant indiquent qu'il faut utiliser un embout de clé polygonale à tête fendue (figure 8, à droite) et que tout le couple spécifié doit être appliqué à chaque raccord en une seule étape. Dans l'événement à l'étude, l'équipage a utilisé l'embout de clé ouverte (figure 8, à gauche) dont il disposait à bord du navire et a serré les raccords en plusieurs étapes. Le serrage en plusieurs étapes des boulons d'une bride de raccordement permet de maintenir les positions relatives pendant le processus et garantit que le joint d'étanchéité est scellé. Pour des raccords comme ceux utilisés sur les conduites d'injection de carburant, le couplage en plusieurs étapes n'est pas nécessaire.

Figure 8. Embouts de clé. Un embout de clé polygonale à tête fendue (à droite) offre un meilleur ajustement qu'un embout de clé ouverte (à gauche) pour appliquer le bon couple (Source : BST)



1.9.2 Disposition de montage du moteur

Le moteur était fixé à la plaque de fondation par 4 supports, avec des cales en époxy moulé séparant chaque support de la plaque de fondation afin de maintenir l'alignement vertical du moteur par rapport au réducteur. Pour garantir le maintien de l'alignement et empêcher tout déplacement relatif entre un support du moteur et la plaque de fondation, les cales doivent maintenir un contact entre la surface du support et celle de la plaque de fondation. Les supports avant étaient fixés à la plaque de fondation à l'aide d'un boulon calibré et d'un

boulon avec ajustement libre. Le boulon calibré contrôlait l'alignement angulaire horizontal entre le moteur et le réducteur, tandis que le boulon avec ajustement libre fournissait la force de serrage nécessaire pour maintenir le moteur en place. Les supports arrière étaient fixés à la plaque de fondation à l'aide de 2 boulons de dégagement. Les instructions du fabricant indiquent qu'un mauvais montage entraîne une augmentation des niveaux de vibration, et que ces niveaux augmentent avec des charges du moteur plus élevées.

En 2020, le réducteur a été retiré de la salle des machines du *Cuyahoga* pour être réparé, puis a été réinstallé pendant la rade hivernale. L'alignement entre le moteur et la boîte d'engrenages était en dehors de la tolérance maximale de désalignement vertical et angulaire spécifiée par le fabricant de l'accouplement. Pendant la période de rade hivernale de 2021, le moteur a été réaligné par rapport à la boîte d'engrenages afin de corriger le désalignement. Les cales en époxy du moteur ont été recoulées pendant le réalignement. Pendant l'examen de la disposition de montage par le BST, des fissures ont été relevées dans 2 cales (figures 9, 10 et 11). La présence d'huile et de débris dans les fissures indiquait que celles-ci étaient antérieures à l'événement.

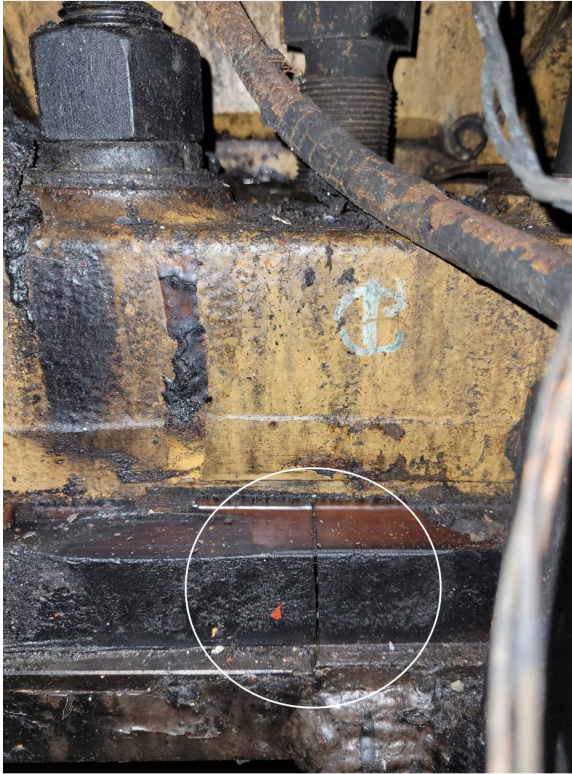
Figure 9. Photo en gros plan du support du moteur, montrant une fissure sur le support du moteur avant bâbord près des écrous (Source : BST)



Figure 10. Photo en gros plan du support du moteur, montrant une deuxième fissure sur le support du moteur avant bâbord près des boulons (Source : BST)



Figure 11. Photo en gros plan du support du moteur, montrant une fissure sur le support du moteur arrière bâbord près des boulons (Source : BST)



Toutes les 900 heures de fonctionnement du moteur, le système d'entretien planifié du *Cuyahoga* générant une tâche d'entretien qui comprenait une vérification du serrage des boulons de fondation. Cette tâche ne comprenait aucune instruction concernant l'inspection des supports du moteur ou des cales en époxy pour détecter les dommages, non plus qu'elle n'indiquait le couple de serrage des boulons. Lorsque cette tâche a été exécutée pour la dernière fois, le jour de l'événement, les fissures présentes dans les cales en époxy n'ont pas été consignées.

1.9.3 Mises à jour des documents techniques

Le fabricant du moteur publie les mises à jour de ses documents techniques moyennant un abonnement annuel. En 1999, le fabricant a publié un bulletin technique¹⁶ rappelant aux utilisateurs d'utiliser l'outillage et le couple appropriés pendant l'entretien des conduites d'injection de carburant sur les moteurs de la série 3600. Le document indiquait le couple d'origine de 45 newtons-mètres pour le raccord ORFS de taille 13/16-16. En 2020, le fabricant a mis à jour ses spécifications générales de couple pour tous les raccords ORFS utilisés sur ses produits, augmentant à 65 newtons-mètres le couple pour cette taille de

¹⁶ Caterpillar Inc., *Use Proper Tooling and Torque When Servicing Fuel Injection Lines* {1252, 1380} (SEB9278-00) (1999, révisé le 9 avril 2019).

raccord. Par la suite, le fabricant a regroupé les références aux valeurs de couple dans les spécifications générales de couple.

LLT a reçu certaines des mises à jour des documents du fabricant par l'entremise de fournisseurs de services autorisés lorsque ceux-ci étaient à bord du navire pour effectuer l'entretien du moteur. Le personnel de gestion technique de LLT connaissait l'existence du service à abonnement payant du fabricant, mais s'attendait à ce que les fournisseurs de services autorisés communiquent gratuitement les mises à jour à LLT dès qu'elles étaient disponibles. Au moment de l'événement, les documents à bord du navire comprenaient les copies papier originales du manuel et des bulletins techniques qui précisaient le couple initial de 45 newtons-mètres¹⁷.

1.9.4 Protection antipulvérisation pour les circuits de carburant

Les exigences de la *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer* (Convention SOLAS) relatives à la protection antipulvérisation pour les circuits de carburant sont entrées en vigueur en 1998, mais elles pouvaient être interprétées de différentes façons. En 2003, l'Organisation maritime internationale (OMI) a publié une circulaire stipulant que tous les navires devaient se conformer au règlement avant le 1^{er} juillet 2003 et apporter les éclaircissements suivants sur les règles :

Les protections antipulvérisation devraient être placées autour des raccords à brides, des capuchons à brides et autres joints à brides ou filetés des circuits de tuyautages de combustible liquide sous une pression dépassant 0,18 N/mm² [newtons par millimètre carré] qui sont situés au-dessus ou à proximité d'éléments dont la température est élevée, notamment les chaudières, circuits de vapeur, collecteurs d'échappement, silencieux ou autres appareils qui doivent être isolés en vertu de la règle II-2/15.2.10 de la Convention SOLAS¹⁸.

En réaction, le fabricant a mis au point des protections pour les raccords de la conduite d'injection de carburant qui doivent être installées sur les collecteurs et sur les culasses des moteurs de la série 3600. Le fabricant a également recommandé l'utilisation d'un ruban adhésif métallique approuvé pour la classification sur tous les raccords des conduites de carburant et d'huile.

Lorsque le moteur du *Cuyahoga* a été installé en 2000, les protections destinées aux raccords des conduites d'injection de carburant n'ont pas été installées. À l'époque, le *Règlement sur les machines de navires*¹⁹ s'appliquait et n'exigeait pas de protection antipulvérisation pour les circuits de carburant.

¹⁷ Caterpillar Inc., *3600 Diesel Service Pocket Guide* (octobre 1999), p. 183.

¹⁸ Organisation maritime internationale, MSC/Circ.1083, *Interprétation uniforme de la Règle II-2/15.2.11 de la Convention SOLAS* [Sauvetage de la vie humaine en mer] en vigueur avant le 1^{er} juillet 2002 (13 juin 2003).

¹⁹ Transports Canada, DORS/90-264, *Règlement sur les machines de navires* (tel que modifié le 23 juin 2021). Le *Règlement sur la construction et l'équipement des navires* (DORS/2023-257) exige maintenant que les navires de charge se conforment aux exigences de la Convention SOLAS.

1.9.5 État et installation de l'isolation du système d'échappement

Le *Règlement sur la sécurité contre l'incendie des bâtiments* incorpore par renvoi les exigences de la Convention SOLAS. La règle 4 de la Convention SOLAS exige que les surfaces de plus de 220 °C soient « convenablement isolées »²⁰. Les normes associées à la Convention SOLAS précisent les exigences relatives à la performance des matériaux; il n'y a pas de directive ou d'exigence particulière concernant l'installation à l'intention de l'équipage ou des inspecteurs, et l'expression « convenablement isolées » n'est pas définie. Étant donné que de nombreuses industries utilisent de l'isolation, les normes et pratiques provenant d'autres secteurs que celui de la marine peuvent également s'appliquer.

Sur le *Cuyahoga*, lorsque la machine principale fonctionnait à pleine charge, la température des gaz d'échappement avant leur entrée dans le turbocompresseur était typiquement de 520 °C, et la température des gaz d'échappement après leur sortie du turbocompresseur était typiquement de 350 °C. Le turbocompresseur du moteur était logé dans un boîtier métallique isolé. Le soufflet et le raccordement du turbocompresseur étaient recouverts de matelas d'isolation amovibles. Le matériau isolant intérieur était un composite de fibre de verre aluminé et de laine de fibre composée de calcium, de magnésium et de silice, maintenu en place par un treillis en acier inoxydable. La surface extérieure était constituée d'un matériau en fibre de verre imprégné de silicone qui servait de barrière contre les liquides. Les matelas étaient fixés à l'aide d'un fil métallique enroulé autour de languettes rivetées dans les matelas. Pour s'assurer que l'isolant agit efficacement comme une barrière, il faut éliminer autant que possible les espaces et les joints; si des espaces ou des joints sont présents, ils doivent être orientés à l'écart des liquides qui pourraient être pulvérisés.

Lors de l'examen de l'isolation par le BST (figures 12 et 13), on a relevé ce qui suit :

- Des entailles d'usure étaient présentes dans le bord inférieur du revêtement calorifuge recouvrant le soufflet, là où se trouvaient auparavant des supports. Ces entailles formaient des ouvertures qui exposaient la tuyauterie des gaz d'échappement.
- Des espaces entre les sections de revêtement calorifuge et l'isolation recouverte de tôle laissaient la tuyauterie exposée.
- Les brides de la tuyauterie des gaz d'échappement entre le réducteur, le soufflet d'expansion et la section de tuyautage principale n'étaient pas recouvertes.
- Des espaces avaient été ménagés pour les capteurs de température du turbocompresseur.
- Le revêtement calorifuge recouvrant l'ouverture dans le boîtier du turbocompresseur pour la tuyauterie du collecteur du moteur était mal ajusté.

²⁰ Organisation maritime internationale, *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), 1974*, telle que modifiée en 2016, chapitre II-2, règle 4, article 2.2.6 : Protection des surfaces à température élevée.

Le BST n'a trouvé aucun dossier d'entretien ou d'inspection ni aucun rapport faisant état de défaillances liées à l'état de l'isolation thermique des gaz d'échappement du tuyau de sortie du turbocompresseur de la machine principale et du soufflet d'expansion.

Les sections d'isolant recouvrant la sortie du turbocompresseur étaient en service depuis plusieurs années, elles étaient parfois retirées et remplacées pendant l'entretien du moteur, et elles s'étaient détériorées avec le temps.

Figure 12. Vue de profil de l'isolation du turbocompresseur montrant les espaces laissés par l'installation de l'isolant sur la sortie du turbocompresseur (Source : BST)



Figure 13. Isolation du turbocompresseur montrant une encoche laissée par l'installation de l'isolant sur la sortie du turbocompresseur (Source : BST)



1.9.6 Système de commande à distance

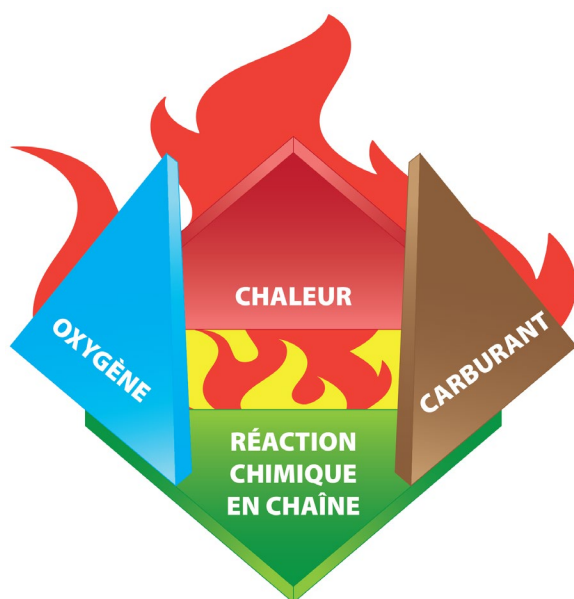
La vitesse de la machine principale et le pas de l'hélice pouvaient être commandés à partir de la passerelle à l'aide du système de la commande moteur. Le système sur la passerelle comprenait un bouton de débrayage d'urgence qui permettait de désengager l'arbre d'hélice du moteur en cas d'urgence. La réglementation en vigueur exige également une commande

d'arrêt à distance du moteur sur la passerelle²¹. Cette exigence n'était pas en vigueur lorsque le moteur du *Cuyahoga* a été installé; ainsi, le seul moyen d'arrêter le moteur à l'extérieur de la salle des machines était d'utiliser la vanne de carburant à fermeture rapide du réservoir de jour de la machine principale. Dans l'événement à l'étude, le moteur a continué de tourner. Il s'est arrêté soit parce qu'il avait épuisé le carburant dans la conduite d'alimentation reliant le réservoir de jour au moteur, soit à cause des dommages causés au moteur par l'incendie.

1.10 Incendies dans la salle des machines

Le feu est une réaction chimique exothermique au cours de laquelle un combustible s'oxyde rapidement. Pour continuer à brûler, le feu a besoin d'un combustible, d'un agent oxydant (l'air) et d'une réaction chimique en chaîne continue (figure 14).

Figure 14. Le tétraèdre du feu : le combustible, la chaleur, l'air et une réaction chimique en chaîne (Source : BST)



Un incendie grave à bord d'un navire est un incendie qui :

- génère de grandes quantités de chaleur et de fumée à l'intérieur d'un navire;
- se trouve dans un endroit difficile d'accès;
- peut se propager rapidement;

²¹ Le *Règlement sur la construction et l'équipement des navires* (Transports Canada, DORS 2023-257, Partie 1, Construction — structure, compartimentage et stabilité, machines et installations électriques, article 100) incorpore par renvoi des dispositions réglementaires relatives à la Convention SOLAS. Les dispositions réglementaires de la Convention SOLAS (Organisation maritime internationale, *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer* (1974) [Convention SOLAS], 1974, telle que modifiée en 2016, chapitre II-1 : Construction — structure, compartimentage et stabilité, machines et installations électriques, règle 31 : Commandes des machines, paragraphe 2.3) stipule que « [l']appareil propulsif principal doit être muni, sur la passerelle de navigation, d'un dispositif qui permette d'arrêter la machine en cas d'urgence et qui soit indépendant du système de commande à partir de la passerelle de navigation. »

- peut avoir d'autres conséquences, comme une explosion ou un envahissement par les eaux.

En règle générale, l'équipage d'un navire doit lutter lui-même contre l'incendie, car il est souvent impossible d'obtenir de l'aide en raison de l'emplacement du navire ou de la nature spécialisée de la lutte contre les incendies en mer. Lorsque l'incendie se déclare dans la salle des machines, une importante charge de combustible est à sa disposition : le carburant moteur, les liquides hydrauliques, les huiles, l'équipement de nettoyage, les outils électriques, le carton et d'autres matériaux inflammables.

Des recherches ont démontré qu'à l'échelle mondiale, environ 60 % des incendies à bord des navires prennent naissance dans la salle des machines et que plus de $\frac{2}{3}$ de ces incendies ont le mazout comme principal combustible²². Les fuites dues à des défaillances du circuit de carburant attribuables aux vibrations et à des erreurs de remontage des composants des conduites de carburant, comme les conduites d'injection de carburant, et de l'isolation des surfaces chaudes, sont d'importantes sources de combustibles²³.

Dans l'événement à l'étude, l'incendie s'est propagé rapidement : les flammes étaient d'une hauteur d'environ 4 pieds lorsque l'incendie a été détecté et, dans le temps où le quatrième mécanicien s'est déplacé entre le pont principal et le pont de travail, elles ont atteint une hauteur de près de 40 pieds.

1.10.1 Carburant et chaleur

Que la source de combustible soit solide, liquide ou gazeuse, seules les vapeurs brûlent; autrement dit, pour brûler, les solides et les liquides doivent être chauffés à des températures qui leur font émettre des vapeurs. La température à laquelle un matériau émet suffisamment de vapeur pour s'enflammer momentanément dans l'air en présence d'une source d'allumage est appelée son point d'éclair.

La température à laquelle aucune source d'allumage n'est nécessaire pour la combustion est la température d'autoallumage d'un matériau. Si la température de la vapeur d'un matériau inflammable dépasse sa température d'autoallumage, un allumage par surface chaude peut se produire²⁴.

²² Gard AS, « Engine room fires are still a major concern » (13 février 2025), à l'adresse <https://www.gard.no/insights/engine-room-fires-are-still-a-major-concern/> (dernière consultation le 16 juillet 2025).

²³ A. Charchalis et S. Czyż, « Analysis of fire hazard and safety requirements of a [sic] sea vessel engine rooms », *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 18, n° 2 (2011), à l'adresse <https://kones.eu/ep/2011/vol18/no2/6.pdf> (dernière consultation le 16 juillet 2025).

²⁴ La géométrie de la surface et la circulation d'air près de la surface sont également des facteurs (Source : V. Babrauskas, « Ignition of gases, vapors, and liquids by hot surfaces », *Fire Technology*, vol. 58, n° 2 [2022], p. 281 à 310).

Le point d'éclair du carburant diesel marin utilisé par le *Cuyahoga* était de 76 °C²⁵, et la température d'autoallumage typique du carburant diesel marin est d'environ 250 °C²⁶.

1.10.2 Effets de la ventilation dans un incendie de compartiment

Les chemins de propagation des flammes et de la chaleur commencent et se terminent dans les orifices de ventilation. Au premier stade d'un incendie dans un grand compartiment, l'intensité du feu est déterminée par la quantité de combustible disponible. Les gaz chauds créés par le feu montent et circulent, et la couche qui se forme irradie de la chaleur. En fonction du niveau de ventilation et de la quantité de chaleur qui rayonne, d'autres matériaux inflammables peuvent s'enflammer. Lorsque cela se produit, le feu se propage à tout le compartiment, ce qui intensifie l'incendie et accroît le risque qu'il se propage à d'autres compartiments par conduction de la chaleur.

L'intensité d'un incendie aux stades ultérieurs dépend surtout de la quantité d'oxygène disponible. Si un compartiment est étanche, l'incendie peut s'éteindre lorsque tout l'oxygène disponible a été consommé.

1.10.3 Lignes directrices en matière de prévention des incendies de salle des machines

Le chapitre II-2 de la Convention SOLAS contient des règles destinées à réduire la probabilité d'allumage en confinant les pulvérisations de carburant et en empêchant tout contact avec des surfaces dont la température dépasse 220 °C. Pour ce faire, il faut protéger les raccords des conduites de carburant à basse pression, confiner les fuites et isoler les surfaces chaudes.

En 2000, Transports Canada (TC) a diffusé un Bulletin de la sécurité des navires²⁷ destiné à rappeler aux marins les risques d'incendie que présentent les circuits de tuyautage du carburant et de l'huile. Le bulletin indiquait les zones auxquelles accorder son attention, mais il fournissait peu de directives précises à l'intention des propriétaires ou des équipages.

En 2009, l'OMI a publié une circulaire²⁸ décrivant des mesures visant à prévenir les incendies dans la salle des machines et présentant des lignes directrices spécifiques relatives à la maintenance et à la conception des salles des machines en ce qui concerne la prévention des incendies. L'OMI a distribué la circulaire auprès des administrations de l'État du pavillon, y compris le Canada, afin que l'information soit transmise de manière

²⁵ Sterling Fuels, Product loading ticket (16 mai 2023).

²⁶ W. Tang, D. Bahrami, L. Yuan et al., « Hot surface ignition of liquid fuels under ventilation », *Mining, Metallurgy & Exploration*, vol. 39 (2022), p. 961 à 968.

²⁷ Transports Canada, Bulletin de la sécurité des navires 08/2000 : Précautions à prendre contre les risques d'incendie associés au mazout, à l'huile de graissage, aux tuyaux et aux raccords (22 juin 2000).

²⁸ Organisation maritime internationale, MSC.1/Circ.1321, *Directives sur les mesures visant à prévenir les incendies dans la chambre des machines et la chambre des pompes à cargaison* (11 juin 2009).

généralisée aux propriétaires, exploitants, constructeurs et concepteurs de navires et à d'autres parties intéressées. Ces renseignements n'ont pas été diffusés par l'intermédiaire du système de bulletins de la sécurité des navires de TC, puisque TC a déterminé qu'ils ne s'appliquaient pas aux navires non visés par la Convention SOLAS.

Entre autres choses, les directives de l'OMI précisent ce qui suit :

- les causes des défaillances du circuit de carburant;
- les éléments à prendre en considération pour la conception et l'installation des circuits de tuyautages;
- les méthodes de protection des joints des circuits de tuyautages;
- les éléments à prendre en considération pour la conception et l'installation de l'isolation des surfaces chaudes.

Par exemple, des lignes directrices sont fournies pour garantir que les brides et les joints de dilatation des tuyaux sont complètement isolés.

En 2021, l'Association internationale des sociétés de classification (IACS) a fourni aux sociétés de classification des lignes directrices sur les mesures à prendre pour prévenir les incendies dans la salle des machines. Les lignes directrices de l'IACS soulignent l'expérience des sociétés de classification et visent à sensibiliser les propriétaires en faisant référence à la circulaire de l'OMI²⁹.

Au Canada, le *Règlement sur la sécurité contre l'incendie des bâtiments* exige que des mesures soient prises pour empêcher le contact entre le pétrole et les surfaces chauffées. Les exigences réglementaires canadiennes existantes ne fournissent que des lignes directrices qualitatives. Le *Cuyahoga* était tenu d'isoler les surfaces dont la température dépassait 220 °C.

1.11 Protection contre l'incendie dans les espaces de machinerie

Compte tenu des risques d'incendie, les navires doivent répondre à des exigences en matière de protection structurale contre l'incendie. Les navires comme le *Cuyahoga* doivent également être équipés de systèmes fixes d'extinction d'incendie et d'autres dispositifs de lutte contre l'incendie, comme des combinaisons de pompier et des pompes à incendie³⁰.

Les principes de base à suivre pour établir les exigences en matière de sécurité contre l'incendie dans les espaces de machinerie sont les suivants :

- limitation du contact entre les matériaux inflammables et les surfaces chaudes;
- détection des incendies;
- confinement des incendies;

²⁹ Association internationale des sociétés de classification, IACS Rec. 1999/Rev.2 2021, No. 58, *Fire Protection of Machinery Spaces*.

³⁰ Transports Canada, DORS/2017-14, *Règlement sur la sécurité contre l'incendie des bâtiments* (tel que modifié le 23 novembre 2022).

- mise en place de moyens de lutte et d'extinction;
- mise en place de moyens d'évacuation.

1.11.1 Ventilation

Les espaces de machinerie sont ventilés afin d'assurer l'apport d'air frais et l'évacuation des fumées et de la chaleur excessive. Sur le *Cuyahoga*, les prises d'admission d'air et d'évacuation d'air étaient situées sur le pont des embarcations, à l'arrière de la claire-voie, et étaient munies de volets pour isoler la salle des machines en cas d'incendie.

1.11.2 Hublots et portes coupe-feu

Dans la salle des machines, à l'étage du pont principal, il y avait 17 hublots qui s'ouvraient de l'intérieur. Chaque hublot était muni d'un couvercle à charnières en acier moulé destiné à empêcher l'infiltration d'eau par gros temps si la vitre du hublot se brisait.

Avant que l'incendie se déclare, 3 des hublots de la salle des machines principales avaient été bloqués en position ouverte afin d'améliorer la circulation de l'air. Les portes coupe-feu situées entre la chaufferie, la salle des machines principales et la salle de la génératrice de secours étaient également bloquées en position ouverte; les portes coupe-feu doivent être maintenues fermées lorsque le navire est en déplacement. Après que les espaces de machinerie ont été évacués, il n'y avait aucun moyen de fermer les hublots ou les portes coupe-feu de l'extérieur de la salle, car on ne disposait d'aucun dispositif de fermeture à distance.

1.11.3 Écouteille de la claire-voie

L'écouteille de la claire-voie servait à faire entrer et sortir de l'équipement et du matériel de la salle des machines principales (figure 15). L'écouteille était souvent laissée ouverte pour améliorer la circulation de l'air dans la salle des machines principales.

Figure 15. Écoutille de claire-voie et treuil (encerclé) (Source : BST)



L'écoute de la claire-voie était ouverte et fermée à l'aide d'un treuil à commande électrique. Normalement, ce treuil était commandé à distance à partir de la salle des machines, mais il pouvait aussi être ouvert et fermé localement à l'aide d'une manivelle.

Les normes électriques maritimes³¹ applicables aux navires comme le *Cuyahoga* exigent l'utilisation de câbles électriques qui répondent à des exigences minimales en matière de résistance au feu et aux flammes. Au Canada, les câbles à usage maritime doivent être conformes aux normes énoncées dans le document TP 127 de Transports Canada, *Normes*

³¹ Pour les normes applicables, voir Transports Canada, TP 13585, Volet I – Politiques, *Acceptation de câble électrique marin*.

d'électricité régissant les navires (2018). Une protection supplémentaire est assurée en faisant cheminer les câbles électriques exposés dans des conduits métalliques. Le câble électrique de la télécommande n'était pas approuvé pour usage maritime et n'offrait pas la résistance au feu requise. Entre l'étage du pont de travail et la claire-voie, environ 10 m de câble étaient disposés verticalement à l'intérieur de l'encaissement de la salle des machines, sans aucune protection mécanique comme un conduit métallique. La partie exposée du câble a été détruite dans l'incendie, et l'isolant situé derrière elle a été endommagé.

Le commutateur qui se trouvait dans la salle des machines était inaccessible une fois que la salle avait été évacuée. À partir du pont des embarcations, le chef mécanicien et le quatrième mécanicien ont constaté que l'écouille s'ouvrait plus grand à la 1^{re} tentative pour la fermer. Il est probable qu'un court-circuit temporaire se soit produit en raison de la dégradation thermique de l'enveloppe isolante, ce qui aurait mis sous tension le contacteur du moteur du treuil.

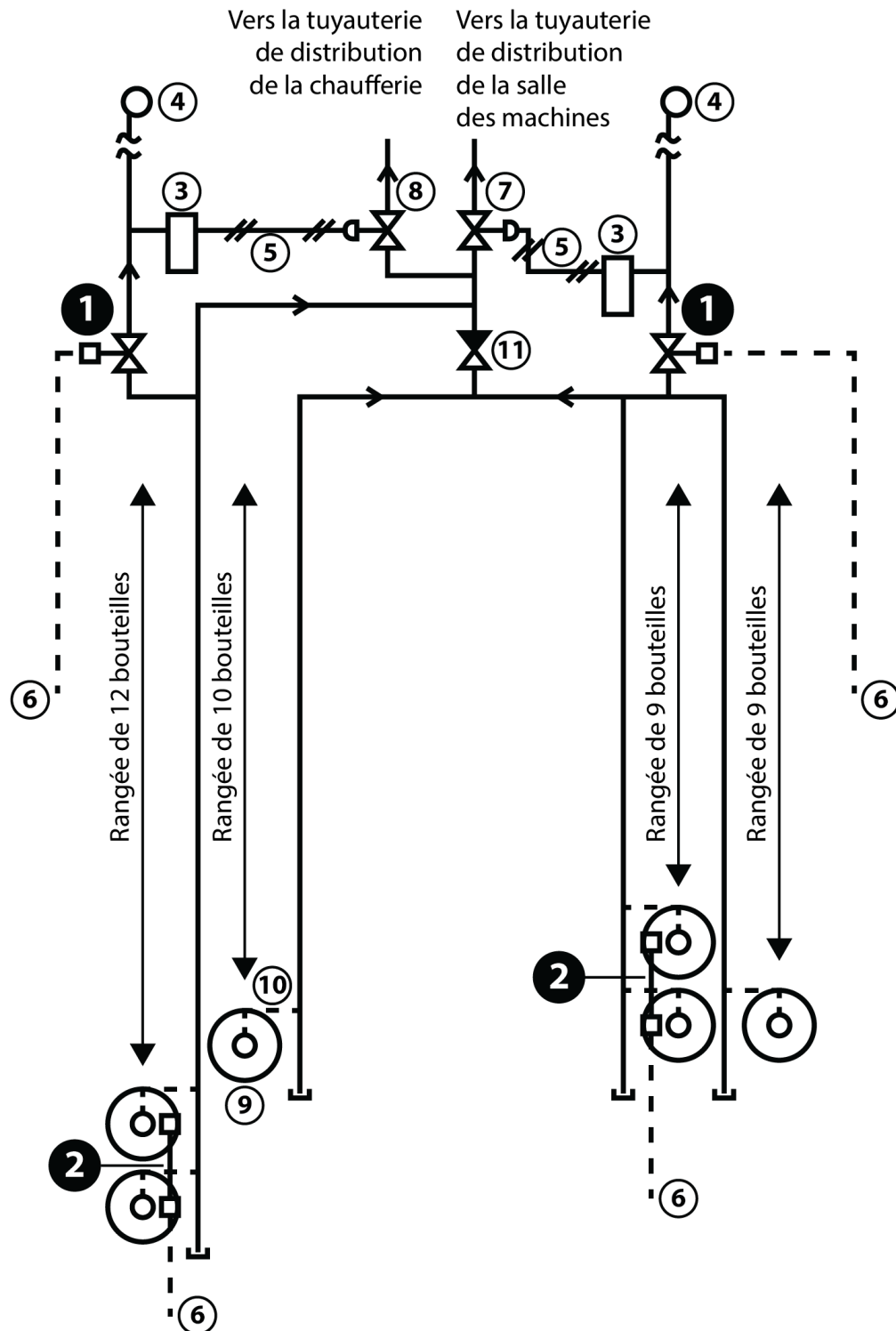
La chaleur et la fumée provenant de l'écouille de la claire-voie et la température de la structure en acier environnante ont tout d'abord empêché l'équipage de s'approcher du treuil pour utiliser la manivelle afin de fermer l'écouille. De même, l'équipage a été incapable de s'approcher des volets du ventilateur de la salle des machines.

En conséquence, il a fallu environ 15 minutes avant que le quatrième mécanicien finisse par être en mesure d'atteindre le treuil et les volets en utilisant plusieurs extincteurs portatifs au CO₂ pour refroidir temporairement le pont, suffisamment pour marcher dessus.

1.11.4 Systèmes fixes d'extinction d'incendie au dioxyde de carbone

Le CO₂ est incolore, inodore, ininflammable et non conducteur; il est souvent utilisé pour lutter contre les incendies dans les salles des machines. Une exposition à de grandes concentrations de CO₂ peut causer des blessures mortelles. Puisque le CO₂ est stocké sous forme liquide, les pressions et les températures qui accompagnent sa libération présentent des dangers supplémentaires.

Le *Cuyahoga* était équipé d'un système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ pour protéger la salle des machines et la chaufferie. Le système avait été installé en 2002 au cours d'une modernisation du navire. Le système comprenait 40 bouteilles de CO₂ d'une capacité nominale de 45 kg, totalisant 1800 kg (figure 16). Le CO₂ pouvait être libéré dans la salle des machines ou la chaufferie en plusieurs étapes ou en une seule fois.

Figure 16. Disposition du système d'extinction fixe au CO₂ tel qu'installé sur le *Cuyahoga* (Source : BST)

1 Vanne d'arrêt directionnelle actionnée par câble, 2 Tête de commande en tandem actionnée par câble, 3 Dispositif de retardement de décharge de 30 secondes, 4 Sirène actionnée par pression, 5 Tuyau d'actionnement flexible, 6 Câble de traction en acier inoxydable, 7 Vanne d'arrêt de la salle des machines, 8 Vanne d'arrêt de la chaufferie, 9 L'une des 40 bouteilles de CO₂, 10 Tuyau de refoulement flexible, 11 Clapet antiretour.

De chaque côté, 2 bouteilles de décharge étaient reliées par une tête de commande en tandem actionnée par câble. Lorsqu'elle était actionnée, la tête de commande en tandem faisait en sorte que le contenu des 2 bouteilles mettait sous pression le collecteur, qui ouvrait alors les vannes des autres bouteilles. Le système utilisait des vannes d'arrêt directionnelles pour diriger une partie du CO₂ vers un circuit de commande. En aval des vannes d'arrêt directionnelles, le circuit de commande comprenait un dispositif de retardement de décharge dans la salle des bouteilles et des sirènes actionnées par pression installées dans les espaces protégés, qui alertait les membres d'équipage que le système avait été activé. Une fois le délai de 30 secondes écoulé, la pression du CO₂ ouvrait la vanne d'arrêt principale de la salle vers laquelle le CO₂ était dirigé.

1.11.4.1 Libération à distance

Une norme reconnue de l'industrie pour les systèmes fixes d'extinction d'incendie au CO₂ publiée par la National Fire Prevention Association, selon laquelle le système du *Cuyahoga* a été conçu, prévoit que [traduction] « tous les dispositifs doivent être situés, installés ou protégés de manière à ne pas être exposés à des dommages mécaniques, chimiques ou d'autres natures qui les rendraient non fonctionnels³² ». Ni la Convention SOLAS ni la réglementation canadienne ne précisent où les câbles de libération à distance peuvent être cheminés. Les règles des membres de la IACS ne contiennent pas non plus de spécifications sur le cheminement. Toutefois, des lignes directrices supplémentaires d'application générale dans l'industrie maritime, publiées par l'American Bureau of Shipping, recommandent que [traduction] « [...] les câbles et autres mécanismes de commande ne devraient jamais être installés à des endroits où ils seront exposés aux intempéries, à la corrosion, etc. De plus, les câbles et les tubes d'actionnement ne devraient pas traverser des espaces protégés.³³ » Sur le *Cuyahoga*, les câbles de libération à distance passaient dans 4 conduits en acier galvanisé au zinc qui étaient reliés entre eux pour former un chemin continu, de sorte qu'aucun câble en acier inoxydable n'était exposé³⁴. Les 4 conduits passaient par le haut de la salle des machines, près de la claire-voie (figure 17).

³² U.S. National Fire Protection Association, NFPA 12, *Standard on Carbon Dioxide Systems*.

³³ American Bureau of Shipping, *Guidance Notes on Fire-Fighting Systems* (mai 2005; mis à jour en février 2015), section 4, sous-section 3.1.10 : Location of Controls for Extinguishing Medium Release.

³⁴ Le plan d'installation du système au CO₂ a été approuvé par TC en 2002. Le plan indiquait que l'emplacement exact des câbles était à « vérifier sur les lieux ».

Figure 17. Les conduits des câbles de libération à distance passaient près de la claire-voie, et les câbles ont été endommagés dans l'incendie (emplacement encerclé). L'isolant situé à la limite entre la salle des machines et les quartiers d'équipage a été détruit en partie. (Source : BST)



Le système du *Cuyahoga* utilisait 4 câbles en acier inoxydable pour déclencher la libération de CO₂ à distance. Deux câbles étaient reliés aux têtes de commande des vannes d'arrêt directionnelles, et les 2 autres étaient reliés aux têtes de commande en tandem pour les vannes de décharge des bouteilles. L'ordre de fonctionnement dépendait de l'espace dans lequel le CO₂ devait être libéré, mais dans tous les cas, la vanne d'arrêt directionnelle devait être actionnée avant la vanne de commande en tandem (figure 16).

Le poste de libération à distance du CO₂ était situé à côté de la porte d'accès à la salle des machines, dans les quartiers du rouf arrière. Les instructions relatives à la libération à distance étaient affichées au poste de libération. Les instructions affichées, élaborées par l'équipage, donnaient des renseignements sur la façon de vérifier si le CO₂ avait été libéré et

sur les mesures à prendre après la libération (par exemple, les précautions de sécurité et le refroidissement du périmètre)³⁵.

Fait établi : Autre

À la suite d'un incendie antérieur survenu à bord d'un autre navire de LLT, les instructions qui étaient affichées au poste de libération à distance du CO₂ du *Cuyahoga* ont été révisées de manière à fournir des renseignements précis sur la façon de vérifier si une libération était effectuée avec succès et à décrire les mesures de sécurité à prendre après la libération.

Le chef mécanicien a tenté d'utiliser le dispositif de libération à distance pendant l'incendie, mais il n'a senti aucune résistance lorsqu'il a tiré sur les câbles. Les câbles s'étaient rompus, et de 3 à 4 m de câblage a été arraché du conduit.

Le personnel du laboratoire du BST a examiné les câbles. Cet examen a révélé que les câbles en acier inoxydable avaient été exposés à des températures élevées et à du zinc fondu pendant l'incendie de l'événement à l'étude, ce qui a provoqué une fragilisation du câble par du métal liquide. Le zinc provenait du conduit qui abritait le câble.

1.11.4.2 Libération locale

Une libération de CO₂ peut être déclenchée localement en accédant à la salle des bouteilles de CO₂ et en actionnant manuellement les têtes de commande. Une libération locale du CO₂ comporte des risques plus élevés pour les opérateurs en raison de la possibilité d'une fuite de CO₂ dans la salle des bouteilles.

Chaque système au CO₂ est installé selon une disposition propre au navire, et l'emplacement physique des éléments dans la disposition peut varier. Les instructions relatives à la libération locale du CO₂ devraient contribuer, en indiquant clairement le bon ordre de fonctionnement, à veiller à ce que le système fonctionne comme prévu et que les risques pour un membre d'équipage se trouvant dans la salle des bouteilles sont réduits au minimum. La vanne d'arrêt directionnelle (figure 16, annotation 1), qui permet au CO₂ d'entrer dans l'espace protégé, doit être ouverte en premier; la tête de commande (figure 16, annotation 2), qui contrôle la décharge du gaz des bouteilles, doit ensuite être ouverte³⁶. Cet ordre de fonctionnement réduit au minimum le risque d'accumulation de pression et de fuite de CO₂ dans la salle des bouteilles.

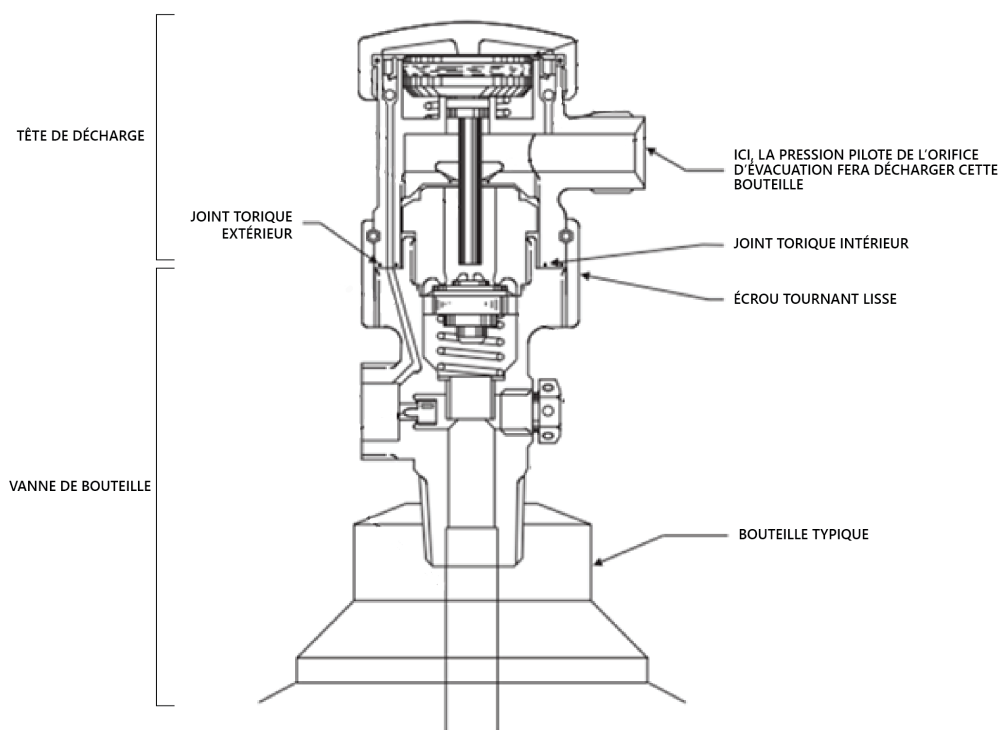
Les instructions relatives à la libération locale étaient apposées sur les bouteilles pilotes dans la salle des bouteilles de CO₂ du *Cuyahoga*. Les instructions relatives à la libération locale indiquaient à l'opérateur de libérer d'abord le CO₂ en actionnant les têtes de commande, puis d'actionner la vanne d'arrêt directionnelle. Les instructions étaient fondées sur un exemple, figurant dans le manuel du fabricant, d'un système plus simple qui était configuré différemment.

³⁵ Ces renseignements ont été élaborés après un incendie antérieur à bord d'un autre navire de Lower Lakes Towing Inc., le *Tecumseh* (Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M19C0403 du BST).

³⁶ Organisation maritime internationale, *Recueil FSS : Recueil international de règles applicables aux systèmes de protection contre l'incendie* (2015), chapitre 5 : Systèmes fixes d'extinction d'incendie par le gaz, section 2.2.2.

Un examen de la disposition du collecteur du *Cuyahoga* réalisé après l'événement a révélé que les vannes d'arrêt directionnelles (Figure 16, annotation 1) étaient en position fermée et n'avaient pas été actionnées par le câble de commande à distance ni manuellement. De plus, on a constaté que 7 des 40 raccords de tuyaux sur les têtes de soupape n'avaient été serrés qu'à la main. Un représentant d'un tiers fournisseur de services qui s'est rendu à bord du navire après l'événement a découvert de nombreuses autres fuites : environ le tiers des vannes des bouteilles avaient des écrous tournants desserrés dans leur raccord à leur tête de décharge; de plus, dans certains cas, les joints toriques entre les vannes des bouteilles et les têtes de décharge étaient manquants (figure 18). Lorsque les bouteilles ont été pesées pendant l'entretien postérieur à la décharge, chacune avait le poids d'une bouteille vide, ce qui indique que les 1800 kg de CO₂ avaient été libérés dans la salle des bouteilles de CO₂.

Figure 18. Schéma de la tête d'une bouteille de CO₂ montrant les vannes et les joints toriques qui étaient manquants ou endommagés au moment de l'utilisation (Source : manuel du fabricant, avec modifications du BST)



1.11.4.3 Exigences en matière d'inspection et d'entretien

Les équipages des navires, les représentants autorisés, les États des pavillons, les organismes reconnus (OR) et les sociétés de classification font souvent appel à des tiers fournisseurs de services pour l'entretien annuel et périodique des systèmes fixes de lutte contre l'incendie. Afin de s'assurer que les fournisseurs de services respectent une norme minimale, les sociétés de classification délivrent des certificats d'agrément aux fournisseurs de services. Pour délivrer un certificat d'agrément, la société de classification effectue un

audit des systèmes de gestion du fournisseur de services, en suivant les lignes directrices de l'IACS³⁷. En règle générale, pour obtenir l'agrément, les fournisseurs de services doivent :

- démontrer une connaissance de la théorie des incendies et de la lutte contre les incendies;
- démontrer une connaissance des principes de base des systèmes qu'ils entretiennent;
- avoir accès aux instructions et aux bulletins d'entretien du fabricant ainsi qu'à toutes les directives pertinentes de l'OMI³⁸;
- consigner les procédures d'installation et d'entretien des systèmes pour lesquels ils demandent l'agrément.

Les certificats d'agrément délivrés par les auditeurs des sociétés de classification précisent la portée des services que le fournisseur est autorisé à fournir. Les certificats d'agrément de classe sont renouvelés à des intervalles ne dépassant pas 5 ans, à la suite d'audits visant à déterminer si les conditions initiales et la portée des services ont été maintenues.

Le tiers fournisseur de services qui a effectué le dernier entretien du système au CO₂ du *Cuyahoga* avait reçu un certificat d'agrément en décembre 2019, qui était valide jusqu'en janvier 2023. Le fournisseur de services avait changé deux fois de propriétaire pendant la période de validité du certificat. Dans l'événement à l'étude, Lloyd's Register a autorisé le recours au fournisseur de services parce que le certificat d'agrément était encore valide au début de la période de rade hivernale du *Cuyahoga*. Le certificat a expiré 1 jour après que LLT a passé une commande pour l'entretien annuel de l'équipement de détection et d'extinction des incendies. Au moment où l'entretien a été effectué sur le *Cuyahoga*, et au moment de l'événement, le certificat n'avait pas été renouvelé.

Les lignes directrices de l'IACS prévoient que la formation des personnes participant à l'installation ou à l'entretien de ces systèmes d'extinction d'incendie est laissée à la discrétion du fournisseur de services. En vertu de la Convention SOLAS et de la réglementation canadienne, il n'y a pas d'exigences minimales de formation applicables aux techniciens qui effectuent des travaux d'entretien sur les systèmes fixes d'extinction d'incendie au CO₂ utilisés à bord des navires.

Contrairement aux techniciens affectés aux embarcations de sauvetage et aux radeaux de sauvetage³⁹, les techniciens qui effectuent l'entretien des systèmes fixes de lutte contre l'incendie ne sont pas tenus par la réglementation de suivre une formation en usine ou une formation conforme à une norme reconnue. Toutefois, les instructions du fabricant du système fixe de lutte contre l'incendie au CO₂ du *Cuyahoga* précisait que ce système devait être entretenu tous les ans et tous les semestres par des techniciens formés en usine.

³⁷ Association internationale des sociétés de classification, UR-Z17, 1997, Rev.18, Corr.1, *Procedural Requirements for Service Suppliers*.

³⁸ Voir, par exemple, les circulaires MSC/Circ 1318 et 1432 de l'Organisation maritime internationale.

³⁹ Transports Canada, C.R.C., ch. 1436, *Règlement sur l'équipement de sauvetage*, partie II, paragraphe 114(3).

Ces services sont assurés par des tiers fournisseurs de services. Ces fournisseurs doivent avoir reçu l'autorisation du fabricant pour accéder aux pièces, à la formation relative à l'entretien et au soutien technique du fabricant.

En janvier 2023, LLT a passé une commande pour l'inspection et l'entretien annuels de tous les systèmes de détection et d'extinction d'incendie du navire auprès d'un fournisseur de services agréé par le fabricant et établi aux É.-U. En mars 2023, des techniciens sont montés à bord du navire pour entretenir les systèmes fixes d'extinction d'incendie et peser les bouteilles. À la suite de ces travaux, le fournisseur de services a remis au propriétaire un rapport indiquant que les systèmes avaient été entretenus et que les bouteilles avaient été pesées conformément à la réglementation de la U.S. Coast Guard.

Pendant les travaux d'entretien, des défauts peuvent passer inaperçus lorsque les techniciens ne sont pas suffisamment formés sur les éléments à surveiller ou lorsqu'ils ne s'attendent pas à trouver un problème. Les instructions du fabricant indiquent que les personnes qui retirent et remplacent les tuyaux flexibles, les têtes de commande ou les têtes de décharge doivent être formées aux procédures d'entretien.

Le fabricant donne pour instruction aux techniciens de vérifier l'étanchéité des raccords et des joints et de rechercher des joints toriques manquants chaque fois qu'ils visitent un navire, car on sait que les joints toriques manquants et les connexions desserrées constituent des modes de défaillance probables. La formation enseigne aux techniciens à vérifier ces problèmes lorsqu'ils effectuent des travaux d'entretien.

On n'a trouvé aucune indication selon laquelle les techniciens qui ont effectué l'entretien du système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ de la salle des machines auraient reçu une formation du fabricant sur l'installation, l'inspection ou l'entretien du système au CO₂ du *Cuyahoga*, ni aucune formation sur tout autre système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ approuvé aux fins maritimes.

Une version antérieure du manuel du fabricant (datée de 2002) recommande que l'inspection mensuelle soit effectuée par un distributeur autorisé⁴⁰. Par contre, la formation que le fabricant donne aux techniciens des services maritimes précise qu'une inspection de routine doit être faite tous les mois par des membres d'équipage du navire⁴¹; il s'agit d'une pratique courante dans l'industrie.

Les éléments à vérifier chaque mois selon le manuel du fabricant comprennent les suivants (voir l'annexe A pour les instructions complètes) [traduction] :

7. Inspectez les têtes de décharge du système au CO₂ pour déceler toute fissure, corrosion, crasse, etc. Assurez-vous que les têtes de décharge sont bien fixées à

⁴⁰ Kidde Fire Systems (numéro de pièce 81-CO2MAN-001), *CO₂ Carbon Dioxide Fire Suppression Systems: Owner's Manual* (janvier 2002), section 2-5.1 Monthly Inspection, p. 2-4.

⁴¹ Carrier, *Kidde Fire Systems Marine Technician Training* (mise à jour novembre 2022), diapositives 70-71.

chaque vanne de bouteille de CO₂ et raccordées au collecteur de décharge à l'aide d'un tuyau de décharge flexible ou d'un adaptateur pivotant.

8. Inspectez les tuyaux de décharge flexibles pour déceler la présence de raccords desserrés, de filetages endommagés, de fissures, de rouille, de plis, de distorsion, de crasse et de tresse métallique effilochée. Resserrez les raccords desserrés et remplacez les tuyaux dont le filetage est endommagé⁴².

Le navire avait à bord une copie des instructions d'entretien du fabricant. Des versions électroniques du manuel sont aussi disponibles sur le site Web du fabricant et peuvent être téléchargées gratuitement. Le système d'entretien planifié du navire listait des tâches pour les inspections mensuelles et annuelles. Les tâches ne contenaient pas de détails sur les exigences du fabricant et ne réfèrent pas au manuel. Les bons de travail liés aux inspections mensuelles générés par le programme d'entretien planifié avaient été signés comme étant terminés à deux reprises entre mars 2023 et le jour de l'événement. Dans chaque cas, l'équipage avait effectué une inspection visuelle rapide de la salle des bouteilles de CO₂ pour s'assurer que les bouteilles et la salle étaient propres et exemptes de débris.

L'enquête a permis de déterminer que les gestionnaires du navire et les membres d'équipage qui avaient été affectés à l'inspection mensuelle n'étaient pas au courant des exigences du fabricant. Ils ignoraient également les exigences d'entretien annuel du fabricant. De plus, ils s'attendaient à ce que les techniciens fournis par le tiers fournisseur eussent été formés par le fabricant, sans vérifier si c'était le cas.

D'autres organismes nationaux d'enquête sur les accidents maritimes ont cerné l'entretien inadéquat des systèmes fixes de lutte contre l'incendie comme un facteur ayant contribué à des événements. Par exemple, à la suite d'enquêtes sur 2 événements, le Marine Accident Investigation Board du Royaume-Uni a conclu que l'on se fiait trop à des entrepreneurs à terre pour entretenir ces systèmes⁴³. La U.S. Coast Guard a déterminé que la compétence des techniciens et les connaissances de l'équipage sur le fonctionnement et l'entretien étaient 2 enjeux de sécurité liées aux incendies à bord des navires⁴⁴.

1.11.5 Alimentation en eau de la conduite principale d'incendie

La conduite principale d'incendie du *Cuyahoga* pouvait être alimentée en eau par la pompe à incendie, la pompe de cale ou la pompe à incendie de secours. La pompe à incendie et la pompe de cale se trouvaient toutes deux dans la salle des machines. La pompe à incendie de

⁴² Kidde Fire Systems (numéro de pièce 81-CO2MAN-001), *Engineered Carbon Dioxide (CO₂) Fire Suppression Systems: Design, Installation, Operation and Maintenance Manual* (septembre 2013), section 6-3 Inspection Procedures – Monthly, p. 6-2.

⁴³ United Kingdom Maritime and Coastguard Agency, *Safety Bulletin 12: Accidental CO₂ Releases Onboard 2 UK Merchant Vessels* (12 septembre 2018), à l'adresse <https://www.gov.uk/government/publications/safety-bulletin-12-accidental-carbon-dioxide-releases-onboard-uk-merchant-vessels/safety-bulletin-12-accidental-co2-releases-onboard-2-uk-merchant-vessels> (dernière consultation le 30 juillet 2025).

⁴⁴ United States Coast Guard, *Safety Alert 07-17, CO₂ Hazards are nothing new, but we'd like to remind you of what not to do!* (20 juillet 2017) et United States Coast Guard, *Notice 02-12, Servicing of Shipboard CO₂ Fire Suppression Systems, "What you don't know can kill you"* (8 juin 2012).

secours se trouvait à l'extérieur de la salle des machines, comme l'exige la réglementation⁴⁵, afin de garantir que le navire possède au moins 1 pompe disponible pour alimenter la conduite principale d'incendie peu importe le lieu de l'incendie. La pompe à incendie de secours était une pompe centrifuge entraînée par un moteur à induction électrique alimenté par le tableau de distribution de secours. La pompe pouvait être mise en marche localement ou à distance. La pompe à incendie de secours était accessible à partir du tunnel de déchargement et de la salle des machines. La pompe à incendie de secours était reliée à la conduite principale d'incendie par une vanne d'isolement située dans la chaufferie. Cette vanne était normalement laissée ouverte afin que la pompe puisse alimenter en eau la conduite principale d'incendie en cas d'urgence. En vertu des règles de la Convention SOLAS,⁴⁶ les vannes d'isolement ne doivent pas être situées dans un espace de machinerie. En raison de sa date de construction, le *Cuyahoga* était exempté de cette exigence en vertu des règles de la Convention SOLAS et de la réglementation canadienne.

Lorsque l'alimentation électrique était fournie par la génératrice de secours, l'éclairage de secours éclairait faiblement le tunnel de déchargement. La génératrice de secours n'alimentait pas la ventilation mécanique dans le tunnel. Les voies d'entrée et de sortie du tunnel se limitaient à l'entrée située à l'extrémité avant du navire et à l'écotille d'évacuation d'urgence située au milieu du navire. Les communications entre l'emplacement de la pompe à incendie de secours et la timonerie, effectuée au moyen d'une radio portative, étaient difficiles en raison de la structure en acier environnante.

La pompe était installée sous la ligne de flottaison légère du navire. Elle n'était pas à amorçage automatique, non plus qu'équipée d'un dispositif d'amorçage, et elle avait déjà été bloquée par de l'air plusieurs fois dans le passé.

1.11.5.1 Inspection et entretien

D'après le plan de maintenance du navire, la pompe à incendie de secours devait être testée tous les mois. Lors de l'essai mensuel, l'équipage démarrait la pompe à incendie d'urgence localement et vérifiait si la pression de la pompe dans le boîtier de refoulement atteignait de 70 à 80 lb/po². Si la pression n'augmentait pas, des instructions étaient fournies sur la façon de purger l'air du boîtier de la pompe à l'aide de 2 vannes de purge. Lorsque la pompe était en marche, l'équipage avait pour instruction de vérifier s'il y avait des bruits ou des vibrations inhabituels avant de conclure l'essai. Une fois ces vérifications terminées, l'équipage arrêta la pompe.

⁴⁵ Transports Canada, DORS/2017-14, *Règlement sur la sécurité contre l'incendie des bâtiments* (tel que modifié le 23 novembre 2022), articles 131 à 134, et Organisation maritime internationale, *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), 1974*, telle que modifiée en 2016, chapitre II-2, règle 10, article 2.2.3.2.

⁴⁶ Organisation maritime internationale, *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), 1974*, telle que modifiée en 2016, chapitre II-2, règle 10.

Le plan d'entretien du navire prévoyait également une inspection visuelle mensuelle des conduites principales d'incendie, des bornes d'incendie et des postes d'incendie. Toutefois, le plan d'entretien du système de conduite principale d'incendie n'incluait pas les vannes d'isolement ni à leurs pièces internes. De plus, les vannes d'isolement ne figuraient pas sur la liste principale des éléments du navire à vérifier dressée par la société de classification, et il n'existe aucun dossier indiquant que les vannes d'isolement de la conduite principale d'incendie du navire auraient été entretenues, inspectées ou remplacées.

La pompe à incendie de secours et son moteur électrique font l'objet d'une inspection réglementaire tous les 5 ans. En 2021, un tiers entrepreneur a retiré la pompe et son moteur électrique du navire et les a démontés pour effectuer une inspection quinquennale. L'état des composants de la pompe a été jugé satisfaisant, et la pompe et le moteur ont été remontés et réinstallés sur le navire. Les conduites et les vannes associées ont également été examinées par Lloyd's Register; un essai opérationnel a été réalisé, mais les vannes d'isolement n'ont pas été ouvertes.

La pompe à incendie de secours était également vérifiée à l'occasion pendant les exercices d'incendie. Au cours d'un exercice, on démarrait la pompe et on vérifiait le débit d'eau provenant des bornes d'incendie situées aux extrémités avant et arrière du navire. Les dossiers indiquent que lors du dernier exercice d'incendie précédant l'événement, le 1^{er} mai, la pompe a été démarrée et le débit des bornes d'incendie a été vérifié.

L'inspection après l'événement de la pompe à incendie de secours et de la vanne d'isolement a révélé que la pompe fonctionnait correctement, mais que la vanne d'isolement obstruait l'écoulement de l'eau vers la conduite principale d'incendie. Les pièces internes de la vanne étaient corrodées, et la tige de robinet était déconnectée de l'opercule. Ainsi, l'opercule ne pouvait plus être déplacé et était coincé en position fermée (figures 19, 20 et 21). Cependant, la tige de robinet était à la position ouverte, et l'équipage ne savait pas que l'opercule était déconnecté. Lorsqu'elle était actionnée, la tige offrait une certaine résistance, ce qui pouvait donner l'impression que la vanne fonctionnait normalement.

Figure 19. La vanne d'isolement, en place (Source : BST)



Figure 20. La vanne d'isolement démontée, montrant la tige déconnectée (Source : BST)



Figure 21. La vanne d'isolement, montrant l'opercule déconnecté (Source : BST)



Une vanne d'isolement utilisée pour isoler la section de la conduite principale d'incendie dans le tunnel de déchargement du reste du système de conduite principale d'incendie a connu la même défaillance en 2022. Dans ce cas, la vanne défectueuse a été remplacée par une vanne de rechange qui se trouvait à bord.

L'une des principales fonctions des vannes dans les systèmes de tuyauteries qui sont en contact avec l'eau de mer est de prévenir toute infiltration d'eau accidentelle. Les vannes installées aux orifices d'admission et d'évacuation reliés à la coque sous la ligne de surimmersion doivent être ouvertes pour les inspections périodiques de la coque qui ont lieu tous les 5 ans. Cependant, les autres vannes des mêmes systèmes de tuyauteries sont généralement exclues de l'inspection réglementaire. Sur le *Cuyahoga*, les vannes de la coque étaient inspectées comme requis, y compris la vanne d'aspiration de la pompe à incendie de secours. Les enquêteurs n'ont trouvé aucun document indiquant que les vannes d'isolement de la conduite principale d'incendie auraient été inspectées.

1.12 Opérations de lutte et de maîtrise de l'incendie

Les étapes des opérations de lutte contre l'incendie à bord d'un navire consistent à détecter l'incendie, à informer l'équipage, à exécuter les opérations de recherche et sauvetage, à confiner l'incendie, à éteindre celui-ci, à assurer la ventilation et à procéder à une remise en

état. Ces opérations doivent être exécutées par des personnes adéquatement formées et équipées. Si l'incendie est suffisamment avancé, le confinement, qui comprend le refroidissement du périmètre, peut s'avérer la meilleure option pour maîtriser les flammes.

Pour ce faire, le compartiment chaud doit être isolé, et tout son périmètre doit être surveillé et refroidi au besoin. L'équipage doit pouvoir s'approcher du périmètre sans danger. Les conditions peuvent être inconnues avant l'entrée; il peut y avoir une chaleur extrême et des vapeurs ou des fumées toxiques, de sorte que l'équipage doit être adéquatement protégé. L'équipement protégera l'équipage non seulement contre la chaleur et la fumée, mais aussi contre toute vapeur générée par l'eau entrant en contact avec des surfaces en acier chaudes pendant le refroidissement du périmètre. Dans toute situation où l'équipage pénètre dans un espace où il y a de la chaleur ou de la fumée, une deuxième équipe portant de l'équipement de lutte contre l'incendie et des APRA doit être disponible pour assurer la relève et le sauvetage⁴⁷.

Lorsqu'un compartiment est ouvert, la chaleur et la fumée accumulées peuvent s'échapper par le même chemin que celui emprunté par l'équipe pour entrer. Faire passer des tuyaux d'incendie chargés dans les espaces intérieurs peut être compliqué par des couloirs étroits, des virages, des coins, des échelles, de l'équipement ou des meubles, et il peut nécessiter l'intervention de nombreux pompiers. L'accès au périmètre ou une attaque directe peuvent nécessiter de passer par des ouvertures verticales et horizontales. Un pompier peut devoir être positionné à chaque porte ou écoutille pour éviter les accrochages. Les efforts de lutte contre les incendies peuvent être ardues, et les pompiers peuvent rapidement épuiser leurs réserves d'air, ce qui nécessite la constitution d'équipes de relève ou d'intervention pour chaque équipe qui effectue une entrée. Afin de garantir une quantité d'air suffisante pour évacuer les lieux, tous les pompiers présents dans un compartiment doivent commencer à en sortir avant que retentisse l'alarme signalant une pression d'air faible sur leur APRA. Lorsque la température est élevée dans le compartiment, les pompiers peuvent être limités à seulement 10 minutes à l'intérieur.⁴⁸

Les navires canadiens d'une jauge brute de 500 ou plus doivent transporter un minimum de 2 combinaisons de pompier et 2 APRA, avec 2 bouteilles d'air de rechange pleines⁴⁹; les pétroliers doivent transporter de l'équipement supplémentaire. Les combinaisons de pompier et les APRA doivent être entreposés « bien éloignés les uns des autres⁵⁰ ». Le BST a constaté dans d'autres événements que lorsque la quantité minimale d'équipement est présente à bord, les opérations de lutte contre les incendies sont limitées. Par exemple, lors

⁴⁷ International Fire Service Training Association, *Marine Fire Fighting for Land-Based Firefighters*, troisième édition (2019).

⁴⁸ Ibid.

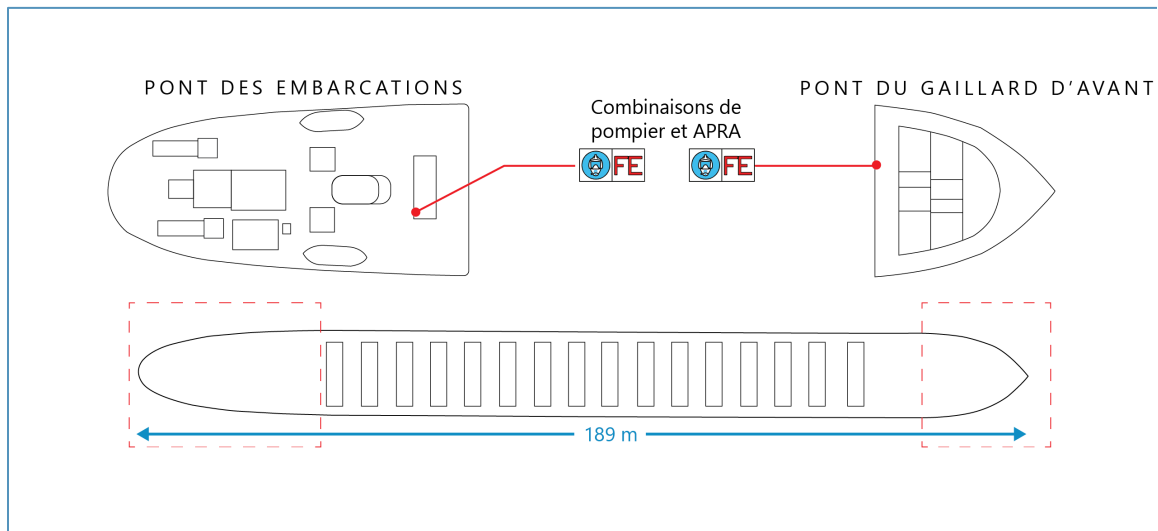
⁴⁹ Rien n'exige que les combinaisons de pompier ou les appareils de protection respiratoire autonome soient ajustés pour les membres d'équipage chargés de les porter.

⁵⁰ Organisation maritime internationale, *Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), 1974*, telle que modifiée en 2016, chapitre II-2, règle 10, article 10.3.1.

d'un incendie survenu dans la salle des machines d'un autre navire de LLT, le *Tecumseh*,⁵¹ les membres d'équipage sont entrés dans la salle des machines pour combattre l'incendie en utilisant le tuyau d'incendie comme filin de sécurité. Les membres d'équipage ont été séparés et ont dû sortir de la salle environ 20 minutes plus tard, avant de localiser le foyer de l'incendie, car leurs APRA étaient presque vides. Aucune équipe de relève n'étant disponible, les membres d'équipage ont abandonné les efforts de lutte contre l'incendie dans la salle des machines, et l'incendie s'est aggravé.

Au moment de l'événement à l'étude, le *Cuyahoga* était équipé du minimum requis : 2 combinaisons de pompier et 2 APRA, avec 4 bouteilles d'air chargées. Sur le *Cuyahoga*, 1 armoire contenant l'équipement contre l'incendie était située dans le rouf avant, tandis qu'une autre se trouvait sur le pont des embarcations du rouf arrière (figure 22).

Figure 22. Une combinaison de pompier et un APRA étaient entreposés sur le pont des embarcations, et 1 ensemble était entreposé sur le pont du gaillard d'avant (Source : BST)



Lors d'événements antérieurs, un manque d'équipement de lutte contre les incendies et un manque de familiarisation ont fait en sorte que des membres d'équipage ont été blessés et ont mis des personnes en danger lors d'interventions sur des incendies à bord de navires⁵². Dans l'événement à l'étude, la décision d'utiliser le système au CO₂ même si la salle des machines n'était pas convenablement scellée a été influencée par le fait que le *Cuyahoga* ne transportait assez d'équipement que pour 1 équipe de 2 pompiers, ce qui était insuffisant pour un incendie survenant dans la salle des machines.

⁵¹ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M19C0403 du BST.

⁵² Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0004, M18P0014 et M02N0007 du BST.

1.13 Facteurs humains

1.13.1 Sommeil

Pendant le sommeil, le corps humain traverse 4 phases distinctes (tableau 3) : 3 phases de sommeil de plus en plus profond (phases N1 à N3) et une phase de sommeil paradoxal, pendant laquelle les rêves se produisent. Le premier épisode de la phase N3, le sommeil le plus profond, survient habituellement de 30 à 45 minutes après l'endormissement et peut durer jusqu'à 1 heure.

Tableau 3. Résumé des 4 phases de sommeil

Phase de sommeil	Caractéristiques	Durée typique	Proportion du sommeil total (par nuit) (en %)
N1	Léger : tonicité faible, respiration régulière	1 à 5 minutes	5 à 10
N2	Modérément profond : baisse du rythme cardiaque et de la température corporelle	20 à 35 minutes	40 à 50
N3	Le plus profond : ondes lentes, sommeil profond	Jusqu'à 1 heure	10 à 20
R (REM)	Phase où les rêves surviennent	1 à 45 minutes	15 à 20

La nuit de l'événement à l'étude, le deuxième mécanicien s'est couché vers 21 h. L'enquête a permis de déterminer qu'il se trouvait probablement dans un sommeil profond, à la phase N3, lorsque l'alarme d'incendie a retenti.

1.13.2 Prise de décision et stress dans les situations d'urgence

Les situations d'urgence sont stressantes et entraînent une charge cognitive élevée. En situation d'urgence, les gens disposent de peu de temps pour traiter divers types de renseignements critiques, prendre des décisions, évaluer les résultats et rajuster leurs actions en conséquence⁵³.

Les situations stressantes et où la charge de travail est élevée peuvent avoir une incidence sur le rendement humain et amener les gens à prendre des mesures inappropriées⁵⁴. L'une des plus grandes répercussions sur le rendement concerne l'attention d'une personne. Par exemple, un rétrécissement de l'attention se produit lorsqu'une personne devient plus sélective quant à ce sur quoi elle se concentre, de façon intentionnelle ou non. Cette attention ciblée peut être souhaitable dans certaines situations, mais n'est pas sans conséquences, car la personne risque de passer outre d'autres renseignements qui pourraient être importants pour gérer la situation. Ainsi, dans une situation d'urgence, une

⁵³ M. Yu, T. Zhu et S. Donaldson, « Effects of time pressure on behavioural decision making in natural disasters: based on an online experimental system », *Journal of Geography & Natural Disasters*, vol. 8, n° 1 (2018).

⁵⁴ C. D. Wickens, W. S. Helton, J. G. Hollands et al., *Engineering Psychology and Human Performance*, cinquième édition (Routledge, 2022), p. 492 à 493.

personne peut se concentrer sur la recherche d'une personne disparue, y compris dans des zones enfumées, sans tenir compte du risque pour elle-même. La principale méthode qui est employée dans l'industrie maritime pour préparer les membres d'équipage à gérer les imprévus consiste à mettre en place des procédures, à offrir une formation et à organiser régulièrement des exercices d'urgence.

Pour prendre de bonnes décisions, il est essentiel d'être en mesure d'évaluer une situation avec précision et exhaustivité et d'avoir une bonne conscience situationnelle⁵⁵. En situation d'urgence, une personne peut être confrontée à une situation nouvelle qui n'est ni typique ni incluse dans les procédures ou la formation qu'elle a pu recevoir. Des scénarios réalistes présentés dans le cadre de la formation et des exercices, ainsi que les réunions d'information associées après les exercices, permettent aux membres d'équipage de prendre conscience de la variabilité des situations d'urgence. Ils peuvent ainsi acquérir les connaissances et les compétences nécessaires pour réagir efficacement à des situations nouvelles et imprévues, et prendre des décisions rapides.

1.14 Sécurité des opérations maritimes

La sécurité des opérations maritimes est la responsabilité commune à toutes les personnes qui interagissent avec le navire, qu'il s'agisse de l'équipage, du personnel à terre ou des organismes de réglementation. La sécurité ne se limite pas à l'absence d'accidents ou même au respect de la réglementation; elle dépend plutôt d'une culture de sécurité bien établie et de processus consignés et systématiques.

Le Code international de gestion de la sécurité (Code ISM) a été adopté par l'OMI en 1993 et est entré en vigueur en 1998. Le Code ISM établit une norme internationale pour la sécurité et la fiabilité de l'exploitation d'un navire et de son équipement et favorise le respect de toute la réglementation et toutes les exigences applicables. Pour démontrer le respect du Code ISM, des audits externes et internes sont effectués. Un certificat de gestion de la sécurité est délivré au navire et un document de conformité est délivré à la compagnie exploitante une fois que les systèmes en place ont été audités par un organisme accrédité. Les exigences propres à chaque navire en vertu du Code ISM comprennent l'élaboration de plans relatifs aux opérations à bord et à la préparation aux situations d'urgence, ainsi que la documentation du système d'entretien du navire. Le Code ISM est à la base des exigences canadiennes en matière de systèmes de gestion de la sécurité, qui, depuis 2024, sont obligatoires pour la grande majorité des navires commerciaux⁵⁶.

⁵⁵ La conscience situationnelle est un concept qui décrit la manière dont les personnes perçoivent les renseignements sur leur environnement immédiat, en comprennent la signification et, par conséquent, en prédisent un état futur, créant ainsi une conscience de la situation actuelle.

⁵⁶ Transports Canada, *Règlement sur le système de gestion de la sécurité maritime* (DORS/2024-133) et *Règlement sur la sécurité des bâtiments de pêche* (CRC, ch. 1486).

Un système de gestion de la sécurité (SGS) efficace tient compte de tous les facteurs qui ont une incidence sur la sécurité, y compris les facteurs humains et organisationnels. Les trois éléments de la gestion de la sécurité qui sont reconnus comme étant moins développés dans de nombreux SGS sont les suivants :

- Le signalement des incidents mineurs
Le signalement, dont celui des accidents, des incidents et, plus important encore, des incidents évités de justesse et des non-conformités, est essentiel à une gestion efficace de la sécurité. Les recherches démontrent que les marins croient que seuls les incidents évités de justesse graves devraient être signalés à la compagnie⁵⁷.
- Les pratiques et procédures d'entretien courant
L'IACS a fait remarquer en 2001, puis à nouveau en 2018, que la gestion de l'entretien à bord des navires est considérée comme [traduction] « une question purement technique, sans guère de rapport avec la sécurité et relevant de la responsabilité exclusive du personnel technique⁵⁸ ». Le personnel technique peut ici désigner les gestionnaires techniques à terre ou simplement l'équipage de la salle des machines.
- Les systèmes d'amélioration qui intègrent la rétroaction de l'équipage et des autres utilisateurs du SGS
Pour assurer une amélioration continue, il est essentiel de comprendre les écarts entre les procédures et les pratiques de travail^{59,60,61}.

Une étude récente du Comité de la sécurité maritime (CSM) de l'OMI⁶² sur l'efficacité et la mise en œuvre effective du Code ISM a révélé que de nombreux marins hésitent à signaler les non-conformités et les lacunes ou à signaler les événements dangereux à la direction. Les auteurs de l'étude soulignent que la rétroaction et les signalements entre l'équipage à bord et la direction à terre sont essentiels à la gestion de la sécurité, et qu'il s'agit d'une source de préoccupation.

⁵⁷ N. Hasanspahić, V. Frančić, S. Vujičić et T. Biočić, « Reporting culture – A prerequisite for safety in shipping », *Journal of Maritime Sciences* (2023), p. 91 à 112.

⁵⁸ Association internationale des sociétés de classification (IACS Rec. 2001/Rev.2), *A Guide to Managing Maintenance in Accordance with the Requirements of the ISM Code*, 2018, p. 1 à 9.

⁵⁹ S. Dekker, *Safety Differently: Human Factors for a New Era*, deuxième édition (CRC Press, 2015), p. 107.

⁶⁰ J. Reason, *The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents, and Heroic Recoveries* (CRC Press, 2008), p. 86 à 87.

⁶¹ C. Kuo, *Safety Management and its Maritime Application* (The Nautical Institute, 2007), p. 93.

⁶² Organisation maritime internationale, *MSC 109 INF.3 Study on the Effective Implementation of the International Safety Management (ISM) Code* (23 septembre 2024).

1.14.1 Système de gestion de la sécurité de Lower Lakes Towing

Au moment de l'événement, LLT n'était pas tenue d'avoir un SGS; le SGS avait été mis en œuvre volontairement en 2015.⁶³ Qu'il soit obligatoire ou volontaire, un SGS audité par un OR doit être conforme au Code ISM. Entre autres choses, le Code ISM exige que des audits externes et internes soient effectués pour s'assurer que les exigences du Code sont respectées.

Des audits externes du SGS de la compagnie et du navire avaient été effectués par l'American Bureau of Shipping depuis la mise en œuvre du SGS. Au moment de l'événement, LLT détenait un document de conformité volontaire pour ce type de navire, et le *Cuyahoga* détenait un certificat de gestion de la sécurité volontaire.

Le SGS de LLT est documenté dans un manuel intitulé *Safety Management System: Policies and Procedures*. L'entreprise avait révisé le manuel la dernière fois en 2023. Au niveau du navire, la direction du programme de LLT estime que la plupart des aspects de l'exploitation du navire relèvent de la responsabilité de chaque capitaine; la plupart des procédures opérationnelles propres au navire sont consignées uniquement à bord du navire et laissées à la discrétion du capitaine.

Le manuel *Safety Management System: Policies and Procedures* de LLT est complété par des documents comme :

- des manuels de formation propres au navire (par exemple, un manuel sur l'équipement et la formation en matière de lutte contre l'incendie, un manuel sur l'équipement de sauvetage);
- un manuel de formation de la compagnie;
- des copies imprimées de certains règlements canadiens et américains;
- des notes de sécurité et des avis à la flotte;
- des manuels et des bulletins du fabricant;
- le plan d'intervention en cas d'urgence marine de LLT.

Le SGS de la compagnie est appuyé par un logiciel de sécurité au travail. Ce logiciel est utilisé par tous les membres d'équipage et par les gestionnaires à terre pour la planification de la sécurité et la préparation des permis de travail; le recensement et l'évaluation des blessures, des dangers et des risques; les inspections et les audits; les mesures correctives et la surveillance; et ainsi de suite.

1.14.2 Politiques et procédures d'entretien de Lower Lakes Towing

La politique de LLT régissant l'entretien de ses navires et de son équipement indique que la compagnie a l'intention d'entretenir ses navires afin d'assurer un service sécuritaire,

⁶³ En vertu de la version mise à jour du *Règlement sur le système de gestion de la sécurité maritime* (DORS/2024-133, modifié pour la dernière fois le 3 juillet 2024), les navires comme le *Cuyahoga* sont tenus de disposer d'un système de gestion de la sécurité.

économique et continu. Elle décrit les responsabilités de la direction et de l'équipage en ce qui concerne le contrôle du budget et des coûts et les préparatifs pour l'entrée en cale sèche. La politique indique que lorsque de l'équipement essentiel, comme la machine principale, tombe en panne et doit être réparé, la situation doit être signalée immédiatement au capitaine et au gestionnaire du navire, et que le PIUM doit être utilisé, au besoin. La politique définit également les responsabilités des membres d'équipage censés effectuer l'entretien planifié et utiliser le système d'entretien planifié.

Le logiciel du système d'entretien planifié était utilisé pour assurer la planification et le suivi de l'entretien courant, comme l'entretien requis par le fabricant et l'entretien réglementaire, et pour planifier les travaux d'entretien qui nécessitaient une interruption des opérations, qui étaient reportés à une période non opérationnelle ou qui nécessitaient des ressources supplémentaires. Les tâches d'entretien planifié fondées sur le temps écoulé ou sur des intervalles réguliers sont générées automatiquement par le logiciel et doivent fournir les instructions et les renseignements dont le personnel d'entretien a besoin pour exécuter les tâches, notamment renvoyer aux instructions sur les pages pertinentes du manuel du fabricant.

1.14.2.1 Signalement et analyse des non-conformités techniques et des incidents évités de justesse

Afin d'établir des exigences de sécurité allant au-delà de celles prévues dans les règles et les règlements applicables, et comme décrit dans le Code ISM, la compagnie doit tenir compte de l'âge du navire et de ses machines, de l'historique d'entretien, des non-conformités techniques et des recommandations du fabricant. Des non-conformités ou des lacunes techniques peuvent être découvertes pendant l'exploitation ou l'entretien courant. Les non-conformités techniques peuvent mener à des conditions dangereuses. Pour atténuer le risque que présentent ces situations, l'équipage doit prendre des mesures correctives. Afin de choisir la meilleure ligne de conduite, il faut déterminer le défaut et en diagnostiquer les causes. La consignation et l'analyse de l'historique d'entretien du navire sont donc essentielles pour savoir quelles tâches doivent être effectuées afin de maintenir la navigation sécuritaire du navire et quelle surveillance continue est nécessaire. La politique de LLT régissant l'entretien des navires et de l'équipement ne contient pas d'instructions ni de lignes directrices concernant le signalement ou le suivi des non-conformités ou des défauts techniques.

Les incidents évités de justesse sont des incidents où des conséquences néfastes étaient possibles, mais ne se sont pas concrétisées. La politique sur le SGS de LLT indique que tous les incidents évités de justesse doivent être consignés et faire l'objet d'une enquête. La politique énumère plusieurs exemples, dont des événements qui auraient pu provoquer un incendie, mais qui ne l'ont pas fait. La politique donne pour directive aux membres d'équipage de signaler les incidents évités de justesse à leur superviseur immédiat, qui doit ensuite remplir le formulaire de rapport d'incident évité de justesse avant de le présenter à la personne désignée de la compagnie à des fins d'examen et de suivi.

Le BST a examiné les incidents évités de justesse consignés à bord du *Cuyahoga*. Ces rapports faisaient généralement état de risques pour la santé et la sécurité au travail et de

lacunes dans l'équipement de sécurité. Les signalements de problèmes mécaniques répondant à la définition d'incidents évités de justesse (par exemple des fuites répétitives dans le système d'injection de carburant susceptibles de provoquer un incendie dans la salle des machines) n'étaient pas consignés.

1.14.2.2 Dossiers d'entretien

Les dossiers d'entretien des navires sont essentiels à la sécurité. Des dossiers d'entretien détaillés et complets fournissent les données historiques nécessaires pour analyser les défaillances d'équipement et déterminer si l'équipement, l'entretien planifié ou les procédures d'exploitation doivent être modifiés. Les données historiques d'entretien permettent aussi d'analyser les tendances et d'exécuter des travaux d'entretien préventif efficaces.

La plupart des travaux d'entretien courant, qu'ils soient planifiés ou effectués en réaction à des problèmes mineurs, sont réalisés lorsque le navire est en service. Les dossiers d'entretien sont tenus à l'intention de l'équipage de la salle des machines et des inspecteurs. Certains dossiers d'entretien sont également utilisés par le personnel à terre pour planifier les opérations et les travaux d'entretien plus importants ou plus coûteux.

Le logiciel du système d'entretien planifié du *Cuyahoga* servait à consigner des notes relatives à cet entretien. Par exemple, la réparation de la rampe de distribution carburant avait été consignée dans le logiciel du système d'entretien planifié parce que des pièces de rechange devaient être commandées auprès d'un fournisseur; toutefois, lorsque le bon de travail a été rempli dans le système d'entretien planifié, les détails des travaux de remplacement n'ont pas été consignés. L'équipage de la salle des machines tenait aussi des dossiers et des notes dans un journal informel sur un ordinateur. Ce journal d'entretien informel était à la disposition de l'équipage pendant les opérations et les relèves, mais il n'était pas accessible au personnel à terre. Les membres d'équipage tenaient également des notes personnelles écrites à la main où ils faisaient état de détails supplémentaires. Les problèmes persistants, les fuites et le resserrage des conduites d'injection de carburant n'étaient pas non plus consignés. De plus, le remplacement de la vanne d'isolement défectueuse dans la conduite principale d'incendie, effectué en 2022, n'avait pas été consigné.

1.14.3 Plan d'intervention en cas d'urgence marine

Un plan d'intervention en cas d'urgence marine établit les procédures à suivre pour les situations d'urgence courantes à bord d'un navire. En cas d'incendie, il devrait définir des mesures de confinement pour des incendies dans diverses zones du navire. Ce plan devrait également recenser les risques d'incendie et définir des instructions concernant les tâches particulières à accomplir pendant les opérations de lutte contre les incendies (par exemple, les mesures à prendre lorsqu'un membre d'équipage manque à l'appel pendant un incendie ou la manière d'entrer dans le tunnel de déchargement lorsqu'il y a un incendie dans la salle des machines).

La section du manuel du SGS de LLT qui porte sur la préparation aux situations d'urgence renvoyait au PIUM. Le PIUM contenait des listes de vérification destinées à être utilisées par les capitaines de navires pour consigner et organiser les interventions d'urgence dans des situations dangereuses qui ont une incidence sur la navigabilité ou sur la sécurité du navire. La liste de vérification du PIUM pour les incendies et les explosions précisait les renseignements à recueillir et les personnes à qui ils devaient être communiqués une fois que le navire et l'équipage étaient en sécurité.

1.14.4 Manuel sur l'équipement et la formation en matière de lutte contre les incendies

L'équipage à bord du *Cuyahoga* s'était vu fournir un manuel qui contenait des renseignements généraux au sujet de l'équipement d'urgence présent à bord des navires de LLT et de la réglementation connexe. Le manuel avait été révisé la dernière fois en mars 2018. Le contenu du manuel était générique et s'appliquait à tous les navires de LLT.

La section 4 du manuel renseignait sur l'utilisation et le fonctionnement des systèmes fixes d'extinction d'incendie au CO₂ en général. Le manuel décrivait l'entretien d'un système typique et indiquait ce qui suit [traduction] :

Les systèmes au dioxyde de carbone ne nécessitent pas beaucoup d'entretien approfondi. La meilleure chose à faire pour assurer leur bon fonctionnement est de les inspecter régulièrement. Observez les commandes et les mécanismes pour vous assurer qu'il n'y a aucune obstruction et qu'aucune autre condition ne peut nuire à leur fonctionnement.

Portez une attention particulière au rangement des matériaux qui pourraient entraver l'accès aux commandes ou nuire au mouvement des pièces. Assurez-vous que les buses et les tuyaux ne sont pas obstrués par des débris, de la peinture, des lubrifiants ou d'autres substances étrangères. La plupart des opérations d'entretien seront effectuées par un technicien qualifié en matériel de protection contre le feu lorsqu'une défaillance a été constatée ou pendant l'inspection annuelle⁶⁴.

Le manuel ne contenait aucun renseignement spécifique à l'installation, au fonctionnement, aux inspections ou à l'entretien du système du *Cuyahoga*.

1.14.5 Exercices d'urgence

Le *Règlement sur les exercices d'incendie et d'embarcation* prévoit que les navires effectuent des exercices afin de s'assurer que les équipages sont prêts à intervenir en cas d'urgence. Les capitaines sont tenus de « [veiller] à ce que les exercices se déroulent, dans la mesure du possible, comme s'il y avait une véritable situation d'urgence⁶⁵ ». Les exercices d'urgence qui comprennent des scénarios réalistes accroissent l'état de préparation, la capacité de réaction et l'efficacité d'un équipage en cas d'urgence. Les scénarios réalistes peuvent

⁶⁴ Lower Lakes Towing Ltd., *Firefighting Equipment & Training Manual* (Janvier 2015, révisé en mars 2018), p. 3 et 4.

⁶⁵ Transports Canada, DORS/2010-83, *Règlement sur les exercices d'incendie et d'embarcation* (tel que modifié le 23 juin 2021), article 17.

comprendre des conditions différentes, comme un exercice dans l'obscurité ou dans le bruit, ou des exercices pour composer avec un membre d'équipage manquant ou encore avec de l'équipement endommagé ou inaccessible. Les scénarios réalistes peuvent également être des combinaisons de scénarios individuels et inclure la possibilité d'une aggravation, comme dans le cas d'un incendie à bord du navire combiné à un risque d'explosion.

Il est essentiel de prendre le temps d'organiser une réunion d'information après les exercices afin que les participants puissent évaluer l'efficacité des exercices, cerner les points à améliorer et discuter des commentaires ou des préoccupations concernant les rôles, l'équipement et les communications.

Il n'est pas obligatoire de veiller à ce que les exercices soient menés à des endroits précis, comme la salle des machines, où le risque d'incendie est élevé; la réglementation laisse la planification et le contenu des exercices à la discrétion des capitaines. Selon le SGS de LLT, les capitaines doivent élaborer des exercices qui englobent divers scénarios d'urgence. La politique de la compagnie suggère des scénarios d'exercice, mais les capitaines ont toute la latitude pour choisir ou modifier les scénarios d'exercice de façon à répondre aux exigences opérationnelles.

L'équipage du *Cuyahoga* effectuait régulièrement des exercices. Une fois les exercices terminés, le capitaine rédigeait un rapport sur l'exercice d'urgence. Ce rapport consignait les détails des incidents et la durée des exercices et comprenait une section réservée aux commentaires. Normalement, pendant la saison de navigation, les exercices avaient lieu lorsque le navire naviguait entre deux ports et à des moments qui perturbaient le moins possible les périodes de repos de l'équipage, souvent à partir de 16 h. Les exercices d'incendie et d'abandon du navire étaient combinés, et l'équipage participait à une réunion d'information à la fin. Parmi les 30 exercices effectués entre mai 2020 et mai 2023 à bord du *Cuyahoga*, la durée moyenne de l'exercice et de la réunion d'information combinés était de 25 minutes, et les exercices étaient toujours effectués pendant les heures de clarté. Au cours de cette même période, un seul exercice a été effectué pour un incendie dans la salle des machines, qui a nécessité l'utilisation simulée du système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ de la salle des machines. Aucun exercice ne comprenait la recherche d'un membre d'équipage manquant.

Les affectations du rôle d'appel étaient affichées sur la passerelle. Selon le rôle d'appel, 3 membres d'équipage étaient chargés de porter des combinaisons de pompier dans une situation d'urgence.

1.15 Formation sur les fonctions d'urgence en mer

Un incendie à bord d'un navire est un événement grave, et les membres d'équipage sont souvent la meilleure, et parfois la seule, option pour lutter contre l'incendie, surtout aux premières phases de l'événement. Au cours de la formation sur les fonctions d'urgence en mer (FUM), les élèves apprennent comment intervenir en cas d'incendie à bord d'un navire. Les buts des cours FUM sont les suivants :

1. Faire connaître aux gens de mer les risques associés au milieu marin et à leur bâtiment.
2. Par l'entremise de cours approuvés dispensés à terre, donner aux gens les compétences nécessaires pour faire face aux risques qui sont propres à leurs fonctions à bord des bâtiments⁶⁶.

Le contenu des cours de formation FUM est défini par TC⁶⁷, et les cours approuvés sont dispensés dans des établissements reconnus par TC. Dans les cours de base et avancés sur la lutte contre les incendies, les participants apprennent les stratégies et les tactiques pour maîtriser les incendies, la façon d'organiser les équipes de lutte contre les incendies, la coordination et les communications entre les équipes pendant les activités de lutte contre les incendies, et la façon de rechercher et de secourir les membres d'équipage manquants. Les établissements reconnus veillent à ce que les participants soient aussi bien préparés que possible pour faire face à des incendies à bord de navires dans des conditions réelles, en leur enseignant les pratiques exemplaires de l'industrie de la lutte contre les incendies.

Les établissements reconnus doivent disposer d'au moins 1 combinaison de pompier et un APRA pour chaque participant. Avant les exercices pratiques, les instructeurs s'assurent que l'équipement est adapté aux participants afin d'éviter les blessures. L'essai d'ajustement des APRA est souvent une condition préalable à la participation aux exercices pratiques de lutte contre les incendies; cet essai permet de s'assurer que les masques intégraux de protection sont bien ajustés au visage des participants, ce qui permet de conserver l'air et de réduire l'inhalation de fumée et de vapeurs.

Pendant les exercices pratiques liés aux incendies dans la salle des machines et les quartiers, plusieurs équipes coordonnent les efforts de lutte contre l'incendie :

- Une équipe d'entrée composée de 3 participants est formée pour faire avancer un tuyau dans un espace, actionner la buse du tuyau et communiquer avec les autres intervenants.
- Une équipe de relève composée de 3 participants reste à l'extérieur de l'espace, prête à remplacer l'équipe d'entrée lorsque cette dernière doit sortir ou à effectuer des opérations de recherche et sauvetage si un membre de l'équipe d'entrée est blessé ou s'avère manquant.
- Une 3^e équipe composée d'au moins 2 participants est de garde aux points de ventilation, prête à les ouvrir immédiatement avant l'attaque de l'équipe d'entrée.
- D'autres participants assurent le refroidissement du périmètre dans les espaces extérieurs.

Dans d'autres événements, le BST a constaté que les équipages qui tentaient d'appliquer des techniques faisant appel à plusieurs équipes avec un matériel inadéquat exposaient

⁶⁶ Transports Canada, TP 4957F, *Cours de formation aux fonctions d'urgence en mer*, 2^e édition (juillet 2021), section 1.3.

⁶⁷ Transports Canada, TP 4957F, *Cours de formation aux fonctions d'urgence en mer*, 2^e édition (juillet 2021).

l'équipage à un risque. Par exemple, lors d'un incendie à bord du *Newfoundland Lynx*⁶⁸, l'équipage a dû enfiler de l'équipement qui ne lui était pas adapté. Il a également tenté une attaque combinée nécessitant l'intervention de 4 pompiers alors qu'il n'y avait que 3 membres d'équipage qui étaient équipés, exposant ainsi les membres d'équipage non équipés à un risque.

Pour tous les certificats maritimes délivrés par TC, la formation FUM est la seule formation obligatoire qui comprend l'acquisition de compétences en lutte contre les incendies. Cette formation n'aborde pas la façon d'intervenir face à un incendie avec une seule équipe composée de 2 personnes équipées.

1.16 Exemptions aux exigences de sécurité obligatoires

Les exigences réglementaires relatives à l'entretien d'un navire définissent un niveau minimum de sécurité. La réglementation peut contenir des exemptions liées à l'âge (clauses de droits acquis) qui permettent aux représentants autorisés d'entretenir les navires conformément aux normes de construction d'origine, à moins que des modifications substantielles ne soient apportées aux systèmes ou à l'équipement; néanmoins, les navires existants sont généralement tenus d'appliquer les nouveaux éléments considérés comme faisables sur le plan économique. Dans ce contexte, les modifications substantielles sont celles qui « modifient substantiellement les dimensions du bâtiment ou ses locaux d'habitation des passagers, [...] augmentent substantiellement la durée de vie en service du bâtiment ou la durée de vie de ses aménagements [...] [ou nécessitent de remplacer] les machines, les systèmes et l'équipement⁶⁹ ». Certains règlements canadiens incorporent par renvoi les exigences actuelles de la Convention SOLAS; les règles de la Convention SOLAS contiennent des dispositions similaires. Par exemple, le *Règlement sur la sécurité contre l'incendie des bâtiments* exige que les navires canadiens se conforment aux règles de sécurité-incendie de la Convention SOLAS (chapitre II-2). Toutefois, les navires construits avant l'entrée en vigueur en juillet 2002 et la mise en œuvre subséquente au Canada du chapitre II-2 de la Convention SOLAS sont exemptés des exigences modifiées; les navires construits après cette date doivent répondre aux nouvelles exigences en matière de sécurité-incendie. En conséquence, des navires de taille similaire qui naviguent dans les

⁶⁸ Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0003.

⁶⁹ Transports Canada et Ressources naturelles Canada, DORS/2023-257, *Règlement sur la construction et l'équipement des bâtiments* (tel que modifié le 20 décembre 2023), article 11(1), paragraphe a), alinéas (i) et (ii) et paragraphe d).

eaux canadiennes sont assujettis à des exigences différentes en matière de construction et d'équipement⁷⁰.

Dans l'événement à l'étude, l'enquête a révélé des cas où des règlements destinés à atténuer les risques d'incendie n'avaient pas été appliqués au *Cuyahoga* en raison d'exemptions liées à l'âge. À titre d'exemple :

- la protection des raccords de la conduite d'injection de carburant de la machine principale;
- la présence d'une commande d'arrêt à distance de la machine principale sur la passerelle;
- le fait de ne pas installer une vanne d'isolement dans une salle des machines.

Fait établi : Autre

Certains règlements visant à atténuer les risques d'incendie ne s'appliquaient pas au *Cuyahoga* en raison d'exemptions liées à l'âge.

1.17 Événements antérieurs

Au fil des années, le BST a été informé de nombreux événements concernant des incendies dans des salles des machines. Entre mai 2018 et mai 2023, 180 incendies à bord de navires commerciaux ont été signalés au BST. Le BST et d'autres organismes internationaux d'enquête sur les accidents ont enquêté sur des événements maritimes similaires (annexe B).

Les données sur tous les événements de transport maritime survenus au Canada depuis 1995 sont disponibles sur le site Web du BST à l'adresse <https://www.bst.gc.ca/fra/stats/marine/data-6.html> et sont mises à jour tous les mois.

1.18 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. Les enjeux suivants tirés de la Liste de surveillance concernent l'événement à l'étude.

La gestion de la sécurité figure sur la Liste de surveillance 2022. Bien qu'au moment de l'événement, la réglementation n'exigeait pas que les navires comme le *Cuyahoga* soient dotés d'un SGS, LLT avait élaboré et mis en œuvre volontairement un SGS pour sa flotte et avait conclu un contrat avec l'American Bureau of Shipping pour assurer la surveillance et la certification de ce système. Toutefois, même lorsque les exploitants ont effectivement mis

⁷⁰ La base de données d'immatriculation de Transports Canada peut être consultée pour obtenir un instantané des navires actuellement immatriculés. Dans un instantané obtenu le 29 avril 2024 de 388 navires autopropulsés et immatriculés battant pavillon canadien, d'une GT de 500 ou plus, 179 navires, soit environ 54 %, avaient été construits avant 2000; cette catégorie de navires comprend des vraquiers tels que le *Cuyahoga*. Dans le cas des navires immatriculés de tous types et de toutes tailles confondus, y compris les chalands, ce pourcentage s'élève à près de 70 %. À titre de comparaison, l'âge moyen des navires de la flotte marchande mondiale est d'environ 22 ans (11,6 ans pour les vraquiers).

en œuvre des processus de gestion de la sécurité, ils ne sont pas toujours en mesure de démontrer que des dangers sont cernés et que des mesures efficaces d'atténuation des risques sont mises en œuvre.

En 2024, le *Règlement sur le système de gestion de la sécurité maritime* (DORS/2024-133) est entré en vigueur. En vertu de ce règlement, les navires commerciaux, à l'exception des bâtiments de pêche, sont tenus d'élaborer, de mettre en œuvre et de maintenir un SGS documenté.

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

- TC mette en œuvre de la réglementation obligeant tous les exploitants commerciaux à adopter des processus formels pour la gestion de la sécurité;
- les transporteurs qui ont un SGS démontrent à TC qu'il fonctionne bien et qu'il permet donc de cerner les dangers et de mettre en œuvre des mesures efficaces pour atténuer les risques.

La surveillance réglementaire figure sur la Liste de surveillance 2022. Dans le cas de bâtiments de plus grande taille (d'une longueur de plus de 24 m), comme le *Cuyahoga*, TC délègue la plupart des inspections obligatoires à des organismes reconnus tiers, puis surveille la conformité réglementaire de ces bâtiments au moyen d'inspections de conformité. Les enquêtes du BST ont démontré que la surveillance réglementaire des navires délégués n'est pas cohérente, ce qui entraîne des situations où le respect de la réglementation à bord de ces navires n'est pas vérifié.

MESURES À PRENDRE

L'enjeu de la **surveillance réglementaire dans le transport maritime** demeurera sur la Liste de surveillance jusqu'à ce que TC assure une plus grande surveillance des processus d'inspection des navires commerciaux en démontrant que sa supervision et sa surveillance sont efficaces pour veiller à ce que les représentants autorisés et les organismes reconnus s'assurent que les navires respectent les exigences réglementaires, et que TC démontre une augmentation de la surveillance proactive.

1.19 Rapports de laboratoire du BST

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

- LP079-2023 – Mechanical systems analysis [Analyse des systèmes mécaniques]
- LP097-2023 – NVM Recovery-Computer [Récupération de la mémoire non volatile – Ordinateur]
- LP119-2023 – Fractographic and chemical analysis of air start fitting and CO₂ release cable [Analyse fractographique et chimique d'un raccord de démarrage pneumatique et d'un câble de libération de CO₂]

2.0 ANALYSE

Le 23 mai 2023, un incendie s'est déclaré dans la salle des machines du vraquier *Cuyahoga*. Le système fixe d'extinction d'incendie n'est pas parvenu à libérer le dioxyde de carbone (CO₂), mais l'incendie s'est éteint parce que la machine principale a été arrêtée. L'analyse portera sur les causes de l'incendie dans la salle des machines et sur sa propagation. Elle portera également sur les pratiques d'installation et d'entretien de l'équipement de lutte contre l'incendie. Enfin, l'analyse portera sur l'intervention d'urgence et la préparation aux urgences en ce qui concerne les procédures en situation d'urgence et l'équipement contre l'incendie.

2.1 Causes de l'incendie dans la salle des machines

2.1.1 Vibrations du moteur et colliers de retenue sur les conduites d'injection de carburant

Les défaillances du circuit de carburant qui sont associées aux vibrations du moteur et à l'assemblage des composants des conduites de carburant sont une cause connue d'incendie dans la salle des machines. Les conduites d'injection de carburant sont reliées de manière rigide aux culasses du moteur et aux collecteurs d'alimentation en carburant et de retour de carburant. Les conduites et les raccords sont donc soumis aux vibrations du moteur. Pour fixer les conduites et réduire les effets des vibrations, comme le desserrage des raccords, il faut installer des colliers de retenue.

Au moment de l'événement, il n'y avait pas de colliers de retenue sur les conduites d'injection de carburant de la machine principale du *Cuyahoga* (figures 6 et 7). Les colliers de retenue étaient présents avant l'événement, mais ils avaient probablement été retirés en 2021 lors du remplacement des collecteurs d'alimentation en carburant et de retour de carburant. Le remplacement des collecteurs a eu pour effet de déplacer les points de raccordement des conduites d'injection de carburant. L'enquête n'a pas permis de déterminer la raison de ce déplacement. Cependant, repositionner le collecteur pour l'aligner avec les points de raccordement aurait nécessité des modifications de la tuyauterie de carburant de la machine principale, ce qui aurait pris beaucoup de temps, surtout en période de rade; cela n'a pas été fait. Les colliers de retenue étant conçus pour réduire le jeu, ils sont fixés directement sur les culasses. Par conséquent, la position de ces colliers ne pouvait pas être changée. Ainsi, après l'installation des nouveaux collecteurs, les conduites d'injection de carburant n'ont pas pu être fixées à l'aide des colliers de retenue; les conduites d'injection de carburant n'étaient donc pas protégées contre les effets des vibrations du moteur. De plus, les vibrations du moteur étaient aggravées par les cales en époxy fissurées sous les supports du moteur.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les colliers de retenue des conduites d'injection de carburant n'étaient pas en place, ce qui augmentait l'exposition des conduites de carburant aux effets des vibrations du moteur.

Les incendies dans la salle des machines sont une conséquence grave des fuites dans les conduites d'injection de carburant. Cependant, même si des fuites dans les conduites d'injection de carburant se produisent à l'occasion, les incendies dans la salle des machines sont relativement rares. Par conséquent, au cours de leur carrière, les ingénieurs maritimes accumulent une expérience dans laquelle des problèmes d'entretien comme les fuites dans les conduites d'injection de carburant n'ont pas de conséquences néfastes, ce qui réduit au minimum leur perception des risques.

Les conduites d'injection de carburant du *Cuyahoga* présentaient des fuites intermittentes depuis le remplacement des collecteurs d'alimentation en carburant et de retour de carburant. Ces fuites étaient colmatées en resserrant à l'occasion les raccords des conduites d'injection de carburant ou en remplaçant à l'occasion les joints toriques par mesure de précaution. L'équipage de la salle des machines du *Cuyahoga* se concentrait sur les défaillances mécaniques immédiates et observables plutôt que sur la nature sous-jacente du problème. Il a soupçonné que les vibrations du moteur étaient élevées et a accepté que les fuites de carburant étaient fréquentes.

Lorsque la charge de travail des membres d'équipage était élevée, ces derniers priorisaient les tâches opérationnelles qui revêtaient une urgence immédiate, comme les tâches de navigation, les réparations nécessaires pour maintenir la navigabilité et les opérations de manutention des cargaisons. Les non-conformités qui pouvaient être corrigées rapidement et de façon peu coûteuse par l'équipage, comme les fuites dans les conduites d'injection de carburant, étaient perçues comme étant des difficultés techniques mineures. En raison des priorités découlant de l'exploitation du navire et de la charge de travail, les tâches liées au système de gestion de la sécurité (SGS), comme la consignation des travaux d'entretien qui répondaient aux critères des événements à signaler, n'étaient pas accomplies. Par conséquent, les non-conformités techniques mineures n'étaient généralement pas consignées dans le système d'entretien planifié ni au moyen des outils de signalement du SGS.

Malgré que les fuites étaient colmatées dès qu'elles étaient découvertes, les colmatages n'étaient pas signalés. Par conséquent, la raison sous-jacente de la nécessité croissante de resserrer les raccords des conduites d'injection de carburant n'a pas fait l'objet d'une enquête, et l'équipage a accepté la nécessité croissante d'un resserrage.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Le colmatage des fuites dans les conduites d'injection de carburant a été intégré aux tâches d'entretien courant. Par conséquent, la cause des fuites répétées n'a pas été évaluée.

2.1.2 **Pulvérisation de carburant provenant d'un raccord de conduite d'injection de carburant desserré**

Les machines de propulsion sont essentielles à la sécurité d'un navire et de son équipage. En cas de défaillance, un navire est incapable de naviguer et se retrouve dans une situation potentiellement dangereuse. Une défaillance du circuit de carburant d'un moteur ou d'autres machines ou composants transportant des liquides inflammables peut être source d'importants dangers pour la sécurité. Les risques associés à ces dangers augmentent si ces défaillances se produisent à proximité de surfaces chaudes.

Le fabricant du moteur avait fourni des instructions d'entretien spécifiques pour le moteur, par exemple, le couple de serrage des raccords des conduites d'injection de carburant et les outils à utiliser. Cependant, le système d'entretien planifié ne contenait ni instruction ni information liée à l'entretien des conduites de carburant. Aucun processus n'était prévu pour s'assurer que les membres d'équipage connaissaient bien les instructions du fabricant, telles que l'instruction d'utiliser un embout de clé polygonale à tête fendue pour serrer les raccords en une seule étape, qui permet de mieux contrôler le couple appliqué. Par conséquent, chaque membre de l'équipe technique exécutait les tâches d'entretien qui lui étaient attribuées en fonction de son expérience individuelle. La nature variée de cette expérience augmentait la probabilité d'écarts par rapport aux procédures d'entretien prévues, ce qui augmentait la possibilité d'une erreur pendant le remontage.

Puisque le couple de serrage pour l'installation des conduites d'injection de carburant n'était pas connu de l'équipage et que la procédure d'installation était une pratique adaptée, il est également possible que les raccords fussent mal serrés, ce qui aurait accéléré le processus de desserrage causé par les vibrations.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

En l'absence de procédures précises et consignées, les membres d'équipage ont mis au point leurs propres méthodes pour gérer les fuites dans les conduites d'injection de carburant; en conséquence, les raccords n'étaient pas suffisamment serrés pour résister au processus de desserrage causé par les vibrations. Ces écarts par rapport aux instructions du fabricant ont donc probablement contribué au desserrage des raccords.

L'analyse des raccords des conduites d'injection de carburant effectuée par le BST a révélé qu'au moment où une fuite devenait visible, un raccord s'était desserré. Une fois qu'un raccord fileté est desserré, le joint finit par se déconnecter. Dans l'événement à l'étude, lorsque la conduite de retour d'injection de carburant du cylindre 7 s'est déconnectée, la pulvérisation qui en a découlé a produit un brouillard de gouttelettes qui a probablement recouvert de carburant le moteur et la tuyauterie des gaz d'échappement.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Un raccord sur une conduite de retour d'injection de carburant s'est desserré et s'est déconnecté, causant une pulvérisation de carburant.

Avant cet événement, la compagnie avait obtenu certaines mises à jour des manuels du constructeur du moteur lors de visites d'entretien. Cependant, la mise à jour dans laquelle le constructeur du moteur avait modifié la spécification de couple des raccords des conduites d'injection de carburant, en la faisant passer à une valeur plus élevée, n'était pas parvenue à l'équipage. Par conséquent, chaque fois que ce dernier tentait de colmater une fuite en resserrant un raccord, il serrait celui-ci selon la valeur recommandée précédemment par le fabricant du moteur. Les raccords des conduites d'injection de carburant sont donc restés insuffisamment serrés et étaient plus vulnérables au desserrage causé par les vibrations.

Fait établi quant aux risques

Si le personnel exécutant les travaux d'entretien ne dispose pas des documents les plus récents publiés par les fabricants d'équipement, les mises à jour et les corrections en matière de sécurité ne seront pas accessibles. Par conséquent, le risque de mauvais fonctionnement et de pannes de l'équipement sera plus élevé, ce qui accroît le risque pour l'équipage et le navire.

2.1.3 **Installation d'isolant par mesure de protection contre les incendies**

Un moyen important d'atténuer les risques d'incendie dans une salle des machines consiste à isoler les surfaces qui pourraient enflammer des liquides inflammables. L'Organisation maritime internationale (OMI) fournit des directives sur la sécurité-incendie, y compris des considérations générales sur l'installation d'isolant; ces directives sont mentionnées par l'Association internationale des sociétés de classification, mais Transports Canada ne les diffuse pas. Étant donné que l'isolation est utilisée dans de nombreuses industries, les normes et pratiques provenant de secteurs autres que le secteur maritime peuvent également s'appliquer. Cependant, aucune norme d'installation d'isolant n'est appliquée dans l'industrie maritime.

Dans l'événement à l'étude, l'état et l'installation de l'isolant sur la tuyauterie des gaz d'échappement faisaient en sorte d'exposer des surfaces en acier qui atteignaient des températures supérieures à la température d'autoallumage du carburant moteur. L'état détérioré de l'isolant n'a pas été consigné par les inspecteurs, l'équipage ou la direction du navire, et l'isolant est resté en place malgré son piètre état.

Le carburant pulvérisé par la conduite de retour d'injection déconnectée aurait formé un brouillard qui a probablement atteint la tuyauterie des gaz d'échappement du turbocompresseur qui se trouvait non loin de là et touché la surface d'acier chaude exposée par les espaces présents dans l'isolant. La quantité et le débit du carburant libéré par la conduite de retour d'injection déconnectée et l'abondant apport d'air de la salle des machines ont contribué à l'inflammation du carburant sur la surface chaude.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les espaces présents dans l'isolant ont fait en sorte d'exposer des surfaces chaudes sur la tuyauterie des gaz d'échappement à la sortie du turbocompresseur, et le carburant pulvérisé s'est enflammé au contact de ces surfaces.

2.1.4 Ventilation de la salle des machines pendant les incendies

Les espaces de machinerie comme les salles des machines doivent pouvoir être isolées en cas d'incendie, à la fois pour couper l'apport d'air et pour empêcher le feu de se propager. Pour isoler un espace, l'équipage doit en sceller les ouvertures. Toute ouverture qui ne peut être fermée entraîne une isolation incomplète de l'espace.

Si une salle est protégée par un système fixe d'extinction d'incendie, son agent extincteur (le CO₂ dans cet événement) peut être libéré pour éteindre un incendie. Cependant, il faut un certain temps pour que l'espace refroidisse jusqu'à une température inférieure à la température d'autoallumage du carburant. Si de l'air pénètre dans l'espace pendant cette période, soit par l'entrée de membres d'équipage, soit par des ouvertures qui n'ont pas été fermées, le feu peut se rallumer.

Dans l'événement à l'étude, plusieurs ouvertures étaient présentes dans le périmètre de l'espace de machinerie de la salle des machines :

- L'écouille de la claire-voie était partiellement fermée lorsque l'incendie s'est déclaré. Cependant, elle s'est ouverte complètement lorsque le câble électrique de la télécommande du treuil a été endommagé par le feu. Elle est donc restée ouverte durant 15 minutes après le début de l'incendie et pendant la première tentative de libération du CO₂.
- Certains hublots et portes coupe-feu sont restés ouverts, car ils étaient inaccessibles en raison de la chaleur et de la fumée dans la salle des machines.

Fait établi quant aux risques

S'il est impossible d'atteindre et de fermer les points de ventilation et les autres ouvertures donnant accès à un compartiment en feu, les efforts de maîtrise et d'extinction de l'incendie risquent d'être retardés ou infructueux.

Dans l'événement à l'étude, le CO₂ provenant du système fixe d'extinction d'incendie n'a pas été déchargé dans la salle des machines et n'a donc eu aucun effet. Cependant, la chaleur et les gaz de combustion se sont échappés par l'écouille de la claire-voie, et l'air s'est infiltré dans la zone de l'incendie par les hublots et les portes coupe-feu ouverts, où il a été entraîné par le panache de fumées montantes. Cette circulation d'air et cet entraînement ont contribué à refroidir la salle et à réduire la chaleur générée par l'incendie. De plus, l'alimentation en carburant de la machine principale a été coupée.

L'évacuation des gaz chauds et l'écoulement de l'air sur les lieux à l'emplacement de l'incendie, conjointement avec l'arrêt de la machine principale, ont fait en sorte de réduire l'accumulation de chaleur dans les espaces de machinerie. Cela a empêché les autres matières combustibles présentes dans les espaces de machinerie de s'enflammer, et

l'incendie a été confiné à la salle des machines. Par conséquent, l'incendie s'est éteint de lui-même lorsque le carburant a cessé d'être pulvérisé.

Fait établi : Autre

Bien que le système d'extinction d'incendie au CO₂ n'eût pas été déchargé, la ventilation par la claire-voie a probablement contribué à empêcher la propagation des flammes, et l'arrêt de la machine a fait cesser l'alimentation en combustible du feu, permettant ainsi au feu de s'éteindre de lui-même.

2.2 **Entretien et installation de l'équipement fixe de lutte contre l'incendie**

2.2.1 **Systèmes fixes d'extinction d'incendie au dioxyde de carbone**

Une fois qu'un incendie atteint une certaine taille, les systèmes fixes d'extinction d'incendie peuvent être le seul moyen dont dispose l'équipage d'un navire pour éteindre un incendie dans un espace de machinerie. Ces systèmes doivent être entretenus et inspectés conformément aux lignes directrices de l'industrie et aux instructions du fabricant.

La connaissance des exigences particulières relatives à l'entretien d'un système est essentielle à la sécurité du navire. Lower Lakes Towing (LLT) a embauché un tiers fournisseur de services pour effectuer l'entretien du système fixe d'extinction d'incendie au CO₂, s'attendant à ce que les techniciens possèdent une connaissance spécialisée de l'entretien du système. Cette attente s'appuyait sur le certificat d'agrément de classe que l'entrepreneur avait détenu antérieurement. Cependant, les techniciens qui ont effectué l'entretien et l'inspection n'avaient pas reçu de formation du fabricant sur le système. En conséquence, les tâches d'entretien visant à détecter et à corriger certains des défauts qui ont entraîné la défaillance du système le jour de l'événement n'ont pas été effectuées. Par exemple, des joints toriques étaient manquants sur certaines des bouteilles, et certains tuyaux de décharge n'avaient pas été serrés. Le système a donc été laissé dans un état dangereux après la visite d'entretien annuelle. Le chef mécanicien et le gestionnaire du navire ne connaissaient pas les tâches d'entretien à effectuer et n'étaient donc pas en mesure de s'assurer que ces tâches étaient effectuées conformément aux exigences du fabricant au cours de l'entretien annuel.

Les exigences du fabricant en matière d'inspection mensuelle n'étaient pas incluses dans le système d'entretien planifié du navire ni dans son manuel sur l'équipement et la formation en matière de lutte contre l'incendie. En partie à cause de cette lacune, les inspections mensuelles ultérieures effectuées par l'équipage n'ont pas permis de détecter les raccords de tuyau qui s'étaient desserrés et les connexions desserrées dans les têtes de décharge. En conséquence, le risque de fuites n'a pas été détecté et les causes des fuites n'ont été découvertes que lors de l'inspection du système réalisée après l'incendie, dans le cadre de l'enquête. Étant donné que les techniciens avaient effectué l'entretien et l'inspection du système au CO₂ du navire, l'équipage pensait que le système était en bon état de fonctionnement et qu'il serait efficace pour éteindre l'incendie.

Fait établi quant aux risques

Lorsque les personnes participant à l'inspection et à l'entretien des systèmes fixes d'extinction d'incendie ne connaissent pas les instructions du fabricant, des lacunes peuvent ne pas être cernées et corrigées, ce qui augmente le risque de défaillance de ces systèmes en cas d'incendie.

Les systèmes d'urgence ne sont pas destinés à être utilisés régulièrement et, pour certains, leur activation au cours d'exercices est simulée. Par conséquent, les systèmes d'urgence nécessitent des instructions claires, concises et hautement fonctionnelles pour être utilisés avec succès. En particulier, les installations de systèmes au CO₂ sont conçues pour chaque navire et chaque espace protégé; les instructions d'utilisation doivent donc être personnalisées.

La personnalisation des instructions, y compris l'anticipation des problèmes qui peuvent survenir pendant l'utilisation, nécessite une bonne compréhension du système. Les instructions doivent indiquer les mesures à prendre pour garantir que le CO₂ sera libéré dans l'espace protégé. Au cours d'une libération locale (activée manuellement), les mesures prises doivent aussi viser à réduire au minimum le risque de fuites de CO₂ qui pourraient avoir des effets sur le membre d'équipage effectuant la tâche.

Dans l'événement à l'étude, les instructions relatives à la libération locale de CO₂ étaient adaptées directement des instructions du fabricant et étaient fondées sur son exemple d'installation. Cependant, pour maintenir ouvert le passage du CO₂ entre les bouteilles et la salle des machines dans l'installation du *Cuyahoga*, 2 étapes auraient dû être inversées : la vanne d'arrêt directionnelle aurait dû être ouverte avant que le collecteur ne soit mis sous pression. Au lieu de cela, les instructions précisaient que le collecteur devait d'abord être mis sous pression, ce qui signifiait que le gaz ne pouvait pas entrer dans la tuyauterie de distribution de la salle des machines. Par conséquent, du CO₂ à haute pression et à basse température a été libéré dans la salle des bouteilles par les fuites présentes dans les têtes des bouteilles. La salle étant remplie de CO₂, le chef mécanicien n'a pas pu atteindre la vanne d'arrêt directionnelle pour ouvrir le passage vers le dispositif de retardement de décharge et la vanne d'arrêt principale de la salle des machines.

Les inspecteurs et les auditeurs peuvent vérifier si les instructions existent et si l'équipage connaît l'emplacement des instructions⁷¹. Toutefois, la vérification des instructions elles-mêmes dépasse la portée de la plupart des inspections et des audits. Il incombe au représentant autorisé de fournir les instructions, et il incombe à l'équipage de fournir une rétroaction à leur sujet. Dans le cas des systèmes d'urgence comme les systèmes fixes d'extinction d'incendie au CO₂, dont l'activation pendant les exercices est irréalisable, il est particulièrement important de simuler l'utilisation des instructions de manière à cerner les problèmes possibles et à apporter les changements nécessaires.

⁷¹ Par exemple, voir le Rapport d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0434 du BST.

Fait établi quant aux risques

Si les instructions relatives au fonctionnement des systèmes fixes d'extinction d'incendie au CO₂ ne sont pas claires, détaillées et spécifiques à l'installation, il existe un risque que ces systèmes ne fonctionnent pas correctement et de façon sécuritaire pendant une situation d'urgence.

En raison des dangers associés au CO₂ entreposé sous pression dans des bouteilles en acier, le principal moyen d'activation d'un système au CO₂ est la télécommande. La protection et le cheminement des câbles de libération à distance constituent un aspect important de la conception du système. Les documents d'orientation de l'industrie, comme les lignes directrices des sociétés de classification, recensent un certain nombre de facteurs qui influent sur le bon fonctionnement, y compris l'endroit où les câbles sont installés. Pour veiller à ce que les câbles ne se détériorent pas avec le temps, ceux-ci doivent être situés dans des zones où ils ne seront pas exposés aux intempéries ou à la corrosion. Pour s'assurer qu'ils ne seront pas endommagés par un incendie, il ne faut pas les cheminer dans des endroits exposés ou dans l'espace protégé.

Dans l'événement à l'étude, les câbles de libération à distance ont été exposés à la chaleur du feu et rendus cassants sous l'effet d'une réaction entre les matériaux du conduit et ceux des câbles. Par conséquent, les câbles se sont rompus lorsque l'on a tiré dessus. Lorsque le système a été installé, les câbles avaient été cheminés près de l'écouille de la claire-voie et au-dessus de la machine principale. À cet endroit, toutefois, ils se trouvaient aussi à l'intérieur de l'espace protégé, où certaines des températures les plus élevées enregistrées pendant un incendie de moteur étaient susceptibles de se produire.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

Les câbles de libération à distance du système fixe d'extinction d'incendie étaient situés dans un endroit exposé de la salle des machines et ont été endommagés par l'incendie. Par conséquent, les câbles se sont rompus et le CO₂ n'a pas été déchargé dans la salle des machines, ce qui a obligé un membre d'équipage à tenter une libération locale.

2.2.2 Vanne d'isolement de la pompe à incendie de secours

Les essais de fonctionnement de l'équipement de secours constituent une façon de s'assurer que celui-ci fonctionnera lorsqu'on en aura besoin. Toutefois, dans le cas des composants qui sont rarement utilisés ou des composants internes dont l'état ne peut pas être évalués à fond pendant les essais de fonctionnement, les inspections périodiques constituent un élément important de l'entretien préventif.

Malgré que l'équipage réalisait à l'occasion des essais de fonctionnement de la pompe à incendie d'urgence pendant les exercices d'incendie, l'essai mensuel consistant à démarrer la pompe et à vérifier la pression de refoulement ne permettait pas de déterminer l'état de la vanne d'isolement. L'état interne de la vanne ne pouvait être constaté qu'en l'enlevant et en la démontant. Par conséquent, la corrosion de la vanne d'isolement n'a pas été détectée.

Puisqu'il y avait une certaine résistance sur la tige, il est probable que le membre d'équipage qui a tenté d'ouvrir la vanne pour la dernière fois a cru que la vanne était ouverte.

Pendant l'événement, l'équipage a constaté qu'il n'y avait pas d'eau dans la conduite principale d'incendie. Puisque la pompe avait déjà été bloquée par de l'air et qu'il n'y avait aucun autre moyen de fournir de l'eau pour lutter contre l'incendie, le chef mécanicien est entré dans le tunnel de déchargement, qui était potentiellement dangereux, pour travailler sur la pompe.

La corrosion constatée dans la vanne d'isolement de la pompe à incendie de secours s'était développée après plusieurs années d'utilisation. En fait, la vanne avait atteint la fin de son cycle de vie. Puisque les vannes et les tuyaux peuvent entrer en contact avec l'eau, ils sont sujets à la corrosion et doivent donc être réparés ou remplacés de temps à autre. L'enquête a permis de déterminer que l'orientation relative à l'inspection et à l'entretien des vannes d'isolement de la conduite principale d'incendie ne figurait pas dans le SGS ni dans le manuel *Fire Fighting Equipment & Training* de LLT. Dans la liste principale des éléments à inspecter dressée par Lloyd's Register, l'inspection des vannes d'isolement de la conduite principale d'incendie n'est pas comprise dans l'inspection de la pompe à incendie de secours. Lors de cette inspection, la pompe à incendie de secours a été ouverte, et la pompe ainsi que ses tuyaux et raccords ont été examinés. Toutefois, aucun document n'indiquait que la vanne avait jamais été ouverte pour être inspectée depuis son installation.

Fait établi quant aux causes et aux facteurs contributifs

À l'insu de l'équipage, une vanne d'isolement qui se trouvait dans la conduite principale d'incendie était corrodée et bloquait l'écoulement de l'eau vers la conduite principale, empêchant ainsi l'utilisation de l'eau pour contenir l'incendie.

2.3 Intervention d'urgence et préparation aux urgences

2.3.1 Exercices et procédures

En cas d'urgence, il peut y avoir un rétrécissement et une focalisation de l'attention. Ce rétrécissement et cette focalisation de l'attention, accompagnés d'une réaction de stress, peuvent nuire à la prise de décisions, ce qui peut amener quelqu'un à prendre des décisions et des mesures sans en évaluer les risques connexes. Cette attention ciblée peut être souhaitable dans certaines situations, mais n'est pas sans conséquences, car la personne risque de passer outre d'autres renseignements qui pourraient être importants pour gérer la situation. Les procédures, les exercices et la formation sont conçus pour aider les membres d'équipage à gérer efficacement les situations d'urgence, comme l'absence ou la disparition d'un membre d'équipage pendant un incendie.

À l'instar de tous les types d'intervention d'urgence, les exercices d'incendie et d'abandon du navire sont surtout efficaces s'ils combinent :

- des activités visant à développer des réactions automatiques, comme le fait d'enfiler des combinaisons de pompier et des appareils de protection respiratoire autonome (APRA) ou de vérifier si les tâches ont été accomplies;

- un large éventail de scénarios réalistes représentant des situations probables, à l'appui de la prise de décision.

De plus, les procédures, les exercices et la formation devraient être effectués avec l'équipement qui sera à la disposition de l'équipage pendant une situation d'urgence.

Des exercices fréquents qui envisagent des scénarios réalistes permettent d'acquérir de l'expérience pour s'adapter aux problèmes ou prendre des décisions rapides pendant une situation d'urgence. Par exemple, dans l'événement à l'étude, les membres d'équipage devaient prendre des décisions sur la façon d'accéder de façon sécuritaire à la pompe à incendie d'urgence lorsque les moyens d'accès habituels ont été bloqués.

Le deuxième mécanicien, qui avait été désigné comme chef de la première équipe de lutte contre l'incendie, était absent durant les premières minutes de l'événement. Son absence a retardé certaines des étapes de la lutte contre l'incendie. De plus, les membres d'équipage qui ont tenté de le localiser n'ont pas informé les autres qu'ils pénétraient dans les quartiers enfumés, et aucun d'eux ne portait de combinaison de pompier ni d'APRA, s'exposant ainsi à un risque supplémentaire.

Le rôle d'appel du *Cuyahoga* désignait 3 membres d'équipage pour enfiler une combinaison de pompier en cas d'incendie dans la salle des machines ou ailleurs. Cependant, le navire ne disposait que de 2 combinaisons de pompier. Dans l'événement à l'étude, 2 membres d'équipage ont enfilé les combinaisons de pompier. Cependant, les membres d'équipage qui ont participé le plus activement à la lutte contre l'incendie ne portaient pas de combinaison de pompier ni d'APRA.

D'autres enquêtes du BST⁷² ont révélé des cas où les rôles d'appel ne reposaient pas sur une évaluation réaliste de l'intervention d'urgence. De nombreuses enquêtes récentes du BST ont également révélé que le manque de scénarios d'exercice variés a été un facteur dans l'intervention lors de situations d'urgence complexes.

Fait établi quant aux risques

Des scénarios réalistes décrivent des événements susceptibles de se produire en cas d'urgence, comme la disparition d'un membre d'équipage pendant un incendie dans la salle des machines. Si de tels scénarios ne sont pas utilisés dans le cadre des exercices d'urgence, l'équipage sera moins préparé à prendre des décisions rapides, à évaluer les résultats et à adapter ses actions en conséquence.

Des procédures d'urgence exactes et propres au navire aident l'équipage à acquérir une compréhension commune de l'intervention d'urgence en cas d'incendie, ce qui facilite la coordination des efforts. S'ils ne peuvent pas s'appuyer sur de telles procédures, les capitaines et les officiers supérieurs doivent réagir à tous les aspects d'une intervention en cas d'incendie pendant que l'urgence se produit. Par conséquent, la lutte contre l'incendie

⁷² Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M22C0231, M20A0003 et M19C0403 du BST.

pourrait ne pas être bien coordonnée, ce qui réduirait son efficacité et augmenterait les risques pour les membres d'équipage.

Les procédures devraient être propres à chaque navire et exhaustives. Par exemple, les procédures d'intervention en cas d'incendie devraient définir les mesures de confinement des incendies pour différentes zones du navire, en particulier sur un navire comme le *Cuyahoga*, où les structures avant et arrière étaient très éloignées l'une de l'autre.

Dans l'événement à l'étude, la liste de vérification en cas d'incendie ou d'explosion n'était pas propre au navire et décrivait principalement les étapes à suivre pour signaler la situation d'urgence. Les autres procédures étaient générales (pas propres au navire) ou inexistantes.

Fait établi quant aux risques

Si des instructions propres au navire relatives à la lutte contre les incendies sont manquantes ou inadéquates, il y a un risque que l'équipage ne soit pas en mesure de réagir efficacement à un incendie à bord du navire.

2.3.2 Équipement de protection individuelle et formation en matière de lutte contre l'incendie

Lorsqu'un incendie se déclare à bord d'un navire, une intervention rapide et coordonnée de lutte contre les incendies, menée par des personnes formées et munies de l'équipement approprié, est essentielle pour maîtriser et éteindre le feu.

Dans l'événement à l'étude, le nombre insuffisant de pompiers équipés a limité la capacité de l'équipage à lutter contre l'incendie de manière efficace et sécuritaire. Par exemple, la décision de libérer du CO₂ dans la salle des machines avant que la salle ne soit complètement isolée a été influencée par le fait que l'on savait qu'il était inutilement dangereux pour 2 membres d'équipage d'entrer dans la superstructure arrière ou dans la salle des machines sans équipe de relève.

Les 2 membres d'équipage qui ont enfilé les 2 combinaisons de pompier à bord du navire l'ont fait conformément au rôle d'appel; l'équipe de la salle des machines n'a pas enfilé de combinaisons de pompier ni d'APRA. Par conséquent, les membres de l'équipe de la salle des machines ont été exposés à de la fumée et à d'autres dangers pendant leur intervention. Par exemple, le chef mécanicien a récupéré le thermomètre à infrarouges dans les quartiers enfumés sans porter d'APRA. De plus, les membres d'équipage qui tentaient de réparer la pompe à incendie de secours sont entrés dans le tunnel de déchargement sans protection.

Des enquêtes antérieures du BST⁷³ ont démontré que le niveau minimum d'équipement de protection personnelle qui est exigé pour la lutte contre les incendies peut s'avérer inadéquat.

⁷³ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0003 et M18P0014 du BST.

Fait établi quant aux risques

Si uniquement l'équipement de lutte contre l'incendie minimum est transporté à bord, toute intervention qui va au-delà de la surveillance et du refroidissement du périmètre risque d'accroître les risques pour l'équipage.

La formation à la lutte contre les incendies dispensée par des établissements reconnus vise à permettre à l'équipage d'intervenir de façon efficace et sécuritaire à la suite d'un incendie à bord d'un navire, en suivant les pratiques exemplaires. Les participants apprennent à travailler en équipes coordonnées pour contenir et combattre les incendies.

Les membres d'équipage des navires ne sont pas des pompiers professionnels, et pour la plupart d'entre eux, la formation aux fonctions d'urgence en mer (FUM) constitue la seule source de connaissances et d'expérience en matière de lutte contre les incendies. Le manque d'équipement de lutte contre l'incendie sur certains navires empêchera l'équipage de mettre en pratique ce qu'il a appris. Les écarts entre ce que l'équipage sait faire et ce qu'il lui est possible de faire dans une situation d'urgence réelle en raison des limites de l'équipement disponible empêchent une utilisation efficace des connaissances et de l'expérience acquises lors de la formation FUM. De plus, si l'équipement n'est pas bien ajusté aux membres d'équipage qui le portent, le risque de blessure est accru lorsque ces derniers pénètrent dans un compartiment touché.

Le BST a constaté dans d'autres événements⁷⁴ que le manque d'accès à de l'équipement adéquat de lutte contre l'incendie avait empêché l'équipage d'exécuter de façon sécuritaire les activités combinées et coordonnées de lutte contre l'incendie telles qu'elles sont enseignées dans les cours de formation FUM.

Dans l'événement à l'étude, le feu s'est éteint de lui-même avant de se propager à l'extérieur de l'espace de machinerie, car la salle était ventilée au début de l'événement et l'alimentation du feu en combustible a cessé rapidement. Toutefois, l'équipage n'était pas équipé pour mettre en pratique les connaissances et les compétences en matière de lutte contre les incendies qu'il avait acquises lors de la formation FUM, qui auraient pu être nécessaires si le feu s'était propagé.

Fait établi quant aux risques

Si l'équipage n'a accès qu'à l'équipement minimum de lutte contre l'incendie qui est exigé par la réglementation, il ne sera pas en mesure d'utiliser de façon sécuritaire les connaissances et les compétences en matière de lutte contre les incendies enseignées lors de la formation FUM. Par conséquent, les activités de lutte contre les incendies et de confinement des incendies à bord du navire seront limitées et les risques pour l'équipage augmenteront.

⁷⁴ Rapports d'enquête sur la sécurité du transport maritime M20A0003 et M19C0403 du BST.

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 colliers de retenue des conduites d'injection de carburant n'étaient pas en place, ce qui augmentait l'exposition des conduites de carburant aux effets des vibrations du moteur.
2. Le colmatage des fuites dans les conduites d'injection de carburant a été intégré aux tâches d'entretien courant. Par conséquent, la cause des fuites répétées n'a pas été évaluée.
3. En l'absence de procédures précises et consignées, les membres d'équipage ont mis au point leurs propres méthodes pour gérer les fuites dans les conduites d'injection de carburant; en conséquence, les raccords n'étaient pas suffisamment serrés pour résister au processus de desserrage causé par les vibrations. Ces écarts par rapport aux instructions du fabricant ont donc probablement contribué au desserrage des raccords.
4. Un raccord sur une conduite de retour d'injection de carburant s'est desserré et s'est déconnecté, causant une pulvérisation de carburant.
5. Les espaces présents dans l'isolant ont fait en sorte d'exposer des surfaces chaudes sur la tuyauterie des gaz d'échappement à la sortie du turbocompresseur, et le carburant pulvérisé s'est enflammé au contact de ces surfaces.
6. Les câbles de libération à distance du système fixe d'extinction d'incendie étaient situés dans un endroit exposé de la salle des machines et ont été endommagés par l'incendie. Par conséquent, les câbles se sont rompus et le CO₂ n'a pas été déchargé dans la salle des machines, ce qui a obligé un membre d'équipage à tenter une libération locale.
7. À l'insu de l'équipage, une vanne d'isolement qui se trouvait dans la conduite principale d'incendie était corrodée et bloquait l'écoulement de l'eau vers la conduite principale, empêchant ainsi l'utilisation de l'eau pour contenir l'incendie.

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 le personnel exécutant les travaux d'entretien ne dispose pas des documents les plus récents publiés par les fabricants d'équipement, les mises à jour et les corrections en matière de sécurité ne seront pas accessibles. Par conséquent, le risque de mauvais fonctionnement et de pannes de l'équipement sera plus élevé, ce qui accroît le risque pour l'équipage et le navire.

2. S'il est impossible d'atteindre et de fermer les points de ventilation et les autres ouvertures donnant accès à un compartiment en feu, les efforts de maîtrise et d'extinction de l'incendie risquent d'être retardés ou infructueux.
3. Lorsque les personnes participant à l'inspection et à l'entretien des systèmes fixes d'extinction d'incendie ne connaissent pas les instructions du fabricant, des lacunes peuvent ne pas être cernées et corrigées, ce qui augmente le risque de défaillance de ces systèmes en cas d'incendie.
4. Si les instructions relatives au fonctionnement des systèmes fixes d'extinction d'incendie au CO₂ ne sont pas claires, détaillées et spécifiques à l'installation, il existe un risque que ces systèmes ne fonctionnent pas correctement et de façon sécuritaire pendant une situation d'urgence.
5. Des scénarios réalistes décrivent des événements susceptibles de se produire en cas d'urgence, comme la disparition d'un membre d'équipage pendant un incendie dans la salle des machines. Si de tels scénarios ne sont pas utilisés dans le cadre des exercices d'urgence, l'équipage sera moins préparé à prendre des décisions rapides, à évaluer les résultats et à adapter ses actions en conséquence.
6. Si des instructions propres au navire relatives à la lutte contre les incendies sont manquantes ou inadéquates, il y a un risque que l'équipage ne soit pas en mesure de réagir efficacement à un incendie à bord du navire.
7. Si uniquement l'équipement de lutte contre l'incendie minimum est transporté à bord, toute intervention qui va au-delà de la surveillance et du refroidissement du périmètre risque d'accroître les risques pour l'équipage.
8. Si l'équipage n'a accès qu'à l'équipement minimum de lutte contre l'incendie qui est exigé par la réglementation, il ne sera pas en mesure d'utiliser de façon sécuritaire les connaissances et les compétences en matière de lutte contre les incendies enseignées lors de la formation FUM. Par conséquent, les activités de lutte contre les incendies et de confinement des incendies à bord du navire seront limitées et les risques pour l'équipage augmenteront.

3.3 Autres faits établis

Ces faits établis règlent une controverse, révèlent des circonstances atténuantes ou soulignent un élément notable de l'événement.

9. À la suite d'un incendie antérieur survenu à bord d'un autre navire de LLT, les instructions qui étaient affichées au poste de libération à distance du CO₂ du *Cuyahoga* ont été révisées de manière à fournir des renseignements précis sur la façon de vérifier

- si une libération été effectuée avec succès et à décrire les mesures de sécurité à prendre après la libération.
10. Certains règlements visant à atténuer les risques d'incendie ne s'appliquaient pas au *Cuyahoga* en raison d'exemptions liées à l'âge.
 11. Bien que le système d'extinction d'incendie au CO₂ n'eût pas été déchargé, la ventilation par la claire-voie a probablement contribué à empêcher la propagation des flammes, et l'arrêt de la machine a fait cesser l'alimentation du feu en combustible, permettant ainsi au feu de s'éteindre de lui-même.

4.0 MESURES DE SÉCURITÉ

4.1 Mesures de sécurité prises

4.1.1 Lower Lakes Towing Limited

Pendant les réparations du système fixe d'extinction d'incendie au dioxyde de carbone (CO₂), les câbles de commande à distance situés entre la porte d'accès à la salle des machines et le compartiment des bouteilles ont été cheminés à l'extérieur de la salle des machines, le long du pont et de la claire-voie sur le pont des embarcations.

Les instructions relatives à l'exécution des commandes du système au CO₂ ont été modifiées, et l'équipage a reçu la consigne d'actionner la vanne d'arrêt directionnelle avant d'actionner les têtes de commande sur les bouteilles.

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 16 juillet 2025. Le rapport a été officiellement publié le 27 août 2025.

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.

ANNEXES

Annexe A – Instructions du fabricant pour les inspections mensuelles

Les procédures pour les inspections mensuelles varient légèrement entre les différentes versions du manuel, comme on pourrait s’y attendre.

6-3 PROCÉDURES D’INSPECTIONS – MENSUELLES

1. Effectuez une inspection générale de l’ensemble des bouteilles et de l’équipement pour repérer les pièces endommagées ou manquantes. Si de l’équipement doit être remplacé, référez-vous au paragraphe 6-7.
2. Assurez-vous que l’accès aux zones dangereuses, aux stations d’azote et de câblage guide éloignées, aux buses de décharge et aux bouteilles est libre et qu’il n’y a pas d’obstacles à l’utilisation de l’équipement ou à la distribution du dioxyde de carbone.
3. Inspectez les tuyaux d’actionnement flexibles pour déceler la présence de raccords desserrés, de filetages endommagés, de fissures, de distorsions, de coupures, de crasse et de tresse métallique effilochée. Resserrez les raccords desserrés. Remplacez les tuyaux dont le filetage est arraché ou qui présentent d’autres dommages. Au besoin, nettoyez les pièces selon les instructions au paragraphe 6-6.3. Inspectez les adaptateurs des tuyaux d’actionnement flexibles pour déceler la présence de filetages arrachés et de dommages. Remplacez les adaptateurs endommagés. Inspectez le serrage des couplages et des tés. Resserrez au besoin. Remplacez les pièces endommagées.
4. Inspectez les têtes de commande fixées aux bouteilles de CO₂, aux bouteilles d’azote, aux vannes d’arrêt et aux dispositifs de retardement pour déceler les dommages physiques, la détérioration, la corrosion, la déformation, les fissures, la crasse et les couplages desserrés. Resserrez les couplages desserrés. Remplacez les bouchons endommagés ou manquants. Remplacez la tête de commande s’il y a présence de dommages. Au besoin, nettoyez selon les instructions au paragraphe 6-6.3. Assurez-vous que toutes les têtes de commande, les dispositifs d’actionnement, etc. sont tous dans la position « set » (réglée) ou « closed » (fermée), avec la goupille de verrouillage installée et le fil à sceller intact.
5. Inspectez l’assemblage des bouteilles de dioxyde de carbone et des vannes pour déceler la présence de fuites, de dommages physiques comme des fissures, des bosselures, de la distorsion, et de pièces usées. Vérifiez s’il y a des dommages à l’opercule de sécurité et remplacez-le au besoin. Au besoin, nettoyez la bouteille et les parties associées selon les instructions au paragraphe 6-6.3.
6. Inspectez les sangles, les supports et les fixations des bouteilles pour déceler la présence de pièces desserrées, endommagées ou brisées. Vérifiez les sangles et les pièces connexes pour déceler la présence de corrosion, d’huile, de graisse, de

- salissure, etc. Resserrez les fixations desserrées. Remplacez les pièces endommagées. Au besoin, nettoyez selon les instructions au paragraphe 6-6.3.
7. Inspectez les têtes de décharge du système au CO₂ pour déceler toute fissure, corrosion, crasse, etc. Assurez-vous que les têtes de décharge sont bien fixées à chaque vanne de bouteille de CO₂ et raccordées au collecteur de décharge à l'aide d'un tuyau de décharge flexible ou d'un adaptateur pivotant.
 8. Inspectez les tuyaux de décharge flexibles pour déceler la présence de raccords desserrés, de filetages endommagés, de fissures, de rouille, de plis, de distorsion, de crasse et de tresse métallique effilochée. Resserrez les raccords desserrés et remplacez les tuyaux dont le filetage est endommagé. Au besoin, nettoyez selon les instructions au paragraphe 6-6.3.
 9. Inspectez le collecteur de décharge pour déceler la présence de dommages physiques, de corrosion ou de crasse. Inspectez les supports et les brides du collecteur pour vérifier s'ils sont desserrés ou endommagés. Inspectez les clapets antiretour et les vannes d'arrêt, le cas échéant, pour déceler la présence de déformation, de fuites, de fissures, d'usure, de corrosion et de crasse. Fixez les pièces qui ont du jeu. Remplacez les pièces endommagées. Au besoin, nettoyez selon les instructions au paragraphe 6-6.3.
 10. Inspectez les buses de décharges pour déceler la présence de crasse et de dommages physiques. Remplacez les buses endommagées. Si les buses sont sales ou bouchées, référez-vous au paragraphe 6-6.4. Là où des disques cassables sont utilisés, assurez-vous qu'ils sont intacts et propres. Vérifiez s'il y a des trous ou des coupures. Des disques brisés vont permettre aux vapeurs, aux huiles, etc. générées par l'incident d'entrer dans les buses et la tuyauterie du système et ainsi sérieusement compromettre ou bloquer la décharge du système.

ATTENTION

N'appliquez pas de peinture sur les orifices de la buse. Le numéro de pièce de chaque buse est estampé sur la buse. Les buses doivent être remplacées par des buses avec le même numéro de pièce. Les buses ne doivent jamais être interchangeables : si les buses sont interchangeables de façon aléatoire, la distribution du CO₂ dans une zone touchée sera compromise.

11. Inspectez les manocontacteurs de pression pour déceler la présence de déformations, de fissures, de crasse ou d'autres dommages. Remplacez le manocontacteur s'il est endommagé.
12. En consultant le manomètre de la bouteille d'azote, vérifiez si la pression d'utilisation est adéquate. Si la perte de pression (ajustée en fonction de la température) dépasse les 10 %, remplissez la bouteille d'azote jusqu'à ce que la pression atteigne 1800 lb/po² à 70 °F. Voir la figure 6-1 pour connaître le lien entre la pression et la température.

13. Inspectez la vanne de verrouillage (si elle est installée). La vanne doit être fixée et verrouillée dans la position « open » (« ouverte »).
14. Inspectez visuellement le système de détection et de panneau de commande. Assurez-vous que le système est « normal » et qu'il n'émet aucun signal « alarm » ou « trouble ».
15. Si des défauts sont décelés pendant l'inspection mensuelle, communiquez immédiatement avec un distributeur Kidde Fire Systems pour faire l'entretien des systèmes.

Kidde Fire Systems (numéro de pièce 81-CO2MAN-001), *Engineered Carbon Dioxide (CO₂) Fire Suppression Systems: Design, Installation, Operation and Maintenance Manual* (septembre 2013), Section 6.3 (traduction par le BST).

Annexe B – Événements similaires

Bureau de la sécurité des transports du Canada

M21A0041 (*Atlantic Destiny*) – Le 2 mars 2021, le navire de pêche *Atlantic Destiny*, avec 31 personnes à son bord, a subi une défaillance catastrophique du moteur alors que le navire se trouvait à environ 120 milles marins au sud de Yarmouth (Nouvelle-Écosse). Dans cet événement, le système d'extinction d'incendie à dioxyde de carbone (CO₂) du navire a été utilisé pendant l'intervention, mais les membres d'équipage sont retournés dans la salle au bout de 30 à 40 minutes, réintroduisant ainsi de l'oxygène avant que le compartiment ne refroidisse. Le Bureau était préoccupé par le fait que les équipages ne connaissent pas suffisamment les étapes à suivre avant et après l'utilisation de systèmes fixes d'extinction d'incendie au CO₂.

M20A0003 (*Newfoundland Lynx*) – Le 29 janvier 2020, le navire de pêche *Newfoundland Lynx* a signalé un incendie dans le sauna. Les membres d'équipage du navire ont connu des difficultés avec les combinaisons de pompier et les appareils de protection respiratoire autonome (APRA); cependant l'équipage est parvenu à éteindre l'incendie. Le Bureau a émis un message de sécurité indiquant qu'il est important que les équipages effectuent des exercices d'incendie régulièrement pour vérifier que l'équipement de lutte contre les incendies fonctionne bien et dans le but de renforcer leurs connaissances sur la façon de bien utiliser cet équipement et des tâches qui leur sont assignées en cas d'urgence. Il est également important que ces exercices comprennent des scénarios variés et réalistes afin que les équipages soient prêts à intervenir efficacement en cas d'urgence.

M19C0403 (*Tecumseh*) – Le 15 décembre 2019, un incendie s'est déclaré dans la salle des machines du vraquier *Tecumseh*, alors qu'il naviguait sur la rivière Detroit près de Windsor (Ontario). L'enquête du BST a déterminé que l'incendie avait été causé par des problèmes liés à l'entretien dans la salle des machines.

M18P0403 (*MOL Prestige*) – Le 31 janvier 2018, un incendie s'est déclaré dans la salle des machines du porte-conteneurs *MOL Prestige*, alors que le navire se trouvait à 146 milles marins au sud-sud-ouest d'Haida Gwaii (Colombie-Britannique). L'enquête du BST a déterminé que l'incendie avait été causé par des problèmes liés à l'entretien dans la salle des machines. De plus, le système fixe d'extinction d'incendie au CO₂ du navire a connu une défaillance en raison de fuites.

M16P0241 (*Ken MacKenzie*) – Le 11 juillet 2016, un incendie a éclaté dans la salle des machines du remorqueur *Ken Mackenzie* alors que celui-ci naviguait sur le fleuve Fraser (Colombie-Britannique). L'enquête du BST a déterminé que l'incendie avait été causé par des problèmes liés à l'entretien dans la salle des machines du navire.

National Transportation Safety Board des États-Unis

Aux É.-U., plusieurs enquêtes ont été menées sur des incendies causés par l'inflammation par surfaces chaudes. Entre 2018 et 2022, le National Transportation Safety Board (NTSB)

des É.-U. a enquêté sur 10 incendies survenus dans des salles des machines où le contact entre du carburant liquide et les surfaces chaudes de moteurs diesel a été la cause probable déterminée, y compris les enquêtes suivantes :

DCA22FM016 (*Endo Breeze*) – Le 29 avril 2022, un incendie s’est déclaré dans la salle des machines du pétrolier-chimiquier *Endo Breeze* alors qu’il quittait le New Jersey. L’enquête a permis de déterminer que la cause probable était la pulvérisation à haute pression de carburant provenant d’une pompe d’injection de carburant de l’une des machines principales du navire, qui s’est enflammée sur un composant du système d’échappement du moteur. Dans son rapport, le NTSB a indiqué qu’il avait enquêté sur plusieurs accidents qui avaient fait des victimes et concernaient une défaillance de raccords de conduite de carburant qui avait provoqué des incendies. Le rapport soulignait l’importance de respecter les procédures d’assemblage du fabricant pendant l’entretien du circuit de carburant et la nécessité de consulter régulièrement les manuels et les directives du fabricant.

DCA22FM002 (*Capt. Kirby Dupuis*) – Le 9 novembre 2021, un incendie s’est déclaré dans la salle des machines du navire de remorquage *Capt. Kirby Dupuis* alors qu’il poussait des chalands sur la rivière Ohio River au Kentucky. L’enquête a permis de déterminer que la cause probable était un tuyau d’huile de graissage sur la machine principale bâbord, qui s’était détaché d’un raccord en raison de l’absence d’une bague de retenue et d’un support de fixation et avait pulvérisé de l’huile sous pression qui est entrée en contact avec une surface d’échappement chaude et qui s’est par la suite enflammée.

DCA21FM026 (*President Eisenhower*) – Le 28 avril 2021, un incendie s’est déclaré dans la salle des machines du porte-conteneurs *President Eisenhower* alors qu’il naviguait à 17 milles marins au sud-ouest de la Californie. L’enquête a permis de déterminer que la cause probable était la pulvérisation de mazout provenant d’une conduite de retour de la machine principale sur un composant d’échappement du moteur non protégé et non isolé situé à proximité, et qu’un raccord avait été mal serré lors de son installation.

Autres bureaux internationaux d’enquête sur les accidents

Certaines enquêtes internationales ont également signalé des problèmes avec le système fixe d’extinction d’incendie au CO₂.

Rapport 16/2018 du Marine Accident Investigation Board du Royaume-Uni

(*Eddystone* et *Red Eagle*) – Le 8 juin 2016, le navire roulier de charge *Eddystone* a connu une libération accidentelle de CO₂ provenant de son système fixe d’extinction d’incendie alors qu’il naviguait dans le sud de la mer Rouge. Un incident similaire s’est produit le 17 juillet 2017 à bord du traversier roulier à passagers *Red Eagle*, alors qu’il effectuait la traversée entre l’île Wight et Southampton. Dans les deux cas, la vanne de distribution du CO₂ dans la salle des machines est restée fermée et le gaz s’est échappé dans le compartiment où les bouteilles de CO₂ étaient rangées. Le Maritime Accident Investigation Board du Royaume-Uni a conclu que le niveau de service fourni par les fournisseurs de services était régulièrement insuffisant pour maintenir la sécurité des systèmes fixes d’extinction d’incendie au CO₂ sur les navires.